



COLEGIO DE POSTGRADUADOS

INSTITUCIÓN DE ENSEÑANZA E INVESTIGACIÓN EN
CIENCIAS AGRÍCOLAS

PROGRAMA EN PRODUCCIÓN AGROALIMENTARIA EN EL TRÓPICO

**CARTOGRAFÍA DE SUELOS UTILIZANDO UN MODELO DIGITAL DE
ELEVACIÓN (MDE) EN UN ESTUDIO SEMIDETALLADO EN LA REGIÓN
DE LOS RIOS DE TABASCO**

ANTONIO LÓPEZ CASTAÑEDA

TESIS

PRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL
PARA OBTENER EL GRADO DE

MAESTRO EN CIENCIAS

H. CÁRDENAS, TABASCO, MÉXICO

2009

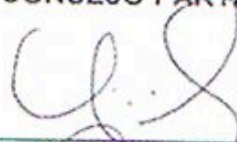
La presente tesis, titulada: **Cartografía de suelos utilizando un Modelo Digital de Elevación (MDE) en un estudio Semidetallado en la Región de los Ríos de Tabasco**, realizada por el alumno: **Antonio López Castañeda**, bajo la dirección del Consejo Particular indicado, ha sido aprobada por el mismo y aceptada como requisito parcial para obtener el grado de:

MAESTRO EN CIENCIAS

EN PRODUCCIÓN AGROALIMENTARIA EN EL TRÓPICO

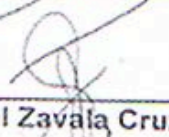
CONSEJO PARTICULAR

CONSEJERO:



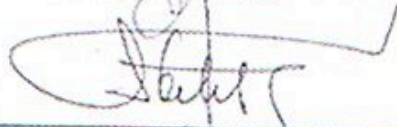
Dr. David Jesús Palma López

ASESOR:



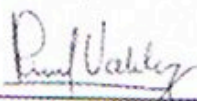
Dr. Joel Zavala Cruz

ASESOR:



Dr. Carlos Alberto Ortiz Solorio

ASESOR:



Dr. José René Valdez Lazalde

H. Cárdenas, Tabasco. 10 de Diciembre, 2009

CARTOGRAFÍA DE SUELOS UTILIZANDO UN MODELO DIGITAL DE ELEVACIÓN (MDE) EN UN ESTUDIO SEMIDETALLADO EN LA REGIÓN DE LOS RÍOS DE TABASCO

Antonio López Castañeda, MC.

Colegio de Postgraduados, 2009

RESUMEN

La clasificación de los suelos es un importante instrumento en la planeación de los recursos naturales dedicados a la producción de alimentos. El objetivo de este estudio fue comparar la precisión y exactitud entre el método tradicional basado en la fotointerpretación y el Modelo Digital de Elevación del Terreno (MDE) en estudios de los suelos. El trabajo se realizó en el municipio de Tenosique, Tabasco y se dividió en dos fases. En la primera se realizó el levantamiento de suelo utilizando el método tradicional analizando y clasificando 31 perfiles de suelos. La segunda fase consistió en la clasificación del suelo utilizando el MDE. El software libre, Grass 6.3, se usó para generar un mapa de atributos del terreno utilizando la información de perfiles obtenida en la primera fase. La comparación de ambos métodos se realizó analizando las características físicas del suelo, 60 barrenaciones se utilizaron para el análisis de la precisión y 70 barrenaciones para el análisis de la exactitud. El método de muestreo general fue libre. La precisión para el método convencional fue del 85% y un 80% con el MDE. La exactitud para el método convencional fue del 77% y 74% para el MDE. Ambos valores son aceptados para el uso en la cartografía de suelos. Sin embargo, la validación del MDE en otras locaciones debe ser realizada. El MDE tiene un alto potencial como una herramienta en la planeación de los recursos naturales.

Palabras clave: Cartografía digital, Modelos Digitales de Elevación, Suelos

SOIL MAPPING OF REGION OF RIOS IN TABASCO BY USING DIGITAL ELEVATION MODEL (DEM)

ABSTRACT

Soil classification is an important instrument in the natural resource management regarding to food production. The aim of this study was an assessment of quality (accuracy and precision) between the Digital Elevation Model (DEM) and the photointerpretation method as tools for soil classification. The study was carried out in the municipality of Tenosique, Tabasco, Mexico, and divided in two phases. The first phase consisted on the characterization and classification of 31 soil profiles by using the manual of world reference base for soil resources (WRB). The second phase focused on the soil classification by implementing of DEM. A map of land attributes was developed by using free-version software Grass 6.3 and information of soil profiles obtained in the first phase. A free general sampling method was performed and samples were collected from drilled holes, 60 drilled holes for accuracy analysis and 70 drilled holes for precision analysis. The precision analysis led to an 85% precision for traditional method and an 80% precision for DEM. The accuracy analysis resulted in a 77% for traditional method and 74% for DEM. Such results were in a good agreement for soil classification. It was concluded that DEM provides a satisfactory grade of precision and accuracy in the soil classification. However, validation of DEM should include different locations. DEM has a potential as an effective tool in the planning of natural resources.

Key Words: Digital Cartography, Digital Models of Elevation, Soil

DEDICATORIA

A Dios, por otorgarme el don de la vida.

A mis padres: Juan López Domínguez y Margarita Castañeda Velázquez

A mis herman@s: Teresa, Ricardo, Patrocinio y Juan

A mi esposa: Adriana del Carmen

A mi niño: Adrian Antonio

A mis compañeros de generación: Gracias por su amistades, criticas sugerencias aportaciones y sobre todo por su tolerancia.

A mis amig@s... Gracias

Y a todos aquellos profesores que intervinieron en mi formación profesional, y a los cuales no menciono por el temor de omitir a alguno, gracias.

AGRADECIMIENTOS

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT), por la beca otorgada para mi formación académica.

Al Fondo Mixto de Fomento a la Investigación Científica y Tecnológica CONACYT – Gobierno del Estado de Tabasco por el apoyo al proyecto “Diagnostico de áreas productoras y determinación de las tierras aptas para la producción de palma de aceite en el estado de Tabasco” Clave TAB-2006-C08-42116, del cual forma parte esta investigación.

Al Colegio de Postgraduados por haberme dado la oportunidad de ser uno de sus alumnos.

Al Dr. David Jesús Palma López, por su paciencia, por su enseñanza y por todo el apoyo brindado hacia mi persona.

Al Dr. Joel Zavala Cruz, por su compartir sus conocimientos, por la paciencia, y por todo el apoyo brindado, así como por sus consejos.

Al Dr. Carlos Alberto Ortiz Solorio, por aceptar formar parte de mi consejo por su apoyo y por su contribución en el trabajo.

Al Dr. José René Valdez Lazalde, por aceptar ser parte de mi consejo y por sus palabras de ánimo.

Al MC. Joaquín Alberto Rincón Ramírez, por animarme a seguir estudiando, por su aportación a este trabajo y por su amistad.

A la MC. Elvia Moreno Cáliz, por su amistad, apoyo, asesoría en la descripción de perfiles y clasificación de suelos.

Al Dr. Sergio Salgado García, por su aportación a éste trabajo.

Al equipo de trabajo de campo y al personal de laboratorio.

CONTENIDO

	Pág.
I. INTRODUCCIÓN	1
II. REVISIÓN DE LITERATURA	3
2.1. IMPORTANCIA DEL SUELO.....	3
2.2. CONCEPTO DE SUELOS.....	3
2.3. LEVANTAMIENTO DE SUELOS.....	4
2.4. USOS DE LOS LEVANTAMIENTOS DE SUELOS.....	5
2.5. TIPOS DE LEVANTAMIENTOS DE SUELOS.....	6
2.5.1. Reconocimiento.....	6
2.5.2. Semidetallado.....	6
2.5.3. Detallado.....	6
2.5.4. Intensivo.....	6
2.6. CLASIFICACIÓN DE SUELOS.....	6
2.7. CARTOGRAFÍA DE SUELOS Y SU IMPORTANCIA.....	7
2.8. FOTOINTERPRETACIÓN DE RELIEVES.....	9
2.9. DIGITALIZACIÓN.....	9
2.10. USO DE LOS SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA (SIG).....	9
2.11. MODELOS DIGITALES DE ELEVACIÓN.....	10
2.11.1. Uso de los Modelos Digitales de Elevación (MDE) en estudios de suelos.....	11
2.11.2. Creación de los MDE.....	13
2.11.3. Modelos Digitales de Elevación en México.....	13
2.12. PRECISIÓN Y EXACTITUD CARTOGRÁFICA.....	15
III. OBJETIVOS E HIPOTESIS	15
3.1. OBJETIVOS.....	15
3.2. HIPÓTESIS.....	15
IV. MATERIALES Y MÉTODOS	16
4.1. DESCRIPCIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO.....	17
4.1.1. <i>Geomorfología</i>	17

4.1.2. Geología y suelos.....	18
4.1.3. Clima	19
4.1.4. Vegetación.....	19
4.2. ELABORACIÓN DE CARTOGRAFÍA DE SUELOS MEDIANTE EL MÉTODO CONVENCIONAL POR FOTOINTERPRETACIÓN	19
4.2.1. Etapa de precampo	20
4.2.1.1. Recorrido de campo.....	20
4.2.1.2. Fotointerpretación de fotografías aéreas.....	20
4.2.1.3. Rectificación y digitalización de información de fotografías aéreas	22
4.2.1.4. Generación de mapa de unidades de fotointerpretación (UFI's).....	22
4.2.1.5. Selección de sitios de muestreo	22
4.2.2. Etapa de Campo.....	22
4.2.2.1. Descripción de perfiles de suelo	22
4.2.2.2. Barrenaciones para la confirmación de extensión geográfica y linderos de suelos.....	24
4.2.3. Etapa de Poscampo	24
4.2.3.1. Análisis de laboratorio	24
4.2.3.2. Clasificación de suelos	25
4.2.3.3. Generación del mapa de suelos	25
4.2.3.4. Muestreo para verificación de extensión geográfica (precisión).....	25
4.2.3.5. Muestreo para verificación de linderos de suelos (exactitud).....	26
4.3. ELABORACIÓN DE CARTOGRAFÍA DE SUELOS UTILIZANDO UN MODELO DIGITAL DE ELEVACIÓN (MDE).....	26
4.3.1. Procesamiento del MDE en el Software GRASS versión 6.3.....	26
4.3.2. Obtención del mapa preliminar de suelos (atributos del terreno) mediante el uso de Modelo Digital de Elevación	27
4.3.3. Generación del mapa de suelos.....	27
4.3.4. Edición de cartografía de suelos	27

4.3.5. Muestreo para verificación de extensión geográfica (precisión).....	27
4.3.6. Muestreo para verificación de linderos de suelos (exactitud).....	28
4.3.6. Comparación de la exactitud y la precisión.....	28
V. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	29
5.1. LEVANTAMIENTO DE SUELOS POR EL MÉTODO CONVENCIONAL.....	29
5.1.1. Geomorfología.....	29
5.2. GRUPOS Y UNIDADES DE SUELOS	34
5.2.1. Grupo Ferralsoles (FR).....	37
5.2.1.1. Unidad Ferralsoles Háplicos (Ródicos Éútricos) FRha(roeu).....	37
5.2.1.2. Ferralsoles Mólicos (Ródicos) FRmo(ro)	38
5.2.2. Grupo Luvisoles (LV).....	38
5.2.2.1. Luvisoles Gléyicos Vérticos (Arcíllicos) LVglvr(ce).....	39
5.2.2.2. Luvisoles Cutánicos (Férricos, Hiperéútricos) LVct(frhe).....	39
5.2.3. Grupo Gleysoles (GL).....	39
5.2.3.1. Gleysoles Háplicos (Arcíllicos, Éútricos, Húmicos) GLha(ceeu)	40
5.2.3.2.- Gleysoles Háplicos (Arcíllicos, Éútricos) GLha(ceeu)	40
5.2.3.4. Gleysoles Hísticos (Calcáricos) GLhi(ca)	41
5.2.4. Grupo Cambisoles (CM).....	41
5.2.4.1. Cambisoles Endogléyicos Vérticos (Arcíllicos, Éútricos) CMngvr (ceeu).....	42
5.2.4.2. Cambisoles Vérticos (Arcíllicos, Éútricos) CMvr(ceeu).....	43
5.2.4.3. Cambisoles Técnicos (Arcíllicos, Éútricos).....	43
5.2.5. Grupo Leptosoles (LP)	43
5.2.5.1. Leptosoles Réndzicos (Húmicos) LPrz(hu).....	44
5.2.5.2. Leptosoles Réndzicos (Hiperesqueleticos, Húmicos) Lprz(hkhu)	44
5.2.5.3. Leptosoles Mólicos Gléyicos (Hiperesqueleticos, Húmicos) LPmogI(hkhu).....	44
5.2.6. Grupo Fluvisoles (FL).....	45
5.2.6.1. Fluvisoles Háplicos (Arcillicos, Éútricos) FLha(ceeu)	45

5.2.6.2. Fluvisoles Stágnicos (Éútricos) FLst(eu)	46
5.2.6.3. Fluvisoles Cálcicos (Éútricos Sódicos) FLca(euso).....	46
5.2.7. Grupo Vertisoles (VR)	46
5.2.7.1. Vertisoles Cálcicos (Hiperéútricos) VRcc(he).....	47
5.2.7.2. Vertisoles Sódicos (Hiperéútricos) VRso(he).....	47
5.2.7.3. Vertisoles Stágnicos (Hiperéútricos, Húmicos) VRst(hehu)	48
5.2.8. Grupo Acrisoles (AC).....	48
5.2.8.1. Acrisoles Úmbricos Gléyicos (Arénicos) ACumgl(ar).....	49
5.2.8. Grupo Calcisoles (CL)	49
5.2.8.1. Calcisoles Hipocálcicos (Rúpticos) CLwc(rp)	49
5.2.9. Grupo Lixisoles (LX).....	50
5.2.9.1. Lixisoles Cutánicos (Crómicos Arcíllicos) LXct(crce).....	50
5.3. LEVANTAMIENTO DE SUELOS UTILIZANDO MDE	51
5.3.1. Atributos de del terreno	51
5.3.1.1. Colinas.....	53
5.3.1.2. Valle.....	53
5.3.1.3. Planicie	54
5.4. GRUPOS Y SUBUNIDADES DE SUELOS UTILIZANDO MODELOS DIGITALES DE ELEVACIÓN (MDE).....	57
5.5. COMPARACIÓN DE LEVANTAMIENTOS DE SUELOS POR EL MÉTODO CONVENCIONAL Y UTILIZANDO MDE	60
5.5.1. Precisión.....	60
3.5.2. Exactitud.....	64
VI. CONCLUSIONES	66
VII. LITERATURA CITADA.....	67
VII. ANEXOS	73

LISTA DE CUADROS

	Pág.
Cuadro 1. Unidades geomorfológicas del área de estudio.....	29
Cuadro 2. Unidades geomorfológicas y suelos del área de estudio	31
Cuadro 3. Suelos del área de estudio mediante fotointerpretación.....	36
Cuadro 4. Atributos del terreno generados utilizando los modelos digitales de elevación e información de geología	53
Cuadro 6. Suelos del área de estudio generados utilizando los modelos digitales de elevación	58
Cuadro 7. Evaluación de los sitios de observación para determinar la precisión del mapa generado mediante fotointerpretación.....	60
Cuadro 8. Evaluación de los sitios de observación para determinar la precisión del mapa generado utilizando el modelo digital de elevación.....	62
Cuadro 9. Evaluaciones de los sitios de observación para determinar la exactitud del mapa mediante fotointerpretación.....	64
Cuadro 10. Evaluación de los sitios de observación para determinar la exactitud del mapa utilizando el modelo digital de elevación	65

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Localización del área de estudio	16
Figura 2. Diagrama descriptiva de relieves del área de estudio.....	18
Figura 3. Secuencia de la metodología aplicada en la cartografía de suelos mediante fotointerpretación y MDE.	21
Figura 4. Unidades geomorfológicas encontradas en el área de estudio	30
Figura 5. Distribución de los suelos del área de estudio Utilizando fotointerpretación	35
Figura 6. Clasificación del relieve a partir de los modelos digitales de elevación (MDE)	52
Figura 7. Atributos del terreno obtenidos mediante los MDE.	54
Cuadro 5. Atributos del terreno generados por los MDE e información de suelos.	55
Figura 8. Distribución de los suelos del área de estudio utilizando MDE	59
Figura 9. Distribución de los sitios de muestreo para evaluar la precisión y exactitud del mapa utilizando fotointerpretación.....	61
Figura 10. Distribución de los sitios de muestreo para evaluar la precisión y exactitud del mapa utilizando MDE.....	63
Figura 11. Precisión y exactitud de la cartografía de suelos utilizando fotointerpretación y MDE.	65

I. INTRODUCCIÓN

Los levantamientos de suelos tradicionales (métodos para estudiar, analizar, describir, cartografiar e interpretar el recurso suelo) utilizan técnicas de fotointerpretación en su fase inicial para generar el mapa preliminar de suelos, para este propósito se fotointerpretan los tipos de relieve (Zavala, 1988), los patrones de uso del suelo (Larios y Hernández, 1992) y se auxilia de elementos presentes en las fotografías aéreas tales como tono, textura, forma, tamaño (Fernández 2000). Esto implica contar con personal capacitado, empleo de fotografías aéreas y ortofotomapas de buena calidad, desafortunadamente es frecuente la ausencia de recursos humanos, por lo que se presenta la necesidad de capacitarlos, lo cual implica un incremento en los costos e inversión de más tiempo en la ejecución de los levantamientos de suelos.

Los suelos de un paisaje pueden ser de diferentes tipos, debido entre otros factores, al relieve, es ahí donde radica la importancia de su clasificación y cartografía ya que los diferentes tipos de suelos no tienen la misma capacidad y aptitud de uso. Por esta razón es necesario elaborar la cartografía que permita caracterizar y posteriormente planificar el uso del suelo mejorando con ello la toma de decisiones sobre el uso y manejo de este recurso, así como conocer sus características, limitaciones y posibilidades de aprovechamiento (Porta *et al.*, 2003).

A la fecha se han realizado diversos estudios de suelos por parte de instituciones públicas y privadas que han utilizado la metodología propuesta por Ortiz-Solorio y Gutiérrez (1999), o bien otras relacionadas. Estas metodologías implican un gran esfuerzo de campo, lo que encarece el desarrollo de los estudios, por lo que en algunos casos se ha optado por cartografiar únicamente las áreas de mayor interés agropecuario y/o forestal.

El reto entonces es modificar las metodologías tradicionales de cartografía de suelos, utilizando para ello las ventajas actuales de la cartografía digital y los sistemas de información geográfica, de tal forma que los estudios de suelos puedan realizarse de una manera más rápida, eficiente y económica.

En este estudio se propone la utilización de los denominados modelos digitales de elevación para la elaboración de los mapas de suelos, como una alternativa al método tradicional basado en la fotointerpretación de fotografías aéreas propuesta por Ortiz-Solorio y Gutiérrez (1999).

II. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. Importancia del suelo

El suelo permite que los vegetales fijen sus raíces y así busquen los nutrientes y la humedad que requieren para vivir. El hombre obtiene del suelo no sólo la mayor parte de los alimentos, sino también fibras, maderas y otras materias primas, y en general es fundamental para la conservación del medio ambiente natural (Morrás, 2008).

El suelo es también de importancia vital para los animales, muchos de éstos obtienen su alimento única y exclusivamente del mismo, además sirven, por la abundancia de vegetación, para suavizar el clima y favorecer la existencia de corrientes de agua (Bautista *et al.*, 2004).

La erosión es uno de los principales problemas que altera la utilidad de los suelos. Cuando éstos quedan desnudos de su cubierta vegetal protectora, son destruidos rápidamente por la acción del agua, el calor y el viento; su capa útil fértil es lavada (Morrás, 2008). Esta pérdida de la fertilidad o empobrecimiento de los suelos casi siempre es producido por el abuso del cultivo o pastoreo en ellos, por lo tanto los suelos necesitan también del abono y del control de cultivos, además de la rotación de éstos para mantenerse en condiciones apropiadas para seguir produciendo.

El estudio y la descripción sistemática de las propiedades de los suelos de un área determinada se basan principalmente en los levantamientos, lo cual consiste en ubicarlos geográficamente (Ortiz *et al.*, 1980; Porta *et al.*, 2003).

2.2. Concepto de suelos

Existen varias definiciones de suelo, pero una de las más comunes es la que propone el Soil Survey Staff (2006), que lo considera como un cuerpo natural

formado por sólidos (minerales y materia orgánica), líquidos y gases que ocurren sobre la superficie de la tierra, ocupa un espacio y tiene una o ambas de las siguientes características: horizontes y capas que se diferencian del material inicial como resultado de adiciones, pérdida, transferencia y transformaciones de energía y materia.

Bautista *et al.* (2005), define al suelo como un cuerpo natural, tridimensional, situado sobre la superficie de la tierra, formado a partir de materiales minerales y orgánicos, que soporta o es capaz de soportar plantas en forma natural, además está constituido de una gran variedad de organismos, entre los que se encuentran virus, bacterias, protozoarios, invertebrados de diferentes tipos, hongos, algas y plantas.

Los mismos autores mencionan que uno de los problemas de mayor impacto e importancia es la degradación de los suelos, misma que va creciendo de forma paralela con la generación de alimentos al paso del tiempo, generando problemas ambientales de tipo global, regional y local, por ejemplo, el cambio climático global, el azolve de lagos y la compactación del suelo.

El suelo está considerado un recurso natural de características muy especiales ya que, si bien puede renovarse a lo largo de un ciclo más o menos largo, las pequeñas tasas de formación del suelo, comparadas con las enormes pérdidas que pueden producirse en un corto periodo de tiempo, por procesos de erosión acelerada, hacen que pueda ser contemplado como un recurso no renovable en la escala temporal del ser humano (Hernández, 2006).

2.3. Levantamiento de suelos

Un levantamiento de suelos es un método para estudiar, analizar, describir, cartografiar e interpretar el recurso suelo. Tiene como objetivo principal el generar y proporcionar información para planificar los diversos usos del mismo, de tal

manera que los usuarios tengan los elementos necesarios para tomar decisiones sobre su aprovechamiento, manejo y conservación (IMTA, 1989).

Para Porta *et al.* (2003), los levantamientos de suelos constituyen una de las aplicaciones más útiles de la ciencia del suelo, ya que permiten describir las características y propiedades de los suelos de un área determinada, además de clasificar y situar sus límites en un mapa, lo cual permite conocer su distribución en un paisaje, hacer precisión sobre él y definir como utilizarlo de manera sustentable.

2.4. Usos de los levantamientos de suelos

IMTA (1989), los levantamientos de suelos tienen diversos usos:

- Como referencia para dar recomendaciones sobre el mejor uso y manejo de las tierras.
- Para determinar si el suelo es apto para la agricultura, cuales son sus limitaciones y el grado de éstas para este uso.
- Aplicar el manejo más adecuado del suelo para hacer optima la producción y la conservación del mismo.
- Definir estrategias de planeación de investigación agrícola
- Determinar la distribución potencial de los cultivos.
- Para fines catastrales y de planeación urbana.
- Como base para la evaluación de impactos ambientales.
- Como base para transferir tecnología de una región a otra.

Por su parte Porta *et al.* (2003), menciona que el objetivo del levantamiento de suelos es describir y conocer las características y propiedades de los suelos en un área determinada, clasificar y ubicar sus límites en un mapa, mostrar su distribución espacial y facilitar acciones de predicción, así como definir su uso.

2.5. Tipos de levantamientos de suelos

Según (Porta *et al.*, 2003) se conocen varios tipos de levantamiento de suelos, la diferencia entre ellos es el propósito, la intensidad y la escala de estudio. Los más conocidos son: reconocimiento, semidetallado, detallado e intensivo, cada uno tiene sus propias características y métodos de realización

2.5.1. Reconocimiento

Este tipo de levantamiento de suelos tiene como finalidad localizar y cuantificar en forma aproximada a los suelos que deben de estudiarse posteriormente con mayor detalle, se emplean escalas de 1:500 000 a 1:100,000.

2.5.2. Semidetallado

Se realizan en áreas previamente reconocidas como apropiadas para elaborar proyectos de desarrollo rural o mejorar el aprovechamiento de los recursos naturales; tiene como principal objetivo determinar la capacidad de uso y manejo adecuado de los suelos. Se realizan a escalas de 1:100 000 a 1:25 000.

2.5.3. Detallado

Tiene como finalidad determinar con la mayor precisión posible las limitaciones en cuanto al uso y manejo adecuado de los suelos, se trabajan a escalas mayores de 1:25 000 a 1:10 000.

2.5.4. Intensivo

Tiene como objetivo estudios especiales para planificación. Fincas experimentales generalmente se trabajan a escalas de 1:5 000 a 1:2 500.

2.6. Clasificación de suelos

Los suelos han sido históricamente clasificados de diversa manera desde la época de Docuchaev (1846-1903), considerado el fundador de la Edafología y quién

estableció las bases de una primera clasificación (Soil Survey Staff, 2006). Actualmente, una de las clasificaciones más difundidas es la propuesta por el Departamento de Agricultura de los Estados Unidos, adoptada como sistema de referencia en varios países de América Latina. Fue publicada con el título de Soil Taxonomy.

En el ámbito de las Naciones Unidas existe otro sistema de clasificación de los suelos, desarrollado en los últimos años y denominado World Reference Base for Soil Resources, (WRB) que comienza a ser aplicado en diversos países (IUSS *et al.*, 2007).

Al clasificar los suelos el hombre se enfrenta a un problema complejo debido a la multitud de propiedades que éste posee, además se enfrenta a la dificultad de identificar sus límites, provocando que el manejo de la fertilidad, la conservación y las planeaciones sea muy laboriosa, lo cual induce a cometer errores (Porta *et al.*, 2003).

2.7. Cartografía de suelos y su importancia

La cartografía se define como el arte de trazar mapas. El mapa a su vez se define como un instrumento resultante de un trabajo de investigación que muestra las características del espacio físico-geográfico, social o económico, representándolas de manera gráfica con fines de: diagnóstico, pronóstico, planificación, inventario y difusión de los resultados de una investigación científica que es útil para tomar decisiones (Gómez, 2004).

Para Krasilnikov (2006), la cartografía de suelos nos sirve para describir sus características y propiedades, clasificar y situar sus límites en un mapa con el propósito de conocer la distribución de los mismos. Es una herramienta muy importante para hacer predicciones sobre su comportamiento y definir como utilizarlos; así mismo, para tomar decisiones correctas es básico conocer sus características, limitaciones y posibilidades de uso y aprovechamiento. Por eso la

clasificación y la cartografía tienen importancia no solo para especialistas del suelo, sino también para especialistas de otras ciencias.

Según Gómez (2004), la cartografía de suelos consiste en el reconocimiento, localización y representación en un mapa de tipo de suelos presentes en una región, y tiene como propósito la realización de un mapa de suelos. Para ello se han de definir las diferentes unidades cartográficas de suelos de una determinada región y delimitar las extensiones geográficas que ocupan. Por tanto, un mapa de suelos representa la distribución de los tipos de suelos en el paisaje.

La unidad cartográfica muestra la distribución geográfica específica de un suelo, así como sus límites con otros suelos tomando en cuenta su naturaleza física y morfología que se desarrolla a partir de un mismo material parental y litológico (Porta *et al.*, 2003).

De acuerdo con Krasilnikov (2006), la cartografía de suelos es una subdisciplina práctica de la Geografía de suelos o Edafogeografía, la cual se define como una disciplina científica que estudia las reglas de distribución de los suelos sobre la superficie de la Tierra.

El mismo autor manifiesta que el mapa es el instrumento resultante de un trabajo de investigación y al mismo tiempo es un instrumento de análisis. El uso de los mapas ha permitido el conocimiento del mundo desde tiempos remotos, el hombre siempre ha tenido la necesidad de saber dónde está y dónde se ubican ciertos lugares respecto a otros.

Para la elaboración de cartografía de suelos se ha venido utilizando, en la parte inicial, fotografías aéreas para obtener el mapa geomorfológico que condiciona la hidrología superficial, la formación de suelos y la vegetación del área de estudio (Zavala *et al.*, 2003). La cartografía geomorfológica es considerada como el mapa preliminar de suelos que posteriormente será verificado en campo. Tiene como

ventaja la visualización física y como desventaja el costo económico y su interpretación.

2.8. Fotointerpretación de relieves

Ésta actividad se refiere al proceso de extraer la información contenida en las fotografías aéreas (FA), principalmente apoyados de tonos, texturas, formas y tamaños de los objetos, así como un examen que se hace a las fotografías aéreas con el fin de identificar objetos, determinar su importancia, observar los componentes del paisaje y evaluarlos con el propósito de obtener información de utilidad para la disciplina que utiliza esta técnica, principalmente en el caso de la cartografía de suelos se determina o se obtiene un mapa de fotointerpretación o de relieves que es el mapa preliminar de suelos (Fernández, 2000).

2.9. Digitalización

Proceso de convertir la información analógica (polígonos, líneas, puntos que aparecen impresos o dibujados en un mapa o una fotografía aérea) en información digital, mediante el software de ArcGis o algún otro equivalente (Pacheco, 2003), puede realizarse de forma manual mediante una tableta digitalizadora o directamente en pantalla previo escaneo y rectificado de la imagen de la cual se obtendrá la información.

2.10. Uso de los Sistemas de Información Geográfica (SIG)

Los sistemas de información geográfica son herramientas computacionales que han permitido dar un paso agigantado en la búsqueda de soluciones a problemas cotidianos, como son los relacionados con los fenómenos naturales (Aceves-Quesada, 2006), así como para la ejecución de proyectos relacionados con el estudio de dichos recursos (Porta *et al.*, 2003), y la elaboración de la cartografía de suelos debido a que posee una base de datos de atributos que va ligada a cada unidad cartográfica facilitando los análisis y el despliegado, así como las correcciones analizadas durante la fase de campo (Bannister *et al.*, 2002). El

empleo de este tipo de sistemas puede lograr un gran ahorro en los proyectos de estudio de suelos, maximiza rentabilidad, eficiencia de la información, tanto desde perspectivas técnicas como económicas (Ibáñez *et al.*, 1994).

Los mismos autores mencionan que actualmente los países industrializados que cuentan con adecuada información edafológica están en disposición de desarrollar programas de monitorización de suelos mediante los sistemas de información geográfica, entendiendo ello como un proceso administrativo de información para organizar datos espacialmente relacionados de manera que se puedan analizar y visualizar utilizando programas comerciales de uso común como ArcGis (Bannister *et al.*, 2002), su principal objetivo sería la identificación y seguimiento del estado de sus suelos para establecer su susceptibilidad frente al deterioro por determinadas clases de actividades, debido a que actualmente la humanidad se enfrenta a un problema de deterioro medioambiental (Ibáñez *et al.*, 1994).

2.11. Modelos digitales de elevación

Los modelos digitales del terreno (MDT) son representaciones de la distribución espacial que presenta una cualidad, natural o no, en un formato numérico de datos susceptibles de ser tratados mediante ordenador (Vilchez, 2000). Esa cualidad o variable debe ser cuantitativa y continua, pudiendo ser de diversa naturaleza, aunque la más frecuente es la elevación o cota de los puntos sobre un nivel de referencia, denominándose en este caso modelos digitales de elevación del terreno (Salgado, 2004).

Conceptualmente, un Modelo Digital de Elevación es una estructura de datos numérica que representa la distribución espacial de la altitud de la superficie del terreno (Felicísimo, 1994). Estas estructuras de datos permiten analizar la superficie del terreno donde se describe la forma del paisaje y la influencia de la topografía en los procesos ambientales tales como el suelo (Salgado, 2004).

Un terreno real puede describirse de forma general como una función bivariable continua $z=f(x,y)$ donde z representa la altitud del terreno en el punto con coordenadas (x, y) y f es una función que relaciona la variable con su función geográfica.

El gran impulso de la cartografía digital en los últimos años ha puesto al alcance de un grupo muy amplio de usuarios los modelos digitales de elevación, lo cual consiste en triadas de datos x, y, z ; donde las dos primeras coordenadas son la ubicación horizontal de un punto de la superficie terrestre y la tercera, el valor de su altura, generalmente medida a partir del nivel medio del mar (García *et al.*, 2003).

2.11.1. Uso de los Modelos Digitales de Elevación (MDE) en estudios de suelos

En los últimos años se han realizado investigaciones para tratar de establecer algoritmos que permitan extraer de forma automática características físicas del territorio a partir de Modelos Digitales de Elevación. Algunos de estos algoritmos han sido posteriormente integrados como funciones básicas en alguno de los Sistemas de Información Geográfica disponibles en el mercado mientras que otros siguen presentando un uso más restrictivo (Krasilnikov *et al.*, 2007).

Los MDE son una herramienta de gran utilidad para planificar la construcción de obras de infraestructura que impliquen la necesidad de un conocimiento detallado de la topografía (Salgado, 2004), así como para la delimitación de microcuencas. Galindo *et al.* (2006) realizaron una delimitación de microcuencas en el estado de Tabasco utilizando modelos digitales de elevación, obteniendo áreas con características semejantes.

Por su parte Klingseisen *et al.* (2007) realizaron una clasificación semiautomática de los modelos digitales de elevación en la cual obtuvieron una clasificación del

paisaje con base en unidades de crestas, laderas, depresiones y planicies, dando origen a un mapa de suelos.

Vouilloud *et al.* (2006) utilizaron modelos digitales de elevación de 100 metros por píxel para delimitar, cuantificar y localizar áreas con suelos potencialmente aptos para la forestación según su posición en el paisaje.

Así mismo Hernández *et al.* (2003) mediante el análisis de un MDE obtuvieron la topografía de detalle, que fue empleada como mapa base, facilitando el registro, interpretación y análisis de rasgos geológicos, geomorfológicos y antrópicos, es decir se obtuvo un modelo conceptual claro del terreno del área de estudio.

En el ámbito de la investigación, un MDE puede utilizarse como base para la simulación de inundaciones, estudios de riesgo de aluvionamiento, deslizamiento de tierras, etc. Es también necesario para la construcción de algoritmos de cálculo de evaluación de caminos óptimos para cañerías y caminos. Este es un terreno en el cual es posible realizar investigación en casos de aplicación real (Fernández *et al.*, 2004).

Los modelos digitales de elevación tienen muchas aplicaciones en diversas disciplinas. Según Fernández y Geller (2004) algunas de ellas son:

- Análisis Ambiental
- Ingeniería Civil
- Modelado para Redes de Telecomunicaciones
- Simulación y Adiestramiento – Militar, Aviación, Diseño Urbano
- Cartografía
- Sombreado automático de relieves

La caracterización de las formas del terreno se ha tomado en cuenta desde hace más de 100 años teniendo varios nombres como geomorfometría, geomorfometría

específica y geomorfometría general, por lo tanto el uso de los modelos digitales de elevación ha sido usado, es usado y seguirá usándose por que se ha demostrado que es un instrumento de análisis objetivo de potencial utilidad (Hernández *et al.*, 2004).

2.11.2. Creación de los MDE

La generación de un Modelo Digital de Elevación comienza al escanear y georeferenciar un mapa topográfico ó una imagen, ya sea fotografía aérea o algún otro tipo de imagen raster, estas imágenes ya sea de puntos, líneas o áreas están definidas por celdas, cada celda tiene un tamaño que determina la resolución de la imagen. A esta imagen resultante se le extraen las curvas de nivel convirtiéndolas en vectores y añadiéndoles sus correspondientes valores de elevación (Felicísimo, 1994; Butler *et al.*, 1998).

Una vez que la imagen haya sido totalmente digitalizada, se crea una representación ráster del mapa basado en esos elementos vectoriales, para después añadirle los elementos hidrográficos, tales como ríos y lagos. El archivo resultante es luego exportado según las especificaciones de formato de archivos de interés, otras forma es realizar medidas directas sobre la superficie del terreno, o digitalizando las curvas de nivel de las cartas topográficas (Pacheco, 2003).

El tamaño del archivo del MDE dependerá de la escala y de los intervalos de las curvas de nivel del mapa fuente, del formato de archivo, y de la resolución espacial del MDE. En general, los MDE se comprimen debido a su formato de archivo y a la estructura de los datos (Felicísimo, 1994).

2.11.3. Modelos Digitales de Elevación en México

El INEGI produce diversos tipos de datos geográficos, entre los que se destacan los archivos de datos digitales que representan diversos objetos espaciales, para fines prácticos, tales datos se agrupan en tres clases según (Palacios *et al.*, 2002).

Conjunto de datos **vectoriales**, corresponden a la presentación digital de los mapas que tradicionalmente ha elaborado INEGI que son representados mediante puntos, líneas y polígonos, esos datos se encuentran separados por temas de diferentes capas de información tales como las vías de comunicación, localidades, cuerpos de agua, hidrografía, geología, curvas de nivel, etc.

Conjunto de datos **ráster**, corresponden a datos en formato de malla o matriz regular de celdas de un área determinada, en los que se incluyen las ortofotos, y los modelos digitales de elevación, la estructura de estos archivos es de un arreglo matricial de valores de un atributo particular, para el caso de imágenes, los valores son de la reflectancia del terreno, para cada elemento de la imagen, o bien de valores de altura de terreno cuando se trata de los modelos digitales de elevación.

Conjunto de datos **alfanuméricos**, corresponden a diversos archivos de tipo texto con diferentes atributos considerados de interés, relativos a los diferentes rasgos existentes, en los conjuntos de datos vectoriales, en esta clase de datos se incluyen archivos de datos geográficos (localidades, nombre de ríos, vegetación etc.), puntos geodésicos, puntos de muestreo para mapas de recursos naturales, descripciones de unidades temáticas, etc. (Mena *et al.*, 2007).

A partir de 1994 el INEGI produce datos para la elaboración de modelos digitales de elevación a escala 1:50,000 (www.inegi.gob.mx), cuenta con datos para toda la Republica Mexicana, en el sistema de coordenadas de referencia UTM (proyección universal transversa de mercator), Datum horizontal NAD27 (por sus siglas en inglés, North American Datum of 1927) o ITRF 92, (por sus siglas en inglés, Internacional terrestre referente frame 1992), Datum vertical NAVD29 (por sus siglas en inglés North American Datum of 1929), la elevación se reporta en metros, referidas al nivel medio del mar; también contiene datos de altura, georreferenciados y espaciados a intervalos constantes, con una estructura representable gráficamente como estructura ráster, su resolución es de 50 metros ajustada a valores cerrados en metros, y su tamaño de archivo dependerá de la ubicación de la latitud y longitud geográfica representada.

2.12. Precisión y exactitud cartográfica

El concepto de precisión de acuerdo al diccionario enciclopédico (1997) se define como la abstracción o separación mental que hace el entendimiento de dos cosas realmente idénticas, en virtud de la cual se concibe uno como distinta de la otra. Por otra parte, el concepto de exactitud, según el mismo autor se define como puntualidad y fidelidad en la ejecución de alguna cosa.

En términos generales la precisión y la exactitud son aspectos que se evalúan para saber la calidad de los mapas o cartografía de suelos (Lleverino *et al.*, 2000). La precisión se refiere entonces a la capacidad de predecir de manera correcta el tipo de suelo que se presenta dentro de una unidad cartográfica, y a la exactitud como la posición correcta de los linderos de suelos (Lleverino *et al.*, 2000). Colpos (1977) considera a la exactitud como el grado de aproximación de una medida a la realidad.

III. OBJETIVOS E HIPOTESIS

3.1. Objetivos

- Generar la cartografía de suelos a nivel semidetallado de una zona del trópico húmedo utilizando fotointerpretación y modelos digitales de elevación (MDE).
- Comparar la precisión y exactitud de ambos métodos en la realización de la cartografía de suelos.

3.2. Hipótesis

- Los modelos digitales de elevación pueden generar cartografía de suelos para estudios a nivel semidetallado.
- Los modelos digitales de elevación son más eficientes en precisión y exactitud para la generación de la cartografía de suelos.

IV. MATERIALES Y MÉTODOS

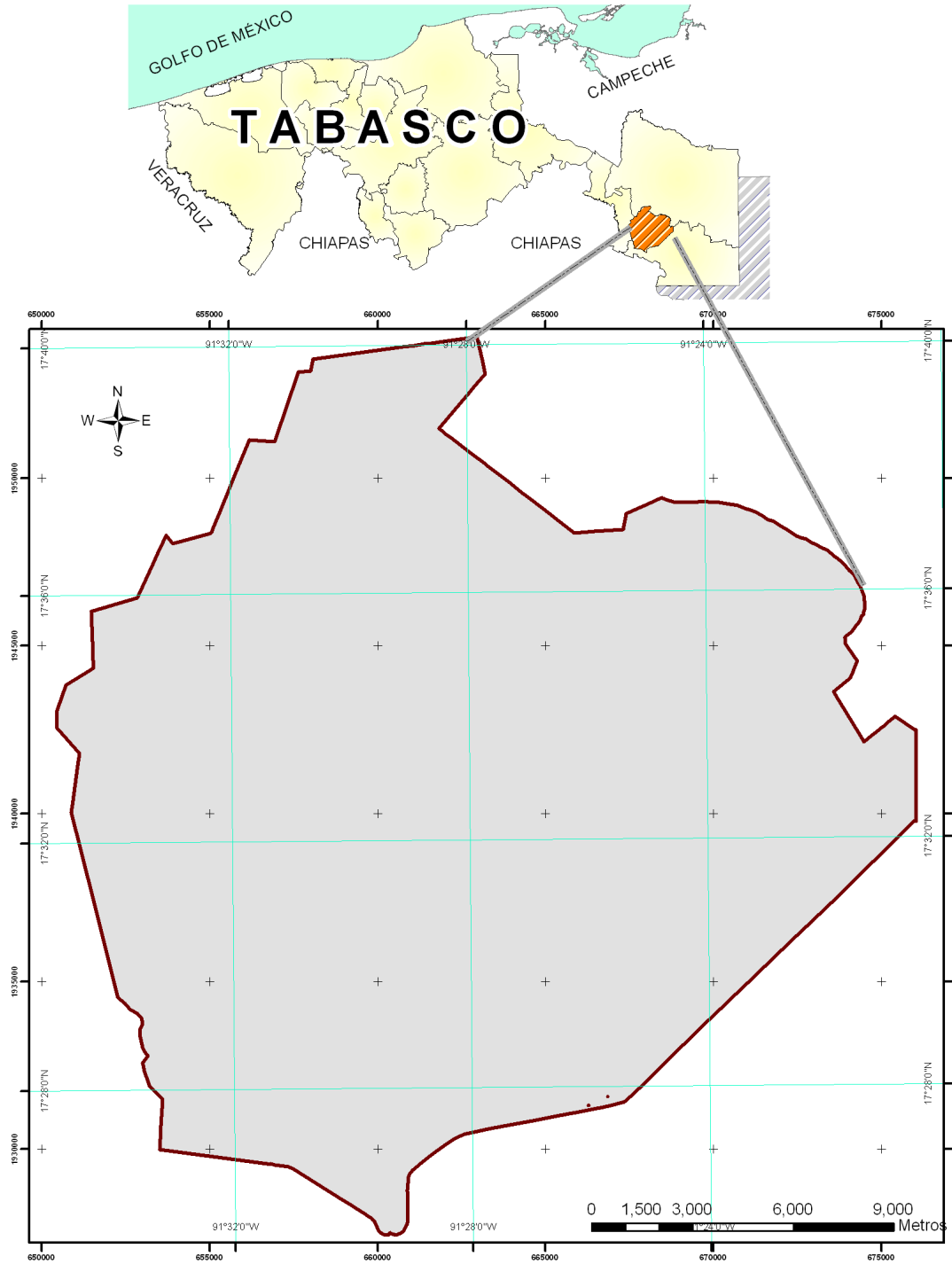


Figura 1. Localización del área de estudio

4.1. Descripción del área de estudio

Al área de estudio se localiza al centro-sureste del municipio de Tenosique en el estado de Tabasco con una superficie de 42,670 hectáreas (Figura 1). Colinda al norte con el municipio de Balancán, al sur con la Sierra de Tenosique, al este con la línea del ferrocarril y al oeste con el municipio de Emiliano Zapata. En el área se encuentran plantaciones de caña de azúcar, pastizales, cultivos anuales, palma de aceite y hortalizas, se ubica entre los 91° 35' 00" y 91° 20' 30" de Longitud Oeste y entre los 17° 25' 30" y los 17° 40' 10" de Latitud Norte.

4.1.1. Geomorfología

En el área de estudio se localizan según INEGI (2006) diferentes geoformas como son: lomerío, valle y llanuras. La mayor parte del área está cubierta por asociación de estas geoformas como son; lomeríos con llanos; lomeríos seguidos de llanura con inundación y valle de laderas tendidas con inundación. Palma-López *et al.* (2007), describen la zona fisiográfica mencionada como una serie de lomeríos de baja altitud entre 20 y 50 msnm, constituida por una antigua planicie fluvial erosionada, de manera que las corrientes erosivas han formado desniveles que le dan la forma de lomeríos al paisaje. Por su parte, Ortiz-Pérez *et al.* (2005) reportan tres tipos de regiones ecogeográficas en el área de estudio, una de ellas la define como terrazas o planicies estructurales que corresponden a antiguas terrazas costeras y marinas de fondo somero formadas por sedimentos del Terciario Medio de lutitas y areniscas; también menciona que la zona esta conformada por planicies tectónicas, son evidenciadas por la separación de los bloques en terraza, sus valles son amplios, de fondo plano y poco estables debido a la textura arenosa; la unidad ecogeográfica denominada como depresiones tectónicas de polevá, consiste de una fosa tectónica que se extiende desde el norte de Chiapas, en la cual el drenaje corre bordeando el flanco montañoso.

Lomeríos: Relieves que se originan por la disección de una planicie inclinada o por la erosión de montañas (Figura 2), de esta manera puede ser resultado directo de procesos endógenos que condicionan una acción erosiva.

Valles: forma negativa del relieve, equivalente a una depresión estrecha y alargada, formada esencialmente por procesos de depositación entre partes más altas que se erosionan.

Llanuras: Una llanura o planicie es una gran área geográfica plana o ligeramente ondulada menor a los 100 metros de altura sobre el nivel del mar (Lugo, 1989).

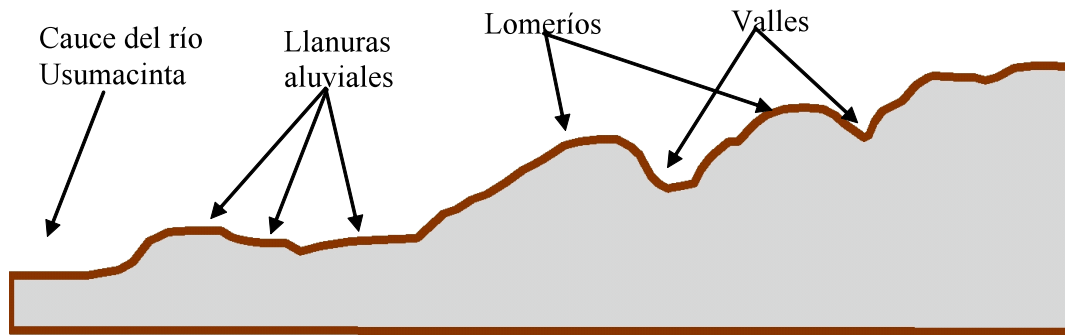


Figura 2. Diagrama descriptiva de relieves del área de estudio.

4.1.2. Geología y suelos

Los lomeríos del Terciario fueron originados a partir de roca caliza, lutitas, areniscas y conglomerados; con suelos sometidos a procesos erosivos que se fueron intemperizados para dar origen a suelos con altos contenidos de arena, ricos en aluminio y hierro (Palma-López, *et al.*, 2007). En las llanuras aluviales el material que dió origen a estos suelos según INEGI (2006) data del Cuaternario Reciente y consiste de suelos aluviales.

Los suelos de esta zona se clasifican dentro de varios grupos debido a la diversidad de relieves y materiales de depósito que presenta, entre los cuales

podemos encontrar Luvisoles, Cambisoles, Vertisoles, Leptosoles y Fluvisoles (Palma-López, *et al.*, 2002).

4.1.3. Clima

Según INEGI (2001), basado en la clasificación de E. García, en el área de estudio predomina un clima *Am (f)* calido húmedo con abundantes lluvias en verano, y teniendo como referencia la estación meteorológica de Tenosique la temperatura media anual oscila entre 24.5 °C y 28 °C, con una máxima de 38 °C en el mes de mayo y mínimas de 13.7 °C en el mes de febrero; la precipitación total anual fluctúa de 1500 a 3000 mm. Con un promedio de 2000 mm que se distribuye en los meses de Junio a Noviembre.

4.1.4. Vegetación

En la parte de lomeríos se encuentran pastizales cultivados y al este de la cabecera municipal dominan las áreas de agricultura temporal; en las llanuras aluviales podemos encontrar el cultivo de caña de azúcar (Spor toda la margen del río Usumacinta, también áreas considerables de vegetación hidrófila, agricultura nómada y vegetación secundaria en pocos casos (INEGI 2001).

El trabajo se realizó en dos fases bien marcadas, la primera a base de fotointerpretación y la segunda a base de los modelos digitales de elevación (Figura 3).

4.2. Elaboración de cartografía de suelos mediante el método convencional por fotointerpretación

La cartografía de suelos utilizando el método convencional se realizó en tres etapas, basado en lo propuesto de Ortiz-Solorio y Gutiérrez (1999): precampo, campo y postcampo.

4.2.1. Etapa de precampo

En esta etapa se realizó la colecta de los antecedentes del área de estudio como fueron, cartas topográficas, cartas geológicas, cartas de suelos, cartas de vegetación, cartas de hidrología, cartas de geomorfología escala 1:50,000, fotografías aéreas a escala 1:75000 del INEGI del año 2000 así como ortofotos digitales.

4.2.1.1. Recorrido de campo

Primero se realizó un recorrido al área de estudio para tener una visión panorámica de los elementos y características del paisaje como son; tipos de relieve, vegetación, uso del suelo y material geológico reportado por INEGI, que posteriormente se relacionó con tonos texturas, tamaño y formas de los elementos presentes en las fotografías aéreas al momento de fotointerpretar.

4.2.1.2. Fotointerpretación de fotografías aéreas

Esta técnica consistió en interpretar fotografías aéreas, en pares estereoscópicos, con el propósito de delimitar los tipos de relieve, primero las grandes geoformas del paisaje (llanura, lomerío, sierra) y luego los relieves menores en su interior (Ortiz y Gutiérrez, 1999), como llanura aluvial alta, llanura aluvial baja, llanura proluvial, valle, loma baja, loma alta, etc. Además se tomaron en cuenta las características de las fotografías como son tono, textura, forma, tamaño, etc., con el propósito de inducir y deducir su asociación con el relieve (Fernández, 2000).

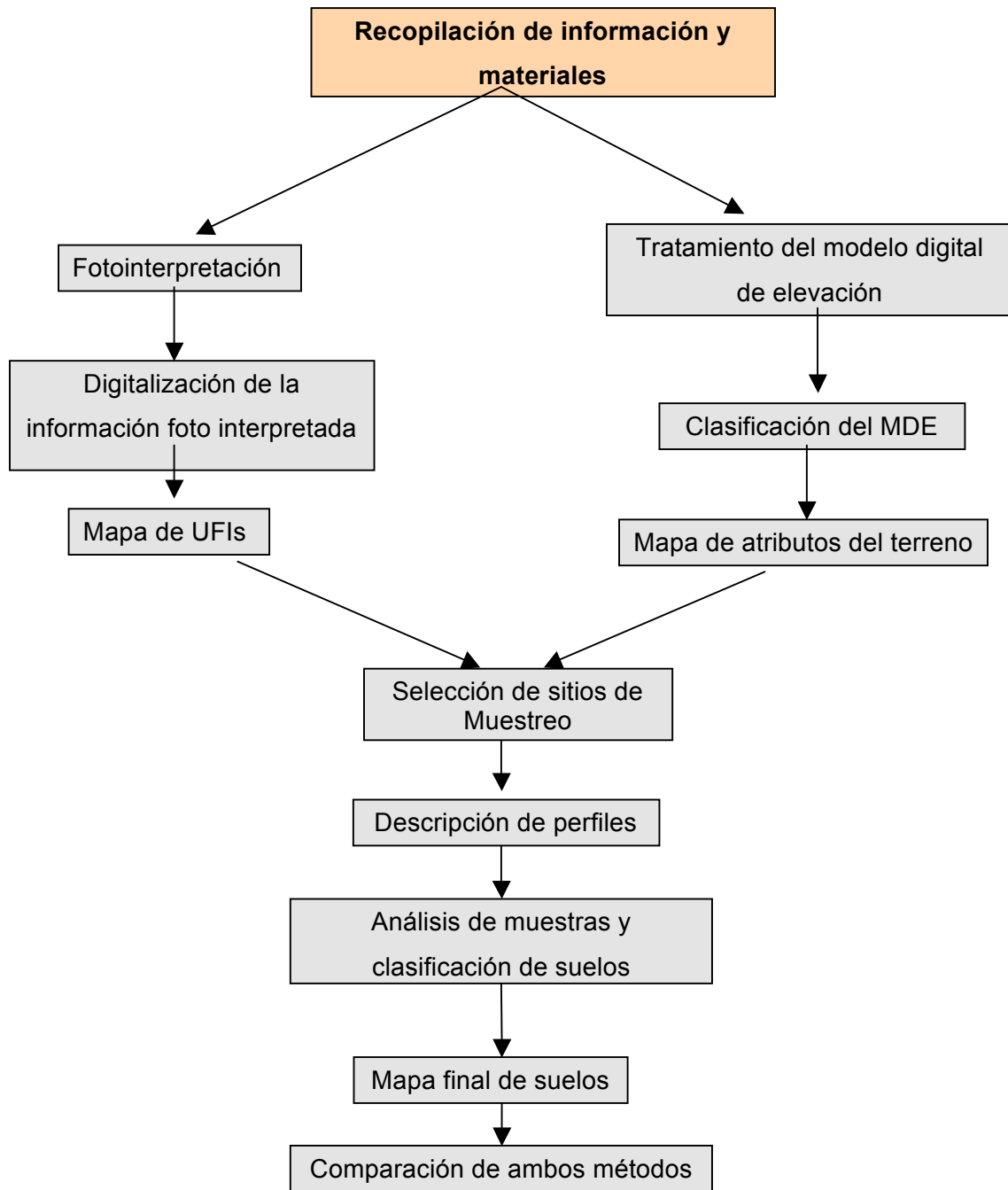


Figura 3. Secuencia de la metodología aplicada en la cartografía de suelos mediante fotointerpretación y MDE.

4.2.1.3. Rectificación y digitalización de información de fotografías aéreas

Este proceso consistió en el escaneo de la fotografías aéreas previamente fotointerpretadas, posteriormente importada al software de ArcGis 9.0 dándole coordenadas geográficas, comúnmente llamada georectificación, con 5 metros de error (RMSE = 3.0). Posteriormente se digitalizó en un formato vectorial (shape) como una capa, este formato es común en los software de los sistemas de información geográfica, para completar la base de datos de cada polígono de suelos.

4.2.1.4. Generación de mapa de unidades de fotointerpretación (UFI's)

Teniendo la información en formato digital se elaboró un mapa preliminar de suelos comúnmente llamado mapa de unidades de fotointerpretación (UFI's), en este mapa se vertió información de relieve, vías terrestres, ríos, lagunas, áreas urbanas y áreas erosionadas.

4.2.1.5. Selección de sitios de muestreo

El muestreo realizado fue mediante el método libre de acuerdo a la NOM023-SEMARNAT (2001) considerando como mínimo tres sitios de muestreo por unidad de fotointerpretación. En cada sitio se ubicaron puntos para realizar perfiles de suelos de 1.80 m de profundidad.

4.2.2. Etapa de Campo

4.2.2.1. Descripción de perfiles de suelo

Para la descripción de los suelos se utilizó el Manual de descripción de suelos de Cuanalo (1990), las etapas que contempla son las siguientes:

a) Identificación y localización

A cada uno de los perfiles se le asignó una identificación que distinga un perfil de los demás, en este caso fue un número junto con el nombre de la comunidad se

anotó la fecha de realización, la ubicación indicada por las coordenadas en UTM del punto y su elevación en msnm.

b) Información acerca del lugar

Uno de los aspectos tomados en cuenta es la forma del terreno que corresponde al factor relieve, debido que interviene en la formación del suelo, por lo tanto podemos inferir el tipo de suelo que se puede encontrar en estos sitios. A esta asociación se le conoce como toposecuencia.

Pendiente: Se refiere a la cuantificación del efecto de relieve en la formación del suelo, por lo general es el desnivel de la zona en que se encuentra el suelo.

Vegetación o uso de la tierra: En este apartado se describe el tipo de cultivo, o la vegetación natural existente en el área, el tipo de vegetación o ciertas especies, pueden ser indicadoras en cierto modo del tipo de suelo; a esta relación se le conoce como biosecuencia.

Clima: Se deduce de los datos proporcionados por las estaciones meteorológicas.

c) Información general acerca del suelo

- ✓ Drenaje del sitio
- ✓ Drenaje del perfil
- ✓ Material parental
- ✓ Flora cultivada
- ✓ Flora nativa

Posteriormente se continúa con la descripción morfológica del perfil de suelo.

d) Delimitación de horizontes

Se procede a diferenciar los horizontes presentes tomando en cuenta características físicas como son color, textura, estructura, porosidad,

pedregosidad, presencia de raíces, consistencia y la presencia de macroorganismos.

e) Toma de muestra para análisis

Se tomaron 2 kg aproximadamente de suelo por horizonte para su análisis en laboratorio.

4.2.2.2. Barrenaciones para la confirmación de extensión geográfica y linderos de suelos

La segunda fase de esta etapa consistió en barrenar para verificar extensión geográfica y linderos de los suelos. Se realizaron 60 muestreos de forma dirigida para la verificación de extensión geográfica de suelo confirmando que el suelo marcado en el mapa sea el verdadero en campo (precisión), y 70 para verificación de linderos de suelos (exactitud), estos últimos efectuados en forma de zig-zag sobre los linderos. Para este propósito se usó el criterio propuesto por Porta *et al.* (2003) donde la tolerancia de los límites es de 100 a 200 m para un levantamiento semidetallado; en otras palabras, el cambio de tipo de suelos se da en un rango de espacio reducido.

4.2.3. Etapa de Poscampo

Esta última etapa consistió en analizar 98 muestras de suelos con base a las especificaciones técnicas de muestreo y en acuerdo con la clasificación de suelos de SEMARNAT (2002), en su Norma Oficial Mexicana NOM-021-RECNAT-2000), que establece las especificaciones de fertilidad, salinidad y clasificación de suelos, las cuales han sido adaptadas por el laboratorio de suelos, plantas y aguas del Campus Tabasco.

4.2.3.1. Análisis de laboratorio

Los análisis que se realizaron a las muestras de suelos fueron las siguientes: Materia Orgánica (MO) por el método de Walkley y Black; pH mediante

potenciómetro en agua (relación 1:2) y pH medido en cloruro de potasio (relación 1:2.5); textura por el método del hidrómetro de Bouyucos, Conductividad eléctrica (CE) del extracto de saturación de un suelo por medición electrolítica (cationes y aniones solubles); Capacidad de Intercambio Cationico (CIC) y bases Intercambiables (Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ y K^+) empleando acetato de amonio 1N, a pH 7.0 como solución extractante, Fósforo (P) extractable por el procedimiento de Olsen; Acidez y Al intercambiables por el procedimiento de cloruro de potasio 1N. Para el caso de texturas no se siguieron las determinaciones recomendadas por normas internacionales si no que se tuvieron que ajustar a las condiciones del laboratorio de suelos del Campus, Tabasco.

4.2.3.2. Clasificación de suelos

Con los datos de laboratorio de los elementos y los datos de la descripción de perfil en campo, se clasificaron los suelos utilizando el sistema de clasificación que propone la Base Referencial Mundial del Recurso Suelo (WRB) en su versión en español de 2007.

4.2.3.3. Generación del mapa de suelos

Con base en la clasificación de las muestras de suelos se etiquetaron los polígonos con nombres de suelos a nivel de unidades, mediante software comercial Arc Gis 9.1, y se diseñó el mapa final de suelos.

4.2.3.4. Muestreo para verificación de extensión geográfica (precisión)

Con la finalidad de verificar las extensiones de cada uno de los polígonos ya clasificados y nombrados como subunidades de suelos, se realizaron tres barrenaciones para cada uno de los tipos de suelo comparando sus datos; para ello se seleccionaron las características pertenecientes a cada unidad, teniendo como requisito fundamental que fueran fáciles de identificar en el campo; se consideraron la textura, color, moteado, pedregosidad, profundidad y plasticidad por cada horizonte según la metodología propuesta por Porta *et al.* (2003). La

evaluación de la precisión se hizo en términos porcentuales, considerando los muestreos verídicos o erróneos. Los sitios de muestreo se seleccionaron en forma dirigida.

4.2.3.5. Muestreo para verificación de linderos de suelos (exactitud)

Con el propósito de evaluar la exactitud del mapa generado mediante fotointerpretación se verificaron 35 linderos mediante el muestreo simple, realizando 70 barrenaciones con una distancia de 100 metros entre ellas en cada sitio de muestreo; los resultados fueron porcentaje de linderos existentes y porcentaje de linderos inexistentes de acuerdo al mapa generado mediante ésta técnica.

4.3. Elaboración de cartografía de suelos utilizando un modelo digital de elevación (MDE)

El modelo digital de elevación se obtuvo del Instituto de Tecnología de California de los Estados Unidos de América (<ftp://e0srp01u.ecs.nasa.gov>). Con la ayuda del software ArcGis se recortó el MDE de acuerdo al área de estudio, con las características siguientes:

Proyección: UTM

Datum: WGS84

Tamaño de píxeles a cada 20 metros

4.3.1. Procesamiento del MDE en el Software GRASS versión 6.3

Se importó el MDE con la extensión de imagen (img). Posteriormente, en ambiente Grass 6.3, se trabajó con el comando análisis del terreno. Los parámetros relevantes utilizados fueron los siguientes: 0.05 en grados para la pendiente, 0.00002 para la curvatura, con un tamaño de ventana de procesamiento de 22 píxeles, exponente de la distancia de ponderación cero y factor de escala vertical 1.0. Con estos valores se generó la clasificación del

modelo digital de elevación en la cual se obtuvieron tres atributos que fueron planicie, valles y lomas.

4.3.2. Obtención del mapa preliminar de suelos (atributos del terreno) mediante el uso de Modelo Digital de Elevación

Mediante el software ArcGis 9.1 se realizó la sobreposición del mapa geológico del área de estudio tomado de INEGI (2001) y el modelo digital de elevaciones previamente clasificado generando un mapa preliminar de suelos similar al de geomorfología generada por fotointerpretación, se corroboró con los datos de campo utilizando la misma información de los perfiles descritos en el trabajo mediante fotointerpretación correlacionando los datos de relieve, así como los datos obtenidos en laboratorio.

4.3.3. Generación del mapa de suelos

Terminada la verificación en campo se concluyó con la corrección final de la cartografía de los tipos de suelos, los cuales se correlacionan con las unidades de la misma.

4.3.4. Edición de cartografía de suelos

La edición del mapa final se realizó a escala 1:50.000, mediante el programa ArcGis 9.1.

4.3.5. Muestreo para verificación de extensión geográfica (precisión)

Con el objetivo de evaluar extensiones geográficas que en nuestro caso se le denomina precisión del mapa, se realizaron tres barrenaciones para cada uno de los tipos de suelo comparando sus datos (textura, color, moteado, pedregosidad, profundidad, plasticidad por cada horizonte) con los perfiles realizados con anterioridad, según la metodología propuesta por Porta *et al.* (2003) y se evaluó en términos porcentuales, es decir el porcentaje total de muestreos realizados verídicos o erróneos de acuerdo al mapa generado mediante los MDE.

4.3.6. Muestreo para verificación de linderos de suelos (exactitud)

Con el propósito de evaluar la exactitud del mapa generado mediante MDE se verificaron 35 linderos realizando 70 barrenaciones comparando sus datos (textura, color, moteado, pedregosidad, profundidad, plasticidad entre otros por cada horizonte) con los perfiles realizados con anterioridad, con una distancia de 100 metros entre ellas en cada sitio de muestreo; los resultados fueron porcentuales, porcentaje de linderos existentes y porcentaje de linderos inexistentes de acuerdo al mapa generado mediante ésta técnica, los muestreos fueron de forma dirigida.

4.3.6. Comparación de la exactitud y la precisión.

Para este apartado del trabajo se utilizó la metodología propuesta por Lleverino *et al.* (2000), en la cual el análisis de los resultados se realizó en forma discreta, es decir, con un sí o un no, error o acierto y calculando el porcentaje de aciertos, tanto para la precisión como para la exactitud del mapa.

V. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

5.1. Levantamiento de suelos por el método convencional

5.1.1. Geomorfología

Se obtuvieron 15 tipos de unidades de fotointerpretación (UFIs) distribuidas en 181 polígonos, mismas que se les llamó geoformas, destacando los lomeríos altos de areniscas por su gran extensión con cerca de 19 mil hectáreas que equivale a 39.1 % de la superficie total seguidos de las llanuras aluviales con 20.6 % y los valles erosivos con un 8.6 % de área total (Figura 4 y Cuadro 1).

Cuadro 1. Unidades geomorfológicas del área de estudio

Geomorfología	Clave	Superficie	
		ha	%
Llanura aluvial alta	LLAA	3385.1	7.1
Llanura aluvial media	LLAM	2195.9	5.2
Llanura aluvial baja y muy baja	LLAB	3185.3	7.5
Llanura proluvial	LLP	966.7	2.3
Loma alta caliza	LACZ	2370.4	5.6
Loma alta conglomerado	LACG	900.6	2.1
Loma alta de arenisca	LAAR	18888.9	43.9
Loma media de arenisca	LMAR	555.9	1.3
Loma baja de arenisca	LBAR	2218.8	5.2
Lomerío cárstico	LCR	477.4	1.1
Valle erosivo	VE	3666.8	8.6
Zona urbana	ZU	299.1	0.7
Cuerpos de agua	CA	3375.3	3.2
Zona erosionada	ZE	19.7	0.05
Total		42669.45	100

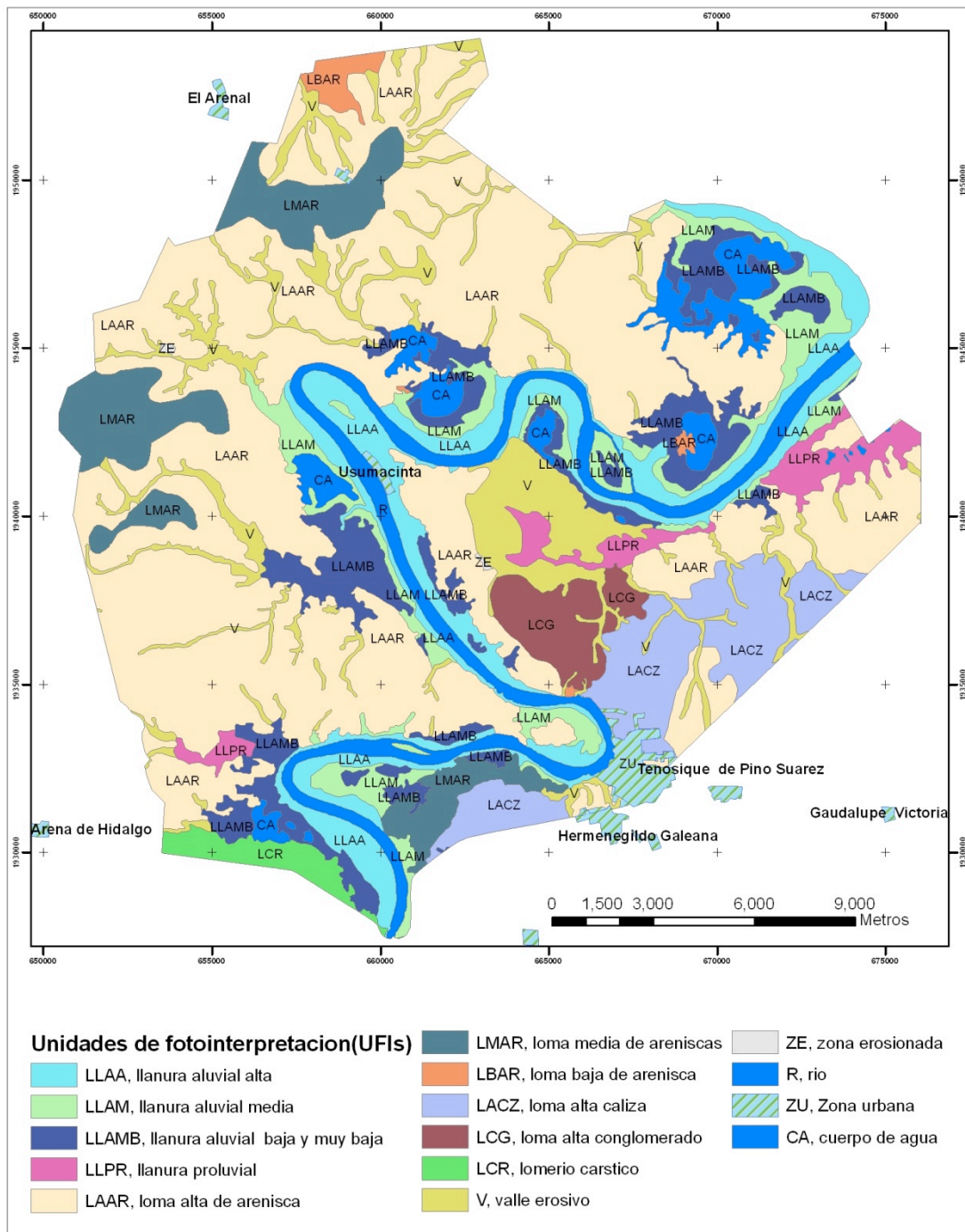


Figura 4. Unidades geomorfológicas encontradas en el área de estudio

El Cuadro 2 explica los procesos, el agente, la localización y los posibles suelos a encontrarse en cada una de la geoformas identificadas.

Cuadro 2. Unidades geomorfológicas y suelos del área de estudio

Unidades geomorfológicas	Procesos geomorfológicos	Agentes formadores	Localización	Suelos
Llanura aluvial alta	Por arrastres y deposiciones de materiales sedimentarios provenientes de lutitas, calizas y areniscas intemperizadas en el Cuaternario	Agua: inundaciones fluviales	Paralelamente al cauce del río Usumacinta y del río Polevá, con pendientes menores de 1 %	Fluvisoles Cambisoles
Llanura aluvial media	Por arrastres y deposiciones de materiales sedimentarios muy finos del Cuaternario	Agua: inundaciones y vegetación	Depresiones inundadas con vegetación arbórea con pendientes menores de 1 %	Vertisoles
Llanura aluvial baja y muy baja	Por arrastres y deposiciones de materiales sedimentarios muy finos (pantano)	Agua: inundaciones y vegetación	Depresiones inundadas con vegetación Hidrófila con pendientes menores a 1 %	Gleysoles
Llanura proluvial	Por arrastres y deposiciones de materiales sedimentarios muy finos	Agua: inundaciones Vegetación	Depresiones entre lomas inundadas con vegetación arbórea	Cambisoles Gleysoles
Loma alta caliza	Por intemperismo y erosión de material calcáreo datan en su mayoría del periodo Terciario	Agua: inundaciones Vegetación, erosión intemperismo	Alturas sobre el nivel del mar entre 30 y 50, pendientes variables entre 20° y 40°	Leptosoles
Loma alta conglomerado	Por depositaciones antiguas y por la erosión hídrica del periodo Terciaria	Agua: inundaciones, erosión por arroyos	En geoformas de colinas y lomeríos con pendientes de 30 a 40%	Leptosoles
Loma alta de arenisca	Por depositaciones aluviales antiguas que datan en su mayoría del Cuaternario Mioceno	Agua: inundaciones, vegetación, erosión por arroyos temporales y permanentes	En colinas y lomeríos con pendientes variables	Ferralsoles Lixisoles Luvisoles
Loma media de arenisca	Por depositaciones aluviales antiguas que datan en su mayoría del Cuaternario Mioceno	Agua: inundaciones Vegetación, erosión por arroyos	Elevaciones menores de 50 metros y pendientes que oscilan entre 6 a 10 %	Ferralsoles

Zavala et al. (2003)

Continuación del Cuadro 2.

Loma baja de arenisca	Por deposiciones aluviales antiguas de areniscas que datan en su mayoría del Terciario mioceno	Agua: inundaciones Vegetación, erosión	Elevaciones menores de 30 metros y pendientes que oscilan entre 5 a 15 %	Ferralsoles
Lomerío cárstico	Intemperismo <i>in situ</i> del material calcárico que conforma el carts del Terciario Paleoceno	Vegetación, erosión intemperismo	Se encuentran en los relieves convexos que presentan declives de moderado a fuertes al sur del área de estudio	Leptosoles
Valle erosivo	Por acumulación de material proveniente de las laderas interfluviales erosionadas	Agua Vegetación acumulación	Depresiones entre lomas	Gleysoles
Zona urbana	Asentamientos humanos	El urbanismo	Se localizan en las partes altas a orillas del río Usumacinta	
Cuerpos de agua	Acumulación sedimentos finos y materiales orgánicos por ríos y arroyos en lagunas perennes e intermitentes	La hidrología	En las partes más bajas	
Zona erosionada	Erosión antrópica en bancos de arena	La extracción de materiales	No existe un patrón de localización	

Zavala *et al.* (2003)

Como se mencionó anteriormente, el área de estudio comprende en su mayoría geoformas conformadas por lomeríos de areniscas, calizas y de conglomerados (Cuadro 1 y Figura 4) las cuales son utilizadas como praderas cultivadas con pastos nativos como es el remolino (*Paspalum notatum*) e introducidos como las Brachiarias, con pendientes variables, las cuales son disectadas por la presencia de corrientes que derivan en arroyos y arroyuelos, que en la mayor parte de los

casos son permanentes, en este caso llamados como valles erosivos cubiertos de árboles perennes y acahuales.

Las llanuras aluviales se derivan de sedimentos aluviales acumulados por el río Usumacinta en el Cuaternario Reciente. En la Llanura aluvial alta y media el uso principal es agrícola, aunque también podemos encontrar huertos frutales, cultivos de caña de azúcar (*Saccharum officinatum*), cultivos anuales y un menor porcentaje de pastizales. Para el caso de las Llanuras aluviales bajas y muy bajas, su uso principal es pastizal inducido a base de especies nativas tolerantes a la inundación y vegetación hidrófila.

Las Llanuras proluviales generalmente son depresiones que se encuentran inundadas, excepto en la época de estiaje, en las cuales predomina la vegetación arbórea de tinto y matorral espinoso, en tiempo de estiaje son utilizados para cultivos anuales y pastizales. Es formada por material arcilloso con alto contenido de materia orgánica en descomposición, es de color negro con olor fétido.

Los lomeríos conglomerados son depósitos de rocas sedimentarias de origen continental del Cuaternario, constituidas por gravas subredondeadas de caliza y arenisca, en una matriz arcillosa pobremente cementada por caliche (INEGI, 2002), morfológicamente ésta representada por pequeños montículos que apenas sobresale de la planicie. También se localizan lomeríos de areniscas las cuales están constituidas por areniscas pobremente cementadas, que tienen fragmentos de roca, cuarzo y feldespatos. Las areniscas se depositan en ambiente mixto (continental y marino), las localizadas cerca de la serranía son de grano medio a fino y las que se encuentra al norte son de grano grueso, de color pardo, amarillo y rojizo, en algunos sitios presentan estratificación, el intemperismo es profundo y es integrante de las formaciones del Mioceno, el uso principal es pastos nativos e introducidos.

Lomeríos de caliza son unidades del Cretácico Superior constituidas por rocas carbonatadas depositadas en un ambiente marino, es de color gris oscuro y crema, es fosilífera y está fuertemente fracturada debido a la disolución, subyace concordantemente a las rocas del Paleoceno, su morfología es de terrazas con

desarrollo cárstico (INEGI, 2002). Se puede observar cultivos de caña de azúcar (*Saccharum officinarum*), cultivos anuales y perennes.

Lomerío cárstico, éstas geoformas se localizan al sur del área de estudio, en transición con la Sierra de Tenosique, son suelos formados mediante intemperismo de la roca caliza del Terciario en la cual la parte más baja está cultivada con caña de azúcar (*Saccharum officinarum*), una pequeña parte de pasto nativo y en su mayoría ocupadas con vegetación natural como son los acahuals, la zona urbana, así mismo se resalta con más del 3 % del área por cuerpos de agua principalmente del río Usumacinta y el río Polevá y una pequeña parte de zona erosionada; en éstas áreas hay bancos de tierra o arena que se utiliza para rellenos en los asentamientos humanos o caminos en los márgenes del río Usumacinta que comúnmente en épocas de lluvia y de norte son afectados por las inundaciones.

5.2. Grupos y unidades de suelos

Los suelos dominantes por su extensión dentro del área de estudio corresponden principalmente a los Ferralsoles, Luvisoles, Gleysoles y Leptosoles (Figura 5 y Cuadro 2). Como característica general son suelos con texturas arcillosas, algunos con materiales calcáreos y otros suelos de colores rojizos derivados del intemperismo de las rocas de forma *in situ*; en las partes bajas entre lomeríos se localizan los suelos inundables con propiedades gléyicas y en la parte de la sierra y lomeríos calcáreos existen suelos pedregosos y someros originados por una antigua planicie fluvial erosionada de manera que las corrientes erosivas han formado desniveles que le dan la forma de lomeríos al paisaje; también están los suelos de origen aluvial cuya génesis está determinada por los desbordamientos del río Usumacinta.

Los suelos del área de estudio en general presentan buenos contenidos de bases intercambiables, potencialmente tienen buen contenido nutricional, sin embargo,

cada uno de ellos debe ser analizado de manera particular para entender su dinámica y problemática.

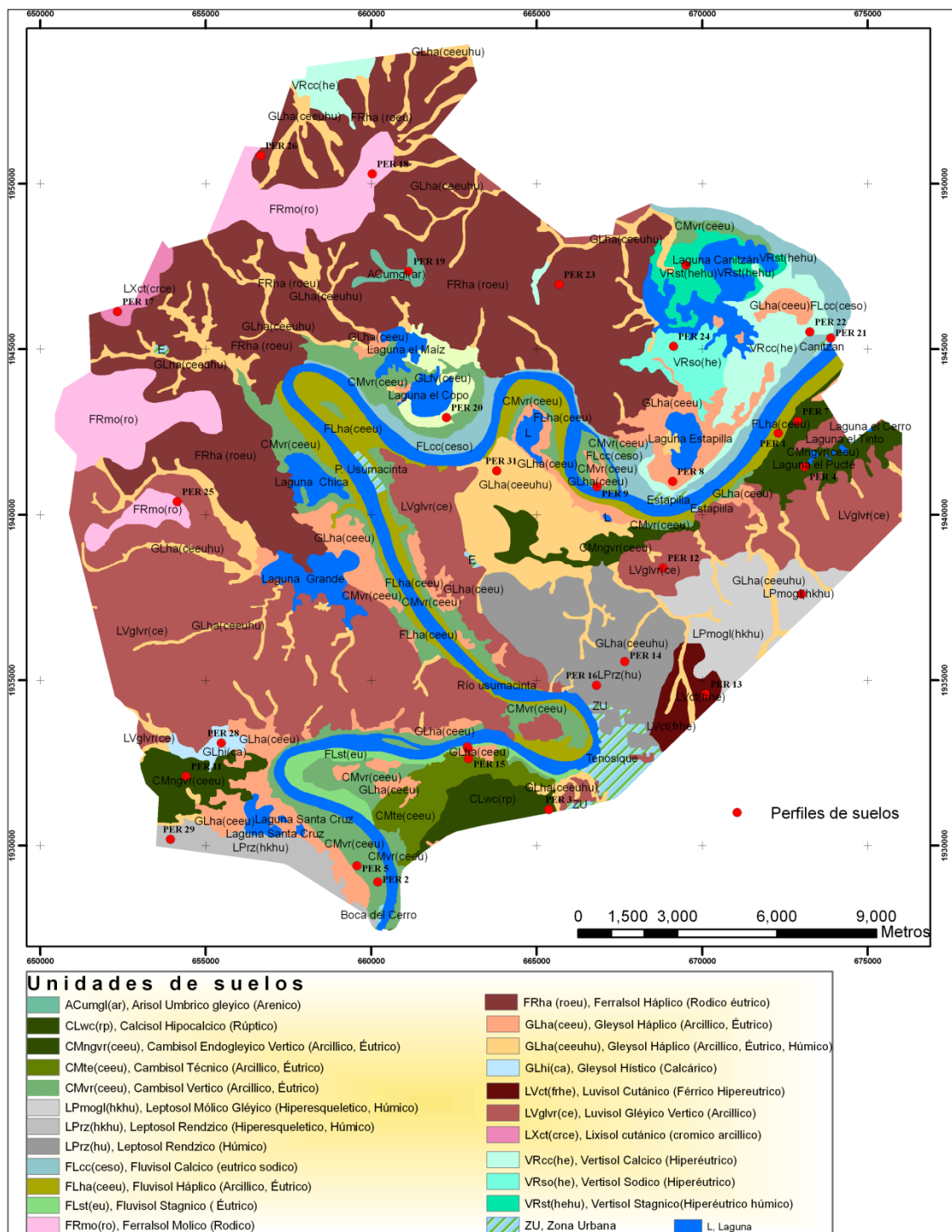


Figura 5. Distribución de los suelos del área de estudio Utilizando fotointerpretación

Cuadro 3. Suelos del área de estudio mediante fotointerpretación.

Grupo Mayor	Suelo	Clave	Geomorfología	Superficie	
				ha	%
Ferralesoles	Ferralesoles Háplicos (Ródicos Éútricos)	FRha(roeu)	Loma alta de areniscas	8901.8	20.9
	Ferralesoles Mólicos (Ródicos)	FRmo(ro)	Loma alta de areniscas	2031.2	4.8
Luvisoles	Luvisoles Gléyicos Vérticos (Arcílicos)	LVglvr (ce)	Loma media de areniscas	8005.1	18.8
	Luvisoles Cutánicos (Férricos Hiperéútricos)	LVct(frhe)	Loma baja de areniscas	315.1	0.7
Gleysoles	Gleysoles Háplicos (Arcílicos, Éútricos, Húmicos)	GLha(ceeuu)	Valle erosivo, Llanura aluvial muy baja	3661.0	8.6
	Gleysoles Háplicos (Arcílicos, Éútricos)	GLha(ceeu)	Valle erosivo, Llanura aluvial muy baja	2285.6	6.0
	Gleysoles Hísticos (Calcáricos)	GLhi(ca)	Valle erosivo, Llanura aluvial muy baja	130.3	0.3
Cambisoles	Cambisoles Vérticos (Arcílicos, Éútricos),	CMvr (ceeu)	Llanura aluvial alta	2456.5	5.8
	Cambisoles Endogléyicos Vérticos (Arcílicos, Éútricos),	CMngvr (ceeu)	Llanura proluvial	1384.7	3.3
	Cambisoles Técnicos (Arcílicos, Éútricos),	CMte(ceeu)	Llanura aluvial alta	555.9	1.3
Leptosoles	Leptosoles Réndzicos (Húmicos)	LPrz(hu)	Loma baja de caliza	1764.6	4.2
	Leptosoles Mólicos Gléyicos (Hiperesqueléticos, Húmicos)	LPmogl(hkhu)	Loma media de areniscas	1074.4	2.5
	Leptosoles Réndzicos (Hiperesqueléticos, Húmicos)	LPrz(hkhu)	Loma media de caliza	477.0	1.1
Fluvisoles	Fluvisoles Háplicos (Arcílicos, Éútricos)	FLha(ceeu)	Llanura aluvial alta	1349.4	3.2
	Fluvisoles Stágnicos (Éútricos)	FLst(eu)	Llanura aluvial alta	287.7	0.7
	Fluvisoles Cálricos (Éútricos Sódicos)	FLca(euso)	Llanura aluvial alta	981.9	2.3
Vertisoles	Vertisoles Cálricos (Hiperéútricos)	VRcc(he)	Llanura aluvial media	990.7	2.3

Continuación del Cuadro 3.

	Vertisoles Sódicos (Hiperéutricos)	VRso(he)	Llanura aluvial baja	410.6	0.9
	Vertisoles Stágnicos (Hiperéutricos Húmicos)	VRst(hehu)	Llanura aluvial muy baja	385.8	0.9
Acrisoles	Acrisoles Úmbricos Gléyicos (Arénicos)	ACumgl(ar)	Loma media de arenisca	102.4	0.2
Calcisoles	Calcisoles Hipocálcicos (Rúpticos)	CLwc(rp)	Loma alta de caliza	432.0	1.0
Lixisoles	Lixisoles cutánicos (Crómicos Arcílicos)	LXct(crce)	Loma baja de arenisca	143.4	0.3
	Zona Urbana	Z.U.		389.5	0.9
	Cuerpos de Agua	C.A.		3659.3	8.6
	Zonas Erosionadas	Z.E.		19.7	0.05
Total				42669.45	100

A continuación se describen cada uno de ellos:

5.2.1. Grupo Ferralsoles (FR)

Son suelos que tienen un horizonte ferrálico que comienza dentro de 150 cm de la superficie del suelo, es decir que presenta un horizonte muy intemperizado de textura franco arenosa o mas fina, que tiene una CIC menor de 16 cmol (+) kg⁻¹ de arcilla y un espesor de al menos 30 cm (IUSS *et al.*, 2007).

Estos suelos se localizan al norte del área de estudio en los lomeríos (Figura 5), suelos originados de material arenisca comúnmente bajo cultivo de pastos como el humidicola (*Brachiaria huimidicola*) así como cultivo de maíz (*Zea mays*), sorgo y una pequeña parte de palma de aceite (*Elaeis guineensis*) (Salgado *et al.*, 2008).

5.2.1.1. Unidad Ferralsoles Háplicos (Ródicos Éutricos) FRha(roeu)

Son suelos que presentan un horizonte subsuperficial ferrálico, el cual resulta de la meteorización intensiva y prolongada, en donde la fracción arcilla está dominada por arcillas de baja actividad, y las fracciones limo y arena por

minerales altamente resistentes, tales como óxidos hidratados de hierro, aluminio manganeso y titanio; tienen una saturación con bases de 50 % o más en la mayor parte entre los 20 y 100 cm de la superficie del suelo (Éutrico); y dentro de 150 cm de la superficie del suelo tienen una capa subsuperficial de 30 cm o más de espesor, con hue Munsell 2.5 YR o más rojo, un value, húmedo, menor de 3.5 y un value, seco, no más de una unidad mayor que el value húmedo (Ródico) (IUSS *et al.*, 2007). Estos suelos se localizan en los lomeríos altos con más de 20% del área total (PERFIL CLAVE 23).

5.2.1.2. Ferralsoles Mólicos (Ródicos) FRmo(ro)

Son suelos que presentan un horizonte subsuperficial ferrálico la principal característica de estos suelos es que tienen un horizonte superficial Mólico, el cual es de color muy oscuro, tiene alta saturación con bases, de moderado a alto contenido de materia orgánica y un contenido de Carbono Orgánico de 0.6 % o más; y dentro de 150 cm de la superficie del suelo tienen, una capa superficial de 30 cm o más de espesor, con hue Munsell 2.5 YR o más rojo, un value, húmedo, menor de 3.5 y un value, seco, no más de una unidad mayor que el value húmedo (Ródicos) (IUSS *et al.*, 2007). (PERFIL CLAVE 18).

5.2.2. Grupo Luvisoles (LV)

Son suelos que tienen un horizonte árgico con una CIC de 24 cmol(+) kg⁻¹ arcilla o más en todo el espesor o hasta una profundidad de 50 cm debajo de su límite superior ya sea comenzando dentro de los 100 cm de la superficie del suelo, los colores dominantes son rojizos. Los Luvisoles tienen arcillas de alta actividad en todo el horizonte árgico y alta saturación de bases a ciertas profundidades (Palma-López, *et al.*, 2007; IUSS *et al.*, 2007). Se ubican en lomeríos medios y bajos de areniscas (Figura 5).

Estos suelos en su mayoría están cultivado con pastos introducidos y nativos, una pequeña parte con maíz (*Zea mays*), frijol (*Phaseolus vulgaris*), yuca (*Manihot sculenta*) y palma de aceite (*Elaeis guineensis*) (Salgado *et al.*, 2008).

5.2.2.1. Luvisoles Gléyicos Vérticos (Arcílicos) LVglvr(ce)

Es la unidad de suelo dominante por extensión en el área de estudio, además de reunir las características del grupo mayor de los Luvisoles, tienen dentro de 100 cm de la superficie del suelo mineral, una capa de 25 cm o más de espesor que tiene condiciones reductoras en algunas partes y un patrón de color gléyico en todo el espesor. Los suelos desarrollan un patrón de color gléyico si están saturados con agua freática (o estuvieron saturados en el pasado, si ahora están drenados), por un período que permita la ocurrencia de condiciones reductoras, evidenciados por colores grises en ocasiones con moteados pardos, debido a la presencia de hierro. Además, estos suelos se caracterizan por presentar características vérticas, mantienen un contenido de más de 30% de arcilla en un espesor mayor a 50 cm y presentan caras de deslizamiento (IUSS *et al.*, 2007) (PERFIL CLAVE 12).

5.2.2.2. Luvisoles Cutánicos (Férricos, Hiperéutricos) LVct(frhe)

Estos Luvisoles se caracterizan por presentar revestimientos de arcilla en algunas partes del horizonte árgico dentro de los 100 cm desde la superficie del suelo, así mismo con presencia de un horizonte Férrico, el cual es un horizonte donde la segregación de Fe, y manganeso (Mn), ha tenido lugar a tal grado que se forman grandes moteados amarillentos y/o rojizos y nódulos discretos de Fe de tal forma que la matriz entre moteados y entre nódulos está muy empobrecida en Fe. También se caracterizan por presentar una saturación de bases mayor a 80 % dentro de al menos una capa en los primeros 70 cm (IUSS *et al.*, 2007) (PEFIL CLAVE 13).

5.2.3. Grupo Gleysoles (GL)

Son suelos minerales que tienen dentro de 50 cm de la superficie una capa de 25 cm o más de espesor que muestra condiciones reductoras en algunas partes y un patrón gleyico en todo el espesor, están saturados con agua freática por períodos suficientemente largos para desarrollar un patrón de color gléyico característico.

Este patrón está esencialmente conformado por colores rojizos, parduzcos o amarillentos en la cara de los agregados y en la capa o capas superficiales del suelo, en combinación con colores grisáceos/azulados en el interior de agregados y en lo más profundo del suelo (IUSS *et al.*, 2007). Este grupo de suelos ocupa el tercer lugar dentro del área de estudio por su extensión, distribuyéndose en las Llanura aluviales bajas y muy bajas en los valles erosivos y algunas veces en los lomeríos bajos (Figura 5).

Estos suelos en época de secas (meses de marzo, abril y mayo) son utilizados para cultivos de maíz (*Zea mays*) y frijol (*Phaseolus vulgaris*), además una gran parte están ocupados con pastos tolerantes a condiciones de anegamiento (Salgado-García *et al.*, 2008).

5.2.3.1. Gleysoles Háplicos (Arcílicos, Éutricos, Húmicos) GLha(ceeuu)

Son Gleysoles con un desarrollo simple de horizontes que no permite adicionarle un calificador de primer orden, únicamente los calificadores de segundo orden, donde se definen como húmicos por el alto contenido de materia orgánica que acumulan estos suelos por encontrarse en condiciones de inundación la mayor parte del año, pero sobre todo por el tipo de vegetación hidrófila que aporta grandes cantidades de materia orgánica, la cual se acumula por las condiciones de anaerobiosis. Presentan además una saturación de bases mayor al 50% y textura arcillosa, en la mayor parte del perfil (Salgado-García, *et al.*, 2008). De los suelos Gleysoles éste es el que predomina con 8.6% del área total (IUSS *et al.*, 2007). (PERFIL CLAVE 31).

5.2.3.2.- Gleysoles Háplicos (Arcílicos, Éutricos) GLha(ceeu)

Son Gleysoles con un desarrollo simple de horizontes que no permite adicionarle un calificador de primer orden, por lo que califican únicamente como Háplicos y como calificadores de segundo orden arcílico y éutrico debido que estos suelos son de textura arcillosa dominante y con una saturación de bases mayor al 50% en todo el suelo, predomina con mas del 5% del área total las cuales se localizan

en los valles erosivos y en las llanuras muy bajas (IUSS *et al.*, 2007) (PERFIL CLAVE 8).

5.2.3.4. Gleysoles Hísticos (Calcáricos) GLhi(ca)

Son los Gleysoles que tienen un horizonte Hístico que comienza dentro de los 40 cm desde la superficie del suelo y que consiste de material orgánico pobremente aireado. Son suelos que están saturados con agua por 30 días consecutivos o más en la mayoría del año y deben tener 20% o más de carbono orgánico (IUSS *et al.*, 2007). También son suelos calcáricos, ya que presentan carbonato de calcio secundario entre 20 y 50 cm desde la superficie del suelo, corroborada en campo por la reacción de este material con efervescencia al HCl al 10%. Este tipo de suelos predomina un 0.3% del área total las cuales se localizan en los valles erosivos y en las llanuras aluviales muy bajas (PERFIL CLAVE 28).

5.2.4. Grupo Cambisoles (CM)

Son suelos que tienen un horizonte Cámbico que comienza dentro de 50 cm de la superficie del suelo (IUSS *et al.*, 2007). Se pueden localizar principalmente en llanuras aluviales altas o bajas cercanas a ríos de la zona y en llanuras proluviales entre lomeríos de areniscas. La transformación del material parental es evidente por la formación de estructura y la decoloración del suelo tornándose de color parduzco o amarillento, además del ligero incremento en el porcentaje de arcilla, y/o remoción de carbonatos. Presentan un ligero desarrollo en sus horizontes, tienen un horizonte B cámbico, se presentan como suelos intermedios entre los grupos mayores de suelos mas desarrollados y los grupos de suelos jóvenes como los Fluvisoles. Estos suelos abarcan más del 10% del área total.

Los Cambisoles son suelos que se encuentran en un estado de transición o evolución pedogenética. De ahí que los calificadores sean muy importantes ya que denotan características y propiedades que podrían ubicarlos dentro de otro grupo mayor de suelos pero debido a que los horizontes están en proceso de formación solo llegan a manifestarse como propiedades ó materiales de

diagnóstico (Salgado-García *et al.*, 2008). En estos suelos predomina una gran diversidad de cultivos tanto anuales como perennes, destacando los cultivos de caña de azúcar (*Saccharum officinarum*), plátano (*Musa paradisiaca*), cítricos, maíz (*Zea mays*), frijol (*Phaseolus vulgaris*), pasto estrella (*Cynodon plectostachyus*), en pequeña proporción las plantaciones forestales, las hortalizas, árboles frutales, y aún sustentan relictos de bosque de encino en algunas partes. Comúnmente estos suelos se localizan en las llanuras aluviales altas y llanuras proluviales; las primeras se distinguen fácilmente en las márgenes del río Usumacinta y es en éstas zonas en las que los pobladores están asentados (PERFIL CLAVE 5)

5.2.4.1. Cambisoles Endogléricos Vérticos (Arcílicos, Éutricos) CMngvr (ceeu)

Estos Cambisoles tienen como primer calificador Vértico, lo cual se refiere a suelos con propiedades vérticas, donde el requisito es tener 30% o más de arcilla en al menos 25 cm de grosor, con caras de deslizamiento ó agregados en forma de cuña, ó grietas que se abren y cierran periódicamente. Este calificador Vértico permite inferir que son suelos que están cambiando y presentan propiedades de un Vertisol sin llegar a serlo. El calificador Endoglérico, significa que en alguna parte entre 50 y 100 cm presenta una capa de 25 o más de espesor que tiene condiciones de reducción y un patrón de color glérico, lo cual se origina en suelos donde el manto freático se mantiene elevado durante un periodo del año y los procesos de reducción de hierro confieren un moteado. Como calificadores de segundo orden estos suelos son Arcílicos, debido a que presentan textura arcillosa en una capa de 30 cm o más de espesor, dentro de 100 cm de la superficie del suelo (IUSS *et al.*, 2007). y tienen un porcentaje de saturación de bases (PSB) de 50% ó más en la mayor parte entre 20 y 100 cm desde la superficie del suelo, que le da el calificador de Éutrico (PERFIL CLAVE 11).

5.2.4.2. Cambisoles Vérticos (Arcílicos, Éutricos) CMvr(ceeu)

Estos Cambisoles son semejantes a los anteriores, con la única diferencia que no tienen problemas de reducción de hierro, sin problemas de drenaje y como principal limitante presenta altos contenidos de arcilla que en época de seca los vuelven muy duros, pero bien manejados son suelos con buenos contenidos nutrimentales, con un PSB de 50% ó más en la mayor parte entre 20 y 100 cm desde la superficie del suelo (IUSS *et al.*, 2007) (PERFIL CLAVE 2).

5.2.4.3. Cambisoles Técnicos (Arcílicos, Éutricos)

Son los Cambisoles que tienen 10 por ciento o más de artefactos en los primeros 100 cm desde la superficie del suelo ó una capa cementada o endurecida, por lo que adquieren el calificador Técnico, en estos suelos se observaron restos de material gravoso y material endurecido de origen antrópico. Con textura arcillosa y una saturación con bases de 50 por ciento o más por lo menos entre 20 y 100 cm desde la superficie del suelo. Se localizan en las llanuras aluviales altas con una superficie de 1.3 % del área total (IUSS *et al.*, 2007). (PERFIL CLAVE 15).

5.2.5. Grupo Leptosoles (LP)

Son suelos muy someros formados sobre roca continua dentro de los 25 cm de la superficie del suelo (IUSS *et al.*, 2007) ó suelos extremadamente gravosos y/o pedregosos, que descansan sobre roca o material altamente calcáreo, genéticamente se consideran jóvenes y la evidencia de formación esta normalmente limitada a un horizonte A delgado sobre un horizonte B incipiente o directamente sobre un horizonte C ó material parental poco alterado. El principal proceso de formación de estos suelos es la disolución y subsecuente remoción de carbonatos. Los Leptosoles pueden estar ubicados en lomeríos calcáreos y sierras cársticas (Figura 5), mayormente están cultivados con pastos, tanto nativos como remolino (*Paspalum notatum*), grama amarga (*Paspalum Congugatum*), y los introducidos del genero *Brachiaria* principalmente.

5.2.5.1. Leptosoles Réndzicos (Húmicos) LPrz(hu)

Son los Leptosoles que adquieren el calificador de Réndzico como característica de primer orden por que tienen un horizonte mólico que contiene o está inmediatamente por encima de material calcárico o roca calcárea alterada, que contiene 40% o más de carbonato de calcio equivalente. Un horizonte mólico, se puede identificar por su color oscuro con un *chroma* Munsell menor de 3.5 y un *value* más oscuro que 3.5, ambos en húmedo, esto causado por la acumulación de materia orgánica, totalmente descompuesta, estructura bien desarrollada y una saturación de bases mayor a 50%. Además son suelos que presentan como segundo calificador Húmico, debido a un alto contenido de carbono, más de 2%, desde la superficie del suelo hasta el contacto con la roca madre (IUSS *et al.*, 2007) (PERFIL CLAVE 16).

5.2.5.2. Leptosoles Réndzicos (Hiperesqueleticos, Húmicos) Lprz(hkhu)

Estos Leptosoles tienen propiedades semejantes a los otros Leptosoles Réndzicos pero se diferencian por ser Hiperesqueleticos, lo que significa que contienen menos de 20 % (en volumen) de tierra fina promediado en una profundidad de 75 cm de la superficie del suelo o hasta roca continua, lo que esté a menor profundidad, concretamente son suelos extremadamente pedregosos, con un horizonte mólico y con un contenido de carbono mayor al 2% (IUSS *et al.*, 2007) (PERFIL CLAVE 29).

5.2.5.3. Leptosoles Mólicos Gléyicos (Hiperesqueleticos, Húmicos) LPmogl(hkhu)

Estos Leptosoles presentan un horizonte Mólico, que a diferencia de los Réndzicos no descansan sobre material calcárico. Además, presentan propiedades gléyicas entre los 50 y 90 cm de profundidad, con colores grises que originan el patrón de color gléyico, lo cual se asocia a suelos donde el manto freático se mantiene elevado durante una buena parte del año, debido al hierro en estado de reducción. Es un Hiperesqueletico, porque contiene menos de 20 por

ciento (en volumen) de tierra fina promediado en una profundidad de 75 cm de la superficie del suelo, debido a que son suelos extremadamente pedregosos, pero, que en la superficie alcanzan más del 2% de carbono, por lo que se le califica como Húmico (IUSS *et al.*, 2007) (PERFIL CLAVE 27).

5.2.6. Grupo Fluvisoles (FL)

Su característica principal es presentar materiales flúvicos que comienzan dentro de los 25 cm de la superficie del suelo y continúa hasta una profundidad de 50 cm o más (IUSS *et al.*, 2007), es decir materiales nuevos depositados a intervalos regulares por los desbordamientos del río Usumacinta. Tienen contenidos de carbono orgánico que decrece irregularmente con la profundidad o que se mantiene superior a 0.20 % a una profundidad de 125 cm. (Palma-López, *et al.*, 2007). Su uso principal es el cultivo de caña de azúcar (*Saccharum officinarum*), maíz (*Zea mays*), frijol (*Phaseolus vulgaris*), hortalizas y pasto estrella (*Cynodon plectostachyus*) debido a sus buenas condiciones de humedad y nutrimentales (Salgado-García, *et al.*, 2008). Los Fluvisoles son suelos ubicados en la llanura aluvial alta, junto al cauce del río Usumacinta con una superficie del 6.1% del área de estudio (Figura 5).

5.2.6.1. Fluvisoles Háplicos (Arcílicos, Éutricos) FLha(ceeu)

Como se ha mencionado, cuando los suelos no muestran evidencia de algún horizonte ó característica que se asocie a otro grupo de suelo se toma como calificador de primer orden el adjetivo Háplico, ya que no tiene una expresión típica de ciertos rasgos (típica en el sentido de que no hay una caracterización adicional o significativa) y sólo se usa sino aplica ninguno de los calificadores previos. Como calificador de segundo orden estos suelos son de textura arcillosa (Arcílico) y con una saturación de bases superior a 50 % en todo el perfil de suelo (Éutrico) (IUSS *et al.*, 2007) (PERFIL CLAVE 1).

5.2.6.2. Fluvisoles Stágnicos (Éútricos) FLst(eu)

Estos Fluvisoles se definen como Stágnicos debido a que pueden llegar a inundarse y anegarse por periodos cortos, aunque no todos los años, se inundan dentro de los 100 cm desde la superficie del suelo mineral, esto provoca condiciones reductoras por algún tiempo durante el año y en 25 % o más del volumen del horizonte, un patrón de color stágnico, (colores grises en el interior de los agregados y motas amarillentas en el exterior) si están, al menos temporalmente, saturados con agua superficial (o estuvieron saturados en el pasado, si ahora están drenados) por un período lo suficientemente largo como para permitir que ocurran condiciones reductoras. Estos suelos tienen una saturación con bases de 50% o más por lo menos entre 20 y 100 cm desde la superficie del suelo (IUSS *et al.*, 2007) (PERFIL CLAVE 10).

5.2.6.3. Fluvisoles Cálcicos (Éútricos Sódicos) FLca(euso)

Se caracterizan por tener un horizonte subsuperficial Cálcico, el cual tiene un contenido de carbonato de calcio en la fracción tierra fina de 15 % o más y 5 % o más de carbonatos secundarios o un equivalente de carbonato de calcio de 5 % o más (absoluto, en masa) más alto que el de una capa subyacente y un espesor de 15 cm o más; tienen además 15 % o más de sodio más magnesio intercambiable en el complejo de intercambio dentro de 50 cm de la superficie del suelo en todo el espesor (Sódico), y saturación con bases de 50% o más en la mayor parte entre 20 y 100 cm de la superficie del suelo (Éútrico) (IUSS *et al.*, 2007) (PERFIL CLAVE 21).

5.2.7. Grupo Vertisoles (VR)

Son suelos muy arcillosos que tienen un horizonte vértico que comienza dentro de los 100 cm de la superficie del suelo, después que los primeros 20 cm han sido mezclados, tienen 30% o más de arcilla entre la superficie del suelo y el horizonte vértico (IUSS *et al.*, 2007). Estos suelos forman grietas anchas y profundas desde la superficie hasta al menos 50 cm de profundidad cuando se secan, lo que ocurre

en la mayoría de los años. El nombre Vertisoles (del latín *vertere*, dar vuelta) se refiere al reciclado interno constante del material de suelo. Otra característica es la presencia de caras de deslizamiento que se forman por procesos constantes de expansión y contracción originados por la naturaleza de las arcillas del tipo de las esmectitas (Palma-López, *et al.*, 2007; Salgado-García, *et al.*, 2008). Se localizan en las llanuras aluviales medias y bajas, así como en lomeríos medios y bajos y lomeríos calcáreos (Figura 5). Su principal uso es la agricultura, con cultivos de caña de azúcar (*Saccharum officinarum*), maíz (*Zea mays*), frijol (*Phaseolus vulgaris*) y gran parte de praderas con pasto estrella (*Cynodon plectostachyus*).

5.2.7.1. Vertisoles Cálcidos (Hiperéutricos) VRcc(he)

Son Vertisoles que tienen un horizonte subsuperficial de nombre Cálcido, el cual tiene un contenido de carbonato de calcio en la fracción de la tierra fina de 15 % o más y 5 % o más de carbonatos secundarios o un equivalente de carbonato de calcio de 5 % o más (absoluto, en masa) más alto que el de una capa subyacente y un espesor de 15 cm o más; muestran también una saturación de bases de 50 % o más en todo el espesor entre 20 y 100 cm de la superficie del suelo y 80 % o más en alguna capa dentro de los 100 cm de la superficie del suelo (Hiperéutricos) (IUSS *et al.*, 2007) (PERFIL CLAVE 22).

5.2.7.2. Vertisoles Sódicos (Hiperéutricos) VRso(he)

Son Vertisoles que tienen además 15% o más de sodio más magnesio intercambiables en el complejo de intercambio dentro de los 50 cm de la superficie del suelo en todo el espesor (Sódico), y una saturación de bases de 50 % o más en todo el espesor entre 20 y 100 cm de la superficie del suelo y 80 % o más en alguna capa dentro de los 100 cm de la superficie del suelo (Hiperéutrico) (IUSS *et al.*, 2007) (PERFIL CLAVE 24).

5.2.7.3. Vertisoles Stágnicos (Hiperéutricos, Húmicos) VRst(hehu)

Son Vertisoles que poseen en alguna parte dentro de los 100 cm de la superficie del suelo, condiciones reductoras por algún tiempo durante el año, debido a que estos suelos están, al menos temporalmente, saturados con agua superficial (anegados) por un periodo lo suficientemente largo como para permitir que ocurran condiciones de reducción (Stágnicos); tienen además un contenido de carbono orgánico en la fracción tierra fina de 1 % o más hasta una profundidad de 50 cm (Húmicos), y una saturación de bases de 50 % o más en todo el espesor entre 20 y 100 cm de la superficie del suelo y 80 % o más en alguna capa dentro de los 100 cm de la superficie del suelo (Hiperéutico) (IUSS *et al.*, 2007) (PERFIL CLAVE 30).

5.2.8. Grupo Acrisoles (AC)

Son suelos que tienen un horizonte árgico que tiene una CIC menor de 24 cmol kg⁻¹ de arcilla en alguna parte hasta una profundidad máxima de 50 cm debajo de su límite superior, ya sea comenzando dentro de los 100 cm de la superficie del suelo, además tiene una saturación de bases menor a 50% en la mayor parte entre 50 y 100 cm (IUSS *et al.*, 2007). Estos suelos se caracteriza por ser muy intemperizados, lixiviados y ácidos, en general presentan características que los identifican fácilmente como son: colores oscuros sobre amarillentos a rojizos, fuerte acidez sobre todo en el horizonte B, la presencia de un horizonte B de acumulación iluvial de arcilla (árgico), altas cantidades de hierro y aluminio en forma de sesquioxidos y alta fijación de fósforo (Palma-López *et al.*, 2007). Fisiográficamente los Acrisoles se localizan en los lomeríos medios y altos formados a partir de areniscas (Figura 5). Son cultivados con pastos remolino, pasto humicicola (*Brachiaria humedicola*), así como cultivos de yuca (*Manihot sculenta*), palma de aceite (*Elaeis guineensis*) y hule (*Hevea brasiliensis*).

5.2.8.1. Acrisoles Úmbricos Gléyicos (Arénicos) ACumgl(ar)

Estos Acrisoles tienen dentro de los 100 cm del suelo, una capa de 25 cm o más de espesor que tiene condiciones reductoras en algunas partes o un patrón de color gléyico (colores grises o moteados grises en el suelo) en todo el espesor (Gléyico), estos suelos tienen además un horizonte superficial de nombre Úmbrico, de 25 cm o más de espesor, de color oscuro, de baja saturación de bases y de moderado a alto contenido de materia orgánica; presentan una textura arenosa, en una capa de 30 cm o más de espesor dentro de los 100 cm de la superficie del suelo (Arénico) (IUSS *et al.*, 2007) (PERFIL CLAVE 19).

5.2.8. Grupo Calcisoles (CL)

Son suelos que tienen un horizonte petrocálcico que comienza dentro de los 100 cm de la superficie del suelo (IUSS *et al.*, 2007) que los define como Calcisoles. El horizonte cálcico se distingue en campo por presentar material blanquecino (blanco o gris rosáceo), el cual reacciona fuertemente al aplicar HCL al 10% debido a la presencia de CaCO_3 libres. La génesis de estos suelos está dominada por procesos de formación en los que el material parental de roca caliza del Terciario ha llevado a la formación de un horizonte cálcico.

Los Calcisoles se distribuyen por la zona de lomeríos calcáreos (Figura 5), cultivados con pasto nativos como el remolino, jaragua y también con pastos introducidos como el santo domingo (*Brachiaria humidicola*) y en llanuras aluviales altas en la cual su uso es muy diverso, praderas, cultivos anuales y perennes.

5.2.8.1. Calcisoles Hipocálcicos (Rúpticos) CLwc(rp)

Además de ser Hipocálcico, es decir que tienen un horizonte cálcico con un contenido de carbonato de calcio equivalente en la fracción de la tierra fina menor de 25% y que comienza dentro de 100 cm de la superficie del suelo, estos Calcisoles tienen el calificador Rúptico, para definir suelos que presentan discontinuidad litológica dentro de los 100 cm desde la superficie del suelo. La

discontinuidad litológica se refiere a cambios significativos en la distribución del tamaño de partículas o mineralogía que representa diferencias en litología dentro del suelo, para el caso de este suelo la diferencia fue por un cambio abrupto de color que no es resultado de pedogénesis, sino a diferentes materiales parentales, el horizonte superior presenta un color muy oscuro con alto contenido de materia orgánica a diferencia de los subhorizontes (IUSS *et al.*, 2007) (PERFIL CLAVE 3).

5.2.9. Grupo Lixisoles (LX)

Los Lixisoles presentan un horizonte árgico, ya sea comenzando dentro de los 100 cm de la superficie del suelo o dentro de los 200 cm de la superficie del suelo si el horizonte árgico tiene por encima textura arenoso franca o mas gruesa (IUSS *et al.*, 2007). Son suelos que presentan lavado de arcilla de los horizontes superiores, la cual se acumula en una zona más profunda (horizonte B árgico), son desarrollados principalmente sobre materiales no consolidados, de textura fina y que han sufrido una fuerte alteración y lavado, predominan en terrenos viejos sometidos a una fuerte erosión o degradación, con arcilla de baja actividad y saturación de bases de media a alta (Porta *et al.*, 2003). Estos suelos se localizan en los lomeríos bajos del lado noroeste del área de estudio (Figura 5), principalmente bajo cultivo de maíz (*Zea Mays*) y pastizales.

5.2.9.1. Lixisoles Cutánicos (Crómicos Arcílicos) LXct(crce)

Estos Lixisoles se caracterizan por tener presencia de cutanes por revestimiento de arcilla en algunas partes del horizonte árgico (Cutánico), tienen además dentro de 150 cm de la superficie del suelo, una capa subsuperficial de 30 cm o más de espesor, que tiene un hue Munsell más rojo que 7.5 YR y/o un croma, húmedo, de más de 4 (Crómico), y una capa de textura arcillosa de 30 cm o más de espesor dentro de 100 cm de la superficie del suelo (Arcílico) (IUSS *et al.*, 2007) (PERFIL CLAVE 17).

5.3. Levantamiento de suelos utilizando MDE

5.3.1. Atributos de del terreno

Se obtuvieron tres atributos principales del terreno que fueron planicie, valles y colinas en formato raster, la cual se sobrepuso con el mapa temático de geología del área y mediante álgebra de mapas se pudieron obtener 12 tipos de atributos de terreno, los atributos del terreno son rasgos en los cuales el software clasifica el modelo digital de elevación, siendo la mayor extensión las colinas de areniscas con cerca del 16 % del área total, seguidas de los valles de areniscas con 15 % del área de estudio (Figura 6 y Cuadro 4).

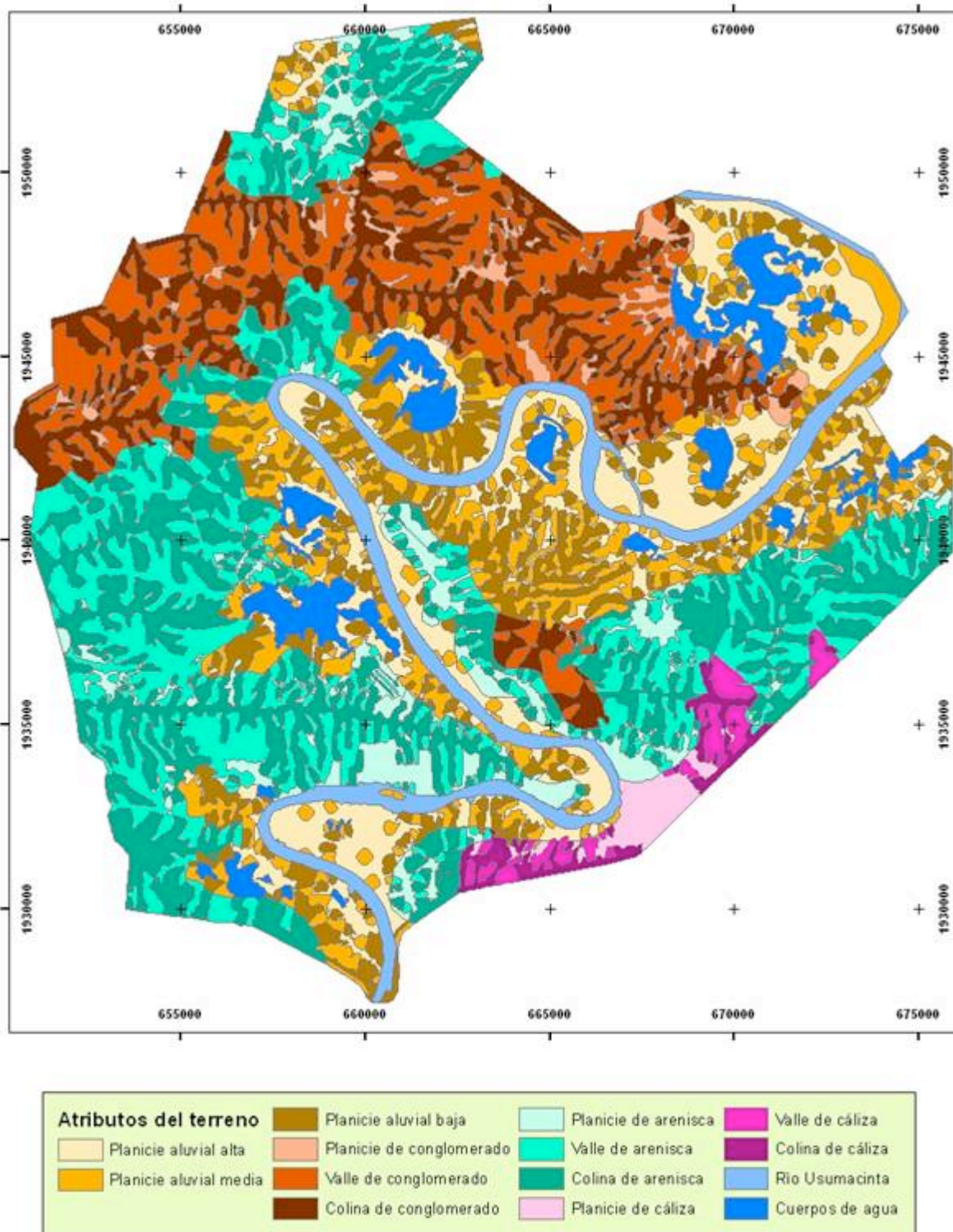


Figura 6. Clasificación del relieve a partir de los modelos digitales de elevación (MDE)

Cuadro 4. Atributos del terreno generados utilizando los modelos digitales de elevación e información de geología

Atributos	Clave	Superficie	
		ha	%
Colina de arenisca	11	6761.7	15.8
Valles de areniscas	10	6414.7	15.0
Planicie de areniscas	9	1989.1	4.6
Colina de caliza	14	462.2	1.0
Valles de caliza	13	439.3	1.0
Planicie de caliza	12	420.0	0.9
Colina de conglomerado	8	4163.5	9.7
Valles de conglomerado	7	4436.0	10.3
Planicie de conglomerado	6	788.5	1.8
Planicie aluvial alta	3	4922.9	11.5
Planicie aluvial media	4	4008.2	9.3
Planicie aluvial baja	5	3805.2	8.9
Cuerpos de agua	2	4065.6	9.5
Total		42669.5	100

Las características de cada una de estos atributos se describen a continuación.

5.3.1.1. Colinas

Se refieren a las elevaciones naturales del terreno menores a una montaña pequeña (Diccionario enciclopédico, 1997) (Figura 7), son elevadas con laderas suaves alargadas con una base difícil de delimitar, y alturas relativas menores de 100 msnm. Este término es similar a lomas (Lugo, 1989). En el área de estudio las colinas identificadas no rebasan los 50 m de altitud y las pendientes son del 20 % equivalente a un plano horizontal de poca inclinación. Estas áreas son cultivadas principalmente con pastos nativos como el remolino (*Paspalum notatum*) e introducidos principalmente del género *Brachiaria*.

5.3.1.2. Valle

Llanura entre montes o elevaciones (Diccionario enciclopédico, 1997), forma negativa del relieve, equivalente a una depresión estrecha y alargada formada

esencialmente por procesos erosivos (Figura 7). En el área se aprecian con facilidad estas depresiones con relieve cóncava, con vegetación ríparia principalmente de macayo (*Andrina inermes*).

5.3.1.3. Planicie

Terrenos que no son altos ni bajos (Diccionario enciclopédico, 1997) (Figura 7), porción de la superficie terrestre de cualquier dimensión equivalente a un plano horizontal de poca inclinación; estas áreas se localizan en las márgenes de los ríos Usumacinta y Plevá, y en ocasiones se encuentran entre las lomas; se distingue con facilidad debido que son aprovechados para uso agrícola (Figura 6).

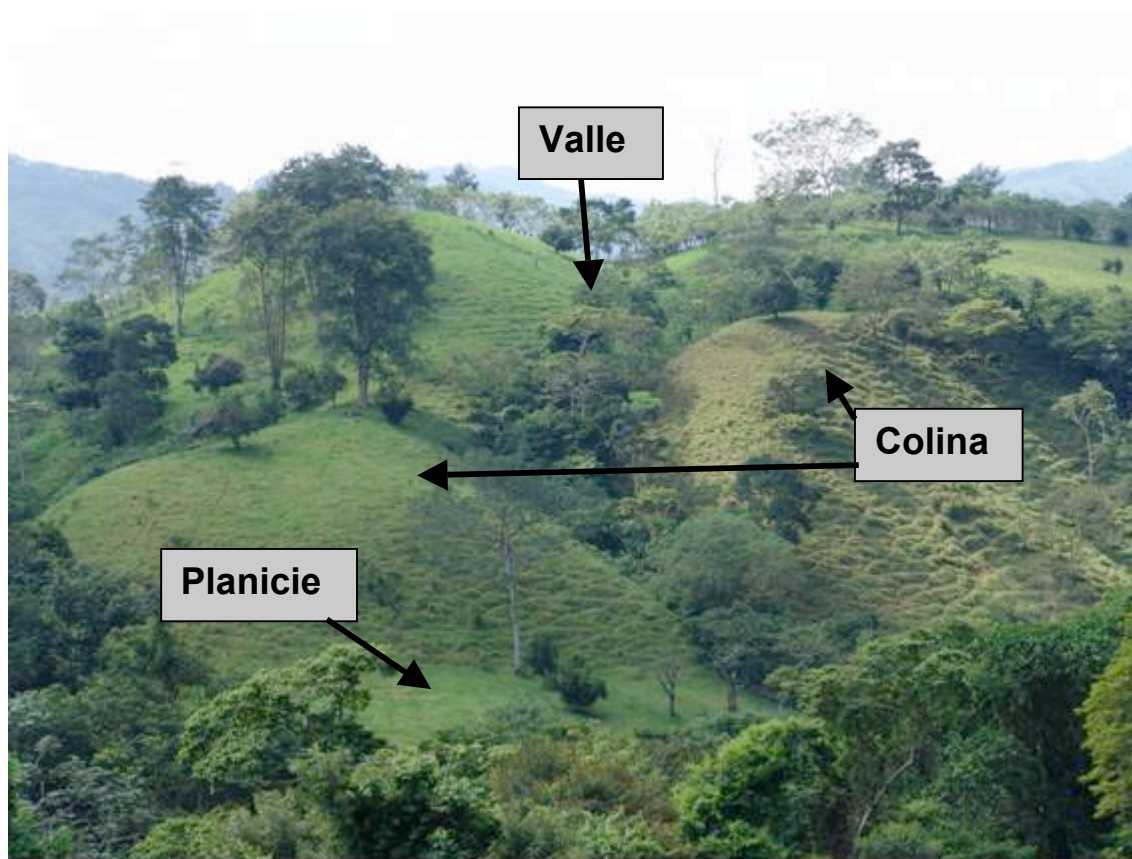


Figura 7. Atributos del terreno obtenidos mediante los MDE.

Cuadro 5. Atributos del terreno generados por los MDE e información de suelos.

Atributos del terreno	Procesos geomorfológicos	Agentes formadores	Localización	Suelos
Planicie aluvial alta	Por arrastres y deposiciones de sedimentos intemperizados en el Cuaternario Reciente	y Agua: inundaciones fluviales	Paralelamente al cauce del río Usumacinta y del río polev, con pendientes menores de 1 %	Vertisoles Fluvisoles Cambisoles
Planicie aluvial media	Por arrastres y deposiciones de materiales sedimentarios muy finos en el Cuaternario Reciente	y Agua: inundaciones Vegetación	Depresiones inundadas con vegetación arbórea con pendientes menores de 1 %	Cambisoles Gleysoles
Planicie aluvial baja y muy baja	Por arrastres y deposiciones de materiales sedimentarios muy finos (pantanosos)	y Agua: inundaciones y vegetación	Depresiones inundadas con vegetación Hidrófila con pendientes de 1 %	Gleysoles Vertisoles
Colina de caliza	Por intemperismo y erosión de material calcáreo del Cretácico Superior	y Agua: inundaciones Vegetación, erosión, intemperismo	En alturas entre 30 y 50 sobre el nivel del mar, pendientes entre 20 y 40	Calcisoles Leptosoles Vertisoles
Planicie de caliza	Por intemperismo, erosión y acumulación de las colinas	y Agua: Erosión y caumulacin	Entre lomas de roca caliza	Leptosoles
Valle de caliza	Por acumulación de material proveniente de las laderas	y Agua: Erosión y acumulación	Entre lomas de roca caliza	Luvisoles
Colina de conglomerado	Por depositaciones el en el Terciario y erosión hídrica	y Agua: erosión	Colinas y lomeríos con pendientes variables	Leptosoles Calcisoles Vertisoles
Planicie de conglomerado	Por intemperismo, erosión y acumulación de las colinas	y Agua: Erosión y acumulación		Gleysoles Cambisoles

Continuación del Cuadro 5.

Valle conglomerado	de Por las laderas	acumulación de material proveniente de	Agua: acumulación		Acrisoles Vertisoles
Colinas arenisca	de Por aluviales Mioceno	deposiciones del Terciario	Agua: erosión	Colinas y lomeríos con pendientes variables	Leptosoles Ferralsoles Luvisoles Cambisoles
Planicie areniscas	de Por aluviales Mioceno	deposiciones del Cuaternario	Agua: inundaciones y erosión	Planicies menos de 50 metros sobre el nivel del mar, con pendientes entre 5° y 10°	Gleysoles Luvisoles Cambisoles
Valle areniscas	de Acumulación de material proveniente de las laderas	de las laderas	Agua: inundación, erosión	Elevaciones menores de 30 metros y pendientes que oscilan entre 3° a 5°	Ferralsoles Leptosoles Cambisoles
Zona urbana	Asentamientos humanos, construcciones urbanas	rellenos,	Hombre	En lomeríos y orillas del río Usumacinta	
Cuerpos de agua	de Lagunas intermitentes	perennes e	Agua	En las partes mas bajas	
Zona erosionada	Bancos de arena o grava	o	Extracción de materiales	Sin patrón de localización	

La asociación de los atributos de suelos con la geología permitió obtener 13 tipos de adjetivos diferentes: las planicies aluviales o llanuras, éstas se clasificaron en altas, medias y bajas; los cultivos que predominan en las llanuras altas son: caña de azúcar (*Saccharum officinarum*), huertos frutales y asentamientos humanos principalmente, mientras en las planicies medianas comúnmente se encuentran cultivos anuales y pasto estrella (*Cynodon plectostachyus*), así mismo las llanuras bajas en su mayoría se localizan bajo vegetación hidrófila y pastos tolerantes a las

inundaciones, mientras que las planicies de conglomerados, planicies de areniscas y de calizas en su mayoría son cultivados con pastos nativos e introducidos generalmente del genero *Brachearías*, nativas de pasto remolino (*Paspalum notatum*), y un pequeño porcentaje de vegetación natural como son los acahuales, matorrales y áreas de cultivos anuales.

En los valles de areniscas predomina la vegetación riparia, principalmente de macayo (*Andira inermis*) y de palmeras (*Scheelea liebmanni*), en los valles de conglomerados se observan pastizales de humidicola y para los valles de calizas, aun se logra observar vegetación de acahual bajo de tinto (*Haematoxylum campechianum*) (Figura 6).

5.4. Grupos y subunidades de suelos utilizando modelos digitales de elevación (MDE)

Para este apartado se utilizó la información de los perfiles y barrenaciones de la primera fase empleando el método tradicional, correlacionándolo con los atributos generados mediante los MDE, y de esta forma aprovechar la información generada por el primer método.

Mediante éste método se obtuvieron 13 tipos de atributos del terreno (Cuadro 4) distribuidas en 487 polígonos, destacando las planicies por extensión con 37 % de la superficie total seguidos de las colinas y valles (Figura 6). En cuanto a suelos los dominantes por su extensión dentro del área de estudio corresponden principalmente a los Ferralsoles, Gleysoles y Vertisoles por las planicies que se detectaron (Figura 8 y Cuadro 6).

Cuadro 6. Suelos del área de estudio generados utilizando los modelos digitales de elevación

Grupo Mayor	Suelo	Clave	Atributos del terreno		Superficie	
					ha	%
Ferralesoles	Ferralesoles Háplicos (Ródicos éutricos)	FRha(roeu)	8,10		5207.5	12.2
	Ferralesoles Mólicos (Ródicos)	FRmo(ro)	8,11		3226.8	7.5
Luvisoles	Luvisoles Gléyicos Vérticos (Arcílicos)	LVglvr (ce)	9,11		2597.1	6.1
	Luvisoles Cutánicos (Férricos Hiperéutricos)	LVct(frhe)	13		439.3	1.0
Gleysoles	Gleysoles Háplicos (Arcílicos, Éutricos, Húmicos)	GLha(ceeuhu)	4		986.4	2.3
	Gleysoles Háplicos (Arcílicos, Éutricos)	GLha(ceeu)	3,6,9		6911.6	20.4
	Gleysoles Hísticos (Calcáricos)	GLhi(ca)	4		590.3	1.4
Cambisoles	Cambisoles Vérticos (Arcílicos, Éutricos),	CMvr (ceeu)	3,4,5,6,8		1669.96	3.91
	Cambisoles Endogléyicos Vérticos (Arcílicos, Éutricos),	CMngvr (ceeu)	4,5,10		1123.65	2.63
	Cambisoles Técnicos (Arcílicos, Éutricos),	CMte(ceeu)	4,6,8		327.07	0.76
Leptosoles	Leptosoles Réndzicos (Húmicos)	LPrz(hu)	10,11,12		2531.27	5.93
	Leptosoles Mólicos Gléyicos (Hiperesqueleticos, Húmicos)	LPmogl(hkhu)	11,14		966.13	2.26
	Leptosoles Réndzicos (Hiperesqueleticos, Húmicos)	LPrz(hkhu)	11		656.63	1.53
Fluvisoles	Fluvisoles Háplicos (Arcílicos, Éutricos)	FLha(ceeu)	5		329.82	0.77
	Fluvisoles Stágnicos (Éutricos)	FLst(eu)	5		161.44	0.37
	Fluvisoles Cálcidos (éutricos sódicos)	FLca(euso)	4		310.13	0.72
Vertisoles	Vertisoles Cálcidos (hiperéutricos)	VRcc(he)	3		509.20	1.19
	Vertisoles Sódicos (Hiperéutricos)	VRso(he)	7,8		1902.90	4.45
	Vertisoles Stágnicos (Hiperéutricos húmicos)	VRst(hehu)	3,4,5,14		3525.02	8.25
Acrisoles	Acrisoles Úmbricos gléyicos (Árenicos)	ACumgl(ar)	7		2688.75	6.30
Calcisoles	Calcisoles Hipocálcidos (Rúpticos)	CLwc(rp)	14		247.02	0.57
Lixisoles	Lixisoles cutánicos (crómicos arcílicos)	LXct(crce)	4,8		1703.59	3.99
	Cuerpos de Agua	C.A			4065.60	9.52
	Total				42669.52	100

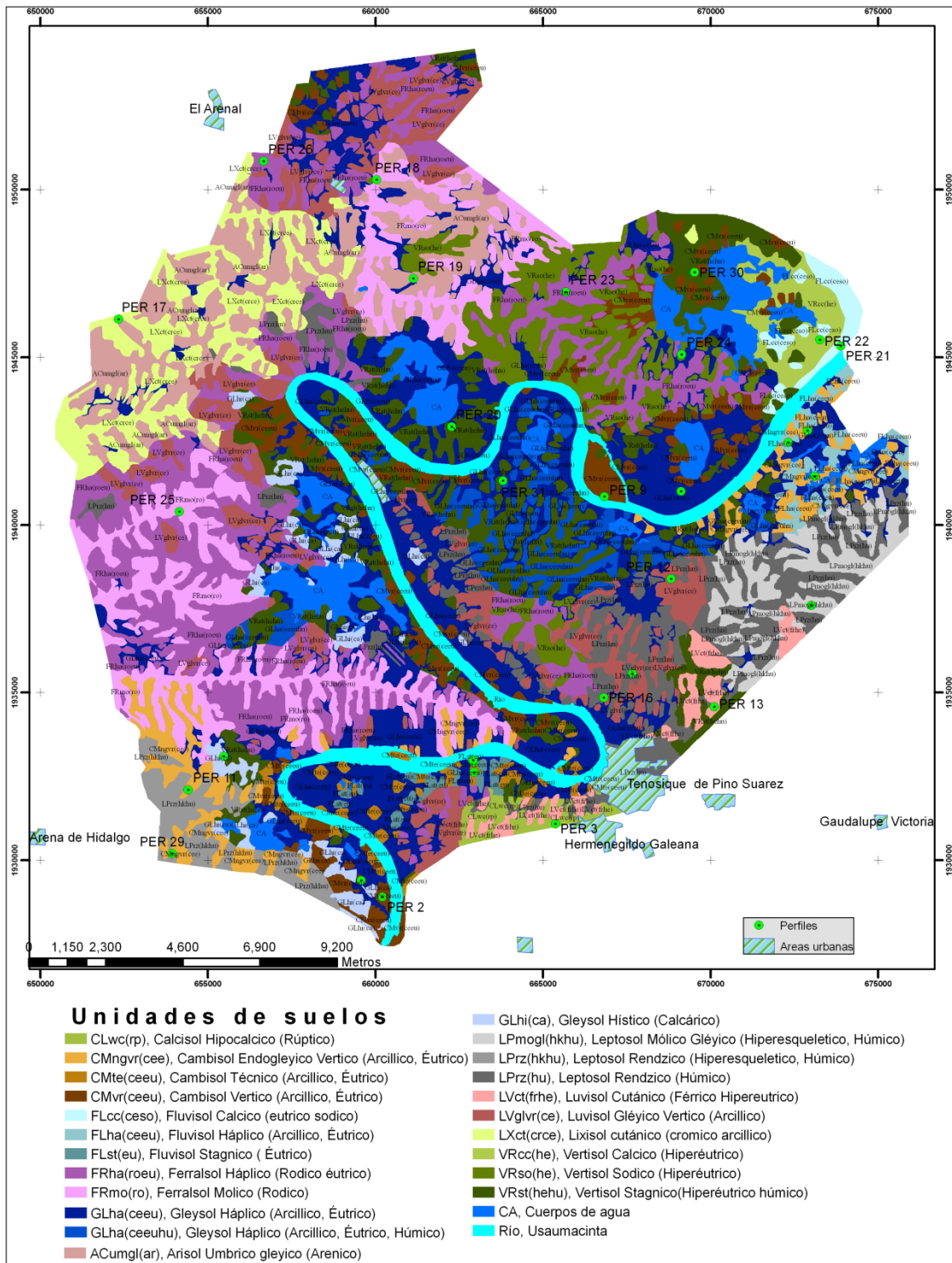


Figura 8. Distribución de los suelos del área de estudio utilizando MDE

5.5. Comparación de levantamientos de suelos por el método convencional y utilizando MDE

5.5.1. Precisión

En cuanto a la evaluación de la precisión se realizaron 60 verificaciones en el campo, y se encontraron un total de 12 errores; los cuales se originan porque en el campo no se presentan las características de acuerdo a las reportadas en la descripción de los perfiles, por lo tanto se tiene un precisión de 85 % para el método convencional y un 80 % utilizando los modelos digitales de elevación (Cuadro 7 y 8 Figura; 9 y 10); ambos mapas se consideran de calidad según lo reportado por Lleverino *et al.* (2000).

Cuadro 7. Evaluación de los sitios de observación para determinar la precisión del mapa generado mediante fotointerpretación.

SITIO	VERIFICACIÓN	SITIO	VERIFICACIÓN	SITIO	VERIFICACIÓN
1	SI	21	NO	41	SI
2	SI	22	SI	42	NO
3	NO	23	SI	43	SI
4	SI	24	SI	44	SI
5	SI	25	SI	45	SI
6	SI	26	SI	46	SI
7	SI	27	SI	47	SI
8	SI	28	SI	48	SI
9	SI	29	SI	49	SI
10	SI	30	SI	50	SI
11	SI	31	SI	51	SI
12	SI	32	SI	52	SI
13	NO	33	SI	53	SI
14	SI	34	SI	54	SI
15	NO	35	SI	55	SI
16	NO	36	SI	56	SI
17	NO	37	SI	57	SI
18	NO	38	SI	58	NO
19	SI	39	SI	59	SI
20	SI	40	SI	60	SI

SI= La verificación en campo si coincide con lo plasmado en el mapa de suelos (85 %)

NO= La verificación en campo no coinciden con la plasmado en mapa de suelos (15 %)

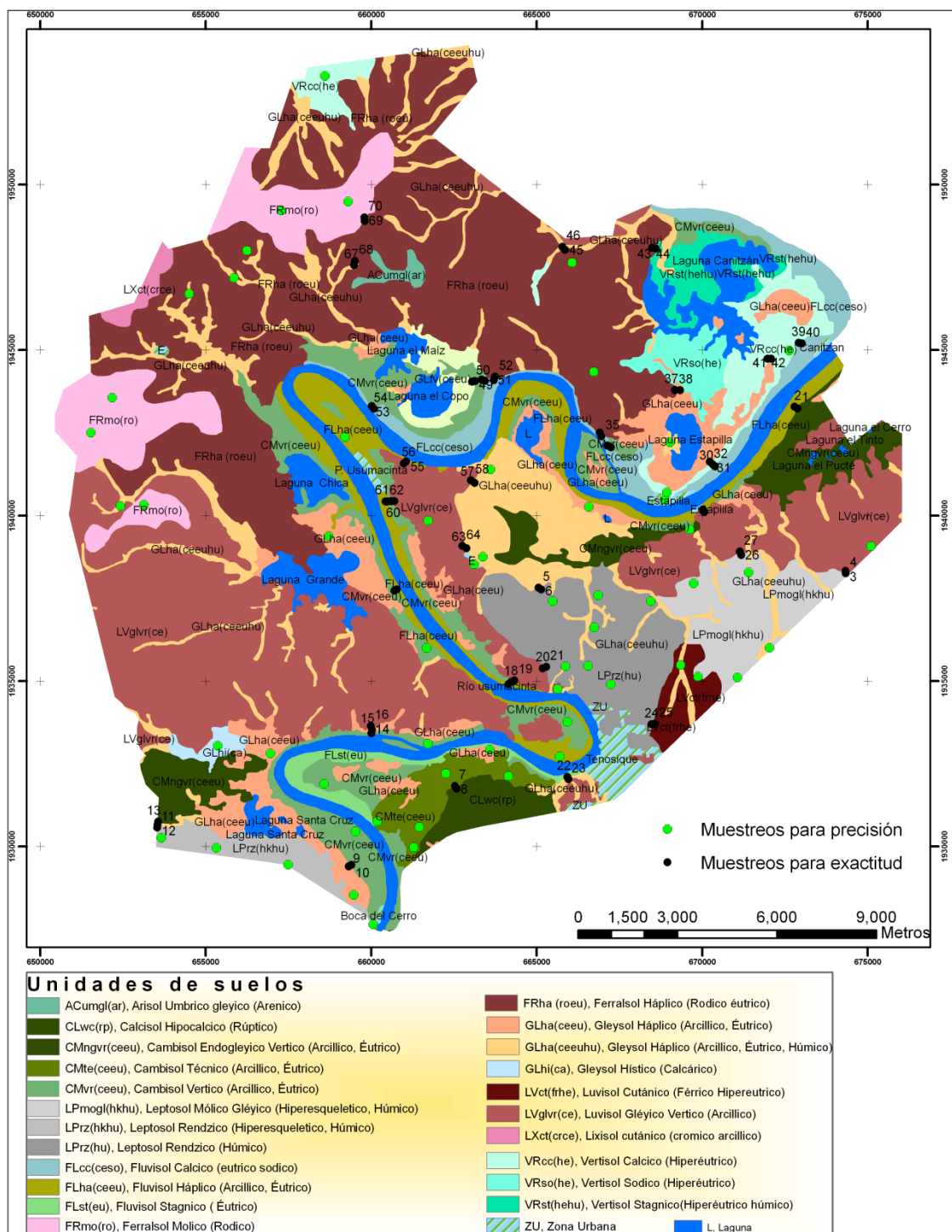


Figura 9. Distribución de los sitios de muestreo para evaluar la precisión y exactitud del mapa utilizando fotointerpretación

Cuadro 8. Evaluación de los sitios de observación para determinar la precisión del mapa generado utilizando el modelo digital de elevación.

SITIO	VERIFICACIÓN	SITIO	VERIFICACIÓN	SITIO	VERIFICACIÓN
1	SI	21	SI	41	SI
2	SI	22	SI	42	SI
3	NO	23	NO	43	SI
4	SI	24	SI	44	NO
5	SI	25	NO	45	SI
6	SI	26	NO	46	SI
7	SI	27	SI	47	SI
8	SI	28	SI	48	SI
9	SI	29	NO	49	SI
10	SI	30	SI	50	NO
11	SI	31	SI	51	SI
12	SI	32	SI	52	SI
13	SI	33	SI	53	SI
14	NO	34	SI	54	SI
15	SI	35	SI	55	NO
16	SI	36	SI	56	SI
17	SI	37	NO	57	SI
18	SI	38	NO	58	NO
19	SI	39	SI	59	SI
20	SI	40	SI	60	SI

SI= La verificación en campo si coincide con lo plasmado en el mapa de atributos (80%)

NO= La verificación en campo no coinciden con la plasmado en campo (20%)

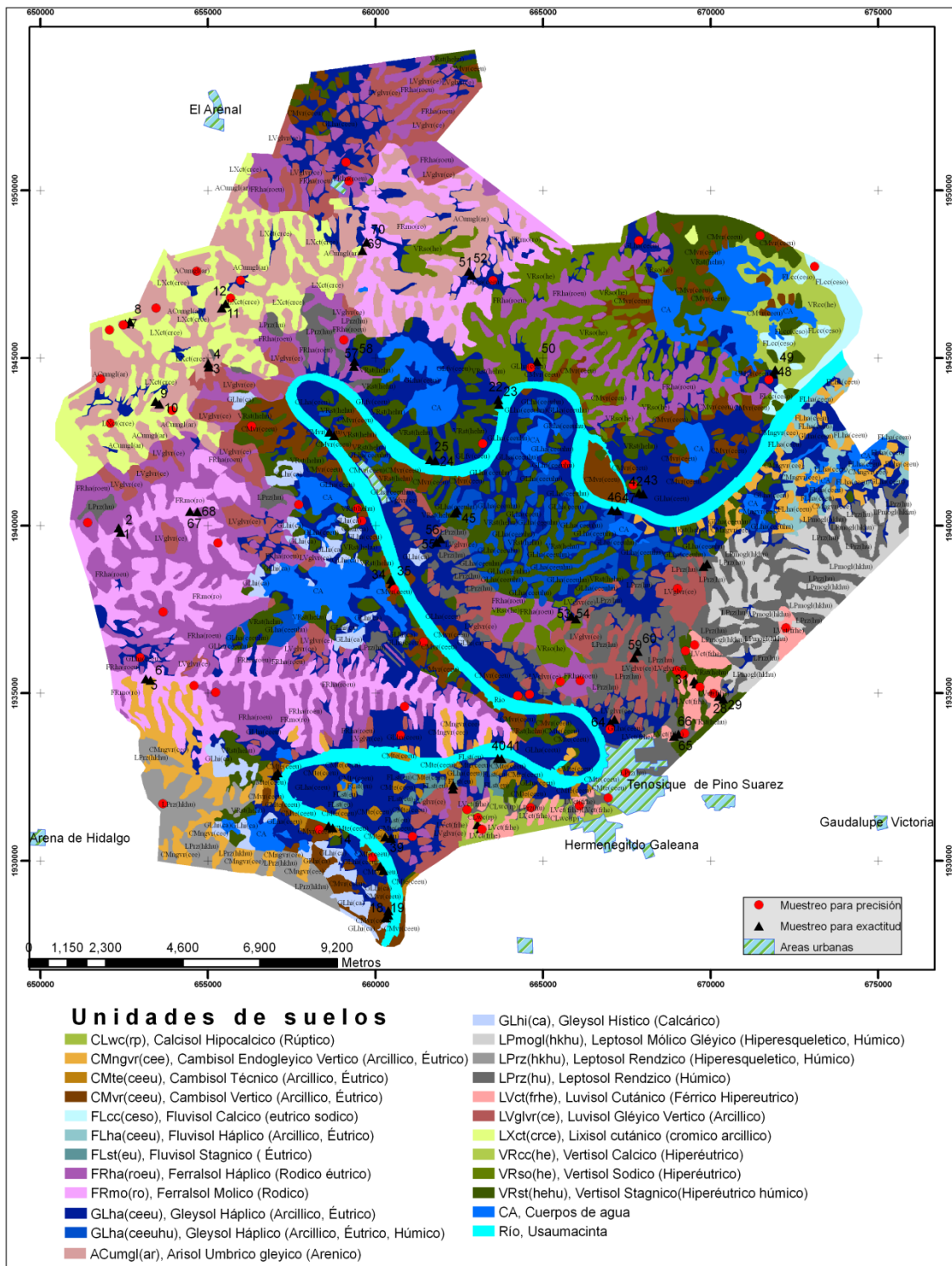


Figura 10. Distribución de los sitios de muestreo para evaluar la precisión y exactitud del mapa utilizando MDE

3.5.2. Exactitud

De los 35 linderos de suelos analizados mediante barrenaciones para evaluar la exactitud del mapa generado mediante fotointerpretación, se encontraron siete errores es decir, las características encontradas no concuerdan con las reportadas en la descripción del perfil, por lo tanto el lindero marcado es falso, se tiene una exactitud de 77.1 % para el método convencional (Cuadro 9 ; Figura 9), a si mismo de las 35 linderos de suelos analizadas mediante barrenaciones para evaluar la exactitud del mapa generado mediante el uso de los Modelos Digitales de Elevación, se encontraron nueve errores es decir, las características encontradas no coinciden con las reportadas en la descripción del perfil, por lo tanto el lindero no existe, se tiene una exactitud de 74.3 % para el método propuesto mediante los MDE (Cuadro 10 y Figura 10). Ambos mapas son considerados de calidad debido a que son similares a lo que reporta Lleverino (2000) en un estudio a la misma escala.

Cuadro 9. Evaluaciones de los sitios de observación para determinar la exactitud del mapa mediante fotointerpretación.

SITIO	VERIFICACIÓN	SITIO	VERIFICACIÓN	SITIO	VERIFICACIÓN
1	SI	13	SI	25	NO
2	SI	14	SI	26	SI
3	SI	15	SI	27	NO
4	SI	16	SI	28	SI
5	SI	17	NO	29	SI
6	NO	18	SI	30	SI
7	SI	19	SI	31	SI
8	SI	20	SI	32	NO
9	SI	21	SI	33	SI
10	SI	22	SI	34	NO
11	NO	23	SI	35	SI
12	SI	24	SI		

SI= La verificación en campo si coincide con lo plasmado en el mapa de atributos (77.2 %)

NO= La verificación en campo no coinciden con la plasmado en mapa (22.8 %)

Cuadro 10. Evaluación de los sitios de observación para determinar la exactitud del mapa utilizando el modelo digital de elevación

SITIO	VERIFICACION	SITIO	VERIFICACION	SITIO	VERIFICACION
1	SI	13	NO	25	SI
2	SI	14	SI	26	NO
3	NO	15	SI	27	NO
4	SI	16	SI	28	NO
5	SI	17	SI	29	NO
6	SI	18	NO	30	SI
7	NO	19	SI	31	SI
8	SI	20	NO	32	SI
9	SI	21	SI	33	SI
10	SI	22	SI	34	SI
11	SI	23	SI	35	SI
12	SI	24	SI		

SI= La verificación en campo si coincide con lo plasmado en el mapa de atributos (74.3 %)

NO= La verificación en campo no coinciden con la plasmado en mapa (25.7 %)

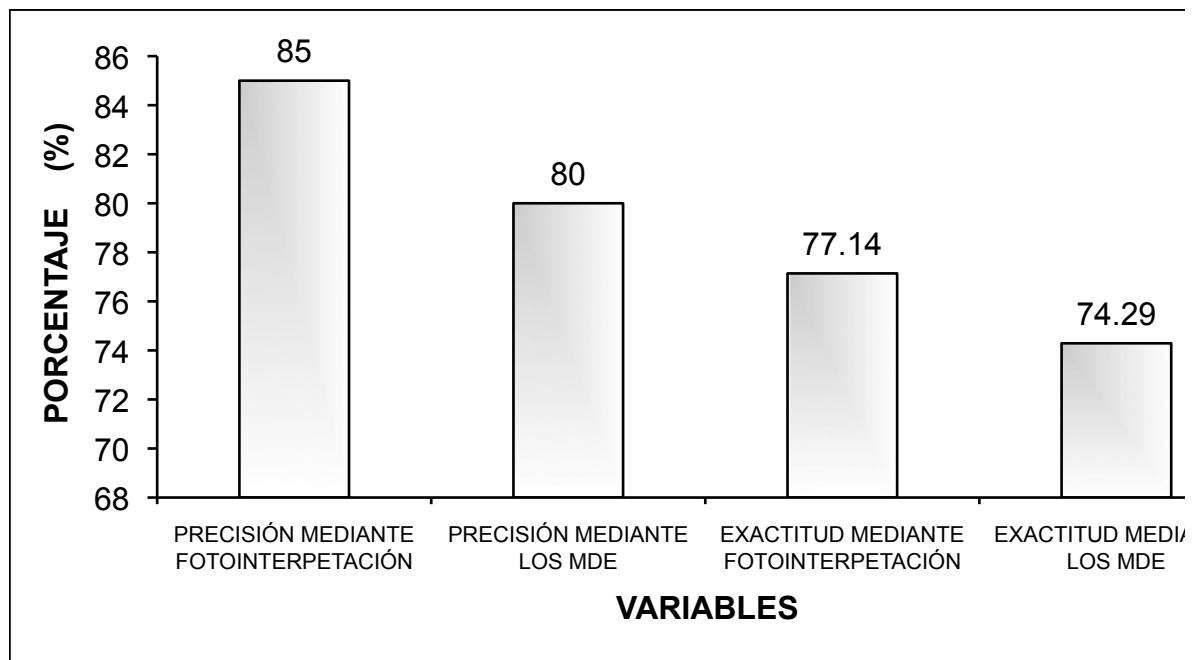


Figura 11. Precisión y exactitud de la cartografía de suelos utilizando fotointerpretación y MDE.

VI. CONCLUSIONES

1.- Se logró generar la cartografía de suelos a nivel semidetallado utilizando el Modelo Digital de Elevación con la ayuda de otros materiales como son las ortofotos y mapas de geología.

2.- Los Modelos Digitales de Elevación proporcionan resultados razonables en cuanto a precisión y exactitud pero no supera al método tradicional mediante fotointerpretación.

3.- Los Modelos Digitales de Elevación son eficientes en precisión y exactitud en relieves pronunciados y con vegetación anual y/o pastizales, no así en llanuras aluviales o en áreas con vegetación arbórea o perenne.

4.- Se recomienda el uso de los Modelos Digitales de Elevación en estudios semidetallado de suelos.

VII. LITERATURA CITADA

- Aceves-Quesada F., J. López-Blanco y A. L. Martín del Pozzo. 2006. Determinación de peligros volcánicos aplicando técnicas de evaluación multicriterio y SIG en el área del Nevado de Toluca, centro de México. *Ciencias Geológicas*, v. 23, núm. 2, p. 113-124.
- Azucena P. V., Ortiz P. M. A., Bocco V. G. y. Velázquez Montes. 2003. Sistema Clasificador del relieve de México. Departamento ordenamiento territorial, Morelia, Michoacán México 13p.
- Bautista F. y G. Palacio. 2005. Caracterización y manejo de los suelos de la Península de Yucatán: Implicaciones agropecuarias, Forestales y ambientales. Universidad Autónoma de Campeche, Universidad Autónoma de Yucatán, Instituto Nacional de Ecología. 282 p.
- Bannister A., Raymond S. y Baker R. 2002. Técnicas modernas en topografía 7. Edición editorial Alfa omega. 550 p.
- Bautista C.A., J. Etchevers B., R.F. del Castillo, C. Gutiérrez. 2004. La calidad del suelo y sus indicadores. *Ecosistemas* 13 (2): 90-97.
- Butler J. B., Lane S. N., y Chandler J. H. 1998. Assessment of DEM Quality for Characterizing Surface Roughness Using close Range Digital Photogrammetry. *Photogrammetry Record*. 16(92): 271-291
- Cartaya S., Méndez, W., González, L. 2005 Geomorfología y sedimentología de los ambientes depositacionales recientes del complejo estuarino de los ríos Hueque y Curarí. Estado Falcón Venezuela. *Investigaciones Geográficas, Boletín del Instituto de Geografía, UNAM*. ISSN0188-4611 Núm. 58 pp. 7-33
- Colpos. 1977. Manual de conservación de suelos y aguas. Rama de suelos y aguas Colegio de Postgraduados. Chapingo, México 584 p.
- Cuanalo de la C. H. 1990. Manual de descripción de perfiles de suelo en el campo. 3a edición. Colegio de Postgraduados. Chapingo, México. 75 p.

- INEGI, 2000. Cuaderno Estadístico Municipal de Tenosique, Tabasco. Instituto Nacional de Estadística e Informática. Edición 2006
- Diccionario enciclopédico océano. 1997. Editorial Grupo Océano Barcelona España. 1784 p.
- Felicísimo A. 1994. Modelo Digital de terreno, Introducción y Aplicación a las Ciencias Ambientales. [En línea] [http://www.etsimo.uniovi.es/pdf \(15/03/07\)](http://www.etsimo.uniovi.es/pdf(15/03/07)). 122 p.
- Fernández G. F. 2000. Introducción a la fotointerpretación. Editorial Ariel S. A. Barcelona España 253 p.
- Fernández de la T.R. y T. Geller R. 2004. Modelo digital de elevación de la zona emergida del ecosistema Sabana Camagüey, Cuba. Instituto de Geografía Tropical, La Habana, Cuba. 7 p.
- Galindo A.A., Gama C. L., Zequeira-Larios C., Zanchez P. E., Rullán S.C., Moguel O. E., Valdez-Treviño Ma E., Morales H. A., Riuz A. S. 2006. Identificación, delimitación y caracterización de las microcuencas del Río Usumacinta en el estado de Tabasco. División Académica de Ciencias Biológicas. Universidad Juárez Autónoma de Tabasco. Villahermosa, Tabasco México. 7 p.
- García E.G. y A. López H. 2003. Modelos digitales de elevación del terreno: Uso en la geología estructural. Revista Revisión y Análisis volumen 22 11 p.
<http://www.inegi.gob.mx/inegi/contenidos/espanol/prensa/contenidos/articulos/geografica/modelos.pdf> (revisado 05/05/07).
- Gómez E.M.C. 2004. Métodos y Técnicas de la Cartografía temática. Instituto de geografía UNAM. DF, México 174 p.
- Hernández M. V. M. y Garduño M. V. H. 2003. Topografía de detalle: herramienta indispensable para la caracterización geomorfológica de procesos de remoción en masa. Instituto de Geografía, UNAM México 2 p.
- Hernández R. M. P., Rojo C. A. y Castro F. A. 2004. Clasificación y zonificación del relieve de la región Palma Sola y Tecolutla-Tuxpan. Simposio. La

investigación en la facultad de ingeniería. Departamento de Geología. Universidad Autónoma de México.

- Hernández J. A. 2006 Cambios globales en los suelos. Un nuevo Paradigma en la agricultura y la edafología In Memorias del XXIV Congreso-Diplomado Internacional de Edafología Nicolás Aguilera. Coordinado por DACB de la Universidad Juárez Autónoma de Tabasco. 11 p.
- Ibáñez J. J. y Domínguez J. 1994. Inventario y cartografía de suelos en España. Estado de la cuestión. Madrid. (En línea) http://www.mappinginteractivo.com/plantilla-ante.asp?id_articulo=1025(revisado 30/07/07).
- IMTA. 1989. Manual de clasificación, cartografía e interpretación de suelos con base en el sistema de Taxonomía de Suelos. Instituto Mexicano de Tecnología del agua. Cuernavaca Morelos.
- INEGI. 2006. Anuario estadístico del estado de Tabasco. Vigésima segunda edición. Aguascalientes, Aguascalientes.
- INEGI. 2007. Modelos digitales de elevación escala 1:50 000. Generalidades y especificaciones. México. (En línea). <http://mapserver.inegi.gob.mx/geografia/espanol/normatividad/mde/menu.cfm?c=198> (revisado 24/03/07)
- INEGI. 2001. Síntesis Geográfica y anexo Cartográfico del Estado de Tabasco. México. 121 p.
- INEGI. 2002. Síntesis de información geográfica del estado de Tabasco. Instituto Nacional de estadística e informática San Luis Potosí México
- IUSS, ISRIC, FAO. 2007. Base Referencial Mundial del Recurso suelo. Primera actualización 2007. Informe sobre Recurso Mundiales de suelos No. 103.FAO. Roma.
- Klingseisen B., Metternicht G., and Paulus G. 2007. Geomorphometric landscape analysis using a semi-automated GIS-approach. Environmental Modelling & Software 23 09-121.

- Krasilnikov P. 2006. La cartografía de suelos. In Memorias del XXIV Congreso-Diplomado Internacional de Edafología Nicolás Aguilera. Coordinado por DACB de la Universidad Juárez Autónoma de Tabasco. 10 p.
- Krasilnikov P., García-Calderón N. E., Fuentes-Romero E. 2007. Pedogenésis and slope processes in subtropical mountain áreas, Sierra Sur de Oaxaca, México. Revista Mexicana de Ciencias Geológicas, v. 24, núm. 3.
- Larios R. J. y J. Hernández. 1992. Fisiografía ambientes y uso agrícola de la tierra de Tabasco, Méx., Universidad Autónoma de Chiapas. Chapingo, México. 130 p.
- Lleverino G. E., C. A. Ortiz S. y Ma. del C. G. C. 2000. Calidad de los mapas de suelos en el Ejido de Atenco, Estado de México. Terra Vol. 18 Numero 02. 103-113 p.
- Lugo, 1989. Diccionario geomorfológico. Universidad Nacional Autónoma de México DF México 337 p
- Marín A. A. 2006. Caracterización, Clasificación y Cartografía de suelos citrícolas en Tabasco. Tesis de Maestría. Colegio de Posgraduados H. Cárdenas, Tabasco.
- Mena F. C., Ormazábal Rojas Y., Morales H. Y., Gajardo V. J. 2007. Exactitud espacial en la creación de bases de datos SIG modelos ráster y vectorial. Ingeniare, vol. 16 Número 1.159-168 p.
- Morrás M. H. J. 2008. El suelo, la delgada piel del planeta. Instituto de Suelos, INTA Cautelar. Ciencia Hoy #103. 2. 6 p.
- Ortiz-Pérez M. A., C. Siebe Y S. Cram S. 2005. Diferenciación ecogeográfica de Tabasco. Cap. 14: 305-322. En Bueno J., F. Álvarez y S. Santiago (Eds) Biodiversidad del estado de Tabasco, UMAM-CONABIO. México. 386 p.
- Ortiz-Villanueva B. y Ortiz-Solorio C. 1980. Edafología. Universidad Autónoma de Chapingo. México. 331 p.

- Ortiz C. A. y H. Cuanalo de la C. 1984. Metodología del levantamiento fisiográfico. Un sistema de clasificación de suelos. Centro de edafología Colegio de postgraduados, Chapingo México.
- Ortiz-Solorio, C. A. 1992. Levantamientos de suelos. Centro de Edafología Colegio de Postgraduados. México 106 p.
- Ortiz-Solorio C. A. y Ma. Del C. Gutiérrez C. 1999. Fundamentos de Pedología 1° Edición. Colegio de Posgraduados. Montecillos, Texcoco, Estado de México.
- Pacheco A. C. E. 2003. Evaluación de factores de escala en los métodos de digitalización e interpolación para la elaboración de un modelo digital de elevación (MDE) en cuencas montañosas. Tesis para grado de Magíster Scientiae. Universidad de los Andes Mérida, Venezuela. 108 p.
- Palacios V. E., L. A Palacios S., F. Pedraza O., M. E. Delgadillo P., E. Torres B., A. E. Gracia., A. L. Santos H., J. E. Palacios S. y F. Paz P. 2002. Sistemas de Información Geográfica y Percepción Remota para el manejo integral de sistemas de riego. Colegio de Postgraduados. Montecillos, México. P 246
- Palma-López J. D., Salgado G. S., Obrador O. J. J., Trujillo N. A., Lagunes E. L. del C., Zavala C. J., Ruiz B. A. y Carrera M. M. A. 2002. Sistema integrado para recomendar dosis de fertilización en caña de azúcar (sirdf). Terra volumen 20 numero 3, 2002.
- Palma-López D. J., J. Cisneros D., E. Moreno C. y J. A. Rincón-Ramírez. 2007. Suelos de Tabasco: su uso y manejo sustentable. Colegio de Postgraduados-ISPROTAB. Villahermosa, Tabasco, México
- Porta C. J., López-Acevedo R., Roquero D. L. 2003. Edafología para la agricultura y el medio ambiente. Ediciones Multi prensa. 3ª. Edición. Madrid España 928 p.
- Porras de la H. J., Palomar V. 2003 Determinación automática de laderas a partir de un modelo digital de elevaciones. Departamento de Ingeniería

Cartográfica, Geodesia y Fotogrametría Universidad Politécnica de Valencia. España. 21 p.

- Quiñonero Rubio JM., Alonso Sarría Francisco. 2007. Creación de Modelos Digitales de Elevaciones a partir de diferentes métodos de Interpolación para la determinación de redes de drenaje. Depto. De geografía. Universidad de Murcia I Jornadas de SIG libre.
- Salgado-García S., Palma-López, D. J., Zavala-Cruz, j., Lagunes-Espinoza, L. C., Ortiz-García, C. F., Castelán-Estrada M., Guerrero-Peña, A., Moreno-Cáliz E., Rincón-Ramírez, J. A. 2008. Sistema integrado para recomendar dosis de fertilizantes (SIRDF). En caña de azúcar: Ingenio Azuremex. Colegio de Posgraduados Campus Tabasco. H. Cárdenas, Tabasco, México. 102 p.
- Salgado T. J. A. 2004. El MDE de celda hexagonal en la definición de cuencas y redes de cauces. Tesis maestría en Ciencias. Colegio de Postgraduados. Montecillos Texcoco Edo. de México. 82 p.
- Sánchez A. P. 1981. Suelos Tropicales Características y Manejo. Edit. IICPA. San José Costa Rica. 634 p.
- SERMANAT 2002. Norma Oficial Mexicana. NOM-021-RECNAT-2000. 2002. Que establece las especificaciones de fertilidad, salinidad y clasificación de suelos. Estudios muestreos y análisis .Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. 75 p.
- Soil Survey Staff, 2006. Claves para la taxonomía de suelos. Departamento de los Estados Unidos. Servicio de conservación de recursos naturales. Décima edición. 331 p.
- Vouilloud F, A., Aceñolaza P., Rosenberger J. y Brizuela A. 2006. Los sistemas de información geográfica como herramienta de delimitación de áreas forestales potenciales en el oeste de entre ríos. Universidad Nacional de Entre Ríos. Entre Ríos, Argentina. 9 p.

- Vílchez J. 2000. Evaluación de exactitud de Modelos de Elevación Digital (MED) de malla regular a generados a partir de curvas de nivel. Universidad de los Andes, Facultad de ingeniería. Instituto de fotogrametría, Mérida –Venezuela. 11 p.
- Zavala C. J. 1998. Regionalización natural de la zona petrolera de Tabasco. INIREB División regional Tabasco, Gobierno del Estado de Tabasco. Villahermosa Tabasco, México. 182p.
- Zavala C. J. y Castillo A. O. 2003. Caracterización de unidades geomofológicas de la zona norte de la reserva de la biosfera pantanos de Centla Tabasco. Kuxulkab Revista de divulgación Vol. IX numero. 17:34-41.

ANEXOS

Perfil representativo Fluvisol Háptico (Arcílico, Eútrico) CLAVE 01

Fecha: 13/Feb/2007
 Localización: 672302, 1492463
 Localidad: Estapilla, Tenosique, frente al
 Elevación: invernadero
 Relieve: 20 msnm
 Pendiente: Plano
 Drenaje del sitio: 1 %
 Drenaje del perfil: Normal
 Material parental: Imperfectamente drenado
 Vegetación cultivada: Aluviones recientes
 Aplicación de riego o drenaje: Caña de azúcar
 Condiciones climática: Si
 Manto freático: Cielo despajado
 Visible a los 120 cm de profundidad




Horizonte	Horizon te (cm)	Descripción
Ap	0 – 29	Ondulada y tenue; humedad húmedo; color en húmedo pardo (10 YR 4/3); textura arcillo limosa; consistencia en muy húmedo ligeramente pegajosa y ligeramente plástica; estructura Moderadamente desarrollada poliédrica subangular fina; cutanes por eluvación, continuos, espesos, confinados en poros o canales de raíces y de minerales arcillosos; nula reacción al HCl; poros pocos, finos, continuos, cadóticos dentro de agregados y tubulares; moderada reacción al peróxido de hidrógeno (Mn); permeabilidad rápida; raíces comunes, finas y delgadas.
C1	29-56	Horizontal y marcada; humedad húmedo; color en húmedo pardo (10 YR 5/3); motas pardo amarillento (10 YR 5/8) tenues, comunes, muy finas y finas; textura arcillo limosa; estructura fuertemente desarrollada, poliédrica subangular, muy fina; consistencia en muy húmedo pegajosa y plástica; cutanes por eluvación, continuos, espesos, confinados en poros o canales de raíces de minerales arcillosos; nula reacción al HCl; ligera reacción al peróxido de hidrógeno (Mn); poros pocos, finos, medianos, continuos, cadóticos, dentro de los agregados y tubulares; permeabilidad moderada; raíces pocas, finas y medianas.
C2	56 – 92	Horizontal y marcada; humedad húmedo; color en húmedo pardo grisáceo (10 YR 5/2); motas color amarillo parduzco (10 YR 6/6) marcadas, comunes, muy finas y finas; textura migajón arcillosa; estructura fuertemente desarrollada, poliédrica subangular muy fina; consistencia en muy húmedo pegajosa y plástica; cutanes por eluvación, continuos, espesos confinados a poros y canales de raíces de minerales arcillosos; moderada reacción al HCl; ligera reacción al peróxido de hidrógeno (Mn); poros pocos muy finos y finos, continuos, oblicuos dentro de agregados y tubulares; permeabilidad moderada; raíces pocas, finas y delgadas.
C3	92 - 125	Humedad muy húmedo; color en húmedo pardo (10 YR 5/3); motas amarillo parduzco (10 YR 6/6) tenues, comunes, muy finas y finas; textura migajón arcillosa; estructura moderadamente desarrollada, poliédrica subangular muy fina; consistencia en muy húmedo pegajosa y plástica; cutanes por eluvación, continuos, espesos, confinados en poros y canales de raíces de minerales arcillosos; fuerte reacción al HCl; ligera reacción al peróxido de hidrógeno (Mn); poros pocos, muy finos y finos, continuos, oblicuos, dentro de agregados y tubulares; permeabilidad lenta; raíces raras y finas.

Propiedades físicas y químicas del perfil

Horizontes	pH		CE	MO		P	K	cmol (+) kg ⁻¹						Clasificación Textural	
	pH KCl	(H ₂ O)		N	%			Ca	Mg	Na	CIC	Arcilla	Limo		Arena
Ap (0-29)	5.2	6.2	0.04	3.3	0.19	22.2	0.47	24.4	12.0	0.15	33.0	69	30	1	Arcilla
C1 (29-56)	6.1	7.3	0.05	1.0	0.08	2.0	0.33	25.5	13.3	0.21	30.9	63	33	4	Arcilla
C2 (56-92)	6.9	7.9	0.10	0.5	0.04	2.6	0.18	33.0	9.9	0.15	16.7	43	46	11	Arcilla limoso
C3 (92-125)	7.0	7.9	0.10	0.5	0.04	1.1	0.27	35.7	14.6	0.22	24.9	56	38	6	Arcilla

Perfil representativo Cambisol Vértico (Arcillico, Eútrico) CLAVE 02

Fecha: 10 de Febrero de 2007 Localización: Boca del Cerro 66021, 1929903 Elevación: 25 msnm Relieve: Cóncava Pendiente 2% Donador Bien drenado Material parental: Aluviones Vegetación cultivada: Caña de azúcar Condiciones climáticas: Cielo nublado Observaciones: Aplicación de fertilizantes, prácticas de manejo mecanizado, cultivo de temporal, caras de deslizamiento en los horizontes 2 y 3. En el Horizonte 2 se encontraron vestigios de cerámica.	
--	---

Horizonte (cm)	Descripción
AP	Horizontal y marcada; humedad húmedo; color gris muy oscuro (10 YR 3/1); consistencia en muy húmedo ligeramente pegajosa y ligeramente plástica; textura migajón arcilla limosa; pedregosidad muy pocas piedras, piedras medias y grandes, subangulares; poros pocos, finos, continuos, cádicos, dentro de agregados y tubulares; estructura moderadamente desarrollada, poliédrica subangular media; raíces comunes, finas, delgadas y medias; cutanes por eluviación, discontinuos, moderadamente espesos, confinados a los poros o canales de raíces de minerales arcillosos; nula reacción HCl; ligera reacción al peróxido de hidrógeno; permeabilidad moderada. pH 7.
Bw11 37-72	Horizontal y tenue; humedad húmedo; color pardo (10 YR 4/3); consistencia en muy húmedo ligeramente pegajosa y ligeramente plástica; textura migajón arcilla limosa; pedregosidad sin piedras (menos del 1%), piedras pequeñas, subangulares de caliza; poros pocos, finos, continuos, oblicuos, dentro de agregados y tubulares; estructura moderadamente desarrollada, poliédrica subangular media; raíces comunes, finas, delgadas y medias; cutanes por eluviación, discontinuos, moderadamente espesos, confinados a los poros o canales de raíces de minerales arcillosos con óxido de hierro; nula reacción HCl; ligera reacción al peróxido de hidrógeno; permeabilidad moderada; pH 5.
Bw12 72-106	Horizontal y tenue; humedad húmedo; color pardo (10 YR 5/3); consistencia en muy húmedo pegajosa y ligeramente plástica; textura migajón arcillo arenosa; poros pocos, muy finos y finos, discontinuos, cádicos, dentro de agregados y tubulares; estructura moderadamente desarrollada, poliédrica subangular media; raíces raras, delgadas y medias; cutanes por eluviación, continuos, espesos, confinados a los poros o canales de raíces de minerales arcillosos con óxido de hierro; nula reacción HCl; ligera reacción al peróxido de hidrógeno; permeabilidad rápida; pH 5.
C1 106-134	Horizontal y media; humedad húmedo; color pardo (10 YR 4/3); consistencia en muy húmedo pegajosa y plástica; textura arena migajosa; poros pocos, muy finos y finos, discontinuos, cádicos, dentro de agregados y tubulares; estructura moderadamente desarrollada, poliédrica subangular media; raíces raras, finas y delgadas; cutanes por eluviación, discontinuos, moderadamente espesos, confinados a los poros o canales de raíces de minerales arcillosos con óxido de hierro; nula reacción HCl; ligera reacción al peróxido de hidrógeno; permeabilidad rápida; pH 5.
C2 134-155	Humedad muy húmedo; color pardo (10 YR 4/3); consistencia en muy húmedo pegajosa y plástica; textura arenosa; poros frecuentes, muy finos, continuos, cádicos, dentro de agregados y tubulares; estructura débilmente desarrollada, poliédrica subangular fina; raíces raras y delgadas; cutanes por eluviación, continuos, moderadamente espesos, confinados a los poros o canales de raíces de minerales arcillosos con óxido de hierro; nula reacción HCl; ligera reacción al peróxido de hidrógeno; permeabilidad muy rápida; pH 6.

Propiedades físicas y químicas del perfil

Horizontes	pH KCl (H ₂ O)		CE dS m ⁻¹	MO N %		P mg kg ⁻¹	K	Ca	Mg	Na	CIC	Arcilla	Limo	Arena	Clasificación Textural
	rel. 1:2														
AP (0-37)	6.0	6.9	0.01	3.1	0.18	27.4	0.45	23.0	10.5	0.10	26.4	54	30	16	Arcilla
Bw11 (37-72)	5.6	7.0	0.02	0.5	0.04	2.0	0.24	15.3	8.9	0.16	22.3	42	30	28	Arcilla
Bw12 (72-106)	5.6	7.0	0.03	0.3	0.02	3.0	0.22	14.5	8.6	0.11	18.3	48	18	34	Arcilla
C1 (106-134)	5.5	6.9	0.03	0.3	0.02	5.0	0.20	13.1	9.7	0.12	20.3	36	22	42	Migajón arcilloso
C2 (134-155)	5.8	7.0	0.03	0.2	0.01	11.3	0.12	8.4	6.9	0.10	14.2	24	12	64	Migajón arcillo arenoso

Perfil representativo Calcisol Hipocálcico (Rúptico) CLAVE 03


Fecha:	10 Febrero de 2007	
Localización:	663919, 1927389	
Localidad:	Ranchería Rojo Gómez, Tenosique, Tabasco	
Elevación:	46 msnm	
Relieve:	Convexo	
Pendiente	30 %	
Drenaje del sitio	Donador	
Drenaje del perfil:	Imperfectamente drenado	
Material parental:	Rocas calizas del terciario	
Vegetación cultivada:	Caña de azúcar	
Condiciones climática:	Cielo despejado	
Observaciones:	En los horizontes 4 y 5, presencia de caras de deslizamiento y presencia de conchas en el H1.	

Horizonte (cm)	Descripción
Ap	Ondulada y tenue; humedad húmedo; color gris muy oscuro (5 YR 3/1); consistencia en muy húmedo ligeramente pegajosa y ligeramente plástica; textura franca; pedregosidad muy pocas piedras, piedras pequeñas, subangulares de caliza; poros pocos; muy finos y finos; continuos; oblicuos; dentro de agregados y tubulares; estructura fuertemente desarrollada, polidétrica subangular muy fina; raíces comunes; finas, delgadas y medias; fuerte reacción al HCl; moderada reacción al peróxido de hidrógeno; permeabilidad moderada; pH 7.
0-17	
2Bwk1 17-45	Horizontal y media; humedad húmedo; color pardo olivo claro (2.5 Y 5/4); motas amarillentas (10 YR 7/8); marcadas; comunes; muy finas y finas; y grs parduzco claro (10 YR 6/2) marcadas; pocas y muy finas; consistencia en muy húmedo no pegajosa y no plástica; textura migajón arenosa; pedregosidad ligeramente pedregoso, piedras pequeñas, subangulares de caliza; poros pocos; finos, discontinuos, oblicuos; dentro de agregados y tubulares; estructura moderadamente desarrollada, polidétrica subangular fina; raíces comunes, delgadas y medias; estratos endurecidos petrocálcicos; fuertemente endurecido, continuos y aglomerados; extremadamente fuerte reacción al HCl; ligera reacción al peróxido de hidrógeno; permeabilidad rápida; pH 7.
2Bwk2 45-86	Horizontal y marcada; humedad húmedo; color pardo olivo claro (2.5 Y 5/4); motas amarillito rojizo (7.5 YR 6/8); marcadas; comunes; muy finas y finas y grs rosáceo (7.5 YR 7/2) marcadas; pocas y finas; consistencia en muy húmedo no pegajosa y no plástica; textura migajón arenosa; poros pocos; muy finos y finos, discontinuos, cáuticos; dentro de agregados y tubulares; estructura débilmente desarrollada, polidétrica subangular media; raíces comunes, finas y delgadas; estratos endurecidos petrocálcicos; fuertemente endurecido; continuos y aglomerados; extremadamente fuerte reacción al HCl; ligera reacción al peróxido de hidrógeno; permeabilidad rápida; pH 7.
2Ck1 86-121	Horizontal y marcada; humedad húmedo; color pardo olivo claro (2.5 Y 5/4); motas pardo fuerte (7.5 YR 5/6); prominentes; comunes; muy finas y finas y grs rosáceo (7.5 YR 7/2) marcadas; comunes muy finas y finas; consistencia en muy húmedo no pegajosa y no plástica; textura migajón arenosa; poros pocos; muy finos y finos, discontinuos, cáuticos; dentro de agregados y tubulares; estructura débilmente desarrollada, polidétrica subangular media; raíces muy raras y finas; estratos endurecidos petrocálcicos; fuertemente endurecido; continuos y aglomerados; extremadamente fuerte reacción al HCl; ligera reacción al peróxido de hidrógeno; permeabilidad rápida; pH 7.
2Ck2 121-155	Humedad húmedo; color 50 % amarillito pálido (2.5 Y 7/4) y 50 % gris parduzco claro (2.5 Y 6/2); motas pardo fuerte (7.5 YR 5/8); marcadas; comunes; muy finas y finas; consistencia en muy húmedo no pegajosa y no plástica; textura migajón arenosa; poros pocos; muy finos y finos, discontinuos, cáuticos; dentro de agregados y tubulares; estructura débilmente desarrollada, polidétrica subangular media; raíces muy raras y finas; estratos endurecidos petrocálcicos; fuertemente endurecido; continuos y aglomerados; extremadamente fuerte reacción al HCl; ligera reacción al peróxido de hidrógeno; permeabilidad rápida; pH 7.

Propiedades físicas y químicas del perfil

Horizontes	pH	pH	CE	MO	N	P	K	Ca	Mg	Na	CIC	Arcilla	Limo	Arena	Clasificación Textural
	KCl	(H ₂ O)	dS m ⁻¹	%	mg kg ⁻¹	cmol (+) kg ⁻¹	cmol (+) kg ⁻¹	cmol (+) kg ⁻¹	cmol (+) kg ⁻¹	cmol (+) kg ⁻¹	cmol (+) kg ⁻¹	cmol (+) kg ⁻¹	cmol (+) kg ⁻¹	cmol (+) kg ⁻¹	
Ap (0-17)	6.9	7.6	0.12	4.0	0.20	29.0	0.26	31.1	1.4	0.07	23.3	40	34	26	Arcilla
2Bwk1 (17-45)	7.1	8.0	0.10	0.4	0.02	6.6	0.14	35.1	1.0	0.08	14.2	27	45	28	Franco
2Bwk2 (45-86)	7.1	8.0	0.08	0.2	0.01	6.4	0.17	38.4	1.0	0.09	14.2	29	47	24	Migajón arcilloso
2Ck1 (86-121)	7.0	8.1	0.07	0.1	0.01	7.9	0.21	35.5	0.9	0.09	17.2	27	51	22	Migajón limoso
2Ck2 (121-155)	7.0	8.0	0.07	0.1	0.01	9.0	0.23	38.1	1.0	0.09	16.7	27	49	24	Franco

Perfil representativo Gleysol Háptico (Arcilloso, Éutrico) CLAVE 8

Fecha: 12 Febrero de 2007 Localización: 687512, 1931431 Nuevo México Elevación: 54 msnm Relieve: Plano Pendiente: 0.5 % Donador: Imperfectamente drenado Drenaje del sitio: Rocas calizas del terciario Material parental: Pasto húmedicola, Navajuela, Zarza y bola de venado Vegetación cultivada: Cielo medio nublado Condiciones climática: Manto freático a 64 cm de profundidad, se describieron 2 horizontes, debido a que en la siguiente capa se encuentra la roca madre. Observaciones: Falta definir clase de piedra.	
---	---


Horizonte (cm)	Descripción
Ap 0-15	Horizontal y media; humedad húmedo; color gris muy oscuro (10 YR 3/1); consistencia en muy húmedo pegajosa y plástica; textura arcilla media; pedregosidad sin piedras (menos del 1%), piedras pequeñas, subangulares; poros pocos, muy finos y finos, continuos, cáoticos, dentro de agregados y tubulares; estructura débilmente desarrollada, poliédrica subangular media; raíces comunes, finas, delgadas y medias; nódulos pocos, muy pequeños y pequeños, negros esteroides, blando de manganeso; nula reacción HCl; moderada reacción al peróxido de hidrógeno; permeabilidad moderada; pH 6.
Bl 15-85	Humedad húmedo; color pardo (10 YR 5/3); motas rojas (2.5 YR 4/8), marcadas, comunes; muy finas y finas y grs (2.5 YR 6/0), marcadas, muchas y finas; consistencia en muy húmedo ligeramente pegajosa y plástica; textura arcillosa; pedregosidad sin piedras (menos del 1%), piedras pequeñas, subangulares; poros pocos, muy finos y finos, discontinuos, cáoticos, dentro de agregados y tubulares; estructura moderadamente desarrollada, poliédrica subangular media; raíces comunes, finas, delgadas y medias; cutanes planchados por presión, zonales, espesos, entre agregados de minerales arcillosos con óxido de hierro; nula reacción HCl; nula reacción al peróxido de hidrógeno; permeabilidad lenta; pH 6.



Propiedades físicas y químicas del perfil

Horizontes	pH KCl	pH (H ₂ O)	CE ds m ⁻¹	MO %	N %	P mg kg ⁻¹	K	Ca	Mg	Na	CIC	Arcilla	Limo	Arena	Clasificación Textural	
	rel. 1:2			%			cmol (+) kg ⁻¹									
Ap (0-15)	5.2	6.1	0.06	3.6	0.17	2.3	0.12	12.8	8.7	0.16	22.3	46	20	34	Arcilla	
Bl (15-85)	5.2	6.3	0.02	0.5	0.04	0.3	0.04	18.2	12.3	0.16	27.4	62	12	26	Arcilla	

Perfil representativo Fluvisol Stagnico (Eútrico) CLAVE 10

Fecha: 20 Octubre de 2005 Localización: 0662916, 1932984 Localidad: Ejido El Farsán Primera Sección, a 30 m del Río Usumacinta, al oeste de la ciudad de Tenosique Elevación: 38 msnm Pendiente: Llanura aluvial alta Drenaje del sitio: 1-2 % Material parental: Donador Drenaje del perfil: Bien drenado Vegetación: Sedimentos aluviales del Cuaternario Reciente cultívada: Mango, naranja, ciruela, tamarindo, plátano, castaño, guayaba, guanábana Condiciones climáticas: Soleado Observaciones: La llanura aluvial alta del Río Usumacinta, en el sitio, se inunda en periodos de retorno de 13 años, de manera similar como en 1999. Esta información fue proporcionada por el productor del sitio donde se excavó el perfil	
--	---

Prof. (cm)		Descripción del perfil	
	Ag1 0-27/44	Transición media, horizontal; ligeramente húmedo; color negro (10YR 2/1); motas marcadas, muchas de medias a grandes, color pardo oscuro (10YR 3/3); textura migajón arcillo arenosa; estructura fuertemente desarrollada, polidrica subangular, muy fina a muy delgada; consistencia firme, ligeramente pegajoso y ligeramente plástico; cutanes formados por eluvación, continuos, espesos, en poros y caras de los agregados, originados por acumulación de arcilla y materia orgánica; poros numerosos, micro, muy finos, continuos, horizontales y verticales, dentro y fuera de los agregados, tubulares; permeabilidad moderada; pocas raíces, finas, medias y delgadas; sin reacción al HC1; reacción al peróxido de hidrógeno, inmediata efervescencia.	Descripción del perfil
	Cg1 27/44-89/98	Transición Tenue, horizontal; húmedo; color pardo a pardo oscuro (10YR 4/3); motas marcadas, comunes, de medias a grandes, color pardo oscuro (10YR 3/3); textura migajón arcillo arenosa; estructura moderadamente desarrollada, polidrica subangular, muy fina a muy delgada; consistencia friable, no pegajoso y ligeramente plástico; cutanes formados por eluvación, discontinuos, delgados, en caras de los agregados, originados por acumulación de óxidos de hierro; poros numerosos, micro, muy finos, continuos, horizontales y verticales, dentro y fuera de los agregados, tubulares; permeabilidad moderada; raíces muy pocas, gruesas, finas, delgadas; sin reacción al HC1; reacción al peróxido de hidrógeno ligera reacción.	
	C2 89/98-150	Húmedo; color pardo oscuro (10YR 4/3); textura migajón arenosa; estructura granular, media; consistencia muy friable, no pegajoso y no plástico; poros frecuentes, micro, muy finos, continuos, verticales y horizontales, dentro y fuera de los agregados, tubulares, cavidades intersticiales; permeabilidad moderada; raíces pocas, finas, delgadas; sin reacción al HC1; sin reacción al peróxido de hidrógeno.	




Propiedades químicas y físicas del perfil

Prof. (cm)	pH (H ₂ O) rel. 1:2	CE dS m ⁻¹	MO (%)		N (%)	P mg kg ⁻¹	K	Ca Mg Na CIC					Arcilla (%)	Limo (%)	Arena (%)	Clasificación textural
			MO (%)	N (%)				Ca	Mg	Na	CIC					
Al(0-27/44)	7.64	0.108	1.03	0.08	13.8	0.35	23.6	0.5	0.11	14.8	28	20	52	Migajón arcillo arenoso		
Cl(27/44-)	7.73	0.070	0.36	0.04	7.6	0.55	15.4	0.4	0.05	12.5	22	16	62	Migajón arcillo arenoso		

89/98)																				
C2(89/98-150)	8.12	0.113	0.17	0.03	3.7	0.19	53.8	0.3	0.08	7.9	14	14	72							Migajón arenoso

Perfil representativo Cambisol Endogleyico Vertico (Arcilloso, Eútrico) CLAVE 11

Fecha: 13 febrero de 2007 Localización: 672641, 1942246 Localidad: Ejido Estapilla, Tenosique, Tabasco, pasando la selva Elevación: 16 mmsm Relieve: Plano Pendiente: 3% Normal Imperfectamente drenado Drenaje del perfil: Aluviones Material parental: Navajuela y zarza Vegetación cultivada: Despejado Condiciones climática: Derrumbe del 4to. Horizonte por desplazamiento, caras de deslizamiento en los horizontes 2 y 3, profundidad del perfil 152 cm Observaciones:	
--	--


Horizonte (cm)	Descripción
Ap 0-41	Horizontal y tenue; humedad muy húmedo; color pardo grisáceo oscuro (10 YR 4/2); motas pardo amarillento (10 YR 5/8), tenues, pocas, muy finas y finas; consistencia en muy húmedo ligeramente pegajosa y ligeramente plástica; textura migajón arcillosa; poros pocos, finos, continuos, oblicuos, dentro de agregados y tubulares; estructura moderadamente desarrollada, polidétrica subangular fina; raíces pocas, finas, delgadas y medias; cutanes por eluvación, zonales, espesos, confinados a los poros o canales de las raíces de minerales arcillosos; nula reacción al HCl; ligera reacción al peróxido de hidrógeno; permeabilidad moderada; pH 6.
Bwi 41-95	Horizontal y tenue; humedad muy húmedo; color pardo grisáceo muy oscuro (10 YR 3/2); motas pardo amarillento (10 YR 5/4), marcadas, comunes, muy finas y finas; consistencia en muy húmedo ligeramente pegajosa y ligeramente plástica; textura arcilla limosa; pedregosidad ligeramente pedregosa, piedras pequeñas, subangulares de caliza; poros pocos, finos, continuos, cáoticos, dentro de agregados y tubulares; estructura moderadamente desarrollada, polidétrica subangular media; raíces comunes y finas; ligera reacción al HCl; nula reacción al peróxido de hidrógeno; permeabilidad moderada; pH 6.5.
CII 95-122	Horizontal y marcada; humedad muy húmedo; color pardo grisáceo muy oscuro (10 YR 3/2); motas pardo amarillento (10 YR 5/6); marcadas, comunes, muy finas y finas; consistencia en muy húmedo pegajosa y ligeramente plástica; textura arcillo limosa; poros pocos, finos, continuos, cáoticos, dentro de agregados y tubulares; estructura moderadamente desarrollada, polidétrica subangular media; raíces comunes y finas; moderada reacción al HCl; nula reacción al peróxido de hidrógeno; permeabilidad moderada; pH 7.

Propiedades físicas y químicas del perfil

Horizontes	pH KCl	pH (H ₂ O)	CE dS m ⁻¹	MO %	N %	P mg kg ⁻¹	K	Ca	Mg	Na	CIC	Arcilla %	Limo %	Arena %	Clasificación Textural
Ap(0-41)	5.8	7.0	0.13	1.9	0.14	4.0	0.35	38.6	16.8	0.47	47.2	86	8	6	Arcilla

BwI (41-95)	6.5	7.7	0.42	0.7	0.06	1.4	0.28	38.7	26.0	1.96	51.2	90	4	6	Arcilla
Cl (95-122)	6.9	7.7	2.07	0.7	0.04	1.0	0.19	46.8	41.8	4.37	41.6	92	4	4	Arcilla

Perfil representativo Luvisol Gleyico Vértico (Arcílico) CLAVE 12

Fecha: 12 /febrero/ 2007 Localización: 668826, 1938386 Localidad: San Antonio Elevación: 28 msnm Relieve: Cóncavo Pendiente 1 % Drenaje del sitio Receptor Drenaje del perfil: Imperfectamente drenado Material parental: Rocas calizas del terciario Vegetación: Caña de azúcar Cultivada: Cielo despejado Condiciones: Carras de deslizamiento en el 4to. Horizonte. Observaciones:									
<table border="1"> <thead> <tr> <th>Horizonte (cm)</th> <th>Descripción</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Ap 0-43 0-52</td> <td>Irregular y marcada; humedad húmedo; color negro (5 YR 3/1); motas rojas (7.5 YR 5/8), marcadas, comunes; muy finas y finas; consistencia en muy húmedo ligeramente pegajosa y ligeramente plástica; textura arcillosa; pedregosidad ligeramente pedregoso; piedras pequeñas; angulares de arenisca; poros pocos; finos, continuos, oblicuos, dentro de agregados y tubulares; estructura moderadamente desarrollada, polidétrica subangular fina; raíces pocas, finas y delgadas; cutanes planchados por presión, discontinuos, espesos; entre agregados de minerales arcillosos con óxido de hierro; nula reacción HCl; nula reacción al peróxido de hidrógeno; permeabilidad lenta; pH 6.</td> </tr> <tr> <td>Bt2 69-106 78-125</td> <td>Irregular y marcada; humedad húmedo; color gris parduzco claro (10 YR 6/2); motas rojo amarillento (5 YR 5/8), marcadas, muchas, muy finas y finas; consistencia en muy húmedo pegajosa y plástica; textura arcillo limosa; poros pocos; finos, continuos, oblicuos, dentro de agregados y tubulares; estructura débilmente desarrollada, polidétrica angular fina; raíces pocas, finas y delgadas; cutanes planchados por presión, zonales, espesos; entre agregados de minerales arcillosos con óxido de hierro; nula reacción HCl; nula reacción al peróxido de hidrógeno; permeabilidad lenta; pH 6.</td> </tr> <tr> <td>Cl 106-156 125-156</td> <td>Humedad húmedo; color gris claro (5 Y 7/1); motas amarillo rojizo (7.5 YR 7/8), prominentes, muchas, finas y medias; consistencia en muy húmedo pegajosa y ligeramente plástica; textura arcillosa; poros muy pocos; muy finos, continuos, cadícos, dentro de agregados y tubulares; estructura débilmente desarrollada, polidétrica angular fina; raíces raras y finas; nula reacción HCl; nula reacción al peróxido de hidrógeno; permeabilidad muy lenta; pH 7.</td> </tr> </tbody> </table>	Horizonte (cm)	Descripción	Ap 0-43 0-52	Irregular y marcada; humedad húmedo; color negro (5 YR 3/1); motas rojas (7.5 YR 5/8), marcadas, comunes; muy finas y finas; consistencia en muy húmedo ligeramente pegajosa y ligeramente plástica; textura arcillosa; pedregosidad ligeramente pedregoso; piedras pequeñas; angulares de arenisca; poros pocos; finos, continuos, oblicuos, dentro de agregados y tubulares; estructura moderadamente desarrollada, polidétrica subangular fina; raíces pocas, finas y delgadas; cutanes planchados por presión, discontinuos, espesos; entre agregados de minerales arcillosos con óxido de hierro; nula reacción HCl; nula reacción al peróxido de hidrógeno; permeabilidad lenta; pH 6.	Bt2 69-106 78-125	Irregular y marcada; humedad húmedo; color gris parduzco claro (10 YR 6/2); motas rojo amarillento (5 YR 5/8), marcadas, muchas, muy finas y finas; consistencia en muy húmedo pegajosa y plástica; textura arcillo limosa; poros pocos; finos, continuos, oblicuos, dentro de agregados y tubulares; estructura débilmente desarrollada, polidétrica angular fina; raíces pocas, finas y delgadas; cutanes planchados por presión, zonales, espesos; entre agregados de minerales arcillosos con óxido de hierro; nula reacción HCl; nula reacción al peróxido de hidrógeno; permeabilidad lenta; pH 6.	Cl 106-156 125-156	Humedad húmedo; color gris claro (5 Y 7/1); motas amarillo rojizo (7.5 YR 7/8), prominentes, muchas, finas y medias; consistencia en muy húmedo pegajosa y ligeramente plástica; textura arcillosa; poros muy pocos; muy finos, continuos, cadícos, dentro de agregados y tubulares; estructura débilmente desarrollada, polidétrica angular fina; raíces raras y finas; nula reacción HCl; nula reacción al peróxido de hidrógeno; permeabilidad muy lenta; pH 7.	
Horizonte (cm)	Descripción								
Ap 0-43 0-52	Irregular y marcada; humedad húmedo; color negro (5 YR 3/1); motas rojas (7.5 YR 5/8), marcadas, comunes; muy finas y finas; consistencia en muy húmedo ligeramente pegajosa y ligeramente plástica; textura arcillosa; pedregosidad ligeramente pedregoso; piedras pequeñas; angulares de arenisca; poros pocos; finos, continuos, oblicuos, dentro de agregados y tubulares; estructura moderadamente desarrollada, polidétrica subangular fina; raíces pocas, finas y delgadas; cutanes planchados por presión, discontinuos, espesos; entre agregados de minerales arcillosos con óxido de hierro; nula reacción HCl; nula reacción al peróxido de hidrógeno; permeabilidad lenta; pH 6.								
Bt2 69-106 78-125	Irregular y marcada; humedad húmedo; color gris parduzco claro (10 YR 6/2); motas rojo amarillento (5 YR 5/8), marcadas, muchas, muy finas y finas; consistencia en muy húmedo pegajosa y plástica; textura arcillo limosa; poros pocos; finos, continuos, oblicuos, dentro de agregados y tubulares; estructura débilmente desarrollada, polidétrica angular fina; raíces pocas, finas y delgadas; cutanes planchados por presión, zonales, espesos; entre agregados de minerales arcillosos con óxido de hierro; nula reacción HCl; nula reacción al peróxido de hidrógeno; permeabilidad lenta; pH 6.								
Cl 106-156 125-156	Humedad húmedo; color gris claro (5 Y 7/1); motas amarillo rojizo (7.5 YR 7/8), prominentes, muchas, finas y medias; consistencia en muy húmedo pegajosa y ligeramente plástica; textura arcillosa; poros muy pocos; muy finos, continuos, cadícos, dentro de agregados y tubulares; estructura débilmente desarrollada, polidétrica angular fina; raíces raras y finas; nula reacción HCl; nula reacción al peróxido de hidrógeno; permeabilidad muy lenta; pH 7.								

Propiedades físicas y químicas del perfil

Horizontes	pH		CE ds m ⁻¹	MO	N	P mg kg ⁻¹	K	Ca	Mg	Na	CIC	Arcilla	Limo	Arena	Clasificación Textural
	pH KCl	pH (H ₂ O)													
Ap (0-43, 0-52)	5.0	5.9	0.05	3.3	0.17	23.0	0.32	23.9	5.0	0.10	33.5	46	20	34	Arcilla
B1 (43-69, 52-78)	5.9	5.1	0.01	1.0	0.06	1.4	0.11	20.7	1.7	0.18	33.5	53	17	30	Arcilla

B2 (69-106, 78-125)	5.9	5.2	0.01	0.3	0.03	2.4	0.24	39.0	2.5	0.21	46.7	72	10	18	Arcilla
C1 (106-156, 125-156)	6.7	7.8	0.09	0.1	0.01	7.1	0.28	69.0	2.6	0.17	48.7	76	12	12	Arcilla

Perfil representativo Luvisol Curánico (Férrico, Hipereútrico) CLAVE 13

Fecha: 22 Octubre de 2005
 Localización: 0669474, 1931352
 Localidad: Ranchería Lázaro Cárdenas, al este de la ciudad de Tenosique
 Elevación: 56 msnm
 Relieve: Terraza de Tenosique, lomerío moderadamente inclinado
 Pendiente: 2-3% (pequeñas áreas tienen 11% de pendiente)
 Drenaje del sitio: Donador
 Material parental: Bien drenado
 Vegetación: Areniscas del Terciario Medio
 Condiciones climáticas: Pastos estrella y remolino. Mulato, ceiba y maculils. Cercos vivos con mango, ceiba, guácimo, mulato, jobo y cuajilote.
 Observaciones: Soleado
 Presencia de piedras muy grandes a 150cm de profundidad




Prof. (cm)	Prof. (cm)	Descripción del perfil
Bt 25-67	Transición media, horizontal; húmedo; color pardo rojizo oscuro (5YR 3/2); motas prominentes, medias, finas; color rojo (2.5YR 4/8), otras motas son prominentes, comunes, medias y grandes; color amarillito rojizo (7.5YR 6/8), otras son prominentes, comunes, grandes; color negro (10YR 2/1); textura arcilla (fricción-presión); estructura fuertemente desarrollada, polidrica subangular, de fina a delgada; consistencia firme, pegajoso y plástico; cutanes formados por eluvación, continuos, espesos, en caras de los agregados, originados por acumulación FeOH; nódulos abundantes, pequeños, rojos, polidricos, subangulares, blandos, posiblemente formados por acumulación de FeOH; poros frecuentes, micro, muy finos, continuos, horizontales y verticales; dentro y fuera de los agregados, tubulares y cavidades intersticiales; permeabilidad muy lenta; raíces comunes, finas; fauna actividad de lombrices; sin reacción al HCl; sin reacción al peróxido de hidrógeno.	
C2 119-150	Transición Tenue, horizontal; húmedo; color amarillito rojizo (7.5YR 6/8); motas prominentes, muchas, grandes; color pardo (7.5YR 4/2), prominentes, medias y grandes; color rojo (2.5YR 4/8), otras son prominentes, pocas, medias y grandes; color negro (10YR 2/1); textura arcillo arenosa (fricción-presión); estructura fuertemente desarrollada, polidrica, subangular, media; consistencia firme, no pegajoso y ligeramente plástico; cutanes formados por eluvación, continuos, espesos, en poros y caras de los agregados, originados por acumulación de materia orgánica e FeOH; poros frecuentes, micro, muy finos y finos, continuos, horizontales y verticales; dentro y fuera de los agregados, tubulares y cavidades intersticiales; permeabilidad lenta; raíces comunes, finas; sin reacción al HCl; sin reacción al peróxido de hidrógeno.	

Propiedades químicas y físicas del perfil

Horizontes (cm)	pH (H ₂ O) rel. 1:2	CE ds m ⁻¹	MO (%)		N (%)	P mg kg ⁻¹	K	cmol (+) kg ⁻¹						Arcilla Limo Arena (%)			Clasificación textural
			MO (%)	N (%)				Ca	Mg	Na	CIC	Arcilla	Limo	Arena			
A(00-25)	4.6	0.16	2.73	0.14	5.6	0.09	18.4	0.8	0.09	11.6	21	12	67	Migajón arcillo arenoso			
Bt(25-67)	4.5	0.01	1.16	0.08	0.8	0.09	29.1	1.1	0.15	22.2	47	8	45	Arcilla			
C1(67-119)	4.5	0.12	0.56	0.05	7.9	0.08	29.0	0.9	0.20	24.1	39	11	50	Arcillo arenoso			

C2(119-150)	4.8	0.15	0.23	0.05	25.6	0.10	27.6	0.3	0.41	22.2	32	12	56	Migajón arcillo arenoso
-------------	-----	------	------	------	------	------	------	-----	------	------	----	----	----	-------------------------

Perfil representativo Cambisol Técnico (Arcillo, Eútrico) CLAVE 15

Fecha: 22 Octubre de 2005 Localización: 0662946, 1932623 Localidad: Ejido El Faisán Primera Sección, al oeste de la ciudad de Tenosique Elevación: 29 msnm Relieve: Terraza de Tenosique, lomerío moderadamente inclinado Pendiente 3% Donador Imperfectamente drenado Drenaje del perfil: Areniscas del Terciario Medio Material parental: Es un postrero con ganado y pasto remolino, con árboles: maculí, ceiba, cedro, pichi, palma yucateca. Vegetación: cultívada Condiciones climáticas: Soleado Observaciones: Ho1, carbón derivado de quemas	
--	---

Prof. (cm)	Descripción del perfil											
A1 0-19	Transición marcada, horizontal; humedad seco; color pardo grisáceo (10YR 5/2); motas marcadas, comunes, muy finas y finas, color pardo muy pálido (10YR 8/3), otras son prominentes, comunes, medias, grandes, color amarillo (10YR 7/6), otras son marcadas, pocas, de finísimas a muy finas, color negro (10YR 2/1); textura migajón arcillosa; pedregosidad, pedregoso, gravas y piedras pequeñas; estructura fuertemente desarrollada, poliédrica, subangular, de fina a delgada, consistencia en seco duro, pegajoso y plástico cuando húmedo; estrato moderadamente endurecido, granular; cutanes formados por eluvación, discontinuos, moderadamente espesos, en poros y canales de raíces de raíces y caras de los agregados, originados por acumulación de FeOH, CaCO ₃ y materia orgánica; nodulos pocos, pequeños y muy pequeños, blancos y amarillos; poliédricos subangulares, duros; poros frecuentes, micros, muy finos y finos, continuos, horizontales y verticales, dentro y fuera de los agregados; tubulares; permeabilidad lenta; raíces comunes, finas, y delgadas; fauna lombrices y hormigas.											
Bw 19-57	Transición marcada, horizontal; humedad seco; color pardo muy pálido (10YR 7/4); motas prominentes, muchas, medias y grandes, color pardo amarillo claro (10YR 6/4), otras son prominentes, pocas, medias y grandes, color negro (10YR 2/1), otras son prominentes, comunes, medias y grandes, color blanco (10YR 8/1); textura migajón arcillosa; estructura fuertemente desarrollada, poliédrica, subangular, de muy fina a muy delgada; consistencia en seco extremadamente duro, pegajoso y ligeramente plástico; estrato extremadamente endurecido, continuo, vesicular; cutanes formados por eluvación, continuos, moderadamente espesos, en caras de los agregados, originados por acumulación de CaCO ₃ minerales arcillosos y materia orgánica; poros pocos, micros, muy finos, continuos, verticales y horizontales, dentro y fuera de los agregados; tubulares; permeabilidad lenta; raíces pocas, finas.											
BC 57-58/70	Transición marcada, horizontal; ligeramente húmedo, color pardo (10YR 6/3); motas prominentes, comunes, grandes, color blanco (10YR 8/1), otras son marcadas, comunes, medias y grandes, color pardo oscuro (10YR 4/3), otras son prominentes, muchas y grandes, color gris oscuro (10YR 4/1); textura migajón limosa; estructura fuertemente desarrollada, laminar, de grande a gruesa; consistencia duro, ligeramente pegajoso y ligeramente plástico; estrato extremadamente endurecido, continuo, laminar; cutanes formados por concentración, continuos, espesos; en caras de los agregados, originados por acumulación de materia orgánica, arcilla y FeOH; poros pocos, micros, muy finos, cadóticos, dentro y fuera de los agregados; tubulares, continuos; permeabilidad moderada; raíces pocas, finas.											
C1 58/70-121/127	Transición Tenue, horizontal; húmedo, color pardo muy pálido (10YR 7/3); motas prominentes, pocas, muy finas y finas, color (2.5YR 4/8), marcadas, muchas, grandes, color pardo grisáceo (10YR 5/2); textura migajón limosa; granular, fina y delgada; consistencia suelto, ligeramente pegajoso y no plástico; cutanes formados por eluvación, continuos, espesos, en poros y canales de raíces, originados por acumulación de arcilla, materia orgánica y FeOH; poros numerosos, micros, muy finos, continuos, cadóticos, dentro y fuera de los agregados; tubulares; permeabilidad moderada; raíces pocas, finas.											
C2 121/127-155	Húmedo; color pardo amarillento claro (10YR 6/4); motas prominentes, muchas, finas y medias, color amarillo rojizo (7.5YR 6/8); otras son prominentes, comunes, medias y grandes, color blanco (10YR 8/2), otras son prominentes, muchas, de medias a grandes, color pardo grisáceo oscuro (10YR 4/2); textura migajón arcillosa; estructura moderadamente desarrollada, laminar, media; consistencia duro, ligeramente plástico y no plástico; estrato fuertemente endurecido, quebrado, laminar; cutanes formados por eluvación, continuos, espesos, en los poros y caras de los agregados, originados por acumulación de FeOH, minerales arcillosos y materia orgánica; poros pocos, micros, muy finos, continuos, cadóticos, dentro y fuera de los agregados; tubulares; permeabilidad lenta; raíces raras, finas.											

Propiedades químicas y físicas del perfil

Prof. (cm)	pH (H ₂ O) rel. 1:2	CE dS m ⁻¹	MO (%)		N (%)	P mg kg ⁻¹	K	cmol (+) kg ⁻¹						Arcilla (%)	Limo (%)	Arena (%)	Clasificación textural
			Ca	Mg				Na	CIC	Arcilla	Limo	Arena					
A1(00-19)	4.4	0.14	1.82	0.13	3.7	0.28	14.2	1.5	0.43	12.0	28	40	32	Migajón arcilloso			
Bw(19-57)	4.2	0.13	0.10	0.03	2.3	0.85	17.3	3.1	0.50	20.4	30	44	26	Migajón arcilloso			

BC(57-58/70)	4.2	0.14	0.03	0.03	2.0	0.77	14.6	2.4	0.47	24.5	18	44	38	Migajón limoso
C1(58/70-121/127)	4.2	0.15	0.17	0.04	2.0	0.43	8.7	1.3	0.27	9.7	16	62	22	Migajón limoso
C2(121/127-155)	4.3	0.13	0.30	0.04	2.0	0.68	56.8	1.9	0.49	14.3	30	48	22	Migajón arcilloso

Perfil representativo Leptosol Réndzico (Húmico) CLAVE 16

Fecha: 12/ febrero / 2007 Localización: 687793, 1936747 Localidad: Nuevo, México Elevación: 51 msnm Relieve: Plano Pendiente: 0 % Drenaje del sitio: Normal Drenaje del perfil: Bien drenado Material parental: Rocas calizas del terciario Vegetación cultivada: Caña de azúcar Condiciones climática: Cielo despejado Observaciones: Roca intemperizada de 32 a 72 cm, cantos rodados en la superficie del suelo	 
---	--

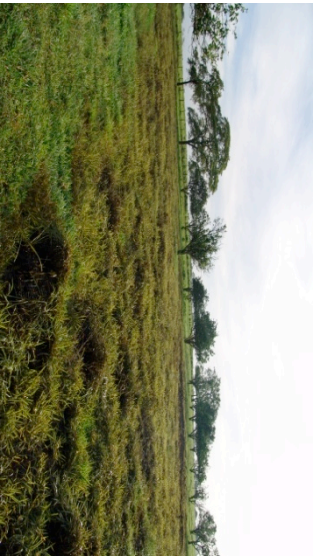
Horizonte (cm)	Descripción
Ap 0-32 R	Humedad húmedo: color negro (5 YR 2.5/1), consistencia en muy húmedo ligeramente pegajosa y plástica; textura arcillo limosa; pedregosidad muy pedregoso, piedras pequeñas y angulares; poros pocos, muy finos y finos, continuos, caóticos, dentro de agregados y tubulares; estructura moderadamente desarrollada, polidétrica subangular media; raíces comunes, finas delgadas y medias; ligera reacción al HCl; nula reacción al peróxido de hidrógeno; permeabilidad moderada.



Propiedades físicas y químicas del perfil

Horizontes	pH KCl (H ₂ O) rel. 1:2	pH	CE ds m ⁻¹	MO	N	P mg kg ⁻¹	K	Ca	Mg	Na	CIC	Arcilla	Limo	Arena	Clasificación Textural
Ap (0-32)	5.6	6.4	0.08	3.9	0.18	9.0	0.14	15.0	11.2	0.32	28.9	34	16	50	Migajón arcillo arenoso


Perfil representativo: Lixisol Cutanico (Crómico Arcillo) CLAVE 17

<p>Fecha: 28 de junio de 2007</p> <p>Localización: Ranchería El Final 652343-1946132</p> <p>Elevación: 65 msnm</p> <p>Relieve: Convexo</p> <p>Pendiente: 5 %</p> <p>Drenaje del sitio: Donador</p> <p>Drenaje del perfil: Bien drenado</p> <p>Material parental: Terrazas del Pleistoceno</p> <p>Flora cultivada: Naranja y pasto</p> <p>Flora nativa: Popales</p> <p>Fauna: Ganado bovino</p> <p>Observaciones: Se encontró presencia de carbón en los Ho. 1, 2 y 3; lengua de arena en el horizonte 3.</p>	
--	--

Profundidad en cm	Características									
	(0-23) (0-15)	Transición ondulada y marcada; húmedo; color pardo rojizo oscuro (5YR3/4); motas tenues, pocas, muy finas y finas, de color (2.5YR5/8); textura migajón arenoso; piedras, pequeñas, menos del 1%; estructura, débilmente desarrollada, de forma polidrica sub-angular muy fina; consistencia, muy friable, no plástico y no pegajoso en muy húmedo; poros, numerosos, muy finos y finos, continuos, cadóticos y tubulares; permeabilidad muy rápida; raíces abundantes, finas y delgadas; pH 5.								
(23-42) (15-45)	Transición irregular y tenue; en seco; color pardo oscuro (7.5YR4/4); textura arena migajosa; estructura, débilmente desarrollada de forma polidrica, sub-angular muy fina; consistencia, blando, friable, no plástico y no pegajoso en muy húmedo; poros, numerosos, muy finos y finos, continuos, cadóticos y tubulares; permeabilidad rápida; raíces comunes, finas y delgadas; pH 5.									
(42-67) (45-81)	Transición irregular y tenue; ligeramente húmedo; color pardo amarillento (10YR5/8); motas, marcadas, comunes y medias de color negro (10YR2/1); textura arena migajosa; estructura, muy débilmente desarrollada de forma polidrica, sub-angular, fina; consistencia, muy friable, no pegajoso y no plástico; poros, numerosos, muy finos y finos, continuos, cadóticos dentro de los agregados y tubulares; permeabilidad rápida; raíces comunes, finas y delgadas; pH 5.5.									
(67-138) (81-138)	Horizonte húmedo; color rojo (2.5Y4/8); motas, marcadas, pocas, muy finas y finas de color amarillo parduzco (10YR6/8); textura arcilla media; estructura moderadamente desarrollada de forma polidrica sub-angular muy finas y finas; consistencia friable pegajoso y plástica; cutanes planchados por presión, discontinuos espesos entre agregados, en poros de canales de raíces, de minerales arcillosos con óxido de hierro; poros frecuentes muy finos y finos continuos, cadóticos, dentro de los agregados y tubulares; permeabilidad lenta; raíces pocas y finas; pH 5.5.									

Ho.	Prof. (cm)	pH		CE (ds m ⁻¹)	MO. (%)	N	P (mg Kg ⁻¹)	cmol (+) Kg ⁻¹					C.I.C	Arcilla	Limo (%)	Arena	Clasificación textural
		H ₂ O	(KCl)					K	Ca	Mg	Na	NSD					
1	(0-23) (0-15)	5.93	5.10	0.030	1.28	0.07	1.01	0.30	1.54	0.39	0.01	3.11	15	9	76	Migajón arenoso	
2	(23-42) (15-45)	6.09	5.37	0.021	1.35	0.07	0.72	0.19	2.44	0.31	0.01	3.11	15	9	76	Migajón arenoso	
3	(42-67) (45-81)	6.03	5.30	0.017	0.40	0.03	0.43	0.11	0.82	0.15	NSD	1.56	15	7	78	Migajón arenoso	

4	(67-138)(81-138)	6.18	5.78	0.021	0.47	0.03	0.58	0.06	2.80	0.39	0.004	4.67	55	4	41	Arcilla
---	------------------	------	------	-------	------	------	------	------	------	------	-------	------	----	---	----	---------

Fecha: 28 de Junio de 2007 Localidad: Ranchería Guayacán, Tenosique, Tabasco Localización: UTM 660039-1950294 Elevación: 76 msnm Relieve: Convexo Pendiente: 6% Drenaje del sitio: Donador Material parental: Bien drenado Flora cultivada: Terrazas del pleistoceno Flora nativa: Pasto Fauna: Popales Ganado bovino	
--	---

Perfil representativo: Ferralsol Mólico (Rédico) CLAVE 18


Profundidad en cm	Características										
	(0-24) (0-15)	Transición horizontal y marcada; húmedo; color, pardo rojizo oscuro (5YR3/3); textura, arena migajosa; pedregosidad, muy pocas piedras pequeñas y redondas; estructura, muy débilmente desarrollada, de forma polidétrica sub-angular, muy fina; consistencia, muy friable, no plástica y no pegajoso; poros, numerosos, muy finos y finos, cáuticos y tubulares; permeabilidad rápida; raíces abundantes; finas y delgadas; fauna lombrices; 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 polidétrica sub-angular, fina; consistencia, muy friable, no plástica y no pegajoso; poros, numerosos, muy finos y finos, continuos, cáuticos 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 polidétrica, sub-angular, fina; consistencia, muy friable, ligeramente pegajoso y ligeramente plástico; poros, numerosos, muy finos y finos, continuos, cáuticos 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 polidétrica, sub-angular y fina; consistencia, muy friable, ligeramente pegajoso y ligeramente plástico; poros, frecuentes muy finos y finos continuos, cáuticos, dentro de los agregados y tubulares; permeabilidad moderada; raíces raras y finas; pH 5.5										

Propiedades físicas y químicas del perfil

Ho.	Prof. (cm)	H ₂ O	pH	pH (KCl)	CE (ds m ⁻¹)	MO. (%)	N	P (mg Kg ⁻¹)	cmol (+) Kg ⁻¹			C.I.C	Arcilla	Limo (%)	Arena	Clasificación textural
									K	Ca	Mg					
1	(0-24) (0-15)	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	(24-48)	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	(48-82)	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	(82-130)	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
---	----------	------	------	-------	------	------	-----	------	------	------	------	------	----	----	----	-----------------

Perfil representativo: Acrisol Úmbrico Gléyico (Arenico) CLAVE 19


<p>Fecha: 28 de Junio de 2007 Localidad: Ranchería Guayacán, Balcanan, Tabasco Localización: UTM 661137-1947348 Elevación: 60 msnm Relieve: Cóncavo-convexo Pendiente: 3% Drenaje del sitio: Imperfectamente drenado Drenaje del perfil: Terrazas del pleistoceno Material parental: Pasto remolino Flora cultivada: Pasto pajón Flora nativa:</p>	
--	--

Profundidad en cm	Características	
	(0-23)	Transición ondulada y marcada; en húmedo: color de matriz, negro (10YR2/1); textura migajón arenosa; piedras menos del 1%, gravas redondas; estructura, débilmente desarrollada, de forma poliédrica, sub-angular, fina; consistencia, no plástica no pegajoso; poros, numerosos, muy finos y finos, continuos, cáuticos y tubulares; permeabilidad rápida; raíces, comunes, finas y delgadas; pH 7.
(23-38)	Transición ondulada y marcada; en húmedo: color de matriz, pardo amarillento (10YR5/4); motas marcadas comunes, muy finas y finas de color amarillo rojizo (7.5YR6/8); textura arenosa; pedregosidad, muy pocas piedras alrededor del 1% con gravas y redondas; estructura, muy débilmente desarrollada, de forma poliédrica, sub-angular, muy fina y fina; consistencia, no plástica y no pegajosa; poros, frecuentes muy finos y finos, continuos, cáuticos y tubulares; permeabilidad rápida; raíces comunes; finas y delgadas; pH 7.	
(38-70)	Horizonte muy húmedo: color pardo fuerte (7.5YR5/8), motas, marcadas, comunes y finas, de color, gris claro (5YR7/1); textura arcilla media; ligeramente pedregoso, gravas, piedras pequeñas y redondas; estructura, moderadamente desarrollada, de forma, poliédrica sub-angular muy fina y fina; consistencia, pegajoso y plástico; cutanes planchados por presión continuos, espesos, entre agregados en poros de canales de raíces, de minerales arcillosos con óxido de hierro; poros, numerosos muy finos, y finos continuos, cáuticos y tubulares; permeabilidad lenta; raíces comunes, finas y delgadas; pH 6;	

Propiedades físicas y químicas del perfil

Ho.	Prof. (cm)	pH		CE (ds m ⁻¹)	MO. (%)	N	P (mg Kg ⁻¹)	omol (+) Kg ⁻¹						Arcilla	Limo (%)	Arena	Clasificación textural
		H ₂ O	KCl					K	Ca	Mg	Na	C.I.C.					
1	(0-23)	5.01	4.39	0.002	2.29	0.09	1.01	0.04	0.38	0.29	0.03	3.11	11	7	82	Arena migajoso	
2	(23-38)	4.65	4.39	0.024	0.54	0.03	0.43	0.02	0.14	0.15	0.01	1.6	13	4	83	Arena migajoso	
3	(38-70)	4.71	4.00	0.009	0.67	0.06	NSD	0.08	2.06	1.10	0.07	5.7	48	4	48	Arcillo arenoso	

Perfil representativo: Fluvisol Cálxico (Eútrico Sódico) CLAVE 21


Fecha: Localidad: Localización: Elevación: Relieve: Pendiente: Drenaje del sitio: Drenaje del perfil: Material parental: Flora cultivada: Flora nativa: Observaciones:	28 de junio de 2007 Ejido Canizán, Balancán, Tabasco UTM 673889-1945333 22 msnm Plano 0 % Donador Bien drenado Aluvión reciente del río Usumacinta Cedro Pasto pajón En el segundo horizonte se encontró una película de arena.	
---	--	--

Profundidad en cm	Características									
	(0-44)	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; cáuticos y tubulares; permeabilidad muy rápida; raíces comunes, finas y delgadas; pH 5.								
(44-75)	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 raíces minerales arcillosos; poros frecuentes, muy finos y finos continuos; cáuticos entre agregados y tubulares; permeabilidad rápida; raíces comunes, finas y delgadas; pH 5.									
(75-128)	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 raíces de minerales arcillosos; moderada reacción al HCl; poros, frecuentes, muy finos, finos, continuos, cáuticos dentro de agregados y tubulares; permeabilidad rápida; raíces comunes, finas y delgadas; pH 5.									
(128-153)	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, cáuticos y tubulares; permeabilidad muy rápida; raíces pocas y finas; pH 5.									
(153-170)	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, cáuticos y tubulares; permeabilidad muy rápida; raíces pocas y finas; pH 5.									

Propiedades físicas y químicas del perfil																	
Ho.	Prof. (cm)	H ₂ O	pH	KCl	CE (ds m ⁻¹)	MO. (%)	N	P (mg Kg ⁻¹)	K	Ca	Md (cmol (+) Kg ⁻¹)	Na	C.I.C.	Arcilla	Limo (%)	Arena	Clasificación textural

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	Migajon 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	Migajon 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	Migajon 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	Migajon 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 migajoso

Perfil representativo: Vertisol Cálcico (Hiperéutrico) CLAVE 22

<p>Fecha: 03 julio de 2007</p> <p>Localidad: Ejido Canitzan, Tenosique, Tabasco</p> <p>Localización: UTM 67R3259-1945518</p> <p>Elevación: 17 msnm</p> <p>Relieve: Plano</p> <p>Pendiente: 1%</p> <p>Drenaje del sitio: Normal</p> <p>Drenaje del perfil: Imperfectamente drenado</p> <p>Material parental: Aluvión reciente</p> <p>Flora cultivada: Pasto</p> <p>Observaciones: Presencia de agrietamiento en el primer horizonte</p>	
--	--

Profundidad en cm		Características
(0-41)		Transición horizontal y media; ligeramente húmedo; color de la matriz 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 polidédica, sub-angular fina; cutanes por eluvación, continuos, espesos en poros de canales de raíces de minerales arcillosos; nódulos muy pequeños, negros; esteroides, blandos de manganeso; poros frecuentes, muy finos y finos, continuos, cádicos; 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 polidédica, sub-angular finas; cutanes, planchados por presión, discontinuos, espesos entre agregados, en poros de canales de raíces; de minerales arcillosos; nódulos pocos pequeños negros; esteroides negros; duros de manganeso; ligera reacción al HCl; poros, numerosos, muy finos y finos, continuos, cádicos 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 polidédica 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, esteroides, duros de manganeso; moderada reacción al HCl; poros, frecuentes muy finos y finos, continuos, cádicos, 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 polidédica, 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, esteroides, duros de manganeso; fuerte reacción al HCl; poros, pocos, muy finos y finos, continuos, cádicos, dentro de los agregados y tubulares; permeabilidad moderada; raíces comunes y finas; pH 5.5.

Propiedades físicas y químicas del perfil

Ho.	Prof. (cm)	pH H ₂ O	CE (ds m ⁻¹)	M.O. (%)	N	P (mg Kg ⁻¹)	K	Ca	Mg cmol(+) Kg ⁻¹	Na	C.I.C.	Arcilla	Limo (%)	Arena	Clasificación textural
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

Perfil representativo: Ferralsol Háptico (Ródico Eútrico) CLAVE 23

Profundidad	características														
	(0-13cm)	Horizonte ondulado y marcada: suelo seco; color de la matriz pardo muy oscuro (10YR2/2); textura arena migajosa; consistencia en seco ligeramente duro, friable en húmedo, no pegajoso y no plástico en muy húmedo; pedregosidad piedras, pequeñas menos del 1% gravas angulares; estructura débilmente desarrollada; polidédrica angular fina; poros, numerosos muy finos y finos, continuos; cádicos y tubulares; permeabilidad muy rápida; raíces abundantes y finas; pH 6.5													
(13-29cm)	Horizonte horizontal y marcada: suelo seco; color de la matriz pardo amarillento oscuro (10YR3/6); molas de color rojo (2.5YR5/8) son tenues, pocas, muy finas y finas; textura arena migajosa; consistencia en seco blando, muy friable en húmedo, en muy húmedo no pegajoso y no plástico; pedregosidad piedras pequeñas, menos del 1% y gravas angulares; estructura muy débilmente desarrollada, polidédrica, angular y sub-angular fina; poros, numerosos muy finos y finos, continuos; cádicos y tubulares; permeabilidad muy rápida; raíces comunes y finas; pH 6.5.														
(29-57cm)	Horizonte horizontal y marcada: suelo seco; color de la matriz amarillo rojizo (7.5YR6/6); textura arenoso; consistencia en seco blando, en húmedo muy friable, y en muy húmedo no pegajoso y no plástico; pedregosidad, ligeramente pedregoso, gravas, redondas y angulares; estructura muy débilmente desarrollada, polidédrica, angular y fina; poros, numerosos muy finos y finos, continuos; cádicos y tubulares; permeabilidad muy rápida; raíces comunes, finas y delgadas; pH 6.														
(57-91cm)	Horizonte horizontal y tenue; suelo ligeramente húmedo; color de la matriz rojo (2.5YR4/8); textura migajon arcillo arenoso; consistencia en húmedo friable, en muy húmedo ligeramente pegajoso y ligeramente pegajoso; pedregosidad, piedras liguas, menos del 1%, redondas y angulares; estructura moderadamente desarrollada, polidédrica sub-angular fina; cutanes, por eluvación, continuos, espesos, confinados, en poros de canales de raíces de minerales arcillosos, con óxido de hierro, poros, frecuentes, muy finos continuos, cádicos y tubulares; permeabilidad moderada; raíces, comunes y finas; pH 5.														
(91-128 cm)	Horizonte horizontal y tenue; suelo ligeramente húmedo; color de la matriz rojo (2.5YR4/0); textura arenosa; consistencia en húmedo suelo; en muy húmedo, no pegajoso y no plástico; estructura muy débilmente desarrollada, polidédrica, angular, fina; poros, frecuentes, muy finos continuos, cádicos y tubulares; permeabilidad rápida; raíces, comunes, finas y delgadas; pH 5.														



		Características										
		Profundidad										
		(0-13cm)	Horizonte ondulado y marcada; suelo seco; color de la matriz pardo muy oscuro (10YR2/2); textura arena migajosa; consistencia en seco ligeramente duro, friable en húmedo, no pegajoso y no plástico en muy húmedo; pedregosidad piedras, pequeñas menos del 1% gravas angulares; estructura, débilmente desarrollada, polidétrica angular fina; poros, numerosos muy finos y finos, continuos, cádicos y tubulares; permeabilidad muy rápida; raíces abundantes y finas; pH 6.5									
		(13-29cm)	Horizonte horizontal y marcada; suelo seco; color de la matriz pardo amarillento oscuro (10YR3/6); motas de color rojo (2.5YR5/8) son tenues, pocas, muy finas y finas; textura arena migajosa; consistencia en seco blando, muy friable en húmedo, en muy húmedo no pegajoso y no plástico; pedregosidad piedras pequeñas, menos del 1% y gravas angulares; estructura muy débilmente desarrollada, polidétrica, angular y sub-angular fina; poros, numerosos muy finos y finos, continuos, cádicos y tubulares; permeabilidad muy rápida; raíces comunes y finas; pH 6.5									
		(29-57cm)	Horizonte horizontal y marcada; suelo seco; color de la matriz amarillo rojizo (7.5YR6/6); textura arenoso; consistencia en seco blando, en húmedo muy friable, y en muy húmedo no pegajoso y no plástico; pedregosidad, ligeramente pedregoso, gravas, redondas y angulares; estructura muy débilmente desarrollada, polidétrica, angular y fina; poros, numerosos muy finos y finos, continuos, cádicos y tubulares; permeabilidad muy rápida; raíces comunes, finas y delgadas; pH 6									
		(57-91cm)	Horizonte horizontal y tenue; suelo ligeramente húmedo; color de la matriz rojo (2.5YR4/8); textura migajón arcillo arenoso; consistencia en húmedo friable, en muy húmedo ligeramente pegajoso y ligeramente pedregoso; pedregosidad, piedras pequeñas, menos del 1%, redondas y angulares; estructura moderadamente desarrollada, polidétrica sub-angular fina; cutanes, por eluvación, continuos, espesos, confinados, en poros de canales de raíces de minerales arcillosos, con óxido de hierro; poros, frecuentes, muy finos continuos, cádicos y tubulares; permeabilidad moderada; raíces, comunes y finas; pH 5									
		(91-128 cm)	Horizonte horizontal y tenue; suelo ligeramente húmedo; color de la matriz rojo (2.5YR4/0); textura arenosa; consistencia en húmedo suelo; en muy húmedo, no pegajoso y no plástico; estructura muy débilmente desarrollada, polidétrica, angular, fina; poros, frecuentes, muy finos continuos, cádicos y tubulares; permeabilidad rápida; raíces, comunes, finas y delgadas; pH 5									
		(128-170 cm)	Horizonte ligeramente húmedo; color de la matriz rojo (2.5YR4/6); textura migajón arcillo arenoso; consistencia en húmedo friable, en muy húmedo pegajoso y plástico; pedregosidad ligeramente pedregoso, redondas; estructura, débilmente desarrollada, polidétrica angular fina; cutanes por eluvación, continuos, espesos, confinados, en poros de canales de raíces de minerales arcillosos con óxido de hierro; nodulos, muy pocos pequeños rojos, blandos de óxido de hierro; poros frecuentes, muy finos continuos, cádicos y tubulares; permeabilidad moderada; raíces abundantes y finas; pH 6.5									

Propiedades físicas y químicas del perfil

Horizonte	Prof. (cm)	pH (H ₂ O)	CE (ds m ⁻¹)	MO. (%)	N	P (mg Kg ⁻¹)	cmol (+) Kg ⁻¹			C.I.C.	Arcilla	Limo (%)	Arena	Clasificación textural	
							K	Ca	Mg						Na
1	(0-13)	5.63	0.027	1.78	0.10	1.43	0.20	1.93	0.42	0.04	1.56	14	12	74	Migajón arenoso
2	(13-29)	5.69	0.020	1.32	0.06	0.57	0.06	1.43	0.31	0.02	1.04	14	10	76	Migajón arenoso
3	(29-57)	6.18	0.013	0.13	0.02	0.14	0.02	0.50	0.11	0.02	NSD	14	10	76	Migajón arenoso
4	(57-91)	6.03	0.013	0.26	0.03	0.29	0.03	1.26	0.25	0.02	1.04	26	6	68	Migajón arcillo arenoso
5	(91-128)	5.98	0.014	0.07	0.01	0.43	0.02	0.77	0.23	0.02	1.56	18	8	74	Migajón arenoso
6	(128-170)	5.78	0.020	0.26	0.03	0.57	0.03	1.72	0.94	0.02	3.11	35	6	59	Migajón arcillo arenoso

Perfil representativo: Vertisol Sódico (Hipereútrico) CLAVE 24

Fecha:	03 julio de 2007	
Localidad:	Ejido Cantizán, Tenosique, Tabasco	
Localización:	UTM 669141-1945082	
Elevación:	25 msnm	
Relieve:	Cónavo-convexo	
Pendiente:	3%	
Drenaje del sitio:	Donador	
Drenaje del perfil:	Pobremente drenado	
Material parental:	Rocas calizas del Terciario	
Flora cultivada:	Pasto	
Flora nativa:	Cornizuelo	
Observaciones:	Presencia de la roca madre en el último horizonte	


Profundidad en cm	Características										
	(0-12)	(12-39)	(39-80)	(80-107)	(107-136)						Clasificación textural
(0-12)	Transición horizontal y marcada; ligeramente húmedo; color de la matriz pardo oscuro (10YR3/3); motas, marcadas, comunes muy finas de color pardo amarillento oscuro (10YR3/6); textura franca; consistencia frable no pegajoso y no plástico en muy húmedo; estructura, fuertemente, desarrollada, de forma polidétrica, sub-angular, fina; cutanes, por eluvación, continuos, espesos, en poros de canales de raíces de minerales arcillosos con óxido de hierro; poros, frecuentes, muy finos y finos, continuos, cádlicos y tubulares; permeabilidad moderada; raíces, abundantes, finas, delgadas y gruesas; pH 5.	Transición horizontal y marcada; húmedo; color pardo (10YR5/3); motas, marcadas, comunes muy finas, de color, pardo amarillento oscuro (10YR3/6); textura arcilla limosa; ligeramente pedregoso, graves redondas; estructura, moderadamente, desarrollada, de forma polidétrica, sub-angular media; consistencia, muy frable ligeramente pegajoso y ligeramente plástico, en muy húmedo; cutanes, planchados por presión, continuos espesos, en poros de canales de raíces de minerales arcillosos con óxido de hierro; nódulos frecuentes, muy pequeños y pequeños, negros, esteroideos; duros de manganeso; poros, pocos, muy finos y finos continuos, cádlicos entre agregados y tubulares; permeabilidad lenta; raíces, comunes, finas, delgadas y medias; pH 5.	Transición horizontal y media; húmedo; color pardo amarillento (10YR5/6); motas prominentes, muchas y muy finas, de color negro (10YR2/1); textura arcilla limosa; estructura moderadamente desarrollada, de forma polidétrica, sub-angular y fina; consistencia, firme, ligeramente, pegajoso y ligeramente plástico; cutanes, planchados por presión, continuos, espesos, entre agregados, en poros de canales de raíces de minerales arcillosos, con óxido de hierro; nódulos, pocos, muy pequeños negros esteroideos duros, de manganeso; poros, pocos, muy finos y finos continuos, cádlicos entre agregados y tubulares; permeabilidad lenta; raíces comunes y finas; pH 6.	Transición horizontal y marcada; húmedo; color pardo amarillento (10YR5/6); motas, marcadas, muchas y muy finas de color negro (10YR2/1); textura miagajón arcilla limosa; estructura, moderadamente, desarrollada, de forma polidétrica, sub-angular, finas; consistencia, firme, ligeramente, pegajoso y ligeramente plástico; cutanes planchados por presión, continuos espesos entre agregados en poros de canales de raíces de minerales arcillosos, con óxido de hierro; nódulos muy pequeños negros esteroideos de manganeso; poros pocos, muy finos y finos continuos, cádlicos entre agregados y tubulares; permeabilidad lenta; raíces pocas y finas; lenta; pH 6.	Horizonte húmedo; color gris olivo claro (5YR6/2); motas, prominentes, muchas muy finas y finas, de color negro (10YR2/1); textura arcilla limosa; estructura, moderadamente, desarrollada, de forma polidétrica, sub-angular, fina; consistencia, frable, ligeramente, pegajoso y ligeramente plástico; cutanes, planchados por presión, discontinuos, espesos entre agregados en poros de canales de raíces, de minerales arcillosos, con óxido de hierro; nódulos, pocos, muy pequeños negros esteroideos de manganeso; poros, pocos, muy finos y finos continuos, cádlicos entre agregados y tubulares; permeabilidad muy lenta; raíces, raras y finas; pH 7.						
(12-39)											
(39-80)											
(80-107)											
(107-136)											

Ho.	Prof. (cm)	pH H ₂ O	CE (ds m ⁻¹)	MO. (%)	N	P (mg Kg ⁻¹)	Propiedades físicas y químicas del perfil										Clasificación textural
							K	Ca	Mg	Na	C.I.C.	Arcilla (%)	Limo (%)	Areña (%)			
1	(0-12)	5.23	0.045	4.75	0.22	7.43	0.41	4.10	2.80	0.10	8.29	29	30	41	Migajón arcilloso		
2	(12-39)	5.42	0.032	1.25	0.07	NSD	0.28	17.0	6.41	0.23	13.0	54	20	26		Arcilla	
3	(39-80)	5.37	0.025	0.43	0.03	12.00	0.24	24.5	13.2	0.54	19.2	70	24	6	Arcilla		
4	(80-107)	6.28	0.054	0.26	0.04	20.57	0.26	27.6	16.1	0.81	20.7	76	18	6	Arcilla		
5	(107-136)	7.65	0.128	0.07	0.03	0.00	0.24	30.7	14.0	0.90	9.85	76	20	4	Arcilla		

Perfil representativo Leptosol Rándzico (Hiperesqueletico, Húmico) CLAVE 27

Fecha: 10 Febrero de 2007 Localidad: 667778, 1926042 Elevación: Rancho Grande Relieve: 51 msnm Pendiente: Convexo Drenaje del sitio: 15-20 % Drenaje del perfil: Donador Material parental: Imperfectamente drenado Vegetación: Rocas caliza del terciario Cultiivada: Caña de azucar Condiciones climática: Cielo despejado Observaciones: Presencia de caras de deslizamiento en el segundo horizonte	
--	--

Horizonte (cm)	Descripción
Ap	Irregular y media; humedad húmedo; color pardo muy oscuro (10 YR 2/2); consistencia en muy húmedo no pegajosa y no plástica; textura arcilla limosa, pedregosidad pedregoso, piedras pequeñas y medias, subangulares de caliza; poros pocos, finos, continuos, cáoticos, dentro de agregados y tubulares; estructura fuertemente desarrollada, polidétrica subangular media; raíces pocas, delgadas y medias; ligera reacción HCl; de ligera a moderada reacción al peróxido de hidrógeno; permeabilidad moderada; pH 6.
0-52	
0-37	

	CR 52-107 37-76	Humedad húmedo; color pardo grisáceo muy oscuro (10 YR 5/3); motas amarillas (2.5 Y 7/8), prominentes, muchas, muy finas y finas; consistencia en muy húmedo ligeramente pegajosa y ligeramente plástica; textura arcilla limosa; pedregosidad extremadamente pedregoso, piedras pequeñas, subangulares de caliza; poros pocos, finos, continuos, cáoticos, dentro de agregados y tubulares; estructura moderadamente desarrollada, polidétrica subangular media; raíces raras, finas y medias; extremadamente fuerte reacción HCl; de ligera a moderada reacción al peróxido de hidrógeno; permeabilidad moderada; pH 6.
---	-----------------------	---

Propiedades físicas y químicas del perfil

Horizontes	pH KCl	pH (H ₂ O)	CE	MO	N	P	K	Ca	Mg	Na	CIC	Arcilla	Limo	Arena	Clasificación Textural
	rel. 1:2			ds m ⁻¹	%	mg kg ⁻¹	cmol (+) kg ⁻¹								
Ap (0-52, 0-37)	6.5	7.4	0.17	4.1	0.24	3.0	0.34	54.7	14.0	0.12	53.3	77	5	18	Arcilla
CR (52-107, 37-76)	7.1	7.9	0.11	0.7	0.04	1.4	0.16	40.5	8.8	0.10	26.6	52	18	30	Arcilla

Perfil representativo Gleysol Hístico (Calcárico) CLAVE 28

Fecha:	3/ marzo / 2007.
Localización:	15Q 0679538, 1924822
Localidad:	Laguna El Pictun
Elevación:	4 msnm
Relieve:	Plano
Pendiente	0 %
Drenaje del sitio	Receptor
Drenaje del perfil:	Pobremente drenado
Material parental:	Aluviones
Vegetación cultivada:	Platanillo, pasto alemán y
Condición climática:	carreallo
Observaciones:	Cielo despejado
	Visible

Horizonte	Descripción
Ha 0-20	Humedad saturado; color en húmedo pardo oscuro (10 YR 3/3); textura fibrica; raíces abundantes, finas delgadas y medias.
Cl 1 20-60	Humedad muy húmedo; color en húmedo pardo oscuro (10 YR 3/3); textura migajón arcillo arenosa; poros frecuentes, muy finos y finos, continuos, cáuticos y tubulares; raíces comunes, finas y delgadas.
Cl 2 60-120	Humedad muy húmedo; color en húmedo gris oscuro (10 YR 4/1); consistencia en muy húmedo ligeramente pegajosa y ligeramente plástica; poros pocos, finos, continuos, cáuticos y tubulares; raíces raras, finas y delgadas; permeabilidad lenta.

Propiedades físicas y químicas del perfil

Horizontes	pH		CE ds m ⁻¹	MO	N	P mg kg ⁻¹	K	Ca	Mg	Na	CIC	Arcilla	Limo	Arena	Clasificación Textural
	rel. 1:2	(H ₂ O)													
Ha (0-20)	7.2	6.9	0.75	39.8	1.27	24.6	0.28	80.1	1.1	0.31	62.4	47	47	6	Arcilla limoso
Cl1 (20-60)	7.5	6.9	0.21	6.63	0.26	28.1	0.12	63.5	1.1	0.16	46.2	64	18	18	Arcilla
Cl2 (60-120)	7.2	6.8	0.37	23.2	0.77	34.3	0.11	84.0	1.0	0.21	63.9	34	22	44	Migajón arcilloso

Perfil representativo Leptosol Mólico Gléyico (Hiperesqueletico, Húmico) CLAVE 29

Fecha: Localización: Elevación: Relieve: Pendiente Drenaje del sitio Drenaje del perfil: Material parental: Vegetación cultivada: Condiciones climática: Observaciones:	12 de Febrero de 2007 679388, 1930934 Guadalupe Victoria 45 msnm Regular 8% Donador Imperfectamente drenado Rocas calizas del terciario Caña de azúcar Cielo nublado Manto freático a 60 cm. Día lluvioso	 
---	---	---

Horizonte (cm)	Descripción
Ap 0-25	Ondulada y marcada; humedad húmedo; color negro (7.5 YR 2/0); consistencia en muy húmedo pegajosa y plástica; textura arcilla limosa; pedregosidad ligeramente pedregoso, piedras pequeñas y redondas; poros pocos, finos y medianos, continuos, cáuticos, dentro de agregados y tubulares; estructura moderadamente desarrollada, poliédrica angular media; raíces comunes, finas, delgadas y medias; nula reacción al HCl; ligera reacción al peróxido de hidrógeno; permeabilidad moderada; pH 6.
CR1 25-50	Ondulada y marcada; humedad húmedo; color pardo rojizo claro (5 YR 6/4); consistencia en muy húmedo no pegajosa y no plástica; textura arenosa; pedregosidad piedras dominantes mas del 75%, piedras pequeñas y medianas, subangulares; poros numerosos, muy finos y finos, continuos, cáuticos y tubulares; sin estructura masiva; raíces pocas, finas y delgadas; muy ligera reacción al HCl; nula reacción al peróxido de hidrógeno; permeabilidad muy rápida; pH 6.
CR2 50-90	Humedad saturado; color gris claro (7.5 YR 7/0); moteado amarillo rojizo (7.5 YR 7/8), marcadas, comunes, finas y medias; consistencia en muy húmedo pegajosa y ligeramente plástica; textura arcillosa; pedregosidad muy pedregoso, grava, piedras pequeñas y medias redondas y subangulares; poros pocos, muy finos y finos, discontinuos, cáuticos, dentro de agregados y tubulares; estructura débilmente desarrollada, poliédrica angular media; raíces raras y finas; nula reacción al HCl; nula reacción al peróxido de hidrógeno; permeabilidad moderada; pH 5.

Propiedades físicas y químicas del perfil

Horizontes	pH KCl	pH (H ₂ O)	CE ds m ⁻¹	MO	N	P mg kg ⁻¹	K	Ca	Mg	Na	CIC	Arcilla	Limo	Arena	Clasificación Textural
Ap (0-25)	5.6	6.4	0.04	3.5	0.19	20.3	0.14	15.9	5.6	0.14	24.9	36	30	34	Miagajón arcilloso
CR1 (25-50)	6.3	7.3	0.04	0.3	0.02	2.9	0.04	2.1	0.4	0.06	2.5	9	12	78	Arena miagajosa
CR2 (50-90)	4.9	5.9	0.04	0.9	0.09	1.0	0.06	25.7	6.3	0.22	33.5	64	12	24	Arcilla

Perfil representativo Vertisol Stagnico (Hiperéutrico Húmico) CLAVE 30

Fecha: 25 Julio de 2007
 Localidad: Pucvicaub, Balancán Tabasco
 Localización: UTM 645727-1962703
 Elevación: 9 msnm
 Relieve: Plano
 Drenaje del sitio: Pobremente drenado
 Drenaje del perfil: Aluvión reciente del río Usunacinta
 Material parental: carras de deslizamiento en el horizonte 3 y 4
 Observaciones:



Descripción del perfil de prfili

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 polidétrica, 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, cádicos 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, polidétrica, subangular, fina; poros, pocos; muy finos y finos, continuos, cádicos 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 (10YR4/6); textura migajón arcillo limoso; consistencia firme, pegajoso y plástica en muy húmedo; estructura moderadamente desarrollada de forma polidétrica, 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 esteroideos blandos de manganeso; moderada reacción al HCl; poros frecuentes muy finos y finos y finos continuos, cádicos 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 polidétrica, subangular, fina y media; nódulos, pocos, muy pequeños y pequeños, negros esteroideos blandos de manganeso; fuerte reacción al HCl; poros frecuentes muy finos y finos continuos, cádicos dentro y fuera de agregados y tubulares; permeabilidad moderada; raíces raras y finas pH 6.	

Horizonte	Prof. (cm)	pH (H ₂ O)	pH KCl	CE (ds m ⁻¹)	MO. (%)	N	P (mg Kg ⁻¹)	K, Ca, Mg, Na, C.I.C. (cmol(+) Kg ⁻¹)						Arcilla	Limo (%)	Arena	Clasificación textural
								K	Ca	Mg	Na	C.I.C.					
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	

Perfil representativo Gleysol Háptico (Arcílico, Éútrico, húmico) CLAVE 31

Fecha: 3/marzo/2007
 Localización: Atras del Ejido Estapilla, Tenosique, Tab
 Localidad: Laguna Estapilla
 Elevación:
 Relieve:
 Pendiente
 Drenaje del sitio
 Drenaje del perfil:
 Material parental:
 Vegetación cultivada:
 Condiciones climática:
 Observaciones:

<1 %
 Receptor
 Pobremente drenado
 Aluviones recientes
 Zarza, platanillo
 Cielo despejado
 Visible , Lámina de agua a los 60 cm de profundidad



Horizonte		Descripción	
Ah	0 - 10	Humedad saturado: color en húmedo pardo oscuro (10 YR 3/3); capa orgánica; sin estructura masiva; nula reacción al HCl; poros muy poroso; permeabilidad rápida; raíces prominentes, finas y delgadas.	
Al	10-50	Humedad muy húmedo; color en húmedo gris (10 YR 4/1); textura arcillosa; sin estructura (masiva); consistencia pegajosa y plástica; poros pocos, muy finos y finos, cadóticos y tubulares; permeabilidad lenta; raíces comunes, finas y delgadas.	
Cl	50 - 120	Humedad muy húmedo; color en húmedo amarilllo parduzco (10 YR 6/8/2); motas color pardo amarillento (10 YR 4/6) prominentes, comunes, finas y delgadas; textura arcillo arenosa; sin estructura (masiva); consistencia ligeramente pegajosa y ligeramente plástica; poros pocos muy finos y finos, continuos, cadóticos y tubulares; permeabilidad lenta; raíces pocas y finas.	

Propiedades físicas y químicas del perfil

Horizontes	pH KCl	pH (H ₂ O)	CE ds m ⁻¹	MO %	N %	P mg kg ⁻¹	K	Ca	Mg	Na	CIC	Arcilla	Limo	Arena	Clasificación Textural
Ah (0-10)	5.8	5.2	0.12	12.8	0.48	20.9	2.09	15.4	10.0	2.53	34.0	52	38	10	Arcilla
Al (10-50)	5.8	5.0	0.07	4.58	0.24	14.9	0.53	16.1	10.9	0.31	29.9	64	26	10	Arcilla
Cl (50-120)	7.1	5.9	0.06	1.53	0.11	2.9	0.34	19.3	13.0	0.17	27.9	68	24	8	Arcilla