



# **COLEGIO DE POSTGRADUADOS**

INSTITUCIÓN DE ENSEÑANZA E INVESTIGACIÓN EN CIENCIAS AGRÍCOLAS

CAMPUS TABASCO

PROGRAMA PRODUCCIÓN AGROALIMENTARIA EN EL TRÓPICO

**DEGRADACIÓN QUÍMICA EN ACRISOLES BAJO DIFERENTES  
USOS EN LA SABANA DE HUIMANGUILLO, TABASCO**

**SOFIA TINAL ORTIZ**

T E S I S

PRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL  
PARA OBTENER EL GRADO DE:

**MAESTRA EN CIENCIAS**

H. CÁRDENAS, TABASCO, MÉXICO

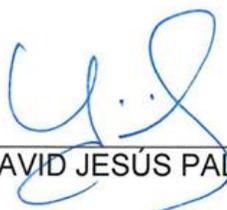
2015

La presente tesis, titulada “**Degradación química en Acrisoles bajo diferentes usos en la Sabana de Huimanguillo, Tabasco**”, realizado por la alumna: Sofia Tinal Ortiz, bajo la dirección del Consejo Particular indicado, ha sido aprobada por el mismo y aceptada como requisito parcial para obtener el grado de:

**MAESTRA EN CIENCIAS**

POSTGRADO EN PRODUCCIÓN AGROALIMENTARIA EN EL TRÓPICO

CONSEJO PARTICULAR

CONSEJERO:   
DR. DAVID JESÚS PALMA LÓPEZ

ASESOR:   
DR. JOEL ZAVALA CRUZ

ASESOR:   
DR. SERGIO SALGADO GARCÍA

ASESOR:   
DRA. CLAUDIA ISABEL HIDALGO MORENO

H. CÁRDENAS, TABASCO, A 4 DE DICIEMBRE DEL 2015

# DEGRADACIÓN QUÍMICA EN ACRIsoles BAJO DIFERENTES USOS EN LA SABANA DE HUIMANGUILLO, TABASCO

## RESUMEN

En la actualidad la degradación del suelo constituye un problema global e influye en el empobrecimiento de la tierra y en su abandono. Así mismo, los suelos varían en el grado de meteorización, la morfología y propiedades químicas, que son importantes para la agricultura en las zonas tropicales. El objetivo de la presente investigación fue evaluar la degradación química en Acrisoles bajo diferentes usos en la Sabana de Huimanguillo, Tabasco. Para ello, se realizó la clasificación y caracterización de suelos con diferentes tipos de relieves y usos del suelo, los cuales fueron posteriormente muestreados para la determinación de sus propiedades químicas. Los suelos se clasificaron como Acrisoles, diferenciándose 9 subunidades con los calificadores Ferric, Cromic, Alomic, Clayic, Cutanic, Humic y Loamic. Los calificadores están relacionados principalmente con el material geológico, el relieve, la génesis y el uso del suelo; esto permitió aclarar el origen de la diferenciación de los suelos de la Sabana de Huimanguillo, Tabasco. Los diferentes Acrisoles muestran contenidos altos de nitrógeno total y bajos en K intercambiable, estas dos variables presentaron diferencias significativas de acuerdo a los usos y pendientes del relieve. Los nutrientes P, Ca, Mg y Na variaron significativamente con el uso del suelo y sus contenidos son considerados como bajos. El pH de estos suelos es fuertemente ácido y presentó diferencias significativas de acuerdo al uso del suelo. La degradación química de los Acrisoles del área de estudio se debe al uso del suelo y las pendientes de los relieves. El uso que presentó la mayor degradación química fue la piña. Asimismo se observó que a mayor pendiente se incrementa la pérdida de fertilidad.

**Palabras claves:** Suelos ácidos, clasificación de suelos, pérdida de nutrientes.

## **ABSTRACT**

Currently soil degradation is a global problem and influences land deterioration and abandonment. In addition, soils vary in the degree of weathering, morphology and chemical properties that are important for agriculture in the tropics. The aim of this research was to evaluate the chemical degradation Acrisols under different uses in Huimanguillo Savannah, Tabasco. For this, the classification and characterization of soils with different types of relief and land use was made, which were then sampled to determine its chemical properties. Soils are classified as Acrisols, differentiating 9 subunits with the Ferric, Cromic, Alumic, Clayic, Cutanic, Humic and Loamic qualifiers. The qualifiers are mainly related to the geological material, the relief, the genesis and land use; it helped to clarify the origin of the differentiation of the soils of the Huimanguillo Savannah, Tabasco. Different Acrisols show high contents of total nitrogen and low exchangeable K, these two variables presented differed significantly according to the uses and slopes of the relief. The nutrients P, Ca, Mg and Na varied significantly with land use and its contents are considered low. The pH of these soils is strongly acidic and show significant differences according to land use. The chemical degradation of Acrisols of the study area is due to land use and the slopes of the reliefs. Use having the highest chemical degradation was pineapple. Also was observed that a steeper increase the loss of fertility.

**Palabras claves: Acid soils, soil classification, loss of nutrients.**

## **AGRADECIMIENTOS**

A Dios, por permanecer siempre en mis pensamientos, brindándome compañía, fuerza, sabiduría, paciencia y entusiasmo.

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) por el apoyo otorgado para la realización de mis estudios de maestría, a través de una beca.

Al Colegio de Postgraduados, por haberme brindado la oportunidad de realizar mis estudios de maestría y formar parte de la comunidad del Campus Tabasco.

A mi esposo Abraham Isaac Franco Camacho por el apoyo que hizo posible la iniciación de mis estudios de maestría; y a mi madre por el tiempo brindado para seguir día a día.

Al Dr. David J. Palma López por brindarme su apoyo académico, aportación de sus conocimientos y la disposición de su tiempo, que hicieron posible la realización de este trabajo.

Al Dr. Joel Zavala Cruz, Dr. Sergio Salgado García y Dra. Claudia Isabel Hidalgo Moreno por sus valiosas aportaciones, por compartir su tiempo y sus conocimientos para la realización de este trabajo.

Al Ing. José del Carmen Cámara Reyna e Ing. José Juan de la Cruz Santamaria, por el apoyo de campo durante el muestreo de suelos de este trabajo.

Al Laboratorio de Análisis Químicos de Suelos, Plantas y Aguas (LASPA) por las facilidades que otorgaron para la realización de los análisis fisicoquímicos que avalan el presente trabajo.

Y a todos aquellos que estuvieron al pendiente para la finalización de este trabajo.

## DEDICATORIA

*A mí hijo Abraham Alejandro Franco Tinal*

## CONTENIDO

<b>INTRODUCCIÓN GENERAL</b> .....	1
<b>1 OBJETIVOS</b> .....	2
1. 1 Objetivo general .....	2
1. 2 Objetivos particulares .....	2
<b>2 HIPÓTESIS</b> .....	2
<b>3 REVISIÓN DE LITERATURA</b> .....	3
3. 1 Definición de suelo .....	3
3. 2 Acrisoles .....	3
3. 3 Definición de degradación .....	5
3. 3. 1 Degradación química del suelo .....	6
Materia orgánica del suelo (MOS) .....	8
Nitrógeno total (Nt) .....	10
Fósforo (P) .....	10
Capacidad de intercambio catiónico (CIC) .....	11
Reacción del suelo (pH) .....	12
3. 4 Factores de degradación de suelos .....	14
3. 4. 1 Usos del suelo .....	14
Acahual .....	14
Pastizales .....	15
Cultivo de piña .....	17
Cultivo de limón persa .....	18
3. 4. 2 Topografía .....	19
3. 5 Estudios realizados sobre degradación química .....	20
<b>4 REFERENCIAS</b> .....	26
<b>CAPÍTULO I. CARACTERIZACIÓN DE SUELOS BAJO DIFERENTES USOS Y PENDIENTES EN LA SABANA DE HUIMANGUILLO TABASCO, MÉXICO</b> .....	33
<b>RESUMEN</b> .....	34
<b>ABSTRACT</b> .....	35
<b>INTRODUCCIÓN</b> .....	36
<b>MATERIALES Y MÉTODOS</b> .....	37

Área de estudio.....	37
Caracterización morfológica de las unidades de suelo .....	38
Propiedades químicas determinadas con fines de clasificación .....	39
Clasificación de suelos.....	39
<b>RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....</b>	<b>39</b>
Clasificación de suelos de la Sabana de Huimanguillo .....	39
Calificadores diferenciales .....	43
<b>CONCLUSIONES .....</b>	<b>48</b>
<b>REFERENCIAS.....</b>	<b>49</b>
<b>CAPITULO II. DEGRADACIÓN QUÍMICA EN ACRISOLES BAJO DIFERENTES USOS Y PENDIENTES EN LA SABANA DE HUIMANGUILLO TABASCO, MÉXICO .....</b>	<b>53</b>
<b>RESUMEN .....</b>	<b>54</b>
<b>ABSTRACT.....</b>	<b>55</b>
<b>INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>56</b>
<b>MATERIALES Y MÉTODOS.....</b>	<b>57</b>
Área de estudio.....	57
Muestreo de suelos.....	58
Propiedades químicas determinadas en el suelo.....	59
Análisis estadístico.....	59
<b>RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....</b>	<b>59</b>
Materia orgánica en el suelo (MOS).....	59
Nitrógeno total (Nt).....	60
Fosforo extraíble (P) .....	62
Capacidad de intercambio catiónico (CIC).....	63
Bases Intercambiables.....	64
pH .....	67
<b>CONCLUSIONES .....</b>	<b>68</b>
<b>REFERENCIAS.....</b>	<b>69</b>
<b>5 CONCLUSIONES GENERALES .....</b>	<b>75</b>
<b>6 ANEXOS .....</b>	<b>76</b>

## LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Subunidades de Acrisoles en el estado de Tabasco.....	4
Tabla 2. Valores de pH para diferenciar la reacción del suelo. ....	13
Tabla 3. Claves de perfiles de suelos en tres pendientes y cuatro usos del suelo.....	38
Tabla 4. Subunidades de suelos en pastizal, piña, limón y acahual sobre tres gradientes de pendientes en la Sabana de Huimanguillo, Tabasco.....	40
Tabla 5. Análisis físicos y químicos de suelos en la Sabana de Huimanguillo, Tabasco bajo diferentes pendientes y usos agrícolas. ....	41
Tabla 6. Calificadores principales y complementarios para Acrisoles sobre tres gradientes de pendientes y cuatro usos del suelo en la Sabana de Huimanguillo, Tabasco.....	44
Tabla 7. Materia orgánica (MO %) en diferentes usos y pendientes en la Sabana de Huimanguillo, Tabasco.....	60
Tabla 8. Nitrógeno total (Nt %) en diferentes usos y pendientes en la Sabana de Huimanguillo, Tabasco.....	61
Tabla 9. Fosforo extraíble (P mg kg <sup>-1</sup> ) en diferentes usos y pendientes en la Sabana de Huimanguillo, Tabasco.....	62
Tabla 10. CIC (cmol (+) kg <sup>-1</sup> de suelo) en diferentes usos y pendientes en la Sabana de Huimanguillo, Tabasco.....	64
Tabla 11. Bases intercambiables en diferentes usos y pendientes en la Sabana de Huimanguillo, Tabasco.....	65
Tabla 12. pH en diferentes usos y pendientes en la Sabana de Huimanguillo, Tabasco.....	67

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Estados de la República Mexicana con mayor degradación de suelos; escala 1:250 000 (Fuente: SEMARNAT-CP, 2002).....	7
Figura 2. Relación entre la materia orgánica y la fertilidad del suelo (Manlay et al., 2007).....	8
Figura 3. Comunidad de acahual en la Sabana de Huimanguillo, Tabasco. ....	15
Figura 4. Pastizales en la Sabana de Huimanguillo, Tabasco.....	16
Figura 5. Cultivo de piña en la Sabana de Huimanguillo, Tabasco. ....	18
Figura 6. Plantaciones de limón persa en la Sabana de Huimanguillo, Tabasco. .	19
Figura 7. Localización del área de estudio y ubicación de perfiles de suelo. ....	37
Figura 8. Perfiles de suelos representativos de la Sabana de Huimanguillo, Tabasco. a) AC-fr-ct.lo, b) AC-fr-ce.ct.hu, c) AC-cr-au.ce.ct, d) AC-cr-ce.ct. ....	44
Figura 9. Localización del área de estudio del muestreo de suelos. ....	57

## INTRODUCCIÓN GENERAL

La conversión de los ecosistemas tropicales naturales a sistemas agrícolas, el uso inadecuado de la tierra, las pendientes, los relieves y las condiciones climáticas de temperatura y humedad en Tabasco, ejercen una influencia dominante en la velocidad de degradación química de los suelos ácidos provocando alteraciones en la fertilidad y productividad del recurso (Geissen et al., 2009; Liu et al., 2010; Zavala-Cruz et al., 2011; Kosmas et al., 2014).

En la Sabana de Huimanguillo, se realizan actividades de vital importancia para el sector agropecuario del estado de Tabasco, los principales usos del suelo son la citricultura, el cultivo de la piña, el pastizal cultivado y plantaciones forestales (INEGI, 2001; Salgado et al., 2007; Salgado et al., 2010), también predominan los pastos nativos como el pajón de sabana (*Paspallum conjugatum*), cabezón y camalote (*Paspallum sp.*), y otros tipos de vegetación como los encinares (*Quercus oleoides*) y los tasistales (*Acoelorrhaphe wrightii*) (Palma-López y Cisneros, 2000); en sus relieves de lomeríos, los suelos presentan en su mayoría degradación química (Ortiz-Pérez et al., 2005; Ortiz- Solorio et al., 2011).

La degradación química del suelo se debe a los cambios no deseados en las propiedades químicas del recurso, tales como la acidez, alcalinidad, pérdida de nutrientes, salinidad, sodicidad y contaminación. En suelos tropicales desarrollados a partir de materiales parentales ácidos y con elevaciones expuestas al intemperismo acelerado, como es el caso de los Acrisoles de la Sabana de Huimanguillo, el factor clima, por efecto de precipitaciones altas, provoca un remplazo paulatino de bases intercambiables por iones  $H^+$  y  $Al^{+3}$  favoreciendo la acidificación y contribuyendo a la declinación de la fertilidad del suelo (SEMARNAT-CP, 2002; Zavala et al., 2011; Osman, 2013).

En la actualidad, la degradación del suelo constituye un problema de alcance global afectando el desarrollo rural. Los diferentes usos y pendientes de relieve pueden inducir cambios en las propiedades y limitar la productividad de los suelos poniendo

en riesgo la seguridad alimentaria, disminuyendo el espacio útil para actividades agrícolas, lo que puede contribuir en el empobrecimiento de las comunidades locales y en el abandono del campo (Geissen y Guzman, 2006; Bai et al., 2008; FAO, 2015). El presente trabajo tiene como propósito contribuir al conocimiento de esta problemática mediante la clasificación y evaluación de la degradación química de los suelos ácidos tropicales.

## **1 OBJETIVOS**

### **1. 1 Objetivo general**

Evaluar la degradación química en Acrisoles bajo diferentes usos y pendientes en la Sabana de Huimanguillo, Tabasco.

### **1. 2 Objetivos particulares**

- Clasificar y caracterizar los suelos del área de estudio que están siendo utilizados con diferentes usos agrícolas en diversos relieves.
- Evaluar los cambios químicos en suelos sujetos a diferentes usos en diversas pendientes.

## **2 HIPÓTESIS**

**2. 1** En la Sabana de Huimanguillo existen suelos diferentes debido al efecto del relieve

**2. 2** El uso del suelo provoca cambios en las propiedades químicas en los Acrisoles de la Sabana de Huimanguillo, Tabasco

### 3 REVISIÓN DE LITERATURA

#### 3. 1 Definición de suelo

El suelo es un recurso no renovable en el marco del tiempo de la vida humana (Lal, 2009), por ello, es considerado el recurso más valioso para el equilibrio global de la biosfera (Doran y Parkin, 1994; Rosewell, 1999), por ser el más intensamente utilizado por el hombre para su subsistencia. Toda la actividad humana está relacionada con el uso del suelo, como la producción de alimentos, materias primas y soporte a infraestructura (Navarro y Navarro, 2008); funciona como un elemento del ecosistema por ser un transformador de energía, reciclador de materiales y purificador de agua (Osman, 2013), y regula el intercambio de material, energía, agua y gas dentro del sistema litosfera-hidrosfera y la biosfera-atmosfera (Osman, 2014).

En otros términos, es un cuerpo natural que comprende sólidos (minerales y materia orgánica), líquidos y gases que ocurren sobre la superficie de la tierra, que ocupa un espacio y es caracterizado por uno o ambos de los siguientes: tiene horizontes o capas que se distinguen del material inicial como resultado de adiciones, pérdidas, transferencias y transformaciones de materia y energía, o tiene la habilidad de soportar plantas enraizadas en un ambiente natural (Soil Survey Staff, 2014).

#### 3. 2 Acrisoles

Los suelos Acrisoles tiene un horizonte árgico que comienza  $\leq 100$  cm desde la superficie del suelo; con una CIC (por  $\text{NH}_4\text{OAc}$  1 M, pH 7)  $< 24 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$  arcilla en alguna parte del horizonte dentro los primeros 50 cm por debajo de su límite superior; y una saturación de bases, calculada sobre la suma de bases intercambiables (por 1 M  $\text{NH}_4\text{OAc}$ , pH 7), más el Al intercambiable (por 1 M KCl, sin búfer), de  $< 50\%$ , ya sea:

- a. en la mayor parte entre 50 y 100 cm de la superficie del suelo mineral; o

b. en la mitad inferior del suelo mineral por encima de la roca continua, material duro o cementado o una capa endurecida que inicia  $\leq 100$  cm de la superficie del suelo mineral (IUSS Working Group WRB, 2014).

Son suelos ocupados con sabana, se ubican en lomeríos o terrazas del estado de Tabasco, las ligeras a moderadas pendientes y la precipitación abundante, los exponen a la erosión y por lo tanto al lavado de bases lo que los hacen más ácidos, de poca fertilidad, con baja saturación de bases y alta concentración de aluminio intercambiable. Son los suelos más intemperizados, lixiviados y ácidos de Tabasco (Palma-López et al., 2007; Salgado et al., 2010; Zavala et al., 2014). Se han identificado las siguientes subunidades (Tabla 1) (Jiménez, 2013; Zavala et al., 2014):

**Tabla 1. Subunidades de Acrisoles en el estado de Tabasco.**

---

Acrisol Cutánico (Arcílico, Epiéutrico, Férrico)
Acrisol Cutánico (Arcílico, Hiperdístico, Húmico)
Acrisol Cutánico (Crómico, Arcíloco, Húmico)
Acrisol Cutanico (Hiperdistrico, Férrico)
Acrisol Cutánico Vetico (Abrúptico)
Acrisol Gléyico Plíntico (Hiperdístico)
Acrisol Plíntico (Férrico)
Acrisol Plíntico (Húmico)
Acrisol Úmbrico (Férrico)
Acrisol Úmbrico (Hiperdístico)
Acrisol Úmbrico (Húmico)
Acrisol Úmbrico Cútánico (Hiperdístico, Húmico)
Acrisol Úmbrico Cútánico (Endoarcílico, Hiperdistrico)
Acrisol Úmbrico Cútánico (Endoarcílico, Hipersístico, Férrico)
Acrisol Úmbrico Cútánico (Hiperdístico, Férrico)
Acrisol Úmbrico Plíntico (Hiperdistrico)
Acrisol Umbri-Gléyico
Acrisol Ferri-Plintico
Acrisol Hiperdistri-Ferrico
Acrisol Humi-Úmbrico
Acrisol Humi-Plintico
Acrisol Ferri-Úmbrico

---

Fuente: Jiménez, 2013; Zavala et al., 2014

Generalmente estos suelos son de desarrollo muy avanzado, están relacionados con la edad de esas superficies, son profundos y su fracción arcillosa está conformada por arcillas minerales de tipo caolinitica y por óxidos de hierro y aluminio en forma de sesquióxidos, que contribuyen a la alta fijación de fósforo (Gracheva, 2011). Muestran revestimientos de arcillas en la cara de agregados y canales de raíces, debido a la iluviación de arcillas, presentan abundantes manchas en forma reticulada y de colores rojos y amarillo-grisáceos, indicando condiciones cambiantes óxido-reducción. La relativa acidez de estos suelos limita la actividad microbiana favoreciendo la acumulación de materia orgánica humificada (Ortiz- Pérez et al., 2005). Predominan las texturas finas franco arcillo-limosas a arcillosas. Además, son suelos moderadamente bien drenados, con una permeabilidad interna que varía de rápida a moderada, lo cual provoca que estos suelos sean propensos a la erosión hídrica (Palma-López et al., 2007).

### **3. 3 Definición de degradación**

La degradación de la tierra se define como un declive temporal o permanente en la capacidad de producción de la misma, incluyendo sus principales usos, sus sistemas de cultivos y su valor como recurso económico (Stoking y Murgham, 2003).

La degradación del suelo ha sido descrita como la pérdida o reducción de la capacidad actual o potencial de los suelos para producir materiales vegetales en la cantidad y calidad deseada. Además, se reconoce como un indicador de la degradación de la tierra, ya que el suelo es la base de todos los ecosistemas terrestres e integra una importante variedad de procesos como el crecimiento de la vegetación, el flujo de agua de la superficie, la infiltración, el uso y el manejo de la tierra (Bridges y Oldeman, 1999; Stocking y Murnagham, 2003; Osman, 2013).

El proyecto de la Evaluación Mundial de la Degradación de Suelos Inducida por el Hombre (GLASOD, por sus siglas en inglés) ha identificado cinco factores principales de degradación de los suelos a nivel mundial: la deforestación o remoción de vegetación natural, el pastoreo excesivo, actividades agrícolas, la sobreexplotación de la vegetación para consumo doméstico y las actividades bio-

industriales. Como consecuencia, los tipos de degradación del suelo son cinco: erosión hídrica, erosión eólica, degradación química, degradación física y degradación de la actividad biológica (Lal y Blanco, 2010; Ortiz-Solorio et al., 2011; Osman, 2014).

### **3. 3. 1 Degradación química del suelo**

La degradación química del suelo está enfocada a cambios en el contenido de nutrientes que conducen a deficiencia o a niveles tóxicos de nutrientes esenciales para el crecimiento sano de la planta; o a la acumulación de sustancias tóxicas o a la pérdida de bases intercambiables (Ortiz *et al.*, 1994; Stocking y Murnaghan, 2003). De acuerdo al proyecto GLASOD, la degradación o deterioro químico puede ser por pérdida de nutrimentos o materia orgánica, salinidad, acidificación y contaminación (Ortiz-Solorio et al., 2011).

Las áreas tropicales de México se encuentran expuestas a la degradación química, principalmente por acidificación (Ortiz- Solorio et al., 2011). La acidificación del suelo en estas zonas es el resultado de la intensa presión que ejercen sobre él los factores climáticos (Zetina et al., 2002) y en conjunto con las prácticas agrícolas pueden acelerar o crear la acidez del suelo dentro de un corto periodo de tiempo (Osman, 2014); sin embargo, en los suelos agrícolas, la degradación puede ser también favorecida por la aplicación de fertilizantes nitrogenados y eliminación de los productos agrícolas (granos, pastos, productos animales, rastrojos) (Ortiz-Pérez et al., 2005; Upjohn et al., 2005).

A nivel nacional los principales procesos de degradación son: la degradación química por declinación de la fertilidad en 17% del territorio nacional, erosión hídrica con pérdida de suelo superficial en el 10%, erosión eólica con pérdida de suelo superficial en el 9% y degradación física por compactación del suelo en el 4% (Krasilnikov et al., 2013). A nivel estatal las entidades con mayor degradación de los suelos son: Tlaxcala con el 74% de su territorio, Yucatán con 71% y Tabasco con el

70% (Figura 1) (Ortiz- Solorio et al., 2011). La degradación química, es el proceso que domina en la Sabana de Huimanguillo.

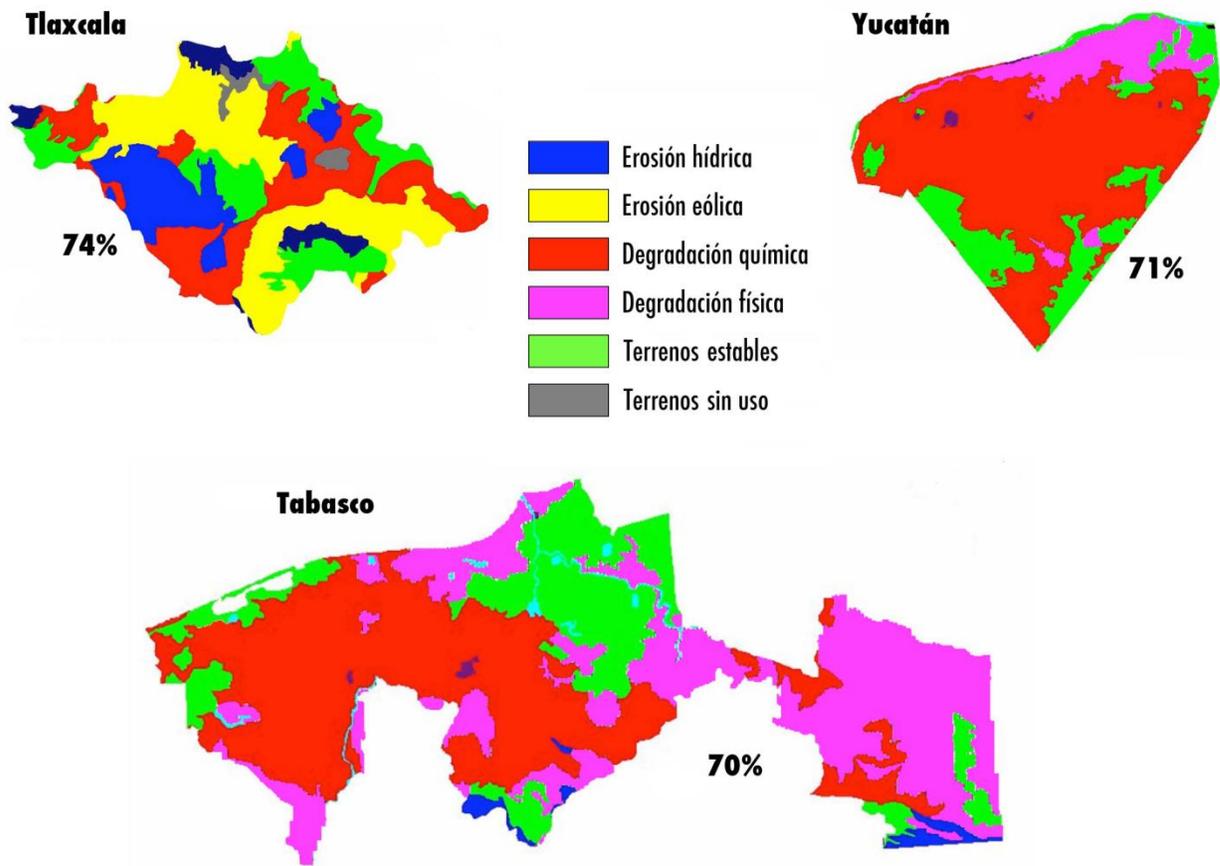


Figura 1. Estados de la República Mexicana con mayor degradación de suelos; escala 1:250 000 (Fuente: SEMARNAT-CP, 2002).

El agotamiento de nutrientes del suelo ha causado serios desequilibrios de nutrientes de modo que la fertilidad del suelo disminuye. La pérdida de la materia orgánica y nutrientes del suelo se produce principalmente por la tala de la vegetación natural, sin embargo, también puede ocurrir si la agricultura es practicada sobre suelos pobres o de moderada fertilidad, sin aplicación de suficientes abonos y fertilizantes (Osman, 2014). A continuación se describen las principales propiedades químicas que representan la fertilidad del suelo.

## Materia orgánica del suelo (MOS)

Los suelos se forman a partir de materiales y minerales originarios sin materia orgánica y posteriormente se van acumulando residuos de plantas y animales en varios estados de descomposición (Porta et al., 2008; Osman, 2013); los residuos de las plantas son el material principal de materia orgánica en el suelo, pueden incluirse los restos de microorganismos, especialmente bacterias y hongos; y los materiales de origen animal ya sea de restos o de deyecciones de animales, las cuales son consideradas como fuentes secundarias de materia orgánica porque evolucionan rápidamente y no dejan compuestos duraderos en el suelo (Navarro y Navarro, 2008).

La MOS es reconocida como un factor importante que controla muchas propiedades de los suelos, por ejemplo el mantenimiento de la fertilidad (Figura 2) y los principales ciclos biogeoquímicos; su estado se toma a menudo, como un indicador fuerte de la fertilidad y la degradación de la tierra (Manlay et al., 2007).

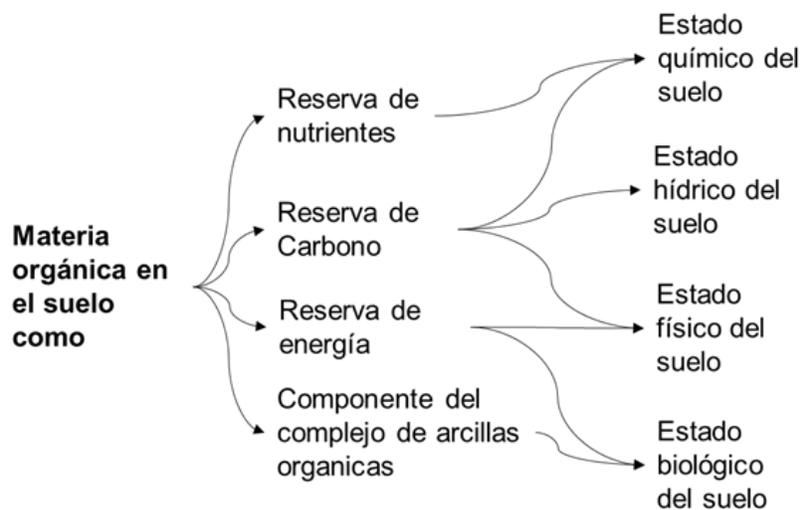


Figura 2. Relación entre la materia orgánica y la fertilidad del suelo (Manlay et al., 2007).

Muchos factores edáficos y ambientales afectan el contenido de la MOS, los factores principales que condicionan el contenido de MOS son:

Vegetación: los residuos aportados en la superficie del suelo varían en el ecosistema de que se trate. Los suelos forestales y bajo pastizales son ricos en

materia orgánica, y cuando se sometan a la agricultura, esta se reduce gradualmente por un aumento de la descomposición de la misma (Porta et al., 2003; Osman, 2013).

Clima: En zonas áridas y semiáridas, existe poca vegetación, por consiguiente, habrá poca MOS. En zonas frías la materia orgánica (MO) tiende a acumularse, mientras que en zonas tropicales húmedas, existen muchos aportes, pero también la mineralización es muy rápida (Porta et al., 2003).

Organismos del suelo: desempeñan un papel importante en el mantenimiento de la fertilidad del suelo a través de los procesos de acumulación de la materia orgánica, agregación del suelo y la mineralización de la materia orgánica que libera nutrientes disponibles para las plantas superiores (Juo y Franzluebbers, 2003).

Posición en la pendiente: Los suelos en la parte inferior de las pendientes generalmente tienen mayor contenido de materia orgánica debido a que estas áreas son generalmente más húmedas y mejores en la fertilidad, asimismo, algo de materia orgánica se pierde por la escorrentía de los suelos de pendientes superiores, la cual es captada por los suelos de las partes bajas (Osman, 2013).

Drenaje: la materia orgánica se descompone mal y tiende a acumularse en suelos mal aireados en los que falta oxígeno; en aquellos que están permanentemente saturados por agua se puede formar un suelo orgánico (Porta et al., 2003)

Textura: en suelos fértiles con texturas finas se produce más biomasa, y a mayor cantidad de biomasa, se añade mayor cantidad de materia orgánica que a su vez, retiene más agua y nutrientes (Osman, 2013).

Estructura del suelo: dependiendo del desarrollo de la estructura del suelo, permite el enraizamiento de las plantas y en gran medida controla la descomposición de sustancias orgánicas por microorganismos (Vanveen y Kuikman, 1990).

Laboreo del suelo: implica la pérdida de materia orgánica, lo que reduce la fertilidad del suelo y la productividad, principalmente en pendientes pronunciadas a mediano y largo plazo en suelos agrícolas con manejo inadecuado (Lal y Blanco, 2010).

### **Nitrógeno total (Nt)**

El nitrógeno total es una de las propiedades fundamentales para evaluar la fertilidad del suelo (Jarquín-Sánchez et al., 2011), incluye todas las formas de nitrógeno orgánico e inorgánico en el suelo (McGill et al., 2007). El N-orgánico se descompone a través de la acción de animales y de microorganismos del suelo en N-amoniaco inorgánico soluble ( $\text{NH}_4\text{-N}$ ) a través del proceso de mineralización, el  $\text{NH}_4\text{-N}$  puede ser transformado en N-nitrato ( $\text{NO}_3\text{-N}$ ) por un grupo de organismos llamados nitrificadores (Osman, 2013).

En suelos de tierras altas, con pH ligeramente ácidos a neutros, el  $\text{NH}_4\text{-N}$  se transforma rápidamente a  $\text{NO}_3\text{-N}$  por nitrificantes; sin embargo en tierras altas fuertemente ácidas (pH inferior a 4.5), y en condiciones anaerobias o suelos inundados, la población de bacterias nitrificantes generalmente es muy baja y la cantidad de  $\text{NH}_4\text{-N}$  en estos suelos es considerablemente mayor que la de  $\text{NO}_3\text{-N}$  debido a la baja actividad de nitrificación (Juo y Franzluebbers, 2003).

Muchas de las pérdidas de nitrógeno pueden ser atribuidas a la reducción de entradas de materia orgánica, aumento de la descomposición de residuos de cultivos, y efectos de labranza que afectan la aireación del suelo, disminuyendo la protección física de la materia orgánica del suelo (Post y Kwon, 2000).

### **Fósforo (P)**

El fósforo (P) es un elemento que procede de la descomposición de la roca madre durante el proceso de meteorización, y existe en el suelo en forma orgánica e inorgánica (Navarro y Navarro, 2008).

En fase orgánica se mineraliza y se libera en la solución del suelo en la forma de iones ortofosfato, tales como  $\text{H}_2\text{PO}_4$ , que es fácilmente absorbido por las plantas. En la fase inorgánica, el P existe principalmente en fosfatos poco solubles de Fe y Al que no están fácilmente disponibles para las plantas (Juo y Franzluebbbers, 2003), estos fosfatos de Fe y Al dominan en los suelos ácidos (Prasad y Power, 1997).

La deficiencia de P del suelo, tiene implicaciones negativas para los rendimientos de los cultivos y de toda la cadena alimentaria, debido a que en condiciones naturales, la erosión y la disolución de rocas y minerales que contienen P relativamente insolubles es un proceso lento, por lo que solo es capaz de soportar el crecimiento lento de la vegetación y cultivos adaptados a baja disponibilidad de P (Abdul y John, 2005).

### **Capacidad de intercambio catiónico (CIC)**

La capacidad de intercambio catiónico es definida como la suma total de cationes intercambiables que los constituyentes coloidales en un suelo pueden adsorber (Juo y Franzluebbbers, 2003). Es una propiedad química a partir de la cual es posible inferir acerca del tipo de arcilla presente, de la magnitud de la reserva nutrimental y del grado de intemperismo de los suelos; en conjunto permite inferir sobre la fertilidad del suelo (Porta et al., 2003; Salgado-García et al., 2013).

La CIC depende de los tipos de coloides presentes en el suelo, de las cantidades relativas de ellos y del pH del suelo. El humus del suelo tiene alta CIC, que va desde 150 a 250  $\text{cmol}_c \text{ kg}^{-1}$  a pH 7, que es mayor que la de todos los coloides inorgánicos de los suelos. Entre los valores de CIC de coloides inorgánicos medidos a pH 7, la CIC más alta se encuentra en vermiculitas (100-175  $\text{cmol}_c \text{ kg}^{-1}$ ), seguido por esmectitas (80-140  $\text{cmol}_c \text{ kg}^{-1}$ ), illita y cloritas (20-40  $\text{cmol}_c \text{ kg}^{-1}$ ), caolinita (4  $\text{cmol}_c \text{ kg}^{-1}$ ), y óxidos de Fe y Al (3  $\text{cmol}_c \text{ kg}^{-1}$ ) (Juo y Franzluebbbers, 2003; Osmas, 2013).

## **Reacción del suelo (pH)**

La acidez y alcalinidad del suelo, también son conocidas como reacción del suelo. Se refiere a las concentraciones de iones  $H^+$  y  $OH^-$  en la solución del suelo. La acidez y la alcalinidad son usualmente expresadas en términos de escalas de pH, es una variable importante que afecta otras propiedades físicas, químicas y biológicas, y es considerado uno de los indicadores químicos más importante medidos con frecuencia para evaluar la calidad del suelo (Catherin y León, 2002; Juo y Franzluebbbers, 2003).

El término pH se define como el logaritmo negativo de la concentración de iones  $H^+$  en solución en moles por litro (Prasad y Power, 1997; SEMARNAT, 2002; Osmas, 2013):

$$pH = -\text{Log}_{10}[H^+]$$

La condición ácida y básica de un suelo es fundamental para el crecimiento de las plantas, el pH ejerce un importante control en la naturaleza de movilidad y biodisponibilidad de macro y micronutrientes esenciales, entre ellos algunos metales pesados esenciales (Siegel, 2008).

En una escala de rangos de 1 a 14, un pH 7.0 es tomado como un punto neutral, cuando los iones  $H^+$  sobre los iones  $OH^-$  están en equilibrio. Se dice que un suelo es ácido con valores de pH debajo de 7.0 y encima de 7.0 es alcalino. Porque la escala de pH es logarítmica, un suelo con pH de 5 es 10 veces más ácido que un suelo con un pH de 6 y 100 veces más ácido que un suelo con pH 7 (Osmas, 2014). Con propósitos de fertilidad del suelo, la reacción del suelo se diferencia de acuerdo a los siguientes valores (Tabla 2):

**Tabla 2. Valores de pH para diferenciar la reacción del suelo.**

<b>Clasificación</b>	<b>pH</b>
Fuertemente ácido	<5.0
Moderadamente ácido	5.1-6.5
Neutro	6.6-7.3
Medianamente alcalino	7.4-8.5
Fuertemente alcalino	>8.5

Fuente: (SEMARNAT, 2002)

La acidez del suelo es ocasionada principalmente por los cationes  $H^+$  y  $Al^{3+}$ , se puede dividir en acidez activa y acidez intercambiable. La acidez activa es una medida de la actividad de los iones  $H^+$  en la solución del suelo, es sólo una parte muy pequeña de la acidez total, pero es de gran importancia, porque las raíces de plantas y microorganismos están en contacto íntimo con la solución del suelo. La acidez intercambiable es la parte de la acidez que se debe al intercambio de iones  $Al^{3+}$  y  $H^+$  adsorbidos en los coloides de la superficie del suelo. Cuanto mayor sea el porcentaje de los sitios de intercambio ocupado por el aluminio y el hidrógeno, menor es el pH y mayor es la acidez del suelo (Juo y Franzluebbbers, 2003; Osmas, 2014).

La acidez aparece normalmente en suelos localizados en regiones de alta precipitación, el agua disuelve las bases solubles, y se pierden por lixiviación. Junto a esto hay que añadir las que son desplazadas del complejo adsorbente por el hidrógeno, y también las que son captadas por las plantas. El continuo lavado va provocando la aparición de una acidez que se incrementa, al mismo tiempo por la segregación de las raíces y por los compuestos ácidos que se originan en la degradación de la materia orgánica por los microorganismos. Las labores también contribuyen a incrementar la acidez, ya que facilitan la circulación del aire y del agua, e intensifican la acción microbiana (Navarro y Navarro, 2008; Porta et al., 2003).

### **3. 4 Factores de degradación de suelos**

Los suelos de Tabasco presentan problemas de degradación física y química que tienen que ver no tan solo con el tipo de suelo, sino además con el uso de suelo, el relieve, clima y otras actividades humanas (Palma- López et al., 2007); los factores que se consideraron en este trabajo fueron los usos del suelo y la topografía.

#### **3. 4. 1 Usos del suelo**

En los suelos de la Sabana de Huimanguillo, es común observar relictos de acahuales derivados de selva alta perennifolia. Las condiciones de topografía por sus pendientes de 1 a 25% los expone a riesgos de erosión y adicionalmente su baja fertilidad nativa hace difícil un uso diversificado. Por ello, el uso agrícola más común de estos suelos es el de pastizales con pastos nativos e introducidos, sin embargo, pueden ser considerados de alta productividad mediante prácticas de manejo de conservación y con fertilización adecuada, sobre todo para la producción de limón persa y piña (Palma- López et al., 2007; Salgado et al., 2007; Salgado et al., 2010; Zavala-Cruz et al., 2014). A continuación se describen los usos más importantes en la sabana de Huimanguillo, Tabasco.

#### **Acahual**

El Acahual es una comunidad vegetal tipificada como vegetación secundaria que crece en zonas tropicales y se desarrolla en áreas donde las selvas fueron sometidas a desmontes o quemas para destinar la tierra a la agricultura o ganadería para después ser abandonadas (Figura 3). Con el abandono de estas actividades productivas se da un proceso de regeneración natural y surge de manera espontánea el acahual; su estructura y composición florística varía dependiendo del tiempo de recuperación y del tipo de vegetación natural; de acuerdo a su edad pueden ser muy diversos y no se encuentran limitados por el relieve (Zavala et al., 2011; Palma- López et al., 2011).

Estos ecosistemas tienden a seguir un proceso de restauración que consiste en la regeneración natural a partir de las especies que estuvieron establecidas en el

terreno de forma natural, los principales elementos arbóreos son *Byrsonima craassifolia*, *Coccoloba barbadensis*, *Curatella americana*, *Crescentia cujete* y *C. alata*, *Quercus oleoides* y otras especies de encino (Pennington y Sarukhán, 2005). También son considerados ecosistemas con un gran valor ecológico ya que aportan importantes beneficios, sirven como habitat para la fauna y conforman un banco de semillas para recuperar la biodiversidad natural y permiten la retención de suelo y agua (Palma-López et al., 2011).



**Figura 3. Comunidad de acahual en la Sabana de Huimanguillo, Tabasco.**

### **Pastizales**

Los pastizales son comunidades vegetales caracterizadas por la presencia de gramíneas o graminoides que en condiciones naturales se desarrollan bajo la interacción del clima, suelo y biota (Figura 4). Dicha interacción se refiere a

competencias por espacio, luz, agua y nutrientes (FAO, 2010a; Palma- López et al., 2011).



**Figura 4. Pastizales en la Sabana de Huimanguillo, Tabasco.**

Como pastizales se incluyen los pastizales naturales, matorrales, tierras de pastoreo y tierras de cultivo sembradas con pastos y cultivos forrajeros. Este ecosistema cubría aproximadamente 3.5 billones de ha en el año 2000, lo que representa el 26 por ciento de la superficie terrestre mundial y el 70 por ciento del área agrícola mundial (Ramankutty et al., 2008). Contiene aproximadamente 20 por ciento de las reservas de carbono en el suelo del mundo (Schlesinger, 1977 citado en FAO, 2010b).

La producción ganadera basada en pastos y forrajes, es la más importante desde el punto de vista biológico, económico y social. Se diferencia de otros ecosistemas

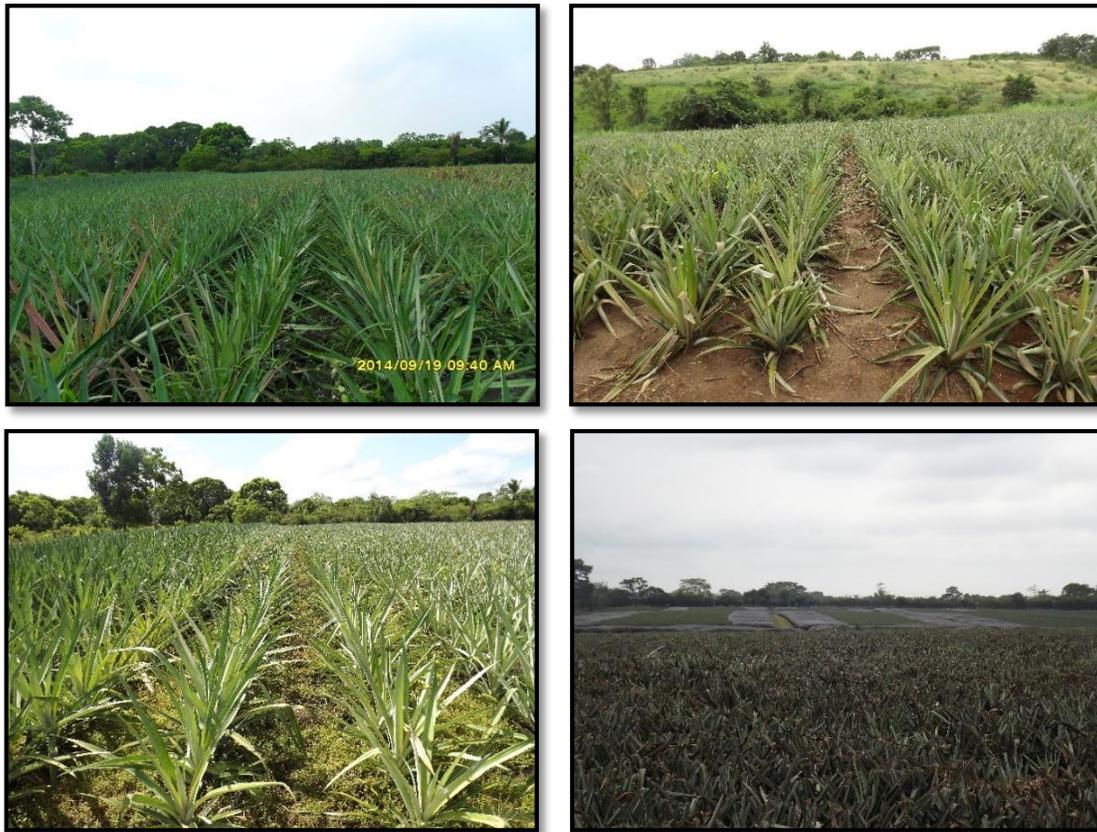
por el suelo y clima donde se explotan, por los insumos que se destinan al suelo o al animal, por el propósito con que se explotan y por la forma en que el hombre las maneja (Lok, 2010).

Los pastizales tienen un papel único que vinculan la agricultura y el medio ambiente ofreciendo soluciones tangibles que van de su contribución a la mitigación y adaptación al cambio climático, a la mejora de la salud de la tierra y de los ecosistemas y la resiliencia, la diversidad biológica y los ciclos del agua mientras que sirve como base de la productividad agrícola y al crecimiento económico. Es un importante ecosistema y una forma de uso de la tierra que proporciona no sólo una gama de productos útiles (carne, leche, cueros, pieles, etc.), sino también servicios ecosistémicos, estos últimos incluyen el importante papel de los pastizales en la biodiversidad, prevención de inundaciones y el secuestro de carbono (FAO, 2010c).

### **Cultivo de piña**

La piña, *Ananas comosus* (L.) Merr., es la principal especie comestible de la familia Bromeliaceae (Figura 4), es una planta perenne herbácea de 0.75-1.5 m de altura con una extensión de 0.9 a 1.2 m (FAO, 2001). En los suelos ácidos de la Sabana de Huimanguillo, Tabasco, en la modalidad de temporal y riego ocupa una superficie cultivada de 1,389 ha con una producción total de 47,530 t, y un rendimiento promedio de 34.22 t ha<sup>-1</sup> y un valor de producción de \$130,915,730.00, que representa un importante sustento económico para los productores (SIAP, 2014).

La planta de la piña se distingue por su tallo, hojas, raíces, péndulo y los rebrotes. Estos residuos de cosecha son resistentes a la intervención mecánica y a la descomposición, para la destrucción de estos materiales se utiliza maquinaria y fuego, sin embargo, son poco eficientes y puede favorecer la pérdida de suelo. Además, es muy exigente en cuanto a la demanda de nutrimentos del suelo, los elementos requeridos para su mantenimiento y producción son el potasio y el nitrógeno, seguidos por el calcio, magnesio, azufre y fósforo (Salgado-García et al., 2010).



**Figura 5. Cultivo de piña en la Sabana de Huimanguillo, Tabasco.**

### **Cultivo de limón persa**

En el estado de Tabasco, estas plantaciones se encuentran establecidas en suelos con pH fuertemente ácidos (Figura 6), con altos contenidos de materia orgánica humificada, contenidos pobres a medios de N y bajos contenidos de fósforo, potasio, calcio, magnesio y baja CIC (Zavala et al., 2014).

En la Sabana de Huimanguillo, Tabasco, la citricultura es generadora de divisas para el país, especialmente el limón Persa y considerando que los nutrientes son esenciales para el funcionamiento metabólico del árbol y para obtener buenos rendimientos y frutos de calidad del limón, es necesario que en cada ciclo de producción se restablezcan los niveles de nutrientes esenciales que el árbol toma del suelo, principalmente N, P y K. Sobre todo el K ya que es el nutriente con mayor demanda durante el desarrollo del fruto (Salgado-García et al., 2007).



**Figura 6. Plantaciones de limón persa en la Sabana de Huimanguillo, Tabasco.**

### **3. 4. 2 Topografía**

La topografía puede influenciar fuertemente la erosión del suelo y sus propiedades. Las posiciones de laderas son áreas erosionables y las posiciones en pendientes inferiores son áreas deposicionales, y la superficie de bases intercambiables, capacidad de retención de agua, COS, N y concentraciones de P son más altos en las áreas de acumulación que en áreas con disminución del suelo por erosión. Esto puede deberse al proceso de translocación del suelo y a la variación de las propiedades del mismo, ya que están influenciados por varios factores, tales como la inclinación de la pendiente (Zhang et al., 2012).

El ángulo de la pendiente, además de tener efecto significativo sobre la densidad aparente, porosidad, conductividad hidráulica también influencia la disponibilidad de los nutrientes (Wang et al., 2008).

### **3. 5 Estudios realizados sobre degradación química**

Vázquez et al. (1990) evaluaron comparativamente el estado de degradación y la evolución de distintos parámetros químicos (C total, C liviano, N total, N hidrolizante), en tres zonas de la pradera pampeana en Argentina, con la finalidad de sentar pautas para un manejo adecuado de estos suelos y considerar la posibilidad de periodos agrícolas prolongados, sin detrimento de su fertilidad. La degradación de los lotes actualmente en agricultura, respecto de situaciones inalteradas, es de mayor a menor. En cada caso dicha degradación fue similar para C y N total, superior para C liviano y variable para N hidrolizante, indicando susceptibilidades diferentes de los componentes orgánicos.

Celik (2005), realizó un estudio en el sur de la región Mediterráneo de Turquía en bosques forestales, pastizales inalterados y tierras cultivadas, en suelos Typic Haploxeroll con una profundidad promedio de 45-55 cm y con una pendiente que varía de 8-10%. Realizó muestreo de suelo perturbado y suelo inalterado a una profundidad de 0-10 y 10-20 cm, determinó densidad aparente, pH y materia orgánica del suelo (MOS). Los suelos bajo cultivo tuvieron mayor densidad aparente que los bosques y pastizales para las dos profundidades; entre los bosques y pastizales no hubo diferencias significativas en profundidades de 0-10 cm, pero a profundidades entre 10-20 cm existieron diferencias, atribuyéndoselo a la compactación de la capa superficial del suelo debido al sobrepastoreo de los pastizales. La MOS de 0-10 cm de profundidad en los suelos de pastizales y bosques fue de 44.6 y 41.6 g kg<sup>-1</sup> y para suelos cultivados de 23.4 g kg<sup>-1</sup> marcando una diferencia significativa; y para profundidades de 10-20 cm también existen diferencias significativas con las tierras cultivadas con promedios de 18.8 g kg<sup>-1</sup> y los suelos de bosques y pastizales 36.0 g kg<sup>-1</sup> y 37.9 g kg<sup>-1</sup>. Concluyendo que la degradación de los suelos de las tierras altas con la profundidad restringida por los cultivos perjudica seriamente las propiedades del suelo y da lugar a la disminución

significativa de la MOS, disminuyendo la MOS al 49%. Sin embargo, las prácticas de manejo podrían asegurar la MOS y la estabilidad del suelo.

Geissen y Guzman (2006), compararon la influencia de dos pastos comúnmente utilizados (*Cynodon plectostachyus* y *Brachiaria decumbens*) y una sucesión forestal, sobre la fertilidad del suelo en Teapa, Tabasco. Instalaron tres parcelas de muestreo de 100 m<sup>2</sup>, para cada uso de la tierra en una extensión de 5 ha y tomaron tres muestras de suelo en cada parcela a 0-5 cm, 5-10 cm y 10-20 cm de profundidad, para obtener 27 muestreos por parcela. Con ello caracterizaron las propiedades físicas y químicas del suelo, considerando la textura, densidad, pH, carbono orgánico, nitrógeno total, fósforo disponible y capacidad de intercambio catiónico, así como los parámetros biológicos, como la descomposición de la hojarasca, biomasa microbiana y la comunidad de lombrices. Para la estimación de descomposición de la hojarasca se utilizaron hojas de *Gliricidia sepium*, un árbol forrajero común en la región. Los tres sistemas de uso de la tierra tuvieron características químicas del suelo muy similares. Los tres fueron caracterizados como ácidos (pH entre 4.1 y 5.3) con un alto contenido de materia orgánica y nitrógeno total. Sin embargo, los tres sistemas de uso de la tierra difieren significativamente con respecto a sus características biológicas del suelo, como es la densidad de lombrices. La descomposición de la hojarasca fue significativamente más baja en *B. decumbens* que en los otros suelos. En todos los sistemas de uso de la tierra, la participación de la macrofauna y mesofauna acelera la tasa de descomposición de la hojarasca significativamente en comparación con la descomposición de la microfauna y microflora solas. El uso de *C. plectostachyus* o bosque de sucesión en los Acrisoles húmicos aumenta la fertilidad en comparación con el uso de *B. decumbens*. Concluyen que *C. plectostachyus* en monocultivo o en combinación con bosque de sucesión es adecuada para el uso sostenible de la tierra en el área de estudio.

Palma-López et al. (2008), analizaron la evolución de erosión hídrica en el municipio de Huimanguillo, Tabasco, mediante el establecimiento de diez parcelas

experimentales. El diseño se basó en la fisiografía de municipio, las parcelas se distribuyeron en las geoformas: sierra, lomeríos y llanura aluvial (principales zonas fisiográficas del municipio). En la sierra se cuantificó la mayor pérdida de suelo por erosión hídrica con índices considerados altos 188.4 y 113.1 t ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup>. En la zona de lomeríos se presentó una pérdida de suelo también alta de 60.4 t ha año<sup>-1</sup>, en lomeríos bajos con vegetación de eucalipto presento una pérdida de suelo moderada con un máximo de 25.8 t ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup>. En la llanura aluvial con plantaciones de cacao, se observó un proceso de erosión hídrica de 25.8 y 51.2 t ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup>. Las mayores pérdidas se presentan en la zona de la sierra con uso de pastizales donde las pendientes pronunciadas y la precipitación abundante, favorecen a la erosión hídrica observable en cárcavas y pérdida parcial o total del horizonte A.

Geissen et al. (2009) evaluaron los efectos del uso de la tierra sobre las propiedades químicas del suelo y compararon las comunidades de lombrices y las tasas de descomposición de la hojarasca en tres sistemas típicos de uso de la tierra (plantaciones de banano, sistemas agroforestales y sucesiones forestales) en Teapa, Tabasco. En un área de 680 km<sup>2</sup> en parte de la cuenca del río de la Sierra establecieron diez parcelas de muestreo para cada sitio, para los análisis de las propiedades químicas, tomaron muestras de cinco de las 10 parcelas a dos profundidades (0-10 y 10-30 cm). Consideraron parámetros como la textura del suelo (método Bouyoucos), densidad aparente (DAP), pH (KCl), C orgánico (Walkley-Black), N total (Micro-Kjeldahl), P disponible (Olsen), K intercambiable (Kin), y capacidad de intercambio catiónico (método de acetato de amonio pH 7), Mn y Zn disponible (extracción por DTPA). Para la evaluación de las comunidades de lombrices, caracterizaron las comunidades para cada sitio por densidad de población, biomasa, riqueza y biodiversidad de especies. La descomposición de la hojarasca fue evaluada por la técnica litterbags. Concluyeron que el manejo intensivo de sistemas de monocultivo de plátano y sistemas agroforestales no conduce a una disminución en el contenido de nutrientes o en la tasa de descomposición de la hojarasca en comparación con las sucesiones forestales. Las poblaciones de lombrices cambiaron desde especies nativas a exóticas, sin

embargo, la diversidad y la riqueza de especies fueron mayores en suelos manejados que en los bosques de sucesión, sugiriendo que las restricciones de agua en el área de estudio son más importantes para las poblaciones de lombrices que la aplicación de plaguicidas o fertilizantes en las plantaciones de banano y plantaciones agroforestales.

Liu et al. (2010) realizaron un estudio en la estación experimental ecológica de suelos rojos en Yingtan, Jiangxi Provincia de China. El suelo es desarrollado a partir de arcillas rojas del Cuaternario y fue clasificado como un Acrisol Alumi-ortico. Seleccionaron cuatro usos del suelo: tierras de huerta bajo plantaciones de naranja, tierras altas de cultivo de maní, arrozales, y praderas sin cultivar como control. Bajo tierras de huerta, tierras altas y arrozales fueron tomadas muestras de suelo a una profundidad de 0-10 cm con tres niveles de fertilidad, alta, media y baja, mientras que el control solo tuvo un nivel de fertilidad. Fueron tomadas tres submuestras a partir de cada nivel de fertilidad. Las propiedades químicas determinadas fueron carbono orgánico total, nitrógeno total y fósforo. En los suelos de alta fertilidad el C orgánico y nitrógeno fue abundante para los tres usos. Pero en los suelos de baja y mediana fertilidad el contenido de nitrógeno fue diferente en arrozales, observando que el N en los suelos está relacionado con el tamaño de los agregados y este nutriente disminuye si el tamaño de los agregados es menor, esta disminución de N es consistente con el C en el suelo, es decir cuando el COS cambia en agregados, el nitrógeno cambia correspondientemente. Respecto al P, el contenido es mayor en los suelos bajo arrozales debido a la aplicación continua de fertilizantes durante los últimos años.

Morell et al. (2010), llevaron a cabo una caracterización biológica mediante los indicadores de conteo de esporas nativas de hongos micorrizicos arbusculares (HMA), peso del endófito, densidad visual, porcentaje de infección y extracción de glomalina. Basado en los resultados de la caracterización de los parámetros químicos y físicos de los suelos pardos, en la región de Campo Florido, Cuba. Seleccionaron tres perfiles de los suelos más representativos en relación con la

influencia antrópica, Cambisol mólico calcárico (tomado en condiciones naturales bajo arboleda de cocotero), Cambisol vértico calcárico (tomado en áreas de cultivo) y Cambisol ócrico calcárico lítico (tomado en un área dedicada a la ganadería). Observaron que a medida que va siendo más intensa la acción antrópica, mayores serán las modificaciones o pérdidas en la estructura de los suelos, hasta un punto que conlleva a su degradación, así como la pérdida en sus contenidos en materia orgánica, nutrientes para las plantas y actividad biológica en general.

Zavala et al. (2011) realizaron un estudio de degradación de suelos en parcelas establecidas en pastizales sobre regiones ecográficas de terrazas, colinas y laderas de la cuenca del Río Grijalva y concluyen que los valores de pérdida de suelo se relaciona positivamente con la pendiente ( $R^2= 0.86$ ). Del análisis de 22 perfiles (17 en pastizal y 5 en selvas y acahual), se deduce que el 75% de los suelos presentaron reducción del espesor del horizonte A en un 50%, y además los contenidos de materia orgánica y N total fueron 47.6% y 50% inferiores en el suelo de pastizal en comparación con el suelo de vegetación; en el mismo sentido, las variables CIC y K fueron más bajas en el suelo cultivado. Estos resultados indican que existe degradación de suelos por erosión hídrica como consecuencia del cambio de uso de suelo en pendientes ligeras a fuertes, sobreexplotación de los recursos naturales, y el uso y manejo no sustentable de los mismos.

Covacevich et al. (2012) identificaron cambios en el contenido de nutrientes que podrían incidir en la capacidad micotrófica de los HMA en suelos de la provincia de Buenos Aires (Argentina) sometidos a manejos agrícolas contrastantes. Tomaron muestras de suelo de 29 sitios de la provincia de Buenos Aires bajo manejo agrícola, o sin uso (prístino). Determinaron las características químicas (CIC, Fe, Mn, Cu, Zn, B, P-Bray, CO y pH), así como el grado de micorrización nativa, luego de 12 semanas desde la instalación de cultivos trampa. Los valores de las características químicas fueron, en general, mayores para los sitios prístinos que para los que estuvieron bajo agricultura. El contenido de P disponible en el suelo, junto con el contenido de Fe parecería ser los principales depresores de la capacidad

micotrófica de los suelos analizados, particularmente en condiciones de moderado a bajo contenido de Carbono Orgánico.

Alejo-Santiago et al. (2012), evaluaron la degradación de suelos para proponer estrategias de remediación y recuperación de los suelos agrícolas de San Pedro Lagunillas, Nayarit, México; compararon suelos mantenidos con vegetación natural pero ligeramente pastoreados contra suelos agrícolas de temporal utilizados por más de 20 años para la producción de diversos cultivos. Estudiaron ocho sitios (cuatro cultivados y cuatro no cultivados), en cada uno de ellos los suelos agrícolas (cultivados) se ubicaron a una distancia entre 30 a 80 m con respecto a su contraparte o suelos con vegetación natural (no cultivados). Obtuvieron muestras de los siguientes estratos: 0 a 10, 10 a 20 y 20 a 30 cm de profundidad; se cuantificó: peso de partículas menores a 2 mm, pH, materia orgánica, fósforo extractable; potasio, calcio y magnesio intercambiables y textura. Concluyeron que las prácticas de cultivo tradicionales provocaron cambios adversos en los parámetros químicos (MO, P extractable y K) en los primeros 20 cm de suelo.

Hernández-Jiménez et al. (2013) estudiaron las propiedades químicas de 38 perfiles de los suelos Ferralíticos rojos lixiviados en la provincia de la Habana en relación con el uso al que están sometidos, agrupados en perfiles patrones (bajo arboleda de bosques de más de 40 años), conservados (bajo pastizales o arboleda de 20 a 30 años) y agro-génicos (bajo cultivos permanentes durante muchos años). De acuerdo a los resultados destaca que con el cultivo agrícola intensivo se oxida la MOS conllevando a la ruptura de los microagregados los cuales están constituidos por hierro, MO y arcilla de tal forma que aumenta el factor de dispersión de la arcilla en el suelo, destruyendo la estructura original y aumentando la densidad de volumen con el surgimiento de la compactación del suelo. Los valores promedio de la MO varían de 2.50-6.38%, donde los valores más bajos corresponden al uso del suelo cultivado y los más altos a suelos bajo arboleda de bosques de más de 40 años.

Como se puede observar existen estudios relacionados con degradación del suelo, en los cuales el uso de suelo agrícola tiene efectos provocando pérdida de nutrientes; sin embargo, en el trópico húmedo mexicano existen antecedentes de investigaciones sobre erosión hídrica, pero en cuanto a degradación química los estudios son escasos.

#### 4 REFERENCIAS

- Abdul, R., & John, R. (2005). Phosphorus. In R. Lal (Ed), *Encyclopedia of soil science* (2a Ed., pp.1275-1279). New York, USA: Taylor & Francis Group.
- Alejo-Santiago G., Salazar-Jara F. I., García-Paredes J. D., Arrieta-Ramos B. G., Jiménez-Meza V. M. y Sánchez-Monteón A. L. (2012). Degradación físico-química de suelos agrícolas en San Pedro Lagunillas, Nayarit. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, 15 (2012): 323 – 328.
- Bai, Z. G., Dent, D. L, Olsson, L. & Schaepman, M. E. (2008). *Global assessment of land degradation and improvement. 1. Identification by remote sensing*. Wageningen, Netherland: ISRIC – World Soil Information.
- Bridges, E. M. & Oldeman (1999). Global assessment of human-induced soil degradation.-*Arid soil research and rehabilitation* 13, 319-325.
- Catherine, T., & León, E. P. (2002). Soil acidity determination methods for organic soils and peat materials. In León, E.P. & I. Piotr (Eds.) *Organic soils and peat materials for sustainable agriculture* (pp.93-104). USA: CRC Press.
- Celik, I. (2005). Land-use effects on organic matter and physical properties of soil in a southern Mediterranean highland of Turkey. *Soil & Tillage Research*, 83(2), 270-277.
- Covacevich, F., Eyherabide, M., Sainz Rozas, H., y Echeverría, H. E. (2012). Características químicas determinan la capacidad micotrófica arbuscular de suelos agrícolas y prístinos de Buenos Aires (Argentina). *Ciencia del suelo*, 30, 119-128.
- Doran, J. W., & Parkin, T. B. (1994). Defining and assessing soil quality. In J. W. Doran, D. C. Coleman, D. F. Bezdicek & B. A. Stewart (Eds.), *Defining soil quality*

- for a sustainable environment* (pp. 1-21). Madison, WI: Soil Science Society of America and American Society of Agronomy.
- Food Agriculture Organization of the United Nations (FAO). (2000). *El futuro de nuestra Tierra: enfrentando el desafío*. En colaboración con el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA). Roma, Italia: Autor. 78 p.
- Food Agriculture Organization of the United Nations (FAO). (2001). *ECOCROP*. The adaptability level of the FAO crop environmental requirements database. Rome, Italy: Autor. Consultado 3 de agosto 2014 vía Internet: <http://www.ecocrop.fao.org/ecocrop/srv/en/crop>.
- Food Agriculture Organization of the United Nations (FAO). (2010a). *Evaluación de los recursos naturales mundiales: Informe Nacional México*. Departamento Forestal, FRA2010/132. Roma, Italy: Autor. 346 p.
- Food Agriculture Organization of the United Nations (FAO). (2010b). *Challenges and opportunities for carbon sequestration in grassland system*. A technical report on grassland management and climate change mitigation. *Integrated Crop Management*. Vol. 9- 2010. Roma, Italia: Autor. 57 p.
- Food Agriculture Organization of the United Nations (FAO). (2010c). *Grassland carbon sequestration: management, policy and economics proceedings of the workshop on the role of grassland carbon sequestration in the mitigation of climate change*. *Integrated Crop Management*. Vol. 11–2010 Roma, Italy: Autor. 338 p.
- Food Agriculture Organization of the United Nations (FAO). (2015). *El suelo es un recurso no renovable*. Job Number: I4373S. Roma, Italia: Autor.
- Geissen, V., Pena-Pena, K., & Huerta, E. (2009). Effects of different land use on soil chemical properties, decomposition rate and earthworm communities in tropical Mexico. *Pedobiologia*, 53(1), 75-86.
- Geissen, V., & Guzman, G. M. (2006). Fertility of tropical soils under different land use systems - a case study of soils in Tabasco, Mexico. *Applied Soil Ecology*, 31(1-2), 169-178.
- Gracheva, R. (2011). Formation of soil diversity in the mountainous tropics and subtropics: Rocks, time, and erosion. *Geomorphology*, 135(3-4), 224-231.

- Hernández-Jiménez, A., Cabrera-Rodríguez, A., Borges-Benítez, Y., Vargas-Blandino, D., Bernal-Fundora, A., Morales-Díaz, M., y Ascanio-García, M. O. (2013). Degradación de los suelos ferralíticos rojos lixiviados y sus indicadores de la Llanura Roja de La Habana Valley Havana. *Cultivos Tropicales*, 34(3), 45-51.
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). (2001). *Síntesis de información geográfica del estado de Tabasco*, Aguascalientes, México: Autor. 89 p.
- IUSS Working Group WRB. (2014). World reference base for soil resources (2014). International soil classification system for naming soils and creating legends for soil maps. World Soil Resources Reports No. 106. Rome, Italy:FAO. 181 p.
- Jarquín-Sánchez, A., Salgado-García, S., Palma-López, D. J., Camacho-Chiu, W., & Guerrero-Peña, A. (2011). Analysis of total nitrogen in tropical soils with near-infrared spectroscopy (NIRS) and chemometrics. *Agrociencia*, 45(6), 653-662.
- Jiménez, R. R. (2013). Clasificación y caracterización de suelos de Tabasco con base en el enfoque Geomorfológico. Tesis de Maestría en Ciencias, Colegio de Postgraduados, Tabasco, México.
- Juo, A.S.R. and Franzluebbers, K. (2003). *Tropical soils. Properties and management for sustainable agriculture*. New York: Oxford University Press. 281 p.
- Kosmas, C., Kairis, O., Karavitis, C., Ritsema, C., Salvati, L., Acikalin, S., . . . Ziogas, A. (2014). Evaluation and selection of indicators for land degradation and desertification monitoring: methodological approach. *Environmental Management*, 54(5), 951-970.
- Krasilnikov, P., Gutiérrez-Castorena, M.d.C., Ahrens, R.J., Cruz-Gaistardo, C.O., Sedov, S., & Solleiro-Rebolledo, E. (2013). *The Soils of Mexico*. Netherlands: Springer. 181 p.
- Lal, R. (2009). Laws of sustainable soil management. *Agronomy for Sustainable Development*, 29(1), 7-10.
- Lal, R. & Blanco H. (2010). *Principles of soil conservation and management*. Heidelberg, Germany: Springer. 617 p.

- Liu, X.-L., He, Y.-Q., Zhang, H. L., Schroder, J. K., Li, C.-L., Zhou, J., & Zhang, Z.-Y. (2010). Impact of land use and soil fertility on distributions of soil aggregate fractions and some nutrients. *Pedosphere*, 20(5), 666-673.
- Lok, Sandra. (2010). Indicadores de sostenibilidad para el estudio de pastizales. *Revista Cubana de Ciencia Agrícola*, 44(4): 333-344.
- Manlay, R. J., Feller, C., & Swift, M. J. (2007). Historical evolution of soil organic matter concepts and their relationships with the fertility and sustainability of cropping systems. *Agriculture Ecosystems & Environment*, 119(3-4), 217-233.
- McGill, W.B., Rutherford, P.M., Figueiredo, C.T. & Arocena J.M. (2007). Total Nitrogen. In Carter, M.R. & Gregorich, E.G (eds), *Soil Sampling and Methods of Analysis* (pp. 239-250). USA: Taylor and Francis Group.
- Morell, F., López, D., Hernández, A., y Borges, Y. (2010). Caracterización agrobiológica de los suelos Pardos de La región de Campo Florido en Relación con los Cambios en el Manejo Agrícola. *Cultivos Tropicales*, 31 (4), 70-75.
- Navarro, B. S. y Navarro, G. G. (2008). *Química agrícola: el suelo y los elementos químicos esenciales para la vida vegetal* (2a. ed.). España: Mundi-Prensa. Retrieved from <http://www.ebrary.com>.
- Ortiz, S.M., Anaya, G., y Estrada, B.W. (1994). Evaluación, cartografía y políticas preventivas de la degradación de la tierra. Chapingo, México: Colegio de Postgraduados. 161 pp.
- Ortiz-Pérez. M. A., Siebe, C. y Cram, S. (2005). Diferenciación ecogeográfica de Tabasco. In Bueno, J., F. Álvarez y S. Santiago (Eds.) Biodiversidad del estado de Tabasco. (pp. 305-322). México, D.F.: Instituto de Biología, UNAM-CONABIO.
- Ortiz-Solorio, C.A., Gutiérrez, C.M.C., Sánchez-Guzmán, P., y Gutiérrez-Castorena, E.V. (2011). Cartografía de la degradación de suelos en la República Mexicana: evolución y perspectivas. In Krasilnikov P., Jiménez- Nava, F.J., Reyna-Trujillo, T. y García-Calderón, N.E. (eds), *Geografía de suelos de México* (pp.) México D.F.: UNAM.
- Osman, K. T. (2013). *Soils: principles, properties and management*. Dordrecht, Netherlands: Springer Science & Business Media. 271 p.

- Osman, K.T. (2014). *Soil Degradation, conservation and remediation*. Dordrecht, Netherlands: Springer Science & Business Media. 237 p.
- Palma-López, D.J., Cisneros, D. J., Moreno C. E., y Rincón-Ramírez, J.A. (2007). *Suelos de Tabasco: su uso y manejo sustentable*. Villahermosa, Tabasco, México: ISPROTAB, Colegio de Postgraduados, FUPROTAB, A.C. 199 p.
- Palma-López, D. J., Moreno C. E., Rincón-Ramírez J.A., y Shirma T. E. (2008). *Degradación y conservación de los suelos del estado de Tabasco*. Villahermosa, Tabasco, México: Colegio de Postgraduados, CONACYT, CCYTET. 74 p.
- Palma-López D.J., Vázquez N.C.J., Mata Z.E.E., López C.A., Morales G.M.A., Chablé P.R., Contreras H.J y Palma-Cancino D.Y. (2011). *Zonificación de ecosistemas y Agroecosistemas susceptibles de recibir pagos por servicios ambientales en la Chontalpa, Tabasco*. Villahermosa, Tabasco, México: Colegio de Postgraduados Campus Tabasco, Secretaria de Recursos Naturales y Protección Ambiental. 128 p.
- Porta, J., López-Acevedo, M. y Poch, R. M. (2008). *Introducción a la Edafología: uso y protección del suelo*. España: Ediciones Mundi-Prensa. 451 p.
- Porta, C. J., López-Acevedo, R. M., y Roquero, C. (2003). *Edafología para la agricultura y el medio ambiente (3a ed.)*. España: Mundi-Prensa. 917 p.
- Post, W. M. & Kwon, K.C. Soil carbón sequestration and land use change: processes and potencial. *Global Change Biology*, (6): 317-327.
- Prasad, R., & Power, J.F. (1997). *Soil fertility management for sustainable agriculture*. Boca Raton, Florida: CRC Press. 356 p.
- Ramankutty, N., Evan, A. T., Monfreda, C., & Foley, J. A. (2008). Farming the planet: 1. Geographic distribution of global agricultural lands in the year 2000. *Global Biogeochemical Cycles*, 22(1): 1-19.
- Rosewell C.J. (1999). *Soil and water quality: an agenda for agriculture*. Washington, DC: National Academy Press.
- Salgado-García, S., Palma-López, D.J., Castelán-Estrada, M., Lagunes-Espinosa, L. C. y Ortiz, L. H. (2013). *Manual para el muestreo de suelos, plantas y aguas e interpretación de análisis para la producción sostenible de alimentos*. H.

- Cárdenas, Tabasco, México: Colegio de Postgraduados- Campus Tabasco. 101 p.
- Salgado-García, S., Palma-López, D.J., Zavala-Cruz, J., Lagunes-Espinoza, L.C., Castelán-Estrada, M., Ortiz-García, C.F., Ventura- Ulloa F., Marín-Aguilar, A., Moreno-Cáliz, E., y Rincón-Ramírez, J. A. (2007). *Sistema Integrado para recomendar dosis de fertilizantes (SIRDF) en el área citrícola de Huimanguillo*, H. Cárdenas, Tabasco, México: Colegio de Postgraduados, Campus Tabasco. 89 p.
- Salgado-García, S., Palma-López, D.J., Zavala-Cruz, J., Ortiz-García, C. F., Castelán-Estrada, M., Lagunes-Espinoza, L.C., Guerrero-Peña, A., Ortiz-Ceballos, A.I, y Córdova-Sánchez, S. (2010). *Sistema integrado para recomendar dosis de fertilizantes (SIRDF): en la zona piñera de Huimanguillo*, Tabasco. H. Cárdenas, Tabasco, México: Colegio de Postgraduados, Campus Tabasco. 81 p.
- Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT). (2002). Norma Oficial Mexicana NOM-021-RECNAT-2000, que establece las especificaciones de fertilidad, salinidad y clasificación de suelos. Estudios, muestreos y análisis. México, D.F.: Diario Oficial de la Federación. 85 p.
- Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales-Colegio de Postgraduados (SEMARNAT-CP). (2002). Evaluación de la degradación del suelo causada por el hombre en la República Mexicana. Escala 1:250, 000. Memoria Nacional 2001-2002. San Vicente Chicoloapan, México: Publicaciones Diamante.
- Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP). (2014). Producción agrícola de *Ananas comosus*. Ciclos: cíclicos y perennes 2013. Modalidad riego + temporal. Municipio de Huimanguillo, Tabasco, México. Consultado 29-11-2014 en <http://www.siap.gob.mx>.
- Siegel, F. R. (2008). Demands of Expanding Populations and Development Planning: Clear Air, Safe Water, Fertile Soils. Berlin, Germany: Springer. 228 p.
- Soil Survey Staff. (2014). *Keys to Soil Taxonomy* (12th ed). Washington, DC.: USDA-Natural Resources Conservation Service.

- Stocking, M. y Murnaghan N. (2003). *Manual para la evaluación de campo de la degradación de la tierra*. Madrid. España: Ediciones Mundi-Prensa. 168 p.
- Upjohn, B., Fenton, G. & Conyers, M. (2005). *Soil acidity and liming* (3a ed.). Orange, NSW.: Department of Primary Industries.
- Vanveen, J.A & Kuikman, P.J. (1990). Soil structural aspects of decomposition of organic-matter by microorganisms. *Biogeochemistry* 11(3): 213– 233.
- Vázquez, E.M., Berasategui, L.A, Chamorro, E.M, Taquini, L.A. y Barberis, L.A. (1990). Evolución de la estabilidad estructural y diferentes propiedades químicas según el uso de los suelos en tres áreas de la pradera Pampeana. *Ciencia de suelo*, 8(2), 203-210.
- Wang, L., Wang, Q., Wei, S., Shao, M.a, & Li, Y. (2008). Soil desiccation for Loess soils on natural and regrown areas. *For. Ecol. Manag.* 255, 2467–2477.
- Zavala-Cruz J., Palma-López, D.J. Fernández C. R. C, López C. A. y Shirma T. E. (2011). *Degradación y conservación de los suelos en la cuenca de Río Grijalva, Tabasco* (1a ed). Tabasco, México: Colegio de Posgraduados, Secretaria de Recursos Naturales y Protección Ambiental y PEMEX. 89 p.
- Zavala-Cruz, J., Salgado García, S., Marín Aguilar, Á., Palma López, D. J., Castelán Estrada, M., y Ramos Reyes, R. (2014). Transecto de suelos en terrazas con plantaciones de cítricos en Tabasco. *Ecosistemas y recursos agropecuarios*, 1(2), 123-137.
- Zetina, L.P., L. Pastrana, A., J. Romero, M. y J. A. Jiménez C. (2002). *Manejo de suelos ácidos para la región tropical húmeda de México*. México D.F.: INIFAP. CIRGOC. 170 p.
- Zhang, X., Li, Z., Zeng, G., Xia, X., Yang, L., & Wu, J. (2012). Erosion effects on soil properties of the unique red soil hilly region of the economic development zone in southern China. *Environmental Earth Sciences*, 67(6): 1725-1734.

**CAPÍTULO I. CARACTERIZACIÓN DE SUELOS BAJO DIFERENTES USOS Y  
PENDIENTES EN LA SABANA DE HUIMANGUILLO TABASCO, MÉXICO**

## **CARACTERIZACIÓN DE SUELOS BAJO DIFERENTES USOS Y PENDIENTES EN LA SABANA DE HUIMANGUILLO TABASCO, MÉXICO**

### **RESUMEN**

Los suelos varían en grado de meteorización, morfología y propiedades químicas, que son importantes para la agricultura en las zonas tropicales y subtropicales. El objetivo de este estudio fue clasificar los suelos de la Sabana de Huimanguillo, Tabasco, para investigar si existen suelos diferentes dependiendo de los tipos de relieves y usos del suelo. Se eligieron 12 sitios de muestreo para ubicar perfiles de suelo, registrándose las características del sitio y las morfológicas observables por horizonte. Se determinó pH, densidad aparente, contenido de materia orgánica (MO), nitrógeno total, textura del suelo, fósforo, capacidad de intercambio catiónico y cationes intercambiables ( $\text{Ca}^{+2}$ ,  $\text{Mg}^{+2}$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Na}^+$ ) y aluminio intercambiable. Los suelos se clasifican como Acrisoles y son diferentes a nivel de calificadores principales y complementarios tales como Ferric, Cromic, Aluminic, Clayic, Cutanic, Humic y Loamic, relacionados con el material geológico, el relieve y el uso. La clasificación de suelos contribuye a clarificar el origen de la diferenciación de los suelos de la Sabana de Huimanguillo y permite determinar los principales procesos de formación.

**Palabras clave:** meteorización, suelos ácidos, lixiviación de nutrientes.

## **ABSTRACT**

Soils vary in weathering degree, morphology and chemical properties, that are important for agriculture in the tropics and subtropics. The aim of this study was to classify soils of the Huimanguillo Savannah, Tabasco, to investigate if there are different soils depending on the types of relief and land use. 12 sampling sites were chosen to locate soil profiles, recording the characteristics of the site and morphology by observable horizon. pH, density, content of organic matter, total nitrogen, soil texture, phosphorus, cation exchange capacity and exchangeable cations ( $\text{Ca}^{+2}$ ,  $\text{Mg}^{+2}$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Na}^+$ ) and exchangeable aluminum was determined. The soils are classified as Acrisols and are different at the level of principal and supplementary qualifiers such as Ferric, Cromic, Aluminic, Clayic, Cutanic, Humic and Loamic, mainly related to the geological material, relief and land use. The soils classification helps to clarify the origin of the differentiation of the Huimanguillo Savannah soils and determines the main processes of formation.

**Key Words: weathering, acid soils, nutrient leaching.**

## INTRODUCCIÓN

El suelo es fundamental para la producción agroalimentaria y su conservación es esencial para la seguridad alimentaria y un futuro sostenible, por integrar una importante variedad de procesos que garantizan el crecimiento continuo de la vegetación natural, se cultiva u ordena y nos proporciona alimentos, fibras, combustibles, productos medicinales y otros servicios ecosistémicos, como la regulación del clima y la producción de oxígeno (Bridges y Oldeman, 1999; FAO, 2011; FAO, 2015).

En el estado de Tabasco se han presentado cambios de uso del suelo muy dinámicos en los últimos 57 años, ocurridos sin ningún plan de ordenamiento que considere la capacidad de uso y potencial de las tierras (Zavala y Castillo, 2007). El uso actual de estas tierras son los pastizales, cultivos importantes para el desarrollo económico del estado como la piña con una superficie de 1, 389 ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup> con un rendimiento de 34.22 t ha<sup>-1</sup> y los cítricos con una superficie de 14,573 ha y un rendimiento de 29.5 t ha<sup>-1</sup> (SIAP, 2013). Actualmente, estos suelos se encuentran sujetos al uso agrícola intensivo, el cual se considerada como el factor que influencia el desprendimiento del suelo ocasionando degradación y disminución de su productividad biológica (Szott et al., 1991; García-Ruiz, 2010; Ortiz-Solorio et al., 2011).

La Sabana de Huimanguillo es una región de terrazas que presenta una topografía ondulada con pendientes suaves a fuertes donde la cobertura edáfica es diversa por la edad de formación (Zavala et al., 2014). La diversidad de los suelos y la complejidad de la cobertura del suelo en las zonas tropicales húmedas y subtropicales, no pueden ser completamente explicados por el control climático sobre la formación del suelo (Gracheva, 2011). Los suelos varían en grado de meteorización, en la morfología y propiedades químicas, que son importantes para la agricultura en la zona tropical y subtropical (Juo y Franzluebbbers, 2003). Además, el uso sostenible del recurso suelo requiere un amplio conocimiento sobre sus génesis, morfología y propiedades. En consecuencia, los datos del suelo son base para la mejora de la gestión del uso del suelo y la conservación del mismo (Junge y Skowronek, 2007).

El objetivo de este estudio fue clasificar y caracterizar los suelos de la Sabana de Huimanguillo, Tabasco, para determinar la diversidad de suelos en sitios representativos con diferentes pendientes y usos de suelo.

## MATERIALES Y MÉTODOS

### Área de estudio

El área de estudio corresponde a una porción de la Sabana de Huimanguillo, estado de Tabasco, México (Figura 7), situada entre las coordenadas 17° 32' y 17° 56' de latitud norte y 93° 23' y 93° 39' de longitud oeste, con un área de 85, 396.59 ha (Salgado et al. 2010).

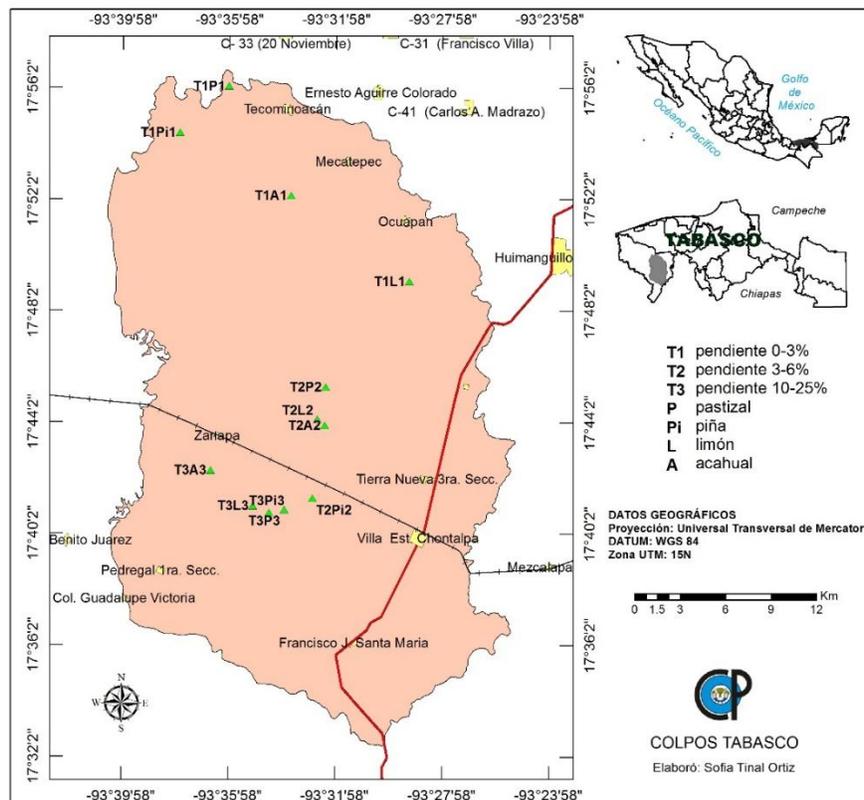


Figura 7. Localización del área de estudio y ubicación de perfiles de suelo.

En la región predominan un clima cálido húmedo con lluvias todo el año Af (m), con una temperatura media anual de 24 a 26°C y un clima cálido húmedo con abundantes lluvias en verano Am (f), con temperatura media anual de 26 a 28°C y precipitación total anual de 2000 a 3000 mm (INEGI, 2001).

La región está formada por dos terrazas, una ubicada al norte del área de estudio en la zona más baja con relieve de lomeríos ligeramente convexos y cóncavos sobre sedimentos de arena-limo del Cuaternario Pleistoceno; la pendiente varía de 1 a 3% y la altura de 10 a 20 msnm. La segunda terraza se ubica en el centro y sur del área de estudio, tiene lomeríos convexos y valles erosivos sobre sedimentos de arenisca-conglomerado polimíctico del Terciario Plioceno-Cuaternario Pleistoceno; dominan las pendientes de 1 al 6% con algunas zonas inclinadas (6 a 25%), y la altura fluctúa de 20 a 60 msnm (Ortiz- Pérez et al., 2005; SGM, 2005; Palma-López et al., 2007a; Zavala et al., 2014; Castillo et al., 2014).

### **Caracterización morfológica de las unidades de suelo**

Con base al mapa geomorfológico y de suelos de la Sabana de Huimanguillo, Tabasco (Salgado et al., 2010; Castillo et al., 2014), se eligieron 12 sitios de muestreo para ubicar perfiles de suelo (Figura 7), considerando tres niveles de pendiente: 0-3%, 3-6% y 10-20%, y los tres usos agrícolas de mayor importancia para la región que corresponden a pastizal, cultivo de piña y plantación de limón persa, además de acahual (vegetación secundaria), considerado el tiempo cero del experimento, ya que en la zona no se cuenta con selva, con la finalidad contar con un uso con el cual comparar la degradación de algunas propiedades de los suelos (Tabla 3).

**Tabla 3. Claves de perfiles de suelos en tres pendientes y cuatro usos del suelo.**

<b>Pendiente/Relieve</b>	<b>Usos agrícolas</b>	<b>Clave del perfil</b>
0-3%	pastizal	<b>T1P1</b>
Ligeramente ondulado	piña	<b>T1Pi1</b>
	limón persa	<b>T1L1</b>
	acahual	<b>T1A1</b>
3-6%	Pastizal	<b>T2P2</b>
Moderadamente ondulado	piña	<b>T2Pi2</b>
	limón persa	<b>T2L2</b>
	acahual	<b>T2A2</b>
10-20%	pastizal	<b>T3P3</b>
Fuertemente ondulado	piña	<b>T3Pi3</b>
	limón persa	<b>T3L3</b>
	acahual	<b>T3A3</b>

En cada sitio se realizó la descripción de un perfil de suelo hasta una profundidad aproximada de 155 cm, registrándose las características del sitio y las morfológicas por horizontes observables (Cuanalo, 1990). El color de la matriz del suelo y las

motas se determinaron con la tabla de colores de Munsell (Munsell, 2000). De cada horizonte se colectaron 1.5 kg de suelo y se colocó en bolsas de polietileno; las muestras se etiquetaron y se llevaron al laboratorio para su preparación y análisis.

### **Propiedades químicas determinadas con fines de clasificación**

Las muestras de suelo fueron secadas a la sombra, para su molido y tamizaje con malla de 2 mm. Posteriormente fueron analizadas en el laboratorio de Suelos, Plantas y Aguas (LASPA) del Colegio de Postgraduados Campus Tabasco, de acuerdo a las especificaciones, técnicas de muestreo y análisis de clasificación de suelos que marca la normatividad mexicana NOM-021-RECNAT-2000 (SEMARNAT, 2002). Se determinó reacción del suelo (pH), medido con potenciómetro; densidad aparente ( $D_a$ ) por la técnica de la parafina; contenido de materia orgánica (MO) por el método de Walkey y Black; nitrógeno total (Nt) por el método de micro Kjeldahl; textura del suelo con el procedimiento de Bouyoucos; fósforo extraíble (P) por el procedimiento Olsen; capacidad de intercambio catiónico (CIC) y cationes intercambiables ( $Ca^{+2}$ ,  $Mg^{+2}$ ,  $K^+$ ,  $Na^+$ ) extraídos por acetato de amonio; y aluminio intercambiable (Al int) extraído con KCl.

### **Clasificación de suelos**

Con base a los resultados de las propiedades físicas y químicas en laboratorio, se realizó la clasificación del grupo y subunidades de suelo de acuerdo a la Base de Referencia Mundial del Recurso Suelo (IUSS Working Group WRB, 2014).

## **RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

### **Clasificación de suelos de la Sabana de Huimanguillo**

En la zona de estudio de la Sabana de Huimanguillo los suelos se clasificaron en el grupo de los Acrisoles, identificando nueve subunidades. Solo en pendientes de 0-3% en uso de acahual (T1A1) y pastizal (T1P1) los Acrisoles corresponden a la misma subunidad, al igual que en pendientes de 10-20% sobre pastizal, cultivo de limón y piña (Tabla 4). Los perfiles de suelos T1A1 y T3A3 fueron retomados de Castillo et al. (2014) y actualizados de acuerdo a la nueva clasificación de suelos IUSS Working Group WRB (2014).

**Tabla 4. Subunidades de suelos en pastizal, piña, limón y acahual sobre tres gradientes de pendientes en la Sabana de Huimanguillo, Tabasco.**

Perfil	Subunidad de Suelo	Clave de Suelo
T1A1*,T1P1	Ferric Acrisol (Cutanic, Loamic)	AC-fr-ct.lo
T1Pi1	Ferric Acrisol (Cutanic, Humic, Loamic)	AC-fr-ct.hu.lo
T1L1	Chromic Acrisol (Clayic, Cutanic)	AC-cr-ce.ct
T2P2	Ferric Acrisol (Clayic, Cutanic, Humic)	AC-fr-ce.ct.hu
T2Pi2	Chromic Ferric Acrisol (Clayic, Cutanic)	AC-fr.cr-ce.ct
T2A2	Chromic Ferric Acrisol (Alumic, Cutanic, Loamic)	AC-fr.cr-au.ct.lo
T2L2	Chromic Acrisol (Alumic, Clayic, Cutanic, Humic)	AC-cr-au.ce.ct.hu
T3P3,T3L3,T3Pi3	Chromic Acrisol (Alumic, Clayic, Cutanic)	AC-cr-au.ce.ct
T3A3*	Chromic Ferric Acrisol (Clayic, Cutanic, Humic)	AC-fr.cr-ce.ct.hu

Clasificación: IUSS Working Group WRB (2014); \* Fuente: Castillo et al., 2014.

Los Acrisoles de la Sabana de Huimanguillo son suelos profundos, fuertemente ácidos y generalmente se caracterizan por los colores oscuros sobre amarillentos a rojizos, con un horizonte árgico; CIC <24 cmol<sub>c</sub> kg<sup>-1</sup> de arcilla en alguna parte del horizonte árgico; con presencia de lixiviación debido a la precipitación abundante, dando lugar a la pérdida de nutrientes, lo que es demostrado con la baja saturación de bases intercambiables y el aluminio intercambiable, y además, están exentos de salinidad, pero son susceptibles a erosión al situarse en lomeríos con pendientes suaves a fuertes; estas características también son destacadas por otros autores (Salgado et al., 2007; Salgado et al., 2010; IUSS Working Group WRB, 2014; Zavala et al., 2014). De acuerdo a la NOM-021 (SEMARNAT, 2002), las propiedades físico-químicas observadas en los perfiles de suelos tienen el siguiente comportamiento: los horizontes Ap y Bt difieren por los contenidos de alto a bajo de MO (8.52-0.40%), bajo a muy bajo en CIC (15.72- 3.67 cmol kg<sup>-1</sup> de suelo) y muy bajo en bases intercambiables; los perfiles registraron pH moderadamente a fuertemente ácido (5.33- 4.07) y el contenido de P extraíble varía de alto a bajo (27.61-0.85 mg kg<sup>-1</sup> de suelo), aunque en este caso se relaciona estrechamente con el uso del suelo; y las texturas que predominaron son clasificadas dentro de las clases texturales franco, migajón arenoso, migajón arcillo arenoso, arcilla, migajón arcilloso y arcillo arenoso (Tabla 5).

**Tabla 5. Análisis físicos y químicos de suelos en la Sabana de Huimanguillo, Tabasco bajo diferentes pendientes y usos agrícolas.**

Clave	Suelo	Horizonte	Profundidad (cm)	pH (H <sub>2</sub> O) rel. 1:2	Da g cm <sup>-3</sup>	MO %	Nt	P Olsen mg kg <sup>-1</sup>	K	Ca	Mg	Na	Al i	CIC	CICc	SB	Arcilla %	Limo	Arena	Clasificación Textural
T1P4	AC-fr.ct.lo	A1	0-(23-37)	4.85	1.26	2.74	0.04	6.76	0.08	0.69	0.39	0.09	0.62	6.29	31.45	29.78	20	36	44	Franco
		A2-B	(27-37)-(37-57)	5.15	1.40	1.00	0.01	2.25	0.04	0.57	0.48	0.08	0.62	5.24	47.65	34.38	11	31	58	Migajón arenoso
		Bt	(47-57)-92	5.3	1.45	0.67	0.01	0.99	0.05	0.47	0.47	0.08	0.42	3.67	40.76	40.54	9	33	58	Migajón arenoso
		C	92-140	5.08	1.22	0.53	0.01	0.42	0.05	0.75	1.02	0.09	0.52	8.39	36.46	28.98	23	19	58	Migajón arcillo arenoso
T1Pi3	AC-fr.ct.hu.lo	Ap	0-21	4.45	1.26	7.35	0.08	27.61	0.17	0.27	0.10	0.25	1.35	9.96	49.79	21.50	20	19	61	Migajón arenoso
		A2	21-36	4.43	1.23	5.08	0.07	8.73	0.07	0.12	0.04	0.07	1.35	6.81	30.97	24.30	22	15	63	Migajón arcillo arenoso
		Bt1	36-65	4.57	1.19	1.07	0.04	0.85	0.04	0.10	0.05	0.07	1.04	4.72	18.14	27.62	26	13	61	Migajón arcillo arenoso
		Bt2	65-110	4.54	1.18	0.67	0.03	0.42	0.03	0.18	0.06	0.04	1.35	4.72	17.47	35.21	27	21	53	Migajón arcillo arenoso
T1L3	AC-cr-ce.ct	Ap	0-25	5.12	1.15	6.02	0.11	3.10	0.17	2.57	0.62	0.19	0.52	11.01	35.50	36.94	31	25	44	Migajón arcilloso
		A2	25-44	5.33	1.18	2.01	0.03	0.70	0.07	1.45	0.39	0.04	0.21	4.72	17.47	45.61	27	17	56	Migajón arcillo arenoso
		Bt1	44-88	4.76	1.06	1.00	0.02	1.41	0.10	0.82	0.44	0.07	0.73	6.81	15.85	31.69	43	15	42	Arcilla
		Bt2	88-115	4.77	1.03	0.74	0.02	0.28	0.12	0.62	0.52	0.07	1.15	3.67	7.49	67.28	49	13	38	Arcilla
		C	115-145	4.78	1.04	0.40	0.01	0.28	0.14	0.40	0.83	0.05	1.46	3.67	7.64	78.51	48	12	40	Arcilla arenosa
T1A3	AC-fr-ct.lo	A1	0-26	4.61	1.22	3.69	0.15	2.59	0.08	0.09	0.12	0.03	-	6.88	29.91	-	23	19	58	Migajón arcillo arenoso
		A2	26-44	4.67	1.20	2.93	0.09	1.01	0.06	0.07	0.14	0.03	-	4.92	19.68	-	25	18	57	Migajón arcillo arenoso
		Bt1	44-79	4.48	1.12	0.78	0.03	0.43	0.05	1.07	0.17	0.11	-	4.43	12.66	-	35	15	50	Migajón arcillo arenoso
		Bt2	79-119	4.63	1.09	0.60	0.03	0.58	0.04	1.09	0.31	0.02	-	4.43	11.36	-	39	16	45	Arcilla arenosa
		C	119-150	4.62	1.06	0.30	0.02	0.22	0.04	0.62	0.33	0.07	-	3.20	7.44	-	43	19	38	Arcilla
T2P2	AC-fr-ce.ct.hu	Ap	0-21	4.68	1.24	6.68	0.10	2.39	0.13	1.38	0.37	0.12	0.83	10.48	49.92	27.05	21	23	56	Migajón arcillo arenoso
		A2	21-42	5.15	1.22	3.01	0.05	0.56	0.09	0.55	0.24	0.18	0.94	7.86	34.18	25.33	23	19	58	Migajón arcillo arenoso
		Bt1	42-77	4.81	1.12	1.34	0.03	0.14	0.04	0.71	0.21	0.04	1.25	7.86	22.46	28.55	35	21	44	Migajón arcilloso
		Bt2	77-111	4.53	1.02	0.53	0.02	0.00	0.13	1.34	0.60	0.09	3.12	9.96	19.15	53.05	52	25	23	Arcilla
		Cg	111-140	4.9	0.95	0.13	0.01	0.00	0.21	0.69	0.79	0.08	7.50	17.30	25.43	53.55	68	23	9	Arcilla
T2Pi3	AC-fr.cr-ce.ct	Ap	0-25	4.07	1.23	5.85	0.09	8.45	0.21	0.32	0.09	0.09	1.77	13.10	59.56	18.95	22	27	51	Migajón arcillo arenoso
		Bt1	25-63	4.45	1.14	1.67	0.03	2.68	0.10	0.29	0.08	0.04	1.56	6.81	21.29	30.37	32	17	51	Migajón arcillo arenoso
		Bt2	63-(87-109)	4.7	1.10	1.14	0.02	0.42	0.16	0.59	0.25	0.09	1.04	8.39	22.07	25.36	38	17	45	Migajón arcillo arenoso
		C	87-(109-140)	4.74	1.08	0.33	0.01	0.42	0.19	1.28	0.44	0.03	1.56	6.29	15.72	55.69	40	19	41	Migajón arcillo arenoso

**Tabla 5. Continuación.**

Clave	Suelo	Horizonte	Profundidad (cm)	pH (H <sub>2</sub> O) rel. 1:2	Da g cm <sup>-3</sup>	MO %	Nt mg kg <sup>-1</sup>	P Olsen mg kg <sup>-1</sup>	K mg kg <sup>-1</sup>	Ca mg kg <sup>-1</sup>	Mg cmol kg <sup>-1</sup>	Na cmol kg <sup>-1</sup>	Al i cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup>	CIC cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup>	CICc cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup>	SB	Arcilla %	Limo	Arena	Clasificación Textural
T2L4	AC-cr-au.ce.ct.hu	Ap1	0-26	5.33	1.17	8.52	0.09	7.04	0.13	2.06	0.70	0.06	0.52	13.63	48.67	25.45	28	23	49	Migajón arcillo arenoso
		A2	26-(42-52)	4.78	1.06	3.74	0.09	1.27	0.06	0.32	0.11	0.04	1.15	7.34	16.68	22.84	44	13	43	Arcilla arenosa
		Bt1	42-(52-92)	4.79	0.99	1.54	0.04	0.70	0.11	0.46	0.21	0.06	1.15	5.77	9.94	34.29	58	13	29	Arcilla
		Bt2	94-136	5	1.00	0.60	0.02	0.56	0.20	0.59	0.63	0.05	1.04	5.24	9.36	47.92	56	15	29	Arcilla
T2A4	AC-fr.cr-au.ct.lo	A1	0-22	5.08	1.22	6.85	0.12	4.08	0.50	5.61	1.73	0.08	0.21	15.72	68.36	51.71	23	35	42	Franco
		Bt1	22-53	4.84	1.18	1.80	0.03	0.42	0.32	1.40	0.65	0.03	1.77	11.53	42.71	36.15	27	47	26	Franco
		Bt2	53-82	4.66	1.10	0.87	0.03	0.99	0.12	0.63	0.44	0.05	1.87	7.34	19.83	42.48	37	31	32	Migajón arcilloso
		C	83-130	4.52	1.13	0.40	0.02	0.28	0.09	0.33	0.30	0.04	2.08	7.34	22.23	38.83	33	29	38	Migajón arcilloso
T3P3	AC-cr-au.ce.ct	Ap	0-14	5.01	1.16	4.75	0.02	3.10	0.26	1.21	0.51	0.16	0.42	6.29	20.96	40.58	30	13	57	Arcilla arenosa
		Bt1	14-61	5.43	1.07	0.74	0.08	0.28	0.14	0.87	0.26	0.25	0.31	4.72	11.23	38.73	42	11	47	Arcilla arenosa
		Bt2	61-100	4.94	1.02	0.40	0.01	0.14	0.06	0.74	0.27	0.02	2.19	7.34	14.11	44.69	52	25	22.6	Arcilla
		C	100-140	4.94	0.97	0.20	0.01	0.14	0.11	0.59	0.27	0.08	3.44	11.53	18.60	38.88	62	25	13	Arcilla
T3Pi3	AC-cr-au.ce.ct	Ap	0-(24-30)	5.06	1.16	5.75	0.03	74.08	0.24	0.45	0.09	0.35	1.04	7.34	24.46	29.62	30	18	52	Arcilla arenosa
		A2	24-(30-43)	4.38	1.16	2.21	0.07	3.24	0.05	0.15	0.05	0.04	1.15	4.19	13.98	34.16	30	15	55	Arcilla arenosa
		Bt	43-84	4.41	1.08	1.20	0.04	0.85	0.06	0.20	0.04	0.05	1.35	6.29	15.72	27.05	40	12	48	Arcilla arenosa
		C	84-140	4.46	1.05	0.47	0.02	1.13	0.06	0.27	0.05	0.04	1.87	3.67	7.98	62.73	46	12	42	Arcilla
T3L3	AC-cr-au.ce.ct.	Ap	0-13	5.17	1.17	6.18	0.11	2.82	0.48	3.08	1.01	0.07	0.31	12.58	44.92	39.34	28	25	47	Migajón arcillo arenoso
		Bt1	13-24	4.81	1.14	2.47	0.04	0.85	0.13	0.76	0.33	0.04	1.04	9.96	31.12	23.10	32	27	41	Migajón arcilloso
		Bt2	26-65	4.76	1.00	0.94	0.02	0.14	0.11	0.65	0.31	0.03	2.91	11.01	19.65	36.48	56	31	13	Arcilla
		C1	65-110	4.87	0.97	0.40	0.02	0.00	0.29	0.91	0.54	0.18	8.12	20.96	33.81	47.88	62	25	13	Arcilla
		C2	110-140	4.62	1.10	0.00	0.01	0.28	0.14	0.31	0.44	0.08	6.35	16.25	42.76	45.09	38	37	25	Migajón arcilloso
T3A2	AC-fr.cr-ce.ct.hu	A	0-26	4.6	1.08	8.05	0.24	2.74	0.08	MLD	MLD	MLD	-	12.29	29.98	-	41	11	48	Arcilla arenosa
		A2	26-47	4.58	1.04	3.41	0.09	1.30	0.06	MLD	MLD	0.03	-	6.39	13.60	-	47	10	43	Arcilla
		Bt1	47-82	4.81	1.01	0.78	0.03	0.58	0.03	MLD	0.15	0.06	-	3.93	7.42	-	53	13	34	Arcilla
		Bt2	82-121	4.82	1.04	0.48	0.02	0.43	0.03	MLD	0.08	0.03	-	3.93	8.36	-	47	19	34	Arcilla
		Bt3	121-155	4.74	1.05	0.24	0.02	0.14	0.03	MLD	0.06	0.04	-	5.41	12.02	-	45	22	33	Arcilla

MLD: Menor al límite de detección del método.

En congruencia con estos resultados, Zavala et al. (2014) mencionan que algunas propiedades físicas y químicas difieren principalmente en el horizonte Ap de estos suelos, posiblemente debido al diferencial erosivo que presentan dependiendo del relieve y el manejo. Esto es confirmado por otros autores quienes demuestran que los Acrisoles son susceptibles a la erosión por ubicarse en relieves ondulados, alomados y casi nunca en llanuras y por tanto se diferencian a nivel de calificadores relacionados con los factores de formación de estos suelos (Palma- López et al., 2007b; Gómez et al., 2010; Gracheva, 2011).

### **Calificadores diferenciales**

De acuerdo al IUSS Working Group WRB (2014) los Acrisoles caracterizados se diferencian a nivel de calificadores primarios y complementarios (Tabla 6).

El calificador Ferric indica que el grupo Acrisol tiene un horizonte Férrico en el que la segregación de hierro (Fe) ha tenido lugar a tal punto que se han formado grandes moteados, concreciones o nódulos discretos, resultantes de los procesos redóx activos o relictos, lo cual le confiere color hue Munsell más rojo que 7.5YR y un croma de  $\geq 5$  (Figura 8a, 8b). En pendientes de 0-3% y 3-6% con los usos de suelo de pastizal, piña y acahual existe el horizonte Férrico, excepto bajo cultivo de Limón, mientras que bajo acahual el horizonte Férrico se encuentra presente en las tres pendientes del relieve. Estos resultados concuerdan con los de Palma- López et al. (2007b) quienes mencionan que los Acrisoles Férricos ocupan lomeríos con pendientes de 5-20%, donde los procesos oxido-reducción evidencian la formación de óxidos de Fe, provocados por las condiciones del drenaje que van de moderado a bien drenado en todo el perfil y la permeabilidad interna, que varía de rápida en la capa superficial hasta moderada en la capa subyacente; estas condiciones son evidencia de los procesos de meteorización, ya que a medida que se intemperizan los minerales primarios de silicatos del material parental y tras la ruptura de la estructura mineral, el hierro ferroso es rápidamente oxidado a sus óxidos férricos muy insolubles produciendo los óxidos de Fe con aumento gradual de coloración roja del suelo (Zinck, 2012). Con ello, de acuerdo Juo y Franzluebbbers (2003), a pH ácidos algunos óxidos llevan una carga neta positiva y atraen aniones, así los óxidos de Fe reaccionan fuertemente con aniones fosfatos solubles, provocando alta fijación de fósforo (Palma-López et al., 2007b; Salgado et al., 2007). Por

lo tanto, los suelos fuertemente meteorizados ricos en óxidos de Fe fijan químicamente grandes cantidades de fosfato, que deja de estar disponible para las plantas.

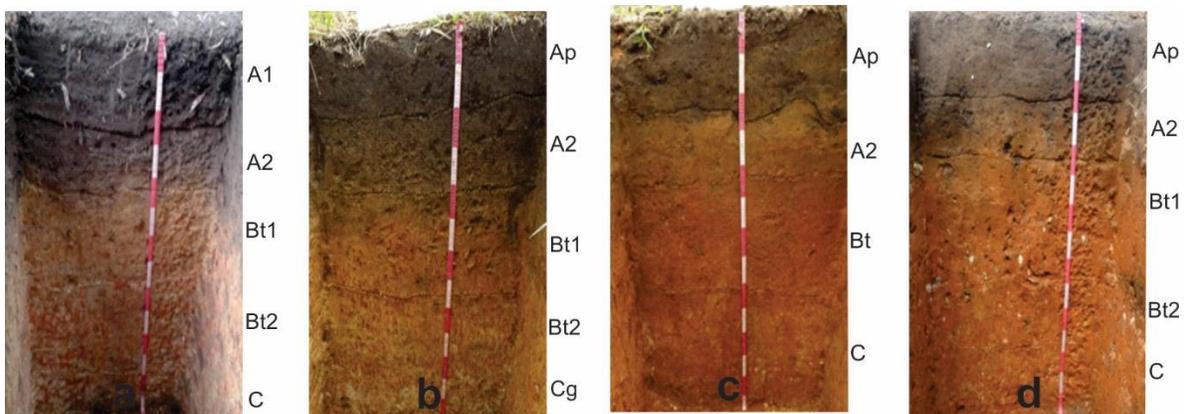
**Tabla 6. Calificadores principales y complementarios para Acrisoles sobre tres gradientes de pendientes y cuatro usos del suelo en la Sabana de Huimanguillo, Tabasco.**

Perfil de suelo	Pendiente (%)	Uso del suelo	Subunidad	Calificadores						
				fr*	cr*	au**	ce**	ct**	hu**	lo**
T1A1	0-3%	Acahual	AC-fr-ct.lo	x				x		x
T1P1		Pastizal		x				x		x
T1Pi1		Piña	AC-fr-ct.hu.lo	x				x	x	x
T1L1		Limón			x		x	x		
T2A2	3-6%	Acahual	AC-fr.cr-au.ct.lo	x	x	x		x		x
T2P2		Pastizal	AC-fr-ce.ct.hu	x			x	x	x	
T2Pi2		Piña	AC-fr.cr-ce.ct	x	x		x	x		
T2L2		Limón	AC-cr-au.ce.ct.hu		x	x	x	x	x	
T3A3	10-20%	Acahual	AC-fr.cr-ce.ct.hu	x	x		x	x	x	
T3P3		Pastizal			x	x	x	x		
T3Pi3		Piña	AC-cr-au.ce.ct	x	x		x	x		
T3L3		Limón			x	x	x	x		

fr: Ferric, cr: Cromic; au: Alúmic; ct: Cutanic; hu: Húmic; lo: Loámic. \*Calificador primario;

\*\*Calificador complementario.

El calificador Chromic se agrega cuando hay la existencia dentro de  $\leq 150$  cm de la superficie del suelo, una capa subsuperficial  $\geq 30$  cm de espesor que tienen un color Munsell hue más rojo que 7.5YR (IUSS Working Group WRB, 2014). Este calificador es observado en los suelos sujetos a cultivos de limón persa en las tres pendientes del relieve (Figura 8c, 8d).



**Figura 8. Perfiles de suelos representativos de la Sabana de Huimanguillo, Tabasco. a) AC-fr-ct.lo, b) AC-fr-ce.ct.hu, c) AC-cr-au.ce.ct, d) AC-cr-ce.ct.**

En las pendientes de 3-6% también se observó en los suelos bajo uso de acahual y piña (Figura 8c). Y en pendientes de 10-20% este calificador dominó en los cuatro usos del

suelo. Estos resultados concuerdan con los de Salgado et al. (2010) quienes encuentran Acrisoles calificados como crómicos cultivados con piña.

De acuerdo a IUSS Working Group WRB (2014), el calificador complementario Aluminic indica que los suelos tienen una saturación efectiva de Al mayor al 50% entre los 50 y 100 cm a partir de la superficie del suelo mineral, y una saturación de bases, calculada sobre la suma de bases intercambiables más el Al intercambiable <50% en la mayor parte del perfil entre 20 y 100 cm, a partir de la superficie de suelo mineral. Los suelos sobre pendientes de 3-6 % bajo acahual y los cultivados con limón persa, así como los suelos sobre pendientes de 10-20% en los usos pastizal, piña y limón persa cumplen los contenidos de saturación por aluminio y saturación de bases para asignar el calificador Aluminic. Los resultados de diversos estudios que se han realizado en la misma zona no presentan análisis fisicoquímicos que ayuden a calificar a estos suelos como Aluminic, sin embargo, deben de ser considerados para futuras caracterizaciones, ya que de acuerdo a Juo y Franzluebbers (2003), en suelos en los trópicos húmedos donde predominan suelos muy ácidos con un pH <5.2, el aluminio se vuelve soluble alcanzando valores del 60% de saturación de Al intercambiable, debido a que los iones  $Al^{+3}$  se adsorben preferentemente a otros cationes por la cargas negativas de los coloides del suelo, y en el complejo de cambio de la solución del suelo son entonces hidrolizadas para producir iones  $H^+$ , que reducen el pH de la solución del suelo. Funakawa et al. (2008) reafirman que en los suelos ácidos como los Acrisoles, el catión dominante retenido en los sitios de cationes intercambiables es el  $Al^{+3}$  que contribuye al descenso del pH derivado a partir de la mineralogía de las arcillas del suelo, reflejando condiciones de meteorización en términos de geología y climatología. Hay que hacer mención que la utilización de la acidez intercambiable, y por ende, el Al intercambiable no es una determinación común en los laboratorios por lo que no hay muchos datos al respecto (Palma-López et al., 2007b).

Los calificadores Clayic y Loamic están relacionados con la pedogénesis del suelo, el primero con la migración de las arcillas al horizonte árgico y el material parental de los suelos de T2 y T3 en la terraza centro-sur conformada por rocas de areniscas-conglomerado polimictico de edad del Terciario Plioceno-Cuaternario Pleistoceno (Ortiz-Pérez et al., 2005; SGM, 2005).

El calificador Clayic se asignó debido a que predominan las clases texturales de arcilla y arcilla arenosa en capas  $\geq 30$  cm de espesor, dentro de los 100 cm de la superficie del suelo mineral. En suelos bajo cultivo de limón persa sobre pendientes de 0-3% y en los suelos bajo pastizal, piña y limón persa sobre pendientes de 3-6% dominaron las texturas en su mayoría arcilla arenosa al igual que en todos los usos de suelos sobre pendientes de 10-20% (Tabla 5). Los resultados concuerdan con a Palma-López et al. (2007b) quienes mencionan que parte del material parental de la Sabana de Huimanguillo es de areniscas, compuestas por arenas gruesas con  $\text{SiO}_2$  cuyo origen son los sedimentos del Terciario, pero que debido a corrientes erosivas una mezcla de minerales fueron arrastrados, y el material residual se fue intemperizando para dar origen a suelos con altos contenidos de arena, y ricos en aluminio y hierro. Es por ello que, Krasilnikov (2011) señala que esta área corresponde a antiguas terrazas donde la cobertura edáfica es más diversa por edad de formación. Así mismo, Gracheva (2011) encuentra Acrisoles sobre terrazas antiguas donde las partículas de arcillas y Fe están siendo lixiviados de la capa superior del suelo, predominando el tipo caolinitas, cuarzos finos y residuos de micas dioctahedricas, los cuales son componentes arcillosos, que con aumento de la edad del suelo esta fracción de arcilla predomina reflejando meteorización intensa y pedogénesis en los trópicos húmedos y subtropicales. En estos suelos es frecuente que el horizonte árgico tenga predominancia de texturas arcillosas por lo que el clasificador Clayic está presente en muchos de ellos (Salgado-García et al., 2007 y 2010).

En el caso del calificador Loamic en pendientes de 0-3% en pastizal, acahual y piña se debe a las clases texturales franco, migajón arenoso, migajón arcillo arenoso y migajón arcilloso que tiene el suelo en una capa  $\geq 30$  cm de espesor entre  $\leq 100$  cm de profundidad, al igual que los suelos de acahual en pendientes de 3-6% (Tabla 5). A diferencia que el calificador anterior, este se relaciona con sedimentos recientes de arena-limo de edad del Cuaternario Pleistoceno (SGM, 2005) y a la lixiviación continua de las arcillas prevaleciendo texturas arenosas y francas en los primeros 100 cm de profundidad. Esto concuerda con Salgado et al. (2010) quienes encuentran Acrisoles con clase textural migajón arcillo arenoso sobre zonas planas y lomeríos ligeramente inclinados en la misma área de estudio. Palma-López et al. (2007b) indica que los

Acrisoles son suelos con texturas gruesas y con poca agregación del suelo de ahí que su uso y manejo ha causado graves problemas de erosión superficial.

A todas las subunidades de suelo se les asignó el calificador Cutanic ya que todos los perfiles estudiados tienen horizonte árgico (Bt) con evidencia de iluviación de arcilla, en forma de revestimientos de arcillas (cutanes de arcilla o argilanes) en la superficie de los agregados del suelo horizontal y verticalmente (Ortiz- Pérez et al., 2005). De acuerdo a Salgado et al. (2007), la formación del horizonte árgico en estos suelos implica dispersión, transporte y acumulación de arcillas de baja actividad causadas por la fuerte intemperización de estos suelos. Mientras Gracheva (2011) menciona que las partículas de arcillas en Acrisoles están siendo lixiviadas de la capa superior del suelo para dar origen al horizonte Bt. Estos resultados son confirmados por el IUSS Working Group WRB (2014), quienes indican que esta diferenciación pedogenética del contenido de arcillas, con un contenido más bajo en la capa superficial y un mayor contenido en el subsuelo, es lo que evidencia a los Acrisoles. Dichos revestimientos son producto de un proceso avanzado de la iluviación de arcilla formando los cutanes en el suelo, los cuales están relacionados con el material parental, y son un rasgo pedológico que se refiere a las adiciones y transformaciones que tienen lugar en el material pedológico y es un indicador de la formación y evolución del suelo (Zinck, 2012).

El calificador Humic se refiere a los suelos que tienen contenido de carbono orgánico en el suelo  $\geq 1\%$  hasta una profundidad de 50 cm a partir de la superficie del suelo. En pendientes de 0-3% los suelos bajo cultivo de piña, y sobre pendientes de 3-6% bajo pastizales y limón se observan contenidos mayores al 1% de carbono orgánico en los horizontes Ap, y en pendientes de 10-20% bajo acahual en el horizonte A. Palma-López et al. (2007) encuentran estos suelos en acahuales sobre pendientes de 2-4% mencionando que presentan un horizonte A muy oscuro, profundo y fuertemente húmico debido a contenidos de materia orgánica elevados, presentándose esta acumulación por las condiciones de acidez y la posición topográfica que limita los procesos erosivos. Los resultados concuerdan con Salgado et al. (2010) quienes reportan Acrisoles Húmicos bajo cultivo de piña con 12 a 18% en el horizonte superficial. Recientemente Zavala et al. (2014) mencionan que la presencia de un horizonte Ap y su alto contenido de carbono orgánico indican un mejor estado de conservación de los Acrisoles cultivados con

cítricos. Sin embargo, Fisher et al. (1994) encontraron una gran acumulación de C por las raíces en perfiles de suelos bajo tierras con pastizales de sabana. Urquiaga et al. (1998) realizaron mediciones de raíces descompuestas indicando que una proporción significativa de C de la raíz pueden considerarse altamente recalcitrantes y que las tasas de corto y largo plazo de la descomposición tiene un impacto significativo en el corto y largo plazo de la disponibilidad de N del suelo, al igual que la dinámica del C. También, existe una relación con la carga superficial de los minerales arcillosos de óxidos de Fe y Al que varían con el pH, en suelos muy ácidos algunos óxidos llevan carga positiva neta para atraer aniones y algunos aniones orgánicos tienen una fuerte afinidad, esta es la razón porque la capa de la superficie del suelo presenta relativamente alto contenido de materia orgánica (Juo & Franzluebbers, 2003).

## **CONCLUSIONES**

En el área de estudio de la sabana de Huimanguillo, los suelos de los diferentes sitios pertenecen al grupo Acrisol y se diferencian a nivel de calificadores principales y complementarios, relacionados principalmente con el material geológico, que constituye un factor básico en la formación de los suelos y el relieve del suelo, debido a que influye en su génesis y composición. Tal composición reflejada sobre las diferencias de propiedades físicas y químicas de estos suelos tiene influencia en el desarrollo del suelo. Los calificadores principales Ferric y Cromic están relacionados con el relieve y el drenaje de los suelos y la acumulación de Fe oxidado; Los Acrisoles de pendientes altas y medias presentan el calificador Cromic y los de pendientes bajas el calificador Ferric; los complementarios Alumic con el contenido de Al intercambiable, el intemperismo de los suelos y las pendientes altas; Clayic y Loamic con la edad de formación, el material parental, el lavado de las arcillas y las pendientes, y Cutanic con la presencia de arcilla iluvial en el horizonte árgico. Así, la clasificación de los suelos contribuye a clarificar el origen de la compleja existencia y diferenciación de los suelos de la Sabana de Huimanguillo, Tabasco, y permite determinar los principales procesos de formación de estos suelos.

## REFERENCIAS

- Bridges, E. M. & Oldeman (1999). Global assessment of human-induced soil degradation. *Arid soil research and rehabilitation* 13, 319-325.
- Castillo, A. O., Zavala, C. J, y Shirma, T. E. (2014). *Distribución geográfica de encinares en el estado de Tabasco*. Villahermosa, Tabasco, México:Universidad Juárez Autónoma de Tabasco, Colegio de Postgraduados. 49 p.
- Cuanalo de la C.H. (1990). *Manual de descripción de perfiles de suelo en el campo*. Centro de Edafología. Chapingo, México: Colegio de Posgraduados. 40 p.
- Food Agriculture Organization of the United Nations (FAO). (2011). *Ahorra para crecer. Guía para los responsables de las políticas de intensificación sostenible de la producción agrícola en pequeña escala*. Roma: Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación.102 p.
- Food Agriculture Organization of the United Nations (FAO). (2015). *Los suelos constituyen la base de la vegetación*. Job Number: I4666. Roma, Italia: Autor.
- Fisher M.J., Rao I.M., Ayarza M.A., Lascano C.E., Sanz J.I., & Thomas R.J. (1994). Carbon storage by introduced deep- rooted grasses in the South American savannas. *Nature* 266: 236–248.
- Funakawa, S., Watanabe, T., & Kosaki, T. (2008). Regional trends in the chemical and mineralogical properties of upland soils in humid Asia: With special reference to the WRB classification scheme. *Soil Science and Plant Nutrition*, 54(5), 751-760.
- Garcia-Ruiz, J. M. (2010). The effects of land uses on soil erosion in Spain: A review. *Catena*, 81(1), 1-11.
- Gracheva, R. (2011). Formation of soil diversity in the mountainous tropics and subtropics: Rocks, time, and erosion. *Geomorphology*, 135(3-4), 224-231.
- Gómez, I. A., Hernández, A., Ascanio, M. O., Sánchez, M. E., Benítez, L., Villegas, R,... Ponce de León, D. (2010). Grupos de suelos y su distribución en las áreas del ingenio central Motzorongo, Veracruz, México. *Cultivos Tropicales*, 31(2), 00-00.
- Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI). (2001). *Síntesis de información geográfica del estado de Tabasco*. Aguascalientes, México: Autor.

- IUSS Working Group WRB. (2014). *World Reference Base for Soil Resources 2014. International soil classification system for naming soils and creating legends for soil maps*. World Soil Resources Reports No. 106. Rome: FAO. 181 p.
- Junge, B., & Skowronek, A. (2007). Genesis, properties, classification and assessment of soils in Central Benin, West Africa. *Geoderma*, 139(3-4), 357-370.
- Juo, A.S.R. & Franzluebbers, K. 2003. Tropical soils. Properties and management for sustainable agriculture. Oxford University Press, New York, 2003. 281 p.
- Krasilnikov, P. (2011). Distribución espacial de los suelos y los factores que lo determinan. In: Krasilnikov P, Jiménez-Nava FJ, Reyna-Trujillo T, García-Calderón NE (Eds). *Geografía de suelos de México*. Distrito Federal, México: UNAM. 462 p.
- Munsell (2000). *Munsell soil color charts*. U.S. Department of Agriculture, Baltimore. USA.
- Ortiz-Pérez. M. A., Siebe, C. y Cram, S. (2005). Diferenciación geográfica de Tabasco. In Bueno, J., F. Álvarez y S. Santiago (Eds.) Biodiversidad del estado de Tabasco. (pp. 305-322). México, D.F.: Instituto de Biología, UNAM-CONABIO.
- Ortiz-Solorio, C.A., Gutiérrez, C.M.C., Sánchez-Guzmán, P., y Gutiérrez-Castorena, E.V. (2011). Cartografía de la degradación de suelos en la República Mexicana: evolución y perspectivas. In Krasilnikov P., Jiménez- Nava, F.J., Reyna-Trujillo, T. & García-Calderón, N.E. (eds), *Geografía de suelos de México* (pp.) México D.F.: UNAM. 462 p.
- Palma-López D.J., Cisneros D. J., Del Rivero B, N., Triano S.A., y Castañeda C.R. (2007a). Hacia un desarrollo sustentable del uso de los suelos de Tabasco. In Palma-López D.J. y A. Triano S. (Comps.) *Plan de uso sustentable de los suelos de Tabasco*. (pp. 9-40). Villahermosa Tabasco, México: Colegio de Postgraduados-ISPROTAB-FUPROTAB.
- Palma-López, D. J., Cisneros, D. J., Moreno, C. E. y Rincón-Ramírez, J.A. (2007b). *Suelos de Tabasco: su uso y manejo sustentable*. Villahermosa, Tabasco, México: ISPROTAB-Fundación Produce Tabasco-Colegio de Postgraduados. 197 p.
- Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT) (2002). Norma oficial mexicana NOM-021-RECNAT-2000, que establece las especificaciones de

- fertilidad, salinidad y clasificación de suelos. Estudios, muestreos y análisis. México, D.F.: Diario Oficial de la Federación. 85 p.
- Salgado-García, S., Palma-López, D.J., Zavala-Cruz, J., Lagunes-Espinoza, L.C., Castelán-Estrada, M., Ortiz-García, C.F., Ventura- Ulloa F., Marín-Aguilar, A., Moreno-Caliz, E., y Rincón-Ramírez, J. A. (2007). *Sistema Integrado para recomendar dosis de fertilizantes (SIRDF) en el área citrícola de Huimanguillo, Tabasco*. Colegio de Postgraduados, Campus Tabasco. H. Cárdenas, Tabasco, México. 89 p.
- Salgado-García, S., Palma-López, D.J., Zavala-Cruz, J., Ortiz-García, C. F., Castelán-Estrada, M., Lagunes-Espinoza, L.C., Guerrero-Peña, A., Ortiz-Ceballos, A.I, y Córdova-Sánchez, S. (2010). *Sistema integrado para recomendar dosis de fertilizantes (SIRDF): en la zona piñera de Huimanguillo, Tabasco*. Colegio de Postgraduados, Campus Tabasco. H. Cárdenas, Tabasco, México. 81 p.
- Servicio Geológico Mexicano (SGM). (2005). Carta Geológico-Minera, Villahermosa E15-8 Tab., Ver., Chis. Y Oax. Escala 1:250,000. México: Autor.
- Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera. (SIAP). (2013). Anuario estadístico de la producción agrícola. Secretaria de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación. En: [www.siap.gob.mx](http://www.siap.gob.mx). Revisado en julio de 2015.
- Szott, L. T., Palm, C. A., & Sanchez, P. A. (1991). Agroforestry in acid soils of the humid tropics. *Advances in Agronomy*, 45, 275-301.
- Urquiaga, S., Cadisch, G., Alves, B. J. R., Boddey, R. M., & Giller, K. E. (1998). Influence of decomposition of roots of tropical forage species on the availability of soil nitrogen. *Soil Biology and Biochemistry*, 30(14), 2099-2106.
- Zavala C. J. y Castillo A. O. 2007. Cambios de uso de la tierra en el estado de Tabasco. In Palma-López D.J. y A. Triano S. (Comps.) 2007. *Plan de uso sustentable de los suelos de Tabasco* (pp. 30-56). Villahermosa Tabasco, México: COLPOS-ISPROTAB.
- Zavala-Cruz, J., Salgado-García, S., Marín-Aguilar, Á., Palma-López, D. J., Castelán-Estrada, M., y Ramos-Reyes, R. (2014). Transecto de suelos en terrazas con plantaciones de cítricos en Tabasco. *Ecosistemas y Recursos Agropecuarios*, 1(2), 123-137.

Zinck, J.A. (2012). *Geopedologia: elementos de geomorfología para estudios de suelos y de riesgos naturales*. Enschede, The Netherlands: Faculty Geo-Information Science and Earth Observation. 123 p.

**CAPITULO II. DEGRADACIÓN QUÍMICA EN ACRIPOLES BAJO DIFERENTES  
USOS Y PENDIENTES EN LA SABANA DE HUIMANGUILLO TABASCO, MÉXICO**

## **DEGRADACIÓN QUÍMICA EN ACRIsoles BAJO DIFERENTES USOS Y PENDIENTES EN LA SABANA DE HUIMANGUILLO TABASCO, MÉXICO**

### **RESUMEN**

La degradación del suelo constituye un problema global, influye en el empobrecimiento de la tierra y su abandono. Con el objetivo de evaluar la degradación química del suelo por pérdida de nutrientes en Acrisoles de la Sabana de Huimanguillo, Tabasco se estudió el efecto de dos factores: usos del suelo y pendientes del relieve. Las propiedades evaluadas fueron materia orgánica del suelo (MOS), nitrógeno total (Nt), fósforo extraíble (P), capacidad de intercambio catiónico (CIC), bases intercambiables (K, Ca, Mg, Na) y pH. Los contenidos de MOS son ricos a muy ricos y no existen diferencias significativas entre los factores evaluados. El nitrógeno total es alto y K intercambiable bajo, y estas dos variables muestran diferencias significativas de acuerdo a los usos y pendientes del relieve. P extraíble, Ca, Mg y Na muestran diferencias significativas de acuerdo al uso del suelo y son considerados como contenidos bajos. El pH del suelo es fuertemente ácido y presentó diferencias significativas de acuerdo al uso del suelo. Los resultados muestran degradación química en Acrisoles del área de estudio principalmente por efecto del uso del suelo, por lo que es necesario mejorar su uso y manejo implementando estrategias de conservación.

Palabras clave: Suelos ácidos, pérdida de nutrientes, fertilidad del suelo.

## **ABSTRACT**

Land degradation constitute a global problem, influencing the impoverishment of the land and their desertion. In order to evaluated the chemical degradation of soil by loss nutrients in Acrisols of the Huimanguillo Tabasco Savannah, the effect of two factors were studied: land use and slope relief. The properties evaluated was soil organic matter (SOM), total nitrogen (Nt), available phosphorus, cation exchange capacity (CEC), exchangeable cations (K,Ca, Mg, Na) and pH. The content of SOM are rich to very rich and did not showed any significant differences between the factors evaluated. The Nt is high and the exchangeable K low, and these two variables show singnificant differences according to the land use and the relief slope. Available P, CEC, Ca, Mg and Na show significant differences according to the factors evaluated and they are considered low. The pH of the soil is strongly acid and show significant differences according with the land use. The results show chemical degradation in Acrisols the study area mainly by the effect the land use so it is necessary to improve use and management of the soil implementing conservation strategies.

Key words: acid soils, loss of nutrients, soil fertility.

## INTRODUCCIÓN

Los diferentes usos del suelo son una de las perturbaciones antropogénicas más importantes que pueden inducir cambios en las propiedades de los suelos y reducir la productividad de los cultivos (Liu et al., 2010; Arriache-Luna y Ruiz-Dager, 2010; Yan et al., 2012), ocasionando degradación de la tierra, la cual es una de las problemáticas ecológicas más importante a nivel mundial (Bajocco et al., 2012). En México, la degradación del suelo ha afectado cerca del 50% de la superficie del país y el estado de Tabasco es una de las tres entidades con 70% de los suelos degradados, principalmente por degradación química causada por las actividades agrícolas (Ortiz-Solorio et al., 2011; Krasilnikov et al., 2013).

En la Sabana de Huimanguillo, los principales usos del suelo son la citricultura, el cultivo de la piña y el pastizal cultivado, los cuales requieren altas tasas de fertilización y manejo intensivo (INEGI, 2001; Salgado-García et al., 2007; Salgado-García et al., 2010). El manejo intensivo en el uso del suelo agrícola afecta las propiedades químicas, ya que altas tasas de fertilización y aplicaciones de abonos incrementan la acidificación y cambia la composición de carbono orgánico del suelo (Tian et al., 2012). En suelos tropicales ácidos, otras propiedades químicas como la Capacidad de Intercambio Catiónico (CIC), el pH, el aluminio intercambiable y la relación C/N son afectados por labranza, manejo de residuos y enmiendas orgánicas e inorgánicas (Lienhard et al., 2013).

Los procesos de degradación del suelo no solo están relacionados con el uso del suelo y cambios de la cubierta vegetal, también se asocian a factores geomorfológicos y la topografía (García- Ruiz, 2010; Blanco-Sepulveda y Nieuwenhuyse, 2011; Kosmas et al., 2014). La sabana de Huimanguillo, es un terreno ligeramente ondulado, caracterizada por una repetición sistemática de lomeríos de baja altitud, entre 10 y 60 msnm, constituida por una antigua terraza costera de origen fluvial ligera a moderadamente erosionada (Zavala et al., 2014), de manera que las corrientes erosivas han formado suelos con una mezcla de minerales que fueron arrastrados por los procesos erosivos y se fue intemperizando para dar origen a suelos con altos contenidos de arena y ricos en aluminio y hierro (Palma-López et al., 2007). Actualmente los suelos de esta sabana son frágiles a la erosión por las pendientes dominantes de 1 al 10% en los lomeríos, con algunas laderas de hasta 25%, por lo que el manejo inadecuado puede ocasionar

degradación química por pérdida de nutrientes, el cual es considerado como un indicador de la degradación del suelo (Feng et al., 2010; Ortiz-Solorio et al., 2011; Zavala et al., 2014).

El objetivo de este estudio es analizar los cambios de las propiedades químicas en suelos sujetos a cuatro diferentes usos del suelo y tres niveles de pendientes, con la finalidad de evaluar la degradación química por pérdida de nutrientes en Acrisoles de la sabana de Huimanguillo, Tabasco.

## MATERIALES Y MÉTODOS

### Área de estudio

La sabana de Huimanguillo se encuentra en el suroeste del estado de Tabasco (Figura 9), entre las coordenadas  $17^{\circ} 34'$  y  $17^{\circ} 56'$  de latitud norte, y  $93^{\circ} 25'$  y  $93^{\circ} 57'$  de longitud oeste en una superficie aproximada de 142,103 ha (Salgado et al., 2010).

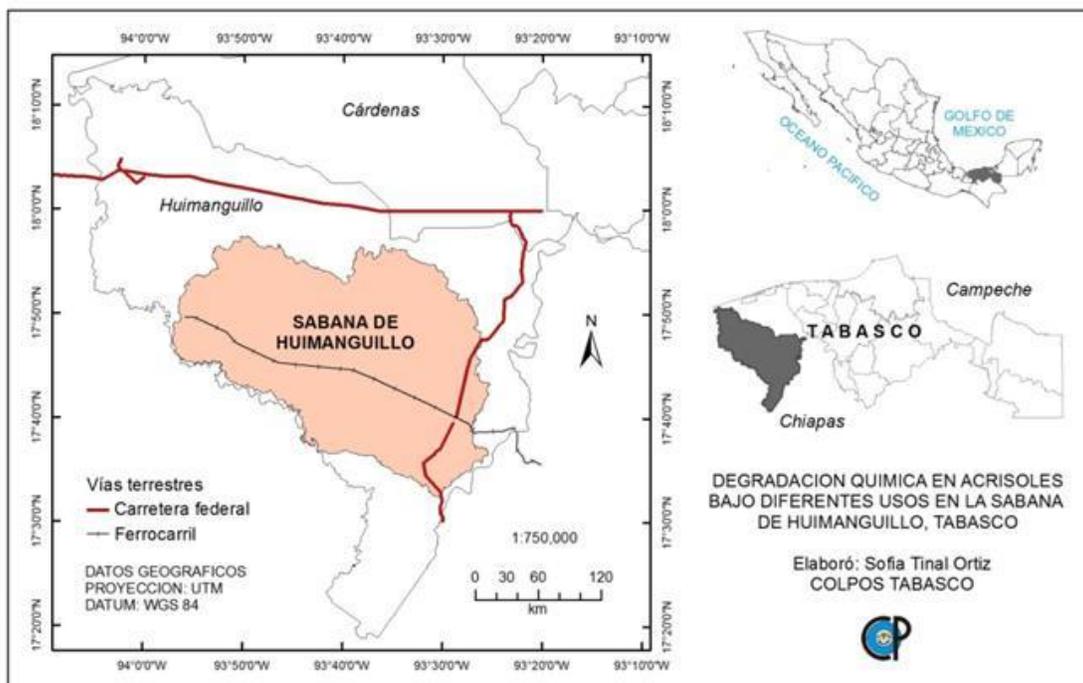


Figura 9. Localización del área de estudio del muestreo de suelos.

En el área predominan al centro y sur un clima cálido húmedo con lluvias todo el año Af (m) con una temperatura media anual de 24 a 26°C, y en el norte y noroeste un clima

cálido húmedo con abundantes lluvias en verano Am (f); con temperatura media anual varía de 26 a 28°C y la precipitación total anual de 2000 a 3000 mm (INEGI, 2001).

La sabana tiene rocas sedimentarias de tipo areniscas-conglomerado polímicico del Terciario Plioceno al Cuaternario Pleistoceno en la mayor superficie y arena-limo del Cuaternario Pleistoceno en la zona norte (SGM, 2005). Los suelos que se han identificado en los lomeríos convexos en su mayoría son Acrisoles, es decir, suelos ácidos fuertemente intemperizados que se caracterizan por la acumulación de arcillas de baja actividad en un horizonte subsuperficial árgico, con altas cantidades de hierro (Fe) y aluminio (Al), con deficiencias de fósforo debido a procesos de fijación por Fe y Al (Palma-López et al., 2007; Pastrana, 2007; Salgado et al., 2007; Salgado et al., 2010; Zavala et al., 2014).

### **Muestreo de suelos**

Se establecieron parcelas de muestreo en la unidad de suelo Acrisol Úmbrico Cutánico según la Base Referencial Mundial del Recurso Suelo (IUSS Working Group WRB, 2014), la cual es la más representativa de la sabana de Huimanguillo de acuerdo con el mapa de suelos de la sabana de Huimanguillo, Tabasco (Salgado-García et al., 2010). Dentro de esta unidad de suelo se ubicaron tres niveles de pendientes del terreno (0-3%, 3-6% y 10-20%) con cuatro diferentes usos: acahual como la comunidad vegetal con los menores riesgos de degradación con antecedentes de al menos 30 años en el área de estudio, pastizales con dominancia de *Brachiaria humidicola* y pastos nativos, cultivo de piña (con aplicación de fertilizantes) con edades de establecimiento entre 6 a 15 años y plantaciones de limón persa (con aplicación de fertilizantes) con edades entre 15 y 23 años, el uso de suelo anterior de los cultivos piña y limón consistía en acahuales y pastizal natural o de vegetación de sabana. En cada pendiente se ubicaron cuatro repeticiones de cada uso del suelo, lo que resultó en 48 parcelas de muestreo, de las cuales se obtuvieron muestras compuestas realizando 10 barrenaciones en zig-zag del horizonte A del suelo. Las muestras fueron secadas al aire y a la sombra, para su posterior molido y tamizaje con malla de 2 mm.

### **Propiedades químicas determinadas en el suelo**

Las muestras de suelos fueron analizadas en el Laboratorio de Análisis de Suelos, Plantas y Aguas del Colegio de Postgraduados Campus Tabasco, de acuerdo a los lineamientos de la normatividad mexicana (SEMARNAT, 2002) determinando la materia orgánica (MO) a través del contenido de carbono orgánico con el método Walkley y Black, nitrógeno total (N) mediante Macro-Kjeldahl, fósforo extractable (P) por el procedimiento Olsen, capacidad de intercambio catiónico (CIC) y bases intercambiables (K, Ca, Mg, Na) utilizando acetato de amonio 1 N pH 7.0 como solución saturante, pH medido en agua en relación 1:2, granulometría por el método de Bouyoucos y densidad aparente (Da) por el método de la parafina.

### **Análisis estadístico**

Para examinar los datos obtenidos se realizó un análisis de varianza (ANOVA) para un diseño factorial con dos fuentes de variación: pendientes con tres niveles y usos del suelo con cuatro niveles. Se llevó a cabo una prueba de medias de Tukey para estimar diferencias significativas entre los usos de suelo y pendientes a nivel de significancia  $\alpha < 0.05$ . Los análisis estadísticos se realizaron con el paquete estadístico SAS versión 9.13.

## **RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

### **Materia orgánica en el suelo (MOS)**

El contenido de MOS varió entre 5.04 y 8.79 %, el análisis de varianza indica que no existen diferencias significativas debidas a los diferentes usos y pendientes en la sabana de Huimanguillo (Tabla 7). De acuerdo a la NOM-021-RECNAT (2000) los contenidos de MOS son ricos a muy ricos.

Geissen y Guzman (2006) obtuvieron resultados similares ya que no encontraron diferencias entre sucesiones forestales y pastizales (valores medios de MOS 3.9- 5.8%), debido probablemente a la gran cantidad de hojarasca y raíces muertas que entran en el sistema, o a la variabilidad natural existente o la influencia del estiércol depositado por el ganado en el caso de pastizales (Blanco-Sepulveda y Nieuwenhuyse, 2011). Estos resultados difieren respecto a la evaluación de Celik (2005), quien encuentra menos

MOS en suelos bajo cultivos (2.34% de MOS), en comparación con los pastizales (4.46%) y bosques (4.16%), en tierras altas con pendientes de 8-10%.

**Tabla 7. Materia orgánica (MO %) en diferentes usos y pendientes en la Sabana de Huimanguillo, Tabasco.**

Uso del suelo	Pendiente (%)			Medias de uso
	0-3	3-6	10-20	
Pastizal	6.33a	6.76a	6.6a	6.56a
Piña	5.7a	6.15a	5.04a	5.63a
Limón	6.28a	6.74a	8.77a	7.26a
Acahual	6.69a	7.85a	8.79a	7.77a
Medias de la pendiente	6.25a	6.87a	7.30a	
CV (%):	28.91			
Prob. De F para:				
Pendiente (P)	0.328NS			
Uso del suelo(U)	0.061NS			
Interacción (P*U)	0.633NS			

NS= No hay diferencias significativas; las medias dentro de hileras o columnas que comparten la misma literal no son significativamente diferentes. Tukey a  $p \leq 0.05$ .

Alejo-Santiago et al. (2012) mencionan que los suelos cultivados presentan menor concentración de MOS (3.2%) con respecto a los suelos no cultivados (4.5%), debido a que las prácticas de labranza no consideran la incorporación de residuos orgánicos que repongan la materia orgánica que se mineraliza de forma natural. Hernández-Jiménez et al. (2013) aseguran que los contenidos de MOS en suelos cultivados son más bajos con respecto a suelos bajo arboleda de bosques, ya que, el cultivo agrícola intensivo oxida la MOS, lo que provoca la ruptura de micro-agregados, destruyendo la estructura original y con ello se incrementa la compactación del suelo.

### **Nitrógeno total (Nt)**

El contenido de Nt en los diferentes usos del suelo y pendientes de relieves presentó contenidos entre 0.18 y 0.32 % (Tabla 8). El ANOVA indica que existen diferencias significativas en cuanto a la pendiente y uso del suelo con un coeficiente de variación de 19.8%. La prueba de medias Tukey ( $\alpha = 0.05$ ) muestra que los suelos bajo uso de acahual y piña son significativamente diferentes, los suelos bajo el acahual presentan contenidos promedios de Nt de 0.29% en comparación que los demás usos, debido a la conservación y diversidad vegetal del acahual (Wei et al. 2010); no obstante, los suelos con cultivos de piña, limón y pastizal tienen contenidos entre 0.25 y 0.26%, considerados

como muy altos (SEMARNAT, 2002). Estos resultados concuerdan con los obtenidos por Lienhard et al. (2013) quienes encontraron que los contenidos de Nt en suelos ácidos son altos en sistemas de cultivos con rotación y manejo de residuos (0.21-0.25%), debido a la aportación de los rastrojos y hojarasca; sin embargo los contenidos altos de Nt pueden ocasionar acidificación del suelo (Geissen et al., 2009; Yan et al., 2012).

**Tabla 8. Nitrógeno total (Nt %) en diferentes usos y pendientes en la Sabana de Huimanguillo, Tabasco.**

Uso del suelo	Pendiente (%)			Medias de uso
	0-3	3-6	10-20	
Pastizal	0.22ab	0.28ab	0.25ab	0.25ab
Piña	0.18 b	0.21ab	0.25ab	0.25b
Limón	0.26ab	0.24ab	0.29ab	0.26ab
Acahual	0.24ab	0.30ab	0.32a	0.29a
Medias de la pendiente	0.23b	0.26ab	0.28a	
CV (%):	19.8			
Prob. De F para:				
Pendiente (P)	0.028*			
Uso del suelo (U)	0.008*			
Interacción (P*U)	0.614NS			

\*= Significativamente diferente; NS= no hay diferencias significativas; medias dentro de hileras o columnas que comparten la misma literal no son significativamente diferentes. Tukey a  $p \leq 0.05$ .

Los contenidos de Nt en los suelos con diferentes pendientes son significativamente diferentes (Tabla 8), la prueba de Tukey indica que los contenidos de Nt en suelos con pendientes de 10 a 25% son significativamente diferentes a los contenidos de Nt de pendientes de 0 a 3%; en pendientes de 0-3% los contenidos promedio de Nt son altos (0.23%), mientras que en pendientes de 3-6% (0.26% Nt) y 10-25% (0.28% Nt), los contenidos son considerados como muy altos (SEMARNAT, 2002). La distribución de los contenidos de Nt difieren con los obtenidos por Wei et al. (2010), quienes mencionan que los niveles de Nt en suelos bajo dosel arbóreo aumentan en las pendientes más bajas (2%) y disminuyen en las pendientes elevadas (25%), confirmando que el uso del suelo cambia el efecto de los contenidos de Nt y varía con la especie de planta y gradiente de pendiente. Sin embargo Wang et al. (2009), encuentra que los contenidos de Nt son de 0.278 % en pendientes <7%, 0.328 % en pendientes de 8-15% y 0.266% en pendientes > 25%. El hecho de encontrar contenidos de Nt más elevados en suelos con pendientes de 10-25% en comparación con zonas más bajas podría estar relacionado con factores bióticos y abióticos, tales como la alta precipitación anual de las zonas más altas, que

actúan como donadores, conduciendo a la saturación de humedad lo que puede disminuir la mineralización de N de las zonas más bajas (Geissen et al., 2009). Así mismo la alta acumulación de N también puede estar influenciada por la temperatura, lo cual facilita la mineralización y acelera la acumulación de N en el suelo (Zhang et al., 2013).

### Fosforo extraíble (P)

Los contenidos de P en el suelo con diferentes pendientes son similares, sin embargo bajo diferentes usos se observan diferencias significativas (Tabla 9). Los contenidos de P más altos corresponden a los suelos bajo cultivo de piña con valor medio de 8.44 mg kg<sup>-1</sup> considerado como contenidos medios. El coeficiente de variación de esta variable se considera muy alto (190.56%) lo cual confirma la gran variabilidad de este elemento en el suelo (Acevedo et al., 2008).

**Tabla 9. Fosforo extraíble (P mg kg<sup>-1</sup>) en diferentes usos y pendientes en la Sabana de Huimanguillo, Tabasco.**

Uso del suelo	Pendiente (%)			Media de uso
	0-3	3-6	10-20	
Pastizal	0.00b	0.00b	0.10b	0.03b
Piña	6.00ab	0.35ab	13.46a	8.44a
Limón	0.42b	2.16ab	2.30ab	1.63b
Acahual	0.03b	0.07b	0.07b	0.05b
Media de la pendiente	1.766a	1.87a	3.987a	
CV (%):	190.56			
Prob. De F para:				
Pendiente (P)	0.35NS			
Uso del suelo (U)	0.003*			
Interacción (D*U)	0.57NS			

\*= Significativamente diferente; NS= no hay diferencias significativas; medias dentro de hileras o columnas que comparten la misma literal no son significativamente diferentes. Tukey a  $p \leq 0.05$ .

Coincidiendo con los resultados de Salgado-García et al. (2010) quienes clasifican los contenidos de P como medios en Acrisoles Úmbricos Cutánicos presentando gran variabilidad, lo que evidencia que estas plantaciones han recibido fertilizantes fosfatados. Estos datos concuerdan con otros estudios, en los cuales mencionan que los suelos bajo uso agrícola por el manejo intensivo incrementan los contenidos de P por la aplicación de fertilizantes fosfatados para cultivar el suelo, pero las concentraciones de nitratos y K se reducen (Nguyen et al., 2001; Geissen et al., 2009; Liu et al., 2010; Lienhard et al. 2013;). Sin embargo, los suelos bajo cultivo de limón muestran valores medios de 1.63 mg kg<sup>-1</sup>, seguidos por acahual 0.05 mg kg<sup>-1</sup> y pastizal 0.03 mg kg<sup>-1</sup>, todos ellos

considerados como contenidos muy bajos (SEMARNAT, 2002). Estos valores son similares a los diagnosticados en el estudio de Salgado-García et al. (2007) quienes reportan contenidos  $< 5 \text{ mg kg}^{-1}$  en la misma área de estudio para cítricos. No obstante, Liao et al. (2007) mencionan que diferentes valores de pH y las fuentes de material parental determinan la distribución espacial de los contenidos de P, siendo bajos en suelos con pH ligeramente ácido desarrollados en parte por rocas volcánicas ácidas y relativamente abundante en P en áreas ligeramente alcalinas con fuentes de material parental relacionados con sedimentos ricos en carbonatos. En los Acrisoles donde predominan los óxidos de hierro y aluminio, se presenta una alta fijación química de P lo cual impide que el P asimilable o extraíble quede en el suelo por mucho tiempo, esto explicaría los bajos contenidos de esta forma de P en estos suelos (Juo y Franzluebber, 2003; Abdul y John, 2005; Palma-López et al., 2007).

### **Capacidad de intercambio catiónico (CIC)**

La CIC no difiere significativamente en suelos sujetos a diferentes usos y pendientes y a la interacción entre estos dos factores evaluados (Tabla 10). Los contenidos de CIC se encuentran entre  $8.31$  y  $13.78 \text{ cmol (+) kg}^{-1}$ . Nuestros resultados concuerdan con Palma-López et al. (2015) quienes encuentran contenidos entre  $5$  y  $15 \text{ cmol (+) kg}^{-1}$  en acahuales y pastizales al igual que Salgado-García et al. (2007) en suelos cultivados con cítricos y Salgado-García et al. (2010) en suelos cultivados con piña, indicando que los suelos son de baja fertilidad y con presencia de arcillas tipo Caolinita 1:1. Sin embargo, nuestros resultados difieren con los de Lienhard et al. (2013), quienes mencionan que la CIC debe incrementarse cuando los suelos se encuentran bajo sistemas de cultivo que son favorecidos por la utilización de fertilizantes inorgánicos (CaO) en el suelo. Geissen y Guzman (2006) concuerdan con los resultados al no encontrar diferencias entre sucesiones forestales y pastizales en Acrisoles Húmicos, sin embargo, los Acrisoles estudiados presentan menor CIC y son considerados como suelos de baja fertilidad según la norma mexicana (SEMARNAT, 2002).

**Tabla 10. CIC (cmol (+) kg<sup>-1</sup> de suelo) en diferentes usos y pendientes en la Sabana de Huimanguillo, Tabasco.**

Uso del suelo	Pendiente (%)			Medias de uso
	0-3	3-6	10-20	
Pastizal	9.68a	9.68a	9.93a	9.76a
Piña	10.42a	10.05a	8.31a	9.59a
Limón	12.41a	9.92a	13.78a	12.04a
Achual	10.8a	10.92a	11.79a	11.17a
Medias de la pendiente	10.83a	10.14a	10.95a	
CV (%):	27.69			
Prob. de F para:				
Pendiente (P)	0.708NS			
Uso del suelo (U)	0.708NS			
Interacción (P*U)	0.641NS			

NS= no hay diferencias significativas; medias dentro de hileras o columnas que comparten la misma literal no son significativamente diferentes. Tukey a  $p \leq 0.05$ .

Los Acrisoles del área de estudio se caracterizan por poseer una CIC baja que disminuye aún más con la profundidad, dado los procesos de intemperismo que se han estado dando en estos suelos, lo cual trae como consecuencia la transformación de los minerales a arcillas de baja reactividad y la acumulación de óxidos de hierro y aluminio que no presentan cargas negativas, por ello, los Acrisoles de la sabana de Huimanguillo se consideran como poco fértiles (Palma-López et al., 2007; Salgado- García et al., 2007; Salgado-García et al., 2010; Funakawa et al., 2008; IUSS Working Group WRB, 2014; Zavala et al., 2014; Palma-López et al., 2015).

### **Bases Intercambiables**

Los resultados muestran que los contenidos de los cationes potasio (K<sup>+</sup>), calcio (Ca<sup>+2</sup>), magnesio (Mg<sup>+2</sup>) y sodio (Na<sup>+</sup>) son muy bajos. Los contenidos medios de K en el suelo son diferentes significativamente entre los usos de suelo y pendientes (Tabla 11); por usos del suelo se observan contenidos de K<sup>+</sup> entre 0.001 y 0.068 Cmol kg<sup>-1</sup>, y de acuerdo a la pendiente los contenidos varían de 0 a 0.07 Cmol kg<sup>-1</sup>, considerados como muy bajos (SEMARNAT, 2002). Sin embargo, el coeficiente de variación elevado (195.82%), confirma la gran variabilidad en el contenido de este elemento en el suelo (Acevedo et al., 2008). Los contenidos bajos de estos cationes básicos en Acrisoles se deben principalmente a la lixiviación por efecto del ambiente húmedo y al avanzado grado de meteorización (IUSS Working Group WRB, 2014). Zavala et al. (2014), Salgado et al. (2007) y Palma-López et al. (2007) concuerdan con los resultados obtenidos,

mencionando que los Acrisoles de la Sabana de Huimanguillo son muy pobres en las bases intercambiables  $\text{Ca}^{+2}$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Mg}^{+2}$  y  $\text{Na}^+$ .

Los contenidos de  $\text{Ca}^{+2}$  difieren con los diferentes usos de suelo, pero bajo las tres pendientes evaluadas no presentan diferencias significativas (Tabla 11). En suelos cultivados con limón, pastizal y acahual los contenidos son estadísticamente iguales con contenidos de 2.25, 2.02 y 2.32  $\text{Cmol (+) kg}^{-1}$  de suelo, respectivamente, considerados como bajos por la norma oficial mexicana (SEMARNAT, 2002). En cuanto suelos sujetos a cultivo de piña presentaron los contenidos más bajos y fueron significativamente diferentes a los demás usos del suelo con contenido de 1.12  $\text{Cmol (+) kg}^{-1}$  de suelo, considerado como muy bajo (SEMARNAT, 2002).

**Tabla 11. Bases intercambiables en diferentes usos y pendientes en la Sabana de Huimanguillo, Tabasco.**

Uso del suelo		$\text{K}^+$	$\text{Ca}^{+2}$	$\text{Mg}^{+2}$	$\text{Na}^+$
		Cmol $\text{kg}^{-1}$ de suelo			
Pastizal		0.068a	2.02ab	0.61a	0.10a
Piña		0.028ab	1.12b	0.32b	0.06b
Limón		0.002b	2.32a	0.57ab	0.07b
Acahual		0.001b	2.25a	0.75a	0.08ab
Media de la pendiente	0-3 %	0.000b	1.51a	0.52a	0.076a
	3-6%	0.003b	2.20a	0.57a	0.078a
	10-20 %	0.071a	2.07a	0.60a	0.08a
CV (%):		195.82	49.57	40.93	26.82
<i>Prob. de F para:</i>					
Pendiente (P)		0.0002*	0.108NS	0.65NS	0.91 NS
Uso del suelo (U)		0.0063*	0.015*	0.0008*	0.0007 *
Interacción (D*U)		0.0015*	0.368NS	0.1551NS	0.102 NS

\*= Significativamente diferente; NS= no hay diferencias significativas; medias dentro de hileras o columnas que comparten la misma literal no son significativamente diferentes. Tukey a  $p \leq 0.05$ .

Los contenidos de Mg intercambiable en los suelos con tres pendientes no son significativamente diferentes, y por usos de suelos los contenidos de  $\text{Mg}^{+2}$  son significativamente diferentes (Tabla 11). En pastizal, limón y acahual estadísticamente son iguales con valores medios entre 0.57 y 0.75  $\text{Cmol (+) kg}^{-1}$  de suelo, los sitios con cultivo de piña muestran los contenidos medios más bajos de 0.32  $\text{Cmol (+) kg}^{-1}$  de suelo, al igual que en el caso del  $\text{Ca}^{+2}$ , en todos los casos los contenidos de Mg intercambiable son considerados como muy bajos (SEMARNAT, 2002).

Los contenidos de Na intercambiable de acuerdo a las pendientes no son significativamente diferentes, mientras que las diferencias son altamente significativas

bajo diferentes usos de suelos (Tabla 11). Suelos cultivos con piña y limón estadísticamente son iguales con valores medios de 0.06 a 0.07 Cmol (+) kg<sup>-1</sup> de suelo, seguidos por los contenidos en acahual, mientras que los contenidos de Na encontrados en pastizal fueron los más elevados con promedio de 0.10 Cmol (+) kg<sup>-1</sup> de suelo. Estos contenidos son similares a los reportados por Palma-López et al. (2015) quienes clasifican los contenidos de Na como bajo (<0.13 Cmol (+) kg<sup>-1</sup>) indicando que estos suelos no presentan riesgo de salinidad.

El uso del suelo y la pendiente del terreno parecen tener influencia en los contenidos de K intercambiable en el suelo, mientras que los contenidos de Ca, Mg y Na intercambiables solo se ven alterados por el uso del suelo. Bravo-Espinoza et al. (2009) mencionan que la escorrentía superficial también es un factor que provoca el lavado de cationes en el suelo, señal de la baja retención de cationes en Acrisoles y una causa de un pH bajo de estos suelos ya ácidos. Por lo tanto, la alta precipitación anual de 2000-3000 mm (INEGI, 2001) y la presencia de arcillas caolinitas 1:1 de baja actividad contribuye el lavado de cationes (Ortiz-Pérez et al., 2005; Palma-López et al., 2007; Zavala et al., 2014) favoreciendo los bajos contenidos de cationes intercambiables en el área de estudio, principalmente K<sup>+</sup>.

En los Acrisoles estudiados el cultivo de la piña es el uso más demandante en K<sup>+</sup>, Ca<sup>+2</sup> y Mg<sup>+2</sup> con respecto al uso por acahual considerado el uso con menos riesgos de degradación. De acuerdo a algunas investigaciones (Clay y Lewis, 1990; Putthachoen et al., 1998; Virto et al., 2015) existe mayor pérdida de nutrientes por eliminación del cultivo que el perdido por erosión en pendientes por efecto de la escorrentía, lo cual resulta en la degradación del suelo a pesar que el cultivo es tolerante a suelos ácidos. Sin embargo, los resultados concuerdan con el estudio de Salgado-García et al. (2007) quienes clasifican a estos cationes como bajos por lo que recomiendan implementar el encalado al suelo a base de cal dolomítica, para abastecer de Ca y Mg al cultivo de piña y fertilizar con potasio, dado que estos cationes son nutrientes esenciales estructurales y activadores enzimáticos de crecimiento para el cultivo de piña.

No obstante, el uso del suelo afecta la fertilidad del suelo, teniendo un efecto en la degradación química del recurso, y el grado de degradación dependerá del uso, el manejo de la tierra, y los factores relacionados con el ambiente y propiedades

mineralógicas del suelo (Abe et al., 2007; Funakawa et al., 2008; Bravo- Espinoza et al., 2009; Clements et al., 2010; Arnaez et al., 2015).

## pH

El pH del suelo en los cuatro usos fue ácido con valores de 4.21 a 5.36 (Tabla 12), con diferencias altamente significativas en la comparación con los usos del suelo; el suelo cultivado con piña presentó los valores más bajos de pH, considerado como fuertemente ácido (4.41), en el uso de suelo con limón y acahual estadísticamente son iguales (4.73 y 4.82) y también son fuertemente ácidos, mientras que el uso de suelo de pastizal presento pH de 5.20, clasificado como moderadamente ácido (SEMARNAT, 2002).

**Tabla 12. pH en diferentes usos y pendientes en la Sabana de Huimanguillo, Tabasco.**

Uso del suelo	Pendiente (%)			Media de uso
	0-3	3-6	10-20	
Pastizal	5.08ab	5.16ab	5.36a	5.20a
Piña	4.21c	4.52bc	4.51bc	4.41c
Limón	4.61bc	4.85abc	4.73abc	4.73b
Acahual	4.78abc	4.76abc	4.91ab	4.82b
Media de la pendiente	4.67a	4.82a	4.88a	
CV (%):	5.8			
Prob. de F para:				
Pendiente (P)	0.103NS			
Uso del suelo (U)	0.0001*			
Interacción (P*U)	0.826NS			

\*= Significativamente diferente; NS= no hay diferencias significativas; medias dentro de hileras o columnas que comparten la misma literal no son significativamente diferentes. Tukey a  $p \leq 0.05$ .

El pH fuertemente ácido se debe principalmente porque el material parental de estos suelos ha estado sujeto a una fuerte meteorización, lo que ha dado como resultado acidificación natural (Geissen y Guzman, 2006; IUSS Working Group WRB, 2014). Igwe (2003) menciona que el pH está correlacionado negativamente con la erodabilidad del suelo considerando la intensidad de las precipitaciones, lo cual se puede explicar cuando el suelo está sometido a una severa degradación y lixiviación, perdiéndose elementos básicos y quedando elementos tales como Al y Fe, provocando acidez intercambiable por Al e H.

Los valores de pH de los suelos con diferentes usos, indican que con piña existe mayor acidificación del suelo, este decremento del pH puede deberse al efecto de las

actividades intensivas de manejo, a la falta de reciclaje de materiales orgánicos y a la poca cobertura del suelo con este cultivo (Geissen et al. 2009); sin embargo, el pH en acahual que es considerado como el sistema con menores riesgos de erosión, es fuertemente ácido en comparación con pastizal, debido a la acumulación y composición química de la capa de hojarasca del acahual, la cual afecta la tasa de descomposición, y una tasa de mantillo ácido tarda más tiempo en ser descompuesta que una capa de material orgánico con pH relativamente más alto; por lo tanto el material orgánico de acahual tiende a ser más ácido en virtud de su alto contenido de ligninas que aquella proveniente de los pastos (Figueroa-Navarro et al., 2005; Ortiz-Pérez et al., 2005).

### **CONCLUSIONES**

En los Acrisoles de la Sabana de Huimanguillo, Tabasco, con diferentes pendientes y usos, el contenido de Nt es afectado por el uso del suelo, manteniéndose el acahual mejor conservado por la diversidad vegetal. En relación a la pendiente del relieve, los contenidos de Nt más elevados se encuentran en pendientes de 10-25% relacionándolos con las altas precipitaciones en estas pendientes, que actúan como donadores, conduciendo a la saturación de humedad y disminuyendo los contenidos de N de las zonas más bajas.

El uso del suelo y la pendiente del terreno tienen influencia en los contenidos de K intercambiable en el suelo, por la alta precipitación y la presencia de arcillas caolinitas 1:1 de baja actividad que favorecen el lavado de cationes principalmente  $K^+$ ; mientras que los contenidos de  $Ca^{+2}$  y  $Mg^+$  en los usos limón y pastizal son similares al acahual a diferencia del uso con piña. El pH de suelos cultivados con piña en comparación con acahual presentan mayor grado de acidez. El uso de suelo cultivado con piña incrementa el gradiente de degradación del Nt y bases intercambiables y aumenta la acidez del suelo en comparación con el uso acahual, atribuyendo la degradación a la alta demanda de nutrientes que requiere el cultivo para su óptimo desarrollo y crecimiento.

## REFERENCIAS

- Abe, S. S., Yamamoto, S., Masunaga, T., Endo, T., Wakatsuki, T., & Honna, T. (2007). Land-use effects on soil macro- and micronutrient status in tropical lowland zone of Bolivia. *Grassland Science*, 53(1), 33-38. doi: 10.1111/j.1744-697X.2007.00071.x
- Abdul, R., & John, R. (2005). Phosphorus. In Lal, R. (Ed.), *Encyclopedia of Soil Science* (2a. ed., pp.1275-1279). New York, US: Taylor & Francis Group. CRC Press. doi:10.1201/NOE0849338304.ch267
- Acevedo, D. C., Álvarez Sánchez, M. E., Hernández Acosta, E., Maldonado Torres, R., Pérez Grajales, M. y Castro Brindis, R. (2008). Variabilidad espacial de propiedades químicas del suelo y su uso en el diseño de experimentos. *Terra Latinoamericana*, 26(4) 317-324.
- Alejo-Santiago, G., Salazar-Jara, F., Garcia-Paredes, J., Arrieta-Ramos, B., Jimenez-Meza, V., & Sanchez-Monteon, A. (2012). Physical and chemical degradation of agricultural soils at San Pedro Lagunillas, Nayarit. *Tropical and Subtropical Agroecosystems* 15, 323-328.
- Arnaez, J., Lana-Renault, N., Lasanta, T., Ruiz-Flano, P., & Castroviejo, J. (2015). Effects of farming terraces on hydrological and geomorphological processes. A review. *Catena*, 128, 122-134. doi: 10.1016/j.catena.2015.01.021
- Arrieche-Luna, E., & Ruiz-Dager, M. (2010). Influence of inorganic and organic fertilization on microbial biomass carbon and maize yield in two soils of contrasting pH. *Agrociencia*, 44(3), 249-260. <Go to ISI>://SCIELO:S1405-31952010000300001
- Bajocco, S., De Angelis, A., Perini, L., Ferrara, A., & Salvati, L. (2012). The Impact of land use/land cover changes on land degradation dynamics: A Mediterranean case study. *Environmental Management*, 49(5), 980-989. doi: 10.1007/s00267-012-9831-8
- Blanco-Sepulveda, R., & Nieuwenhuysse, A. (2011). Influence of topographic and edaphic factors on vulnerability to soil degradation due to cattle grazing in humid tropical mountains in northern Honduras. *Catena*, 86(2), 130-137. doi: 10.1016/j.catena.2011.03.007
- Bravo-Espinosa, M., Mendoza, M. E., Medina-Orozco, L., Prat, C., Garcia-Oliva, F., & Lopez-Granados, E. (2009). Runoff, soil loss, and nutrient depletion under traditional

- and alternative cropping systems in the transmexican volcanic belt, Central Mexico. *Land Degradation & Development*, 20(6), 640-653. doi: 10.1002/ldr.953
- Celik, I. (2005). Land-use effects on organic matter and physical properties of soil in a southern Mediterranean highland of Turkey. *Soil & Tillage Research*, 83(2), 270-277. doi: 10.1016/j.still.2004.08.001
- Clay, D. C., & Lewis, L. A. (1990). Land-use, soil loss, and sustainable agriculture in Rwanda. *Human Ecology*, 18(2), 147-161. doi: 10.1007/bf00889179
- Clemens, G., Fiedler, S., Nguyen Dinh, C., Nyuyen Van, D., Schuler, U., & Stahr, K. (2010). Soil fertility affected by land use history, relief position, and parent material under a tropical climate in NW-Vietnam. *Catena*, 81(2), 87-96. doi: 10.1016/j.catena.2010.01.006
- Feng, R., Long, R., Shang, Z., Ma, Y., Dong, S., & Wang, Y. (2010). Establishment of *Elymus natans* improves soil quality of a heavily degraded alpine meadow in Qinghai-Tibetan Plateau, China. *Plant and Soil*, 327(1-2), 403-411. doi: 10.1007/s11104-009-0065-3
- Figueroa-Navarro, C., Etchevers- Barra, J.D., Velázquez-Martínez, A., y Acosta-Mireles, M. (2005). Concentración de carbono en diferentes tipos de vegetación de la Sierra Norte de Oaxaca. *Terra Latinoamericana*, 23 (1), 57-64.
- Funakawa, S., Watanabe, T., & Kosaki, T. (2008). Regional trends in the chemical and mineralogical properties of upland soils in humid Asia: With special reference to the WRB classification scheme. *Soil Science and Plant Nutrition*, 54(5), 751-760. doi: 10.1111/j.1747-0765.2008.00294.x
- Garcia-Ruiz, J. M. (2010). The effects of land uses on soil erosion in Spain: A review. *Catena*, 81(1), 1-11. doi:10.1016/j.catena.2010.01.001
- Geissen, V., & Guzman, G. M. (2006). Fertility of tropical soils under different land use systems - a case study of soils in Tabasco, Mexico. *Applied Soil Ecology*, 31(1-2), 169-178. doi: 10.1016/j.apsoil.2005.02.012
- Geissen, V., Sanchez-Hernandez, R., Kampichler, C., Ramos-Reyes, R., Sepulveda-Lozada, A., Ochoa-Goana, S.,... Hernandez-Daumas, S. (2009). Effects of land-use change on some properties of tropical soils - An example from Southeast Mexico. *Geoderma*, 151(3-4), 87-97. doi: 10.1016/j.geoderma.2009.03.011

- Hernández-Jiménez, A., Cabrera-Rodríguez, A., Borges-Benítez, Y., Vargas-Blandino, D., Bernal- Fundora, A., Morales- Díaz, M., y Ascanio- García, M. O. (2013). Degradación de los suelos ferralíticos rojos lixiviados y sus indicadores de la Llanura Roja de La Habana Valley Havana. *Cultivos Tropicales*, 34(3), 45-51. <Go to ISI>://SCIELO:S0258-59362013000300007
- Igwe, C. A. (2003). Erodibility of soils of the upper rainforest zone, southeastern Nigeria. *Land Degradation & Development*, 14(3), 323-334. doi: 10.1002/ldr.554
- Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI). (2001). *Síntesis de información geográfica del estado de Tabasco*. Aguascalientes, México: Autor.
- IUSS Working Group WRB. (2014). *World Reference Base for Soil Resources 2014. International soil classification system for naming soils and creating legends for soil maps*. World Soil Resources Reports No. 106. Rome: FAO.
- Juo, A.S.R. & Franzluebbbers, K. (2003). *Tropical Soils. Properties and management for sustainable agriculture*. New York: Oxford University Press.
- Kosmas, C., Kairis, O., Karavitis, C., Ritsema, C., Salvati, L., Acikalin, S., ...Ziogas, A. (2014). Evaluation and selection of indicators for land degradation and desertification monitoring: methodological approach. *Environmental Management*, 54(5), 951-970. doi: 10.1007/s00267-013-0109-6
- Krasilnikov, P., Gutiérrez-Castorena, M.C., Ahrens, R.J., Cruz-Gaistardo, C.O., Sedov, S., & Solleiro-Rebolledo, E. (2013). *The Soils of Mexico*. Dordrecht; London: Springer.
- Liao, Q.-I., Evans, L. J., Gu, X., Fan, D.-f., Jin, Y., & Wang, H. (2007). A regional geochemical survey of soils in Jiangsu Province, China: Preliminary assessment of soil fertility and soil contamination. *Geoderma*, 142(1–2), 18-28. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.geoderma.2007.07.008>
- Lienhard, P., Tivet, F., Chabanne, A., Dequiedt, S., Lelievre, M., Sayphoummie, S.,...Ranjard L. (2013). No-till and cover crops shift soil microbial abundance and diversity in Laos tropical grasslands. *Agronomy for Sustainable Development*, 33, 375-384. doi: 10.1007/s13593-012-0099-4
- Liu, X.-L., He, Y.-Q., Zhang, H. L., Schroder, J. K., Li, C.-L., Zhou, J., & Zhang, Z.-Y. (2010). Impact of land use and soil fertility on distributions of soil aggregate fractions

and some nutrients. *Pedosphere*, 20(5), 666-673. <Go to ISI>://WOS:000283407600013

- Nguyen, H., Schoenau, J. J., Van Rees, K. C. J., Nguyen, D., & Qian, P. (2001). Long-term nitrogen, phosphorus and potassium fertilization of cassava influences soil chemical properties in North Vietnam. *Canadian Journal of Soil Science*, 81(4), 481-488. doi: 10.4141/S00-048
- Ortiz-Pérez, M. A., Siebe C. y Cram. S. (2005). Diferenciación ecogeográfica de Tabasco. Cap14:305-322. In: Bueno, J., F. Álvarez y S. Santiago (Eds.) Biodiversidad del estado de Tabasco, 386 p. Distrito Federal, México: Instituto de Biología, UNAM-CONABIO.
- Ortiz-Solorio C.A, Gutiérrez C.M.C., Sánchez-Guzmán P., y Gutiérrez-Castorena E.V. (2011). Cartografía de la degradación de suelos en la República Mexicana: evolución y perspectivas. In: Krasilnikov P., Jiménez- Nava F.J., Reyna-Trujillo T., García-Calderón N.E. (eds). Geografía de suelos de México. Distrito Federal: Universidad Nacional Autónoma de México, Facultad de Ciencias. 462 p.
- Palma-López, D. J., Cisneros, D. J., Moreno, C. E. y Rincón-Ramírez, J.A. (2007). Suelos de Tabasco: su uso y manejo sustentable (Ed.). Villahermosa, Tabasco, México: ISPROTAB-Fundación Produce Tabasco-Colegio de Postgraduados. 197 p.
- Palma-López, D. J., Salgado-García, S., Martínez Sebastian, G., Zavala-Cruz, J., y Lagunes-Espinoza, L. D. C. (2015). Cambios en las propiedades del suelo en plantaciones de Eucalipto de Tabasco, México. *Ecosistemas y recursos agropecuarios*, 2(5), 163-172.
- Pastrana, A. L. (2007). Manejo de los suelos ácidos de Tabasco. In: Palma-López D.J. y A. Triano S. (Comps.), *Plan de uso sustentable de los suelos de Tabasco* (pp.77-95). Villahermosa Tabasco, México: Colegio de Postgraduados-ISPROTAB-FUPROTAB.
- Putthacharoen, S., Howeler, R. H., Jantawat, S., & Vichukit, V. (1998). Nutrient uptake and soil erosion losses in cassava and six other crops in a Psamment in eastern Thailand. *Field Crops Research*, 57(1), 113-126.
- Salgado-García, S., Palma-López, D.J., Zavala-Cruz, J., Lagunes-Espinoza, L.C., Castelán-Estrada, M., Ortiz-García, C.F., Ventura- Ulloa F., Marín-Aguilar, A., Moreno-Caliz, E., & Rincón-Ramírez, J. A. (2007). *Sistema Integrado para recomendar*

- dosis de fertilizantes (SIRDF) en el área citrícola de Huimanguillo*, H. Cárdenas, Tabasco, México: Colegio de Postgraduados, Campus Tabasco. 89 p.
- Salgado-García, S., Palma-López, D.J., Zavala-Cruz, J., Ortiz-García, C. F., Castelán-Estrada, M., Lagunes-Espinoza, L.C., Guerrero-Peña, A., Ortiz-Ceballos, A.I, & Córdova-Sánchez, S. (2010). *Sistema integrado para recomendar dosis de fertilizantes (SIRDF): en la zona piñera de Huimanguillo, Tabasco*. H. Cárdenas, Tabasco, México: Colegio de Postgraduados, Campus Tabasco. 81 p.
- Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT) (2002). Norma oficial mexicana NOM-021-RECNAT-2000, que establece las especificaciones de fertilidad, salinidad y clasificación de Suelos. Estudios, muestreos y análisis. México, D.F.: Diario Oficial de la Federación. 85 p.
- Servicio Geológico Mexicano (SGM). (2005). Carta Geológico-Minera, Villahermosa E15-8 Tab., Ver., Chis. Y Oax. Escala 1:250,000. Primera Edición 2005.
- Tian, J., Fan, M., Guo, J., Marschner, P., Li, X., & Kuzyakov, Y. (2012). Effects of land use intensity on dissolved organic carbon properties and microbial community structure. *European Journal of Soil Biology*, 52, 67-72. doi: 10.1016/j.ejsobi.2012.07.002
- Virto, I., Jose Imaz, M., Fernandez-Ugalde, O., Gartzia-Bengoetxea, N., Enrique, A., & Bescansa, P. (2015). Soil degradation and soil quality in western Europe: current situation and future perspectives. *Sustainability*, 7(1), 313-365. doi: 10.3390/su7010313
- Wang, Y., Zhang, X., & Huang, C. (2009). Spatial variability of soil total nitrogen and soil total phosphorus under different land uses in a small watershed on the Loess Plateau, China. *Geoderma*, 150(1-2), 141-149. doi: 10.1016/j.geoderma.2009.01.021
- Wei, X., Shao, M., Fu, X., & Horton, R. (2010). Changes in soil organic carbon and total nitrogen after 28 years grassland afforestation: effects of tree species, slope position, and soil order. *Plant and Soil*, 331(1-2), 165-179. doi: 10.1007/s11104-009-0243-3
- Yan, Y., Tian, J., Fan, M., Zhang, F., Li, X., Christie, P., ... Six, J. (2012). Soil organic carbon and total nitrogen in intensively managed arable soils. *Agriculture Ecosystems & Environment*, 150, 102-110. doi: 10.1016/j.agee.2012.01.024

- Zavala-Cruz, J., Salgado-García, S., Marín-Aguilar, Á., Palma-López, D. J., Castelán-Estrada, M., y Ramos-Reyes, R. (2014). Transecto de suelos en terrazas con plantaciones de cítricos en Tabasco. *Ecosistemas y Recursos Agropecuarios*, 1(2), 123-137. <Go to ISI>://SCIELO:S2007-90282014000200004
- Zhang, M., Schaefer, D. A., Chan, O. C., & Zou, X. (2013). Decomposition differences of labile carbon from litter to soil in a tropical rain forest and rubber plantation of Xishuangbanna, southwest China. *European Journal of Soil Biology*, 55, 55-61. doi: 10.1016/j.ejsobi.2012.12.003

## 5 CONCLUSIONES GENERALES

Debido a la diversidad de suelos caracterizados y diferenciados a nivel calificadoros de acuerdo al tipo de relieve del suelo, y a la existencia del diferencial en degradación química por el uso del suelo en Acrisoles con respecto al tiempo cero (acahual), se aceptan las hipótesis planteadas.

Hay suelos diferentes dependiendo del relieve. A nivel de clasificación se distinguen los suelos con pendientes altas porque muestran los calificadoros Clayic, Chromic y Alomic. Mientras que los de pendientes menos fuertes muestran los calificadoros Loamic y Ferric.

Al comparar los usos de los suelos se encontró que los usos intensivos como la piña están afectando los contenidos de N, Ca, Mg y K debido principalmente a la intensificación de la lixiviación y al poco reciclaje de nutrientes del sistema.

El uso inadecuado de la tierra y las pendientes de relieves, ejercen una influencia dominante en la velocidad de degradación química de los suelos ácidos de la Sabana de Huimanguillo, Tabasco provocando alteraciones en la fertilidad y productividad del recurso.

Se requiere establecer manejos de conservación de suelos que permitan realizar actividades agrícolas sustentables en la zona.

## 6 ANEXOS

Anexo 1. Descripción de calificadores principales y complementarios determinados en las subunidades de suelos de la Sabana de Huimanguillo, Tabasco de acuerdo a la Base Referencial Mundial del Recurso Suelo (IUSS Working Group WRB, 2014).

Ferric*	Es un horizonte en el que la segregación de Fe ha tenido lugar hasta tal punto que se han formado grandes moteados, concreciones o nódulos discretos y la matriz entre moteados, concreciones o nódulos se ha empobrecido de Fe y Mg. La segregación es el resultado de procesos redox activos o relictos. $\geq 15\%$ de la superficie expuesta es ocupada por moteados gruesos ( $\geq 20$ mm en diámetro) que son de color negro o tienen un color hue Munsell más rojo que 7.5YR y un croma de $\geq 5$ .
Chromic*	Tiene dentro de $\leq 150$ cm de la superficie del suelo, una capa subsuperficial $\geq 30$ cm de espesor, que tiene un color Munsell hue más rojo que 7.5YR, húmedo.
Alumic**	Tienen saturación de Al (efectiva) de $\geq 50\%$ en alguna capa entre 50 y 100 cm a partir de la superficie del suelo mineral, y una saturación de bases, calculada sobre la suma de las bases intercambiables más el aluminio intercambiable, de $< 50\%$ en la mayor parte entre 20 y 100 cm a partir de la superficie del suelo mineral.
Clayic**	Tiene un clase textural arcillosa, arcillo arenosa o arcillo limosa, en una capa $\geq 30$ cm de espesor, entre $\leq 100$ cm de la superficie del suelo mineral o entre la superficie del suelo mineral.
Loamic**	Tiene una clase textural franco, franco arenosa, franco arcillo arenosa, franco arcillosa o franco arcillo limosa en una capa $\geq 30$ cm de espesor, entre $\leq 100$ cm de la superficie del suelo mineral.
Cutanic**	Tiene un horizonte argico con evidencia de arcilla iluvial con revestimiento de arcilla que cubre $\geq 5\%$ de las superficies de los agregados del suelo horizontal y verticalmente.
Humic**	Tienen contenido de carbono orgánico en la fracción fina de la tierra como un promedio ponderado (si la roca continua, material técnico duro o cementado o endurecido comienza dentro de la profundidad especificada) en el suelo $\geq 1\%$ hasta una superficie de 50 cm a partir de la superficie del suelo mineral.

\*calificadores principales; \*\*calificadores complementarios.

## Anexo 2. Perfil 1 (T1Pi1): Ferric Acrisol (Cutanic, Humic, Loamic)

**Fecha:** 24-09-14  
**Describió:** Dr. David J. Palma López/ Ing. Sofía Tinal Ortiz  
**Localidad:** La Esperanza  
**Localización UTM:** 0433222-1980007  
**Elevación:** 17 msnm  
**Relieve:** lomerío ligeramente ondulado  
**Pendiente:** 1-2%  
**Drenaje superficial:** Normal  
**Drenaje del perfil:** Imperfectamente drenado  
**Material parental:** Sedimentos de arena-limo del Cuaternario Pleistoceno  
**Vegetación cultivada:** Piña cabezona, frijol caupí, pasto humidícola  
**Vegetación nativa:** Guano, pochote, ceibo, volador  
**Observaciones:** aplicación de diuron 80 (fungicida), T17; paso de rastra; Manto freático visible a profundidad de 64 cm



Perfil 1		Horizontes (cm)	Descripción del perfil													
		Ap (0-21) cm	Transición a la siguiente capa tenue y horizontal; húmedo; color de la matriz 5YR 2.5/1 negro; textura la tacto franco arenoso; estructura moderadamente desarrollada en forma de bloques subangulares de tamaño muy finas y finas; consistencia en húmedo friable, cuando muy húmedo ligeramente pegajoso y ligeramente plástico; poros numerosos, muy finos y finos, continuos, caóticos, dentro y fuera de agregados de morfología tubular; permeabilidad rápida; raíces abundantes, finas y delgadas; fauna de lombrices, gusano gallina ciega; pH 6.													
		A2 (21-36) cm	Transición a la siguiente capa media, horizontal; húmedo; color de la matriz 7.5YR 2.5/1 negro; color del moteado 2.5Y 4/4 pardo olivo; motas marcadas, comunes, finas y medias; textura al tacto franco arenoso; estructura moderadamente desarrollada en forma de bloques subangulares de tamaño finas y medias; consistencia en húmedo friable, cuando muy húmedo ligeramente pegajoso y ligeramente plástico; cutanes por eluviación, continuos, moderadamente espesos en poros y caras de agregados de minerales arcillosos con óxidos e hidróxidos de hierro; poros numerosos, muy finos y finos, continuos, caóticos, dentro y fuera de agregados de morfología tubular; permeabilidad rápida; raíces comunes, finas y delgadas; pH 6.													
		Bt1 (36-65) cm	Transición a la siguiente capa tenue y horizontal; húmedo; color de la matriz 10YR 5/6 pardo amarillento; color del moteado 10YR 2/1 negro, 10R 4/8 rojo; motas marcadas, comunes, muy finas y finas; textura al tacto arcillo arenoso; estructura fuertemente desarrollada en forma de bloques subangulares, de tamaño finas y medias; consistencia en húmedo firme, cuando muy húmedo pegajoso y plástico; cutanes por eluviación, continuos, moderadamente espesos, espesos, en poros y cara de agregados de minerales arcillosos con óxidos e hidróxidos de hierro; nódulos muy pocos, muy pequeños y pequeños, rojos, esferoides blandos, compuestos por óxidos de hierro; poros frecuentes, muy finos y finos, continuos, caóticos, dentro de agregados y fuera de agregados, de morfología tubular; permeabilidad moderada; raíces pocas y finas; pH 4.5.													
		Bt2 (65-110) cm	Húmedo; color de la matriz 2.5Y 6/6 amarillo olivo; textura arcillo arenosa; gravas pequeñas, redondas predominantemente de cuarzo; estructura fuertemente desarrollada en forma de bloques subangulares, de tamaño finas y medias; consistencia en húmedo firme, cuando muy húmedo pegajoso y plástico; cutanes por eluviación, continuos, moderadamente espesos, espesos, en poros y cara de agregados de minerales arcillosos con óxidos e hidróxidos de hierro; nódulos pocos, muy pequeños, pequeños, rojos, esferoides, blandos, compuestos por óxidos de hierro; permeabilidad moderada; raíces pocas y finas; pH 4.5.													
Horizontes	pH(H <sub>2</sub> O) rel. 1:2	Da g cm <sup>-3</sup>	MO (%)	Nt (%)	P mg kg <sup>-1</sup>	K	Ca	Mg	Na	CIC	Al int	ClCa	Arcilla	Limo	Arena	Textura
Ap	4.45	1.26	7.35	0.08	27.61	0.17	0.27	0.10	0.25	9.96	1.35	49.79	20	19	61	Migajón arenoso
A2	4.43	1.23	5.08	0.07	8.73	0.07	0.12	0.04	0.07	6.81	1.35	30.97	22	15	63	Migajón arcillo arenoso
Bt1	4.57	1.19	1.07	0.04	0.85	0.04	0.10	0.05	0.07	4.72	1.04	18.14	26	13	61	Migajón arcillo arenoso
Bt2	4.54	1.18	0.67	0.03	0.42	0.03	0.18	0.06	0.04	4.72	1.35	17.47	27	21	53	Migajón arcillo arenoso

### Anexo 3. Perfil 2 (T2P2): Ferric Acrisol (Clayic, Cutanic Humic)

**Fecha:** 23-09-2014

**Describió:** Dr. David J. Palma López/ Ing. Sofía Tinal Ortiz

**Localidad:** Ej. Venustiano Carranza

**Localización UTM:** 0442845;1963145

**Elevación:** 34 msnm

**Relieve:** Lomerío ligeramente inclinado

**Pendiente:** 5%

**Drenaje superficial:** Donador

**Drenaje del perfil:** Imperfectamente drenado

**Material parental:** Sedimentos de arenisca-conglomerado polimíctico del Terciario Plioceno-Cuaternario Pleistoceno

**Vegetación cultivada:** Pasto humidícola

**Vegetación nativa:** Nance, macayo, rabo de lagarto, apompo.

**Observaciones:** Pastizal para ganado bobino de engorda



Perfil 2		Horizontes (cm)	Descripción del perfil													
		Ap (0-21) cm	Transición a la siguiente capa tenue y horizontal; ligeramente húmedo; color de la matriz 5YR 2.5/1 negro; textura al tacto franco arenoso; estructura fuertemente desarrollada, en forma de bloques subangulares, muy finas y finas; consistencia en húmedo friable, cuando muy húmedo ligeramente pegajoso y ligeramente plástico; cutanes por eluviación, continuos, moderadamente espesos, en poros y cara de agregados de minerales arcillosos con óxidos e hidróxidos de hierro; poros números, muy finos, finos y medios, continuos, caóticos, dentro de agregados y fuera de agregados, de morfología tubular; permeabilidad rápida; raíces comunes, finas y delgadas; fauna de lombrices, hormigas y arañas; pH 5.													
		A2 (21-42) cm	Transición a la siguiente capa media y horizontal; ligeramente húmedo; color de la matriz 10YR 4/2 pardo grisáceo oscuro; color del moteado 7.5YR 3/1 gris muy oscuro; motas marcadas, comunes y finas; textura al tacto franco arcillo arenoso; ligeramente pedregoso, del tamaño de gravas pequeñas, redondeadas, principalmente de cuarzo alineadas en medio del horizonte; estructura fuertemente desarrollada, en forma de bloques subangulares, de tamaño muy finas, finas y medias; consistencia en húmedo friable, cuando muy húmedo ligeramente pegajoso y ligeramente plástico; cutanes por eluviación, continuos, espesos, en paredes de agregados y poros, de minerales arcillosos con óxidos e hidróxidos de hierro; poros números, muy finos, finos y medios, continuos, caóticos, dentro de agregados y fuera de agregados, de morfología tubular; permeabilidad rápida; raíces comunes, finas y delgadas; fauna de lombrices, hormigas y arañas; pH 5.													
		Bt1 (42-77) cm	Transición a la siguiente capa tenue y horizontal; húmedo; color de la matriz 5YR 5/8 rojo amarillento; color del moteado 10R 4/6 rojo; motas prominentes, comunes, muy finas, finas y medias; textura al tacto arcillo arenoso; pedregoso, del tamaño de gravas y piedras pequeñas, redondeadas, principalmente de cuarzo; estructura fuertemente desarrollada, en forma de bloques subangulares, de tamaño finas y medias; consistencia en húmedo firme, cuando muy húmedo pegajoso y plástico; cutanes por eluviación, continuos, espesos, en paredes de agregados y poros, de minerales arcillosos de óxidos e hidróxidos de hierro; nódulos pocos, muy pequeños y pequeños, rojos, esferoides, blandos de composición de óxidos de hierro; poros frecuentes, muy finos y finos, continuos, caóticos, dentro de agregados y fuera de agregados, de morfología tubular; permeabilidad moderada; raíces pocas y finas; pH 4.													
		Bt2 (77-111) cm	Transición a la siguiente capa media y horizontal; húmedo; color de la matriz 10 YR 6/8 amarillo parduzco; color del moteado 2.5YR 4/6 rojo y 5YR 7/1 gris claro; motas marcadas, muchas, muy finas, finas y medias; textura al tacto franco arcilloso; estructura fuertemente desarrollada, en forma de bloques subangulares, de tamaño finas y medias; consistencia en húmedo firme, cuando muy húmedo pegajoso y plástico; cutanes por eluviación, continuos, espesos, en paredes de agregados y poros, de minerales arcillosos de óxidos e hidróxidos de hierro; poros frecuentes, muy finos y finos, continuos, caóticos, dentro de agregados y fuera de agregados, de morfología tubular; permeabilidad moderada; raíces pocas y finas; pH 4.													
		Cg (111-140) cm	Húmedo; color de la matriz 2.5 Y 7/2 gris claro; color del moteado 10R 3/6 rojo oscuro y 10YR 6/6 amarillo parduzco; motas prominentes, comunes, muy finas, finas y medias; textura al tacto arcillo limoso; estructura fuertemente desarrollada, en forma de bloques angulares y subangulares, de tamaño finas y medias; consistencia en húmedo firme, consistencia en húmedo firme, cuando muy húmedo pegajoso y plástico; cutanes por eluviación, continuos, espesos, en paredes de agregados y poros, de minerales arcillosos con óxidos e hidróxidos de hierro; poros frecuentes, muy finos y finos, continuos, caóticos, dentro de agregados y fuera de agregados, de morfología tubular; permeabilidad moderada; raíces raras y finas; pH 4.													
Horizontes	pH(H <sub>2</sub> O) rel. 1:2	Da g cm <sup>-3</sup>	MO (%)	Nt	P mg kg <sup>-1</sup>	K	Ca	Mg	Na	CIC	Al int	CiCa	Arcilla	Limo	Arena	Textura
Ap	4.68	1.24	6.68	0.10	2.39	0.13	1.38	0.37	0.12	10.48	0.83	49.92	21	23	56	Migajon arcillo arenoso
A2	5.15	1.22	3.01	0.05	0.56	0.09	0.55	0.24	0.18	7.86	0.94	34.18	23	19	58	Migajon arcillo arenoso
Bt1	4.81	1.12	1.34	0.03	0.14	0.04	0.71	0.21	0.04	7.86	1.25	22.46	35	21	44	Migajon arcilloso
Bt2	4.53	1.02	0.53	0.02	0.00	0.13	1.34	0.60	0.09	9.96	3.12	19.15	52	25	23	Arcilla
Cg	4.9	0.95	0.13	0.01	0.00	0.21	0.69	0.79	0.08	17.30	7.50	25.43	68	23	9	Arcilla

### Anexo 4. Perfil 3 (T3L3): Chromic Acrisol (Alumic, Clayic, Cutanic)

**Fecha:** 26-sep-2014  
**Describió:** M.C. Antonio López Castañeda; Ing. Sofía Tinal Ortiz  
**Localidad:** Ej. Economía  
**Localización UTM:** 0438010;1955303  
**Elevación:** 49 msnm  
**Relieve:** Terrazas fuertemente ondulado (convexo)  
**Pendiente:** 10-12%  
**Drenaje superficial:** Receptor- donador  
**Drenaje del perfil:** Bien drenado  
**Material parental:** Sedimentos de arenisca-conglomerado polimíctico del Terciario Plioceno-Cuaternario Pleistoceno  
**Vegetación cultivada:** Limón  
**Vegetación nativa:** Malezas, mulato, majagua, capulín, tapirul  
**Observaciones:** Aplicación de fertilizantes



Perfil 3		Horizontes (cm)	Descripción del perfil													
	Ap (0-13) cm	Transición a la siguiente capa tenue y horizontal; húmedo; color de la matriz 7.5 YR 3/3 pardo oscuro; textura al tacto migajón arcillo arenoso; ligeramente pedregoso del tamaño de gravas, redondeadas, ígneas; estructura moderadamente desarrollada, de forma laminar y poliédrica, de tamaño medias y finas; consistencia en húmedo friable, cuando muy húmedo ligeramente pegajoso; cutanes por presión, zonales, continuos, delgados, espesos, dentro y fuera de cara de agregados, de óxidos e hidróxidos de hierro; poros numerosos, finos y muy finos, continuos, caóticos, dentro de agregados y fuera de agregados, de morfología vesicular y tubular; permeabilidad moderada; raíces abundantes, finas, delgadas y medias; fauna de lombrices y hormigas; pH 6.														
	Bt1 (13-26) cm	Transición a la siguiente capa tenue y horizontal; húmedo; color de la matriz 7.5 YR 4/6 pardo fuerte; motas color 2.5 YR 3/1 gris rojizo oscuro; motas prominentes, comunes y finas; textura al tacto arena migajosa; muy pedregoso, del tamaño de piedras pequeñas, redondeadas y subangulares, ígneas; fuertemente desarrollado, de forma columnar y poliédrica, de tamaño muy finas y finas; consistencia en húmedo friable, cuando muy húmedo pegajoso; cutanes por eluviación, discontinuos, espesos dentro y fuera de cara de agregados, de óxidos e hidróxidos de hierro; poros frecuentes, medianos y finos, discontinuos, caóticos, dentro de agregados y fuera de agregados, de morfología tubular; permeabilidad rápida; raíces comunes, finas, delgadas y medias; pH 5.5.														
	Bt2 (26-65) cm	Transición a la siguiente capa tenue y horizontal; húmedo; color de la matriz 2.5 YR 4/8 rojo; motas color 7.5 YR 4/6 pardo fuerte; motas prominentes, muchas y medias; textura al tacto migajón arcillo limoso; muy poco pedregoso, del tamaño de gravas, redondeadas y subangulares, ígneas; fuertemente desarrollado, de forma columnar y poliédrica, de tamaño medias y grandes; consistencia en húmedo firme, cuando muy húmedo pegajoso; cutanes por presión, continuos y espesos, dentro y fuera de cara de agregados, de óxidos e hidróxidos de hierro; poros frecuentes, finos, continuos, caóticos, dentro de agregados y fuera de agregados, de morfología intersticiales; permeabilidad lenta; raíces pocas y finas; pH 5.5.;														
	C1 (65-110) cm	Transición a la siguiente capa tenue y horizontal; húmedo; color de la matriz 2.5 YR 4/8 rojo; textura al tacto migajón arcillo limoso; fuertemente desarrollado, de forma columnar y poliédrica, de tamaño medias y grandes; consistencia en húmedo friable, cuando muy húmedo pegajoso; cutanes por presión, continuos, espesos, dentro y fuera de cara de agregados, de óxidos e hidróxidos de hierro; poros frecuentes, finos, continuos, caóticos, dentro de agregados y fuera de agregados, de morfología intersticiales; permeabilidad lenta; raíces raras y finas; pH 5.														
	C2 (110-140) cm	Húmedo; color de la matriz 2.5 YR 5/8 rojo; textura al tacto migajón limoso; fuertemente desarrollado, de forma columnar y poliédrica, de tamaño medias y grandes; consistencia en húmedo friable, cuando muy húmedo pegajoso; cutanes por presión, zonales, continuos, espesos, dentro y fuera de agregados, de óxidos e hidróxidos de hierro; poros pocos, muy finos y finos, continuos, caóticos, dentro de agregados y fuera de agregados, de morfología tubular; permeabilidad muy lenta; pH 5.														
Horizontes	pH(H <sub>2</sub> O) rel. 1:2	Da g cm <sup>-3</sup>	MO (%)	Nt	P mg kg <sup>-1</sup>	K	Ca	Mg	Na	CIC	Al int	CIC a	Arcilla	Limo	Arena	Textura
Ap	5.17	1.17	6.18	0.11	2.82	0.48	3.08	1.01	0.07	12.58	0.31	44.92	28	25	47	Migajon arcillo arenoso
Bt1	4.81	1.14	2.47	0.04	0.85	0.13	0.76	0.33	0.04	9.96	1.04	31.12	32	27	41	Migajon arcilloso
Bt2	4.76	1.00	0.94	0.02	0.14	0.11	0.65	0.31	0.03	11.01	2.91	19.65	56	31	13	Arcilla
C1	4.87	0.97	0.40	0.02	0.00	0.29	0.91	0.54	0.18	20.96	8.12	33.81	62	25	13	Arcilla
C2	4.62	1.10	0.00	0.01	0.28	0.14	0.31	0.44	0.08	16.25	6.35	42.76	38	37	25	Migajon arcilloso

### Anexo 5. Perfil 4 (T3P3): Chromic Acrisol (Alumic, Clayic, Cutanic)

**Fecha:** 26-sep-2014

**Describió:** M.C. Antonio López Castañeda; Ing. Sofía Tinal Ortiz

**Localidad:** Ej. Economía

**Localización UTM:** 0438022;1955251

**Elevación:** 52 msnm

**Relieve:** Terraza fuertemente ondulado (convexo)

**Pendiente:** 10-12%

**Drenaje superficial:** Terrazas fuertemente onduladas (convexo)

**Drenaje del perfil:** Bien drenado

**Material parental:** Sedimentos de arenisca-conglomerado polimítico del Terciario Plioceno-Cuaternario Pleistoceno

**Vegetación cultivada:** Pasto humidícola

**Vegetación nativa:** Cornezuelo, morenilla, capulín, majagua

**Observaciones:** Pastizal para ganado bobino de engorda



Perfil 4		Horizontes (cm)	Descripción del perfil													
		Ap (0-14) cm	Transición a la siguiente capa tenue y horizontal; ligeramente húmedo; color de la matriz 10YR 3/3 pardo oscuro; textura al tacto franco arenoso; muy pedregoso, del tamaño de piedras pequeñas y gravas, de forma redondeadas y subangulares, ígneas; estructura moderadamente desarrollada, prismática, columnar y poliédrica, medianas y grandes; consistencia en húmedo friable, cuando muy húmedo ligeramente pegajoso; cutanes por eluviación, presión, continuos, espesos, dentro y fuera de agregados de óxidos e hidróxidos de hierro; poros numerosos, medianos y finos, continuos, verticales, dentro de agregados y fuera de agregados, de morfología tubular; permeabilidad moderada; raíces abundantes, finas y delgadas; fauna de lombrices, garrapatas y hormigas; pH 5.													
		Bt1 (14-61) cm	Transición a la siguiente capa tenue y ondulada; húmedo; color de la matriz 5YR 5/8 rojo amarillento; textura al tacto migajón limo-arenoso; pedregoso, del tamaño de gravas y piedras pequeñas, de forma redondeada y subangulares, ígneas; fuertemente desarrollada, poliédrica, medianas y grandes; consistencia en húmedo firme, cuando muy húmedo pegajoso; cutanes por presión, delgados, en poros y canales de raíces, de óxidos e hidróxidos de hierro; poros frecuentes, finos, continuos, horizontales, caóticos, dentro de agregados y fuera de agregados, de morfología tubular; permeabilidad lenta; raíces comunes, finas y delgadas; pH 4.5.													
		Bt2 (61-100) cm	Transición a la siguiente capa tenue y horizontal; húmedo; color de la matriz 10R 4/6 rojo; color del moteado 10YR 6/8 amarillo parduzco; motas prominentes, muchas, muy finas y finas; textura al tacto migajón arcillo-limoso; ligeramente pedregoso, del tamaño de piedras y gravas, de forma redondeadas, ígneas; fuertemente desarrollada, poliédrica y angular, medianas y grandes; consistencia en húmedo friable, cuando muy húmedo pegajoso; cutanes por presión, continuos, dentro y fuera de agregados, de óxidos e hidróxidos de hierro; poros pocos, muy finos, continuos, caóticos, dentro de agregados y fuera de agregados, de morfología tubular; permeabilidad muy lenta; raíces pocas, finas y delgadas; pH 4.5.													
		C (100-140) cm	Húmedo; color de la matriz 2.5 YR 3/6 rojo oscuro; color del moteado 10YR 6/8 amarillo parduzco; motas prominentes, muchas, medias y grandes; textura al tacto migajón limoso; ligeramente pedregoso, del tamaño de gravas, de forma redondeada y subangulares, ígneas; fuertemente desarrollada, poliédrica, finas y medianas; consistencia en húmedo friable, cuando muy húmedo pegajoso; cutanes por presión, continuos, delgados, espesos, dentro y fuera de agregados, de óxidos e hidróxidos de hierro; poros pocos, muy finos, continuos, caóticos, dentro de agregados y fuera de agregados, de morfología tubular; permeabilidad muy lenta; pH 4.													
Horizontes	pH(H <sub>2</sub> O) rel. 1:2	Da g cm <sup>-3</sup>	MO	Nt	P	K	Ca	Mg	Na	ClC	Al int	ClCa	Arcilla	Limo	Arena	Textura
			(%)		mg kg <sup>-1</sup>	Cmol (+) kg <sup>-1</sup>						%				
Ap	5.01	1.16	4.75	0.02	3.10	0.26	1.21	0.51	0.16	6.29	0.42	20.96	30	13	57	Arcilla arenosa
Bt1	5.43	1.07	0.74	0.08	0.28	0.14	0.87	0.26	0.25	4.72	0.31	11.23	42	11	47	Arcilla arenosa
Bt2	4.94	1.02	0.40	0.01	0.14	0.06	0.74	0.27	0.02	7.34	2.19	14.11	52	25	22.6	Arcilla
C	4.94	0.97	0.20	0.01	0.14	0.11	0.59	0.27	0.08	11.53	3.44	18.60	62	25	13	Arcilla

### Anexo 6. Perfil 5 (T3Pi3): Chromic Acrisol (Alumic, Clayic, Cutanic)

**Fecha:** 9-Oct-2014  
**Describió:** Dr. David J. Palma López/ Ing. Sofía Tinal Ortiz  
**Localidad:** Ej. Economía  
**Localización UTM:** 0439083-1954850  
**Elevación:** 50 msnm  
**Relieve:** Terraza fuertemente ondulada  
**Pendiente:** 10-12%  
**Drenaje superficial:** Donador  
**Drenaje del perfil:** Bien drenado  
**Material parental:** Sedimentos de arenisca-conglomerado polimíctico del Terciario Plioceno-Cuaternario Pleistoceno  
**Vegetación cultivada:** Piña Cayena  
**Vegetación nativa:** Ceiba, pochote, encino, mulato  
**Observaciones:** Anteriormente el área era un encinal con pastizal; suelo pedregoso (la cantidad de grava se va incrementando a la profundidad del horizonte, mostrando al final alrededor del 20% de grava.



Perfil 5		Horizontes (cm)		Descripción del perfil													
	Ap (0-(24-30)) cm	Transición a la siguiente capa marcada e irregular; Húmedo; color de la matriz 10YR 3/2 pardo grisáceo muy oscuro; color del moteado 10YR 3/4 pardo amarillento oscuro (se deben a la labranza de los horizontes Ap y A2); motas marcadas, comunes, finas y medias; textura al tacto franco arcillo arenoso; estructura moderadamente desarrollada, en bloques subangulares, muy finos, finos y medios; consistencia en húmedo friable, cuando muy húmedo pegajoso y plástico; cutanes por eluviación, continuos, moderadamente espesos, en cara de agregados de minerales arcillosos con óxidos e hidróxidos de hierro; poros numerosos, muy finos y finos, continuos, caóticos, dentro de agregados y fuera de agregados, de morfología tubular; permeabilidad muy rápida; presencia de fauna de gusanos gallina ciega; pH 5.															
	A2 ((24-30)-43) cm	Transición a la siguiente capa tenue y horizontal; Húmedo; color de la matriz 10YR 4/6 pardo amarillento oscuro; color del moteado 10YR 3/4 pardo amarillento oscuro, 10YR 2/2 pardo muy oscuro; motas marcadas, comunes, muy finas y finas; textura al tacto franco arcillo arenoso; poco pedregoso, del tamaño de gravas, redondeadas, principalmente de cuarzo; estructura moderadamente desarrollada, en bloques subangulares, finos y medios; consistencia en húmedo friable, cuando muy húmedo pegajoso y ligeramente plástico; cutanes por eluviación, continuos, espesos, en cara de agregados, de minerales arcillosos con óxidos de hierro; muy pocos nódulos, muy pequeños y pequeños, rojos, esferoides, blandos de óxidos de hierro; poros numerosos, muy finos y finos, continuos, caóticos, dentro de agregados y fuera de agregados, de morfología tubular; permeabilidad rápida; pH 4.5;															
	Bt (43-84) cm	Transición a la siguiente capa tenue y horizontal; Húmedo; color de la matriz 2.5YR 4/8 rojo; color del moteado 10YR 3/4 pardo amarillento oscuro, 10R 3/6 rojo oscuro; motas marcadas, pocas, finísimas y finas; textura al tacto arcillo arenoso; ligeramente pedregoso, del tamaño de pequeñas gravas, redondeadas, intemperizadas de cuarzo y otros materiales; fuertemente desarrolla, en bloques subangulares, muy finos, finos y medios; consistencia en húmedo friable, cuando muy húmedo pegajoso y plástico; cutanes por eluviación, continuos, espesos, en cara de agregados, de minerales arcillosos con óxidos de hierro; muy pocos nódulos, muy pequeños y pequeños, rojos, esferoides, blandos de óxidos de hierro; poros frecuentes muy finos y finos, continuos, caóticos, dentro de agregados y fuera de agregados, de morfología tubular; permeabilidad rápida; pH 4.5.															
	C (84-140) cm	Húmedo; color de la matriz 2.5 YR 4/6 rojo; color del moteado 10YR 6/8 amarillo parduzco; textura al tacto arcillo arenoso; pedregoso al 8%, del tamaño de pequeñas gravas, redondeadas, intemperizadas, principalmente de cuarzo; estructura fuertemente desarrollada, en bloques angulares, muy finos, finos y medios; consistencia en húmedo firme; cuando muy húmedo pegajoso y plástico; cutanes por eluviación, continuos, espesos, en cara de agregados, de minerales arcillosos con óxidos de hierro; poros frecuentes muy finos y finos, continuos, caóticos, dentro de agregados y fuera de agregados, de morfología tubular; permeabilidad moderada; pH 4.															
Horizontes	pH(H <sub>2</sub> O) rel. 1:2	Da g cm <sup>-3</sup>	MO (%)	Nt	P mg kg <sup>-1</sup>	K	Ca	Mg	Na	CIC	Al int	ClCa	Arcilla	Limo	Arena	Textura	
Ap	5.06	1.16	5.75	0.03	74.08	0.24	0.45	0.09	0.35	7.34	1.04	24.46	30	18	52	Arcilla arenosa	
A2	4.38	1.16	2.21	0.07	3.24	0.05	0.15	0.05	0.04	4.19	1.15	13.98	30	15	55	Arcilla arenosa	
Bt	4.41	1.08	1.20	0.04	0.85	0.06	0.20	0.04	0.05	6.29	1.35	15.72	40	12	48	Arcilla arenosa	
C	4.46	1.05	0.47	0.02	1.13	0.06	0.27	0.05	0.04	3.67	1.87	7.98	46	12	42	Arcilla	

## Anexo 7. Perfil 6 (T2Pi2): Chromic Ferric Acrisol (Clayic, Cutanic)

Fecha: 13-Nov-14

Describió: Dr. David J. Palma López/Ing. Sofia Tinal Ortiz

Localidad: Ejido Marcelino

Localización UTM:0441966-1955808

Elevación:44 msnm

Relieve: Lomerío moderadamente inclinado

Pendiente: 4%

Drenaje superficial: Donador

Drenaje del perfil: Bien drenado

Material parental: Sedimentos de arenisca-conglomerado polimíctico del Terciario Plioceno-Cuaternario Pleistoceno

Vegetación cultivada: Piña Cayena

Observaciones: Aplicación de manejo con rastra y fertilización; el horizonte C presenta fuerte agregación de hierro, mostrando un moteado que puede ser semejante a la plintita pero no está endurecido.



Perfil 6		Horizontes (cm)		Descripción del perfil												
		Ap (0-25) cm	Transición marcada y horizontal; Húmedo; color de la matriz 7.5YR 2.5/2 pardo muy oscuro; textura al tacto franco arcillo arenosa; estructura fuertemente desarrollada, subangulares, muy finas y finas; consistencia en húmedo friable, cuando muy húmedo y plástico; poros numerosos, muy finos y finos, continuos, caóticos, dentro de agregados, de morfología tubular; permeabilidad rápida; presencia de fauna de lombrices, hormigas y cien pies; pH 5.													
		Bt1 (25-63) cm	Transición tenue y horizontal; Húmedo; color de la matriz 7.5YR 6/8 amarillo rojizo; color del moteado 10R 4/8 rojo; motas marcadas, pocas y muy finas; textura al tacto arcillo arenosa; poca pedregosidad de tamaño de gravas muy pequeñas, redondeadas de cuarzo; estructura fuertemente desarrollada, subangulares, muy finas y finas; consistencia en húmedo friable, cuando muy húmedo pegajoso y plástico; cutanes por eluviación, continuos, espesos, en poros y cara de agregados de minerales arcillosos con óxidos de hierro e hidróxidos de hierro; poros numerosos, muy finos y finos, continuos, caóticos, dentro de agregados, de morfología tubular; permeabilidad rápida; pH 4.													
		Bt2 (63-(87-109)) cm	Transición media y ondulada; Húmedo; color de la matriz 7.5YR 7/8 amarillo rojizo; color del moteado 10R 4/8 rojo; motas marcadas, comunes, muy finas, finas y medias; textura al tacto arcillo arenosa; poca pedregosidad, del tamaño de gravas muy pequeñas, redondeadas, de cuarzo; estructura fuertemente desarrollada, subangulares, muy finas, finas y medias; consistencia en húmedo friable, cuando muy húmedo pegajoso y plástico; cutanes por eluviación, continuos, espesos, en poros y cara de agregados de minerales arcillosos con óxidos de hierro e hidróxidos de hierro; poros numerosos, muy finos y finos, caóticos, dentro de agregados, de morfología tubular; permeabilidad rápida; pH 4.													
		C ((87-109)-140) cm	Húmedo; color de la matriz 40% 10R 5/8 rojo, 30% 7.5YR 6/8 amarillo rojizo, 30% 10YR 7/1 gris claro; textura al tacto arcillo limosa; ligeramente pedregoso, del tamaño de gravas, subangulares y redondeadas muy intemperizadas; estructura fuertemente desarrollada, subangulares y angulares, muy finas, finas y medias; consistencia en húmedo friable; cuando muy húmedo pegajoso y plástico; cutanes por eluviación, continuos, espesos, en poros y cara de agregados de minerales arcillosos con óxidos de hierro e hidróxidos de hierro; poros numerosos, muy finos y finos, continuos, caóticos, dentro de agregados, de morfología tubular; permeabilidad moderada: pH 4.													
Horizontes	pH(H <sub>2</sub> O) rel. 1:2	Da g cm <sup>-3</sup>	MO (%)	Nt	P mg kg <sup>-1</sup>	K	Ca	Mg	Na	CIC	Al int	CICa	Arcilla	Limo	Arena	Textura
Ap	4.07	1.23	5.85	0.09	8.45	0.21	0.32	0.09	0.09	13.10	1.77	59.56	22	27	51	Migajon arcillo arenoso
Bt1	4.45	1.14	1.67	0.03	2.68	0.10	0.29	0.08	0.04	6.81	1.56	21.29	32	17	51	Migajon arcillo arenoso
Bt2	4.7	1.10	1.14	0.02	0.42	0.16	0.59	0.25	0.09	8.39	1.04	22.07	38	17	45	Arcilla arenosa
C	4.74	1.08	0.33	0.01	0.42	0.19	1.28	0.44	0.03	6.29	1.56	15.72	40	19	41	Arcilla

### Anexo 8. Perfil 7 (T2A2): Chromic Ferric Acrisol (Alumic, Loamic, Cutanic)

**Fecha:** 13-nov-2014  
**Describió:** Dr. David J. Palma López  
**Localidad:** Ej. Marcelino  
**Localización UTM:** 0442782-1960616  
**Elevación:** 43 msnm  
**Relieve:** Lomerío moderadamente inclinado  
**Pendiente:** 6%  
**Drenaje superficial:** Donador  
**Drenaje del perfil:** Bien drenado  
**Material parental:** Sedimentos de arenisca-conglomerado polimíctico del Terciario Plioceno-Cuaternario Pleistoceno  
**Vegetación nativa:** Mulato, lianas, jobo, casta rica.  
**Fauna:** Fauna silvestre (Mono saraguato, nauyaca).  
**Observaciones:** Lluvia anterior, día parcialmente nublado



Perfil 7		Horizontes (cm)	Descripción del perfil													
		O (3-0) cm	Mantillo; raíces abundantes, finas, delgadas, medias y gruesas.													
		A1 (0-22) cm	Transición marcada y horizontal; Húmedo; color de la matriz 7.5YR 2.5/2 pardo muy oscuro; textura al tacto franco arcillo arenoso; estructura fuertemente desarrollada, en bloques subangulares y grumosas, muy finas y finas; consistencia en húmedo friable, cuando muy húmedo pegajoso y plástico; cutanes por eluviación, continuos, moderadamente espesos, en cara de agregados y poros, de minerales arcillosos con óxidos e hidróxidos de hierro; poros numerosos, muy finos y finos, continuos, caóticos, dentro y fuera de agregados, de morfología tubular; permeabilidad rápida; raíces abundantes, finas, delgadas y medias; presencia de fauna (parte superior del horizonte) de lombrices, cien pies, hormigas, arañas y fuerte actividad biológica, sobre todo en la parte superior adyacente al mantillo; pH 5.													
		Bt1 (22-53) cm	Transición media y horizontal; Húmedo; color de la matriz 2.5YR 5/8 rojo; color del moteado 7.5YR 3/2 pardo oscuro; motas tenues, pocas y muy finas; textura al tacto arcillosa; estructura fuertemente desarrollada, en bloque subangulares, muy finas, finas y medias; consistencia en húmedo friable, cuando muy húmedo pegajoso y plástico; cutanes por eluviación, continuos, espesos, en cara de agregados y poros, de minerales arcillosos con óxidos e hidróxidos de hierro; poros numerosos, muy finos y finos, continuos, caóticos, dentro de agregados y fuera de agregados, tubulares; raíces pocas y finas; pH 5.													
		Bt2 (53-82) cm	Transición media y horizontal; Húmedo; color de la matriz 2.5YR 4/8 rojo; color del moteado 10YR 6/6 amarillo parduzco; motas marcadas, comunes, finas y medias; textura al tacto arcilla media; estructura fuertemente desarrollada, en bloques subangulares, muy finas y finas; consistencia en húmedo friable, cuando muy húmedo pegajoso y plástico; cutanes por eluviación, continuos, espesos, en cara de agregados y poros, de minerales arcillosos con óxidos e hidróxidos de hierro; poros frecuentes, muy finos y finos, continuos, caóticos, dentro de agregados y fuera de agregados, de morfología tubular; permeabilidad moderada; raíces pocas y finas; pH 4.5.													
		C (83-130) cm	Húmedo; color de la matriz 40% 10R 4/8 rojo, 30% 10YR 6/8 amarillo parduzco, 30% 2.5Y 6/4 pardo amarillo claro; textura al tacto arcillo arenosa; ligeramente pedregoso, del tamaño de pequeñas gravas, redondeadas, de cuarzo y muy intemperizadas; estructura fuertemente desarrollada, en bloques subangulares y angulares, muy finas, finas y medias; consistencia en húmedo friables, cuando muy húmedo pegajoso y plástico; cutanes por eluviación, continuos, espesos, en cara de agregados y poros, de minerales arcillosos con óxidos e hidróxidos de hierro; poros frecuentes, muy finos y finos, continuos, caóticos, dentro de agregados y fuera de agregados, de morfología tubular; permeabilidad moderada; raíces raras y finas; pH 4.5. Existe segregación de hierro manifestándose en un moteado rojo con gris similar a la plintita pero no endurecido.													
Horizontes	pH(H <sub>2</sub> O) rel. 1:2	Da g cm <sup>-3</sup>	MO (%)	Nt	P mg kg <sup>-1</sup>	K	Ca	Mg	Na	CIC	Al int	CiCa	Arcilla	Limo	Arena	Textura
			Cmol (+) kg <sup>-1</sup>										%			
A1	5.08	1.22	6.85	0.12	4.08	0.50	5.61	1.73	0.08	15.72	0.21	68.36	23	35	42	Franco
Bt1	4.84	1.18	1.80	0.03	0.42	0.32	1.40	0.65	0.03	11.53	1.77	42.71	27	47	26	Franco
Bt2	4.66	1.10	0.87	0.03	0.99	0.12	0.63	0.44	0.05	7.34	1.87	19.83	37	31	32	Migajon arcilloso
C	4.52	1.13	0.40	0.02	0.28	0.09	0.33	0.30	0.04	7.34	2.08	22.23	33	29	38	Migajon arcilloso

### Anexo 9. Perfil 8 (T2L2): Chromic Acrisol (Alumic, Clayic, Cutanic, Humic)

**Fecha:** 13-Nov-14  
**Describió:** Dr. David J. Palma López/ Ing. Sofia Tinal Ortiz  
**Localidad:** Ra. El pitayo  
**Localización UTM:** 0442282-1961015  
**Elevación:** 43 msnm  
**Relieve:** Lomerío moderadamente inclinado  
**Pendiente:** 3%  
**Drenaje superficial:** Donador  
**Drenaje del perfil:** Bien drenado  
**Material parental:** Sedimentos de arenisca-conglomerado polimíctico del Terciario Plioceno-Cuaternario Pleistoceno  
**Vegetación cultivada:** limón  
**Observaciones:** Cultivo bajo riego y fertilización



Perfil 8	Horizontes (cm)	Descripción del perfil
	Ap1 (0-26) cm	Transición a la siguiente capa media y horizontal; húmedo; color de la matriz 7.5YR 2.5/1 negro; textura al tacto franca a franco arenosa; estructura fuertemente desarrollada, de forma subangulares, de tamaño muy fino, finos y medios y grumosa fina y media; consistencia en húmedo friable, cuando muy húmedo ligeramente pegajoso y ligeramente plástico; cutanes por eluviación, continuos, moderadamente espesos, en poros y cara de agregados, de minerales arcillosos con óxidos de hierro; poros numerosos, muy finos y finos, continuos, caóticos, dentro de agregados y fuera de agregados, de morfología tubular; permeabilidad rápida, raíces comunes, finas y delgadas; presencia de fauna: muchas hormigas, deyecciones de lombrices de tierra y ciempiés; pH 5.
	A2 (26-(42-52)) cm	Transición a la siguiente capa media e irregular; húmedo; color de la matriz 7.5YR 3/3 pardo oscuro; color del moteado 7.5YR 2.5/1 negro; motas marcadas, comunes y muy finas por intromisión por los horizontes subpryacente; textura al tacto franco arenosa; estructura moderadamente desarrollada, de formas subangulares, de tamaño muy finos, finos y medios; consistencia en húmedo friable, cuando muy húmedo ligeramente pegajoso y ligeramente plástico; cutanes por eluviación, continuos, moderadamente espesos, en poros y cara de agregados, de minerales arcillosos con óxidos de hierro; poros numerosos, muy finos y finos, continuos, caóticos, dentro de agregados y fuera de agregados, de morfología tubular; permeabilidad rápida, raíces comunes, finas, delgadas y medias; presencia de fauna de lombrices; pH 5.
	Bt1 ((42-52)-94) cm	Transición a la siguiente capa tenue y horizontal; húmedo; color de la matriz 2.5 YR 5/8 rojo; color del moteado 7.5YR 3/4 pardo oscuro; motas marcadas, comunes, muy finas, finas, finas y medias por intromisión por los horizontes subpryacente; textura al tacto arcillo arenoso; estructura fuertemente desarrollada, de formas subangulares, de tamaño muy fino, finos y medios; consistencia en húmedo friable, cuando muy húmedo pegajoso y plástico; cutanes por eluviación, continuos, espesos, en poros y caras de agregados, de minerales arcillosos con óxidos de hierro; poros numerosos, muy finos y finos, continuos, caóticos, dentro de agregados y fuera de agregados, de morfología tubular; permeabilidad rápida, raíces pocas y finas; pH 5.
	Bt2 (94-136) cm	Húmedo; color de la matriz 2.5YR 4/8 rojo; color del moteado 10YR 6/8 amarillo parduzco; motas tenues, comunes, muy finas, finas y medias; textura al tacto arcillo limoso; estructura fuertemente desarrollada, de formas angulares y subangulares, de tamaño muy finos, finos y medios; consistencia en húmedo friable, cuando muy húmedo pegajoso y plástico; poros frecuentes, muy finos y finos, continuos, caóticos, dentro de agregados y fuera de agregados; permeabilidad moderada; raíces raras y finas; pH 4.5.

Horizontes	pH(H <sub>2</sub> O) rel. 1:2	Da g cm <sup>-3</sup>	MO	Nt	P mg kg <sup>-1</sup>	K	Ca	Mg	Na	ClC	Al int	ClCa	Arcilla	Limo	Arena	Textura
			(%)													
Ap1	5.33	1.17	8.52	0.09	7.04	0.13	2.06	0.70	0.06	13.63	0.52	48.67	28	23	49	Migajon arcillo arenoso
A2	4.78	1.06	3.74	0.09	1.27	0.06	0.32	0.11	0.04	7.34	1.15	16.68	44	13	43	Arcilla arenosa
Bt1	4.79	0.99	1.54	0.04	0.70	0.11	0.46	0.21	0.06	5.77	1.15	9.94	58	13	29	Arcilla
Bt2	5	1.00	0.60	0.02	0.56	0.20	0.59	0.63	0.05	5.24	1.04	9.36	56	15	29	Arcilla

## Anexo 10. Perfil 9 (T3A3): Chromic Ferric Acrisol (Clayic, Cutanic, Humic)

Fecha: 27-08-2013

Describió: Joel Zavala Cruz/ Edgar D. Shirma Torres /Abelardo Guillen

Localidad: Colonia Economía, Huimanguillo

Localización UTM: 0435221-1957668

Elevación: 66 mnsnm

Relieve: lomerío ligera a moderadamente inclinado

Pendiente: 9%

Drenaje superficial: donador

Drenaje del perfil: bien drenado

Material parental: Sedimentos de arenisca-conglomerado polimíctico del Terciario Plioceno y Cuaternario Pleistoceno

Vegetación cultivada:

Vegetación nativa: selva mediana perennifolia y encinar

Fauna: lagartijas, arañas, hormigas, colibrí, armadillo, mapaches y nahuyacas.

Observaciones: capa de 5cm de hojarasca sin descomponer o parcialmente descompuesta; moteados rojos en el centro del perfil asociados a nódulos de óxidos de hierro.



Perfil 9		Horizontes (cm)		Descripción del perfil										
		A (0-26) cm		Transición, horizontal y tenue; humedad, húmedo; color de la matriz pardo muy oscuro (10YR 2/2); textura al tacto, migajón arcillo-arenoso; consistencia en húmedo, friable y cuando muy húmedo, no pegajoso y no plástico; estructura moderadamente desarrollada, granular media; poros, numerosos, muy finos y finos, continuos, caóticos, dentro y fuera de agregados, tubulares; permeabilidad moderada; raíces abundantes, finas y medias, fauna de lombrices y hormigas; nula reacción al HCl.										
		A2 (26-47) cm		Transición, horizontal y media; humedad, húmedo, color pardo amarillento oscuro (10YR 4/4), textura al tacto, migajón arcillo-arenoso; consistencia en húmedo, friable y cuando muy húmedo, no pegajoso y no plástico; estructura ligeramente desarrollada, poliédrica subangular muy fina y fina; pedregosidad, ligeramente pedregoso del tamaño de grava y piedras pequeñas, redondas y subangulares de conglomerados; poros, frecuentes, muy finos y finos, continuos, caóticos, dentro y fuera de agregados, tubulares; permeabilidad moderada; raíces comunes, finas y delgadas, fauna de lombrices y hormigas; nula reacción al HCl.										
		Bt1 (47-82) cm		Transición, horizontal y tenue; humedad, húmedo; color de matriz rojo amarillento (5YR 5/8), con motas de color rojo (10R 4/6), tenues pocas y finas; textura al tacto, arcilloso; consistencia en húmedo, friable y cuando muy húmedo, pegajoso y plástico; estructura debilmente desarrollada, poliédrica subangular muy fina y fina; pedregosidad, muy pocas del tamaño de grava, redondas y subangulares de conglomerados; cutanes por eluviación, discontinuos, delgados, en caras de los agregados de naturaleza arcillosa más óxidos de hierro; poros, pocos, muy finos y finos, discontinuos, caóticos, dentro y fuera de agregados, tubulares; permeabilidad muy lenta; raíces pocas, finas y delgadas; nula reacción al HCl.										
		Bt2 (82-121) cm		Transición, horizontal y tenue; humedad, húmedo; color de matriz rojo (2.5YR 4/8), con motas de color rojo (10R 4/6), prominentes, comunes y finas y motas color amarillo rojizo (7.5YR 7/8) prominentes, comunes y finas; textura al tacto, arcilloso; consistencia en húmedo, friable y cuando muy húmedo, ligeramente pegajoso y ligeramente plástico; estructura debilmente desarrollada, poliédrica subangular muy fina y fina; pedregosidad, muy pocas del tamaño de grava y piedras pequeñas, redondas y subangulares de conglomerados; cutanes por eluviación, discontinuos, delgados, en caras de los agregados de naturaleza arcillosa más óxidos de hierro; nódulos, pocos, pequeños rojo oscuro, elipsoide, blandos de óxidos de hierro; poros, pocos, muy finos y finos, discontinuos, caóticos, dentro y fuera de agregados, tubulares; permeabilidad muy lenta; raíces raras y finas, nula reacción al HCl.										
		Bt3 (121-155) cm		Humedad, húmedo; color de matriz rojo (2.5YR 4/8), con motas de color rojo (10R 4/6), prominentes, comunes y finas y motas color amarillo rojizo (7.5YR 7/8) prominentes, comunes y finas; textura al tacto, arcilla media; consistencia en húmedo, friable y cuando muy húmedo, no pegajoso y no plástico; estructura debilmente desarrollada, poliédrica subangular muy fina y fina; pedregosidad, muy pocas del tamaño de grava y piedras pequeñas, redondas y subangulares de conglomerados; cutanes por eluviación, discontinuos, delgados, en caras de los agregados de naturaleza arcillosa más óxidos de hierro; nódulos, pocos, pequeños rojo oscuro, elipsoide, blandos de óxidos de hierro; poros, pocos, muy finos y finos, discontinuos, caóticos, dentro y fuera de agregados, tubulares; permeabilidad moderada; raíces muy raras y finas, nula reacción al HCl.										
Horizontes	pH(H <sub>2</sub> O) rel. 1:2	MO (%)	Nt (%)	P mg kg <sup>-1</sup>	K	Ca	Mg	Na	CIC	CICa	Arcilla	Limo (%)	Arena	Textura
A	4.60	8.05	0.24	2.74	0.08	MLD	MLD	MLD	12.29	29.98	41	11	48	Arcilla arenosa
A2	4.58	3.41	0.09	1.30	0.06	MLD	MLD	0.03	6.39	13.60	47	10	43	Arcilla
Bt1	4.81	0.78	0.03	0.58	0.03	MLD	0.15	0.06	3.93	7.42	53	13	34	Arcilla
Bt2	4.82	0.48	0.02	0.43	0.03	MLD	0.08	0.03	3.93	8.36	47	19	34	Arcilla
C	4.74	0.24	0.02	0.14	0.03	MLD	0.06	0.04	5.41	12.02	45	22	33	Arcilla

Fuente: Castillo *et al.*, 2014 (Acrisol Cutánico Umbrico (Férrico, Hiperdístico, Arcílico) ACctum(frhdce); Actualizado.

### Anexo 11. Perfil 10 (T1A1): Ferric Acrisol (Loamic, Cutanic)

**Fecha:** 20-12-13  
**Describió:** Victorio Moreno Jiménez/ María García Gerónimo  
**Localidad:** R/a. Ocuápan, Huimanguillo  
**Localización UTM:** 0440568 – 1975823  
**Elevación:** 13 mnsnm  
**Relieve:** lomerío ligeramente inclinado  
**Pendiente:** 2 %  
**Drenaje superficial:** normal  
**Drenaje del perfil:** imperfectamente drenado  
**Material parental:** Sedimentos de arena-limo del Cuaternario Pleistoceno  
**Vegetación cultivada:**  
**Vegetación nativa:** encinar-acahual (encino negro, hoja de lata, cocoyol, rabo de perro, arbustos y herbáceas)  
**Observaciones:** el suelo es muy gravoso con 70 a 80 % de grava, manto freático a los 108 cm, hojarasca de 1.5 cm de espesor.



Perfil 10		Horizontes (cm)	Descripción del perfil
	A1 (0-26) cm	Transición, horizontal y tenue, humedad, seco, color de la matriz negro (10YR 2/1); consistencia cuando muy húmedo, ligeramente plástico y pegajoso, textura al tacto migajón-limoso, poros, numerosos micros; muy finos, continuos, caóticos, dentro y fuera de los agregados tubulares, estructura, fuertemente desarrollado, grumosa y en bloques subangulares muy finos y finos, raíces, abundantes, finas, delgadas y medias; permeabilidad rápida, fauna de lombrices y hormigas, nula reacción al HCl y nula reacción al peróxido de hidrogeno; pH 5.	
	A2 (26-44) cm	Transición, horizontal y tenue, humedad, ligera, color pardo de la matriz grisáceo muy oscuro (10YR 3/2), consistencia cuando muy húmedo, ligeramente plástico y pegajoso, textura migajón arcillo-limoso, pedregosidad del tamaño de gravas redondas de 1-2cm de material diversos en distinto estados de intemperismo, poros, frecuentemente, micros; muy finos, continuos, caóticos, dentro y fuera de los agregados tubulares, estructura, moderadamente desarrollada en bloques subangulares finas y medias, raíces, comunes, finas y delgadas; nódulos, muy pocos, pequeños, rojos, prismáticos, angulares, blandos de óxidos de hierro, permeabilidad rápida, fauna de lombrices y hormigas, nula reacción al HCl y nula reacción al peróxido de hidrogeno; pH 5.	
	Bt1 (44-79) cm	Transición, horizontal y tenue, humedad, húmedo; color de matriz, amarillo parduzco (10YR 6/8) con motas de color roja (2.5 YR 5/8) marcadas, comunes, muy finas y medias, consistencia en muy húmedo, pegajoso y ligeramente plástico, textura al tacto, arcillo-arenoso, pedregosidad ligera del tamaño de grava de 2mm – 1.5 cm redondeadas de materiales diversos en diferente estado de intemperismo, poros, frecuentes, micro y muy finos, continuos, caóticos, dentro y fuera de los agregados tubulares, estructura, moderadamente desarrollado, grumosa y bloques subangulares finas y medias, raíces, comunes y finas, cutanespor eluviación, continuas, moderadamente espesos en caras de agregados y en poros y canales de raíces de minerales de arcillosos con óxido de hierro; nódulos, pocos, pequeños, rojos, prismáticos, angulares, blandos de óxido de hierro; permeabilidad, moderada, nula reacción al HCl y nula reacción al peróxido de hidrogeno; pH 5.	
	Bt2 (79-119) cm	Transición, horizontal y tenue, humedad, húmedo, color de matriz, amarillo parduzco (10 YR 6/6) con motas de color rojo (2.5 YR 4/8) prominentes, finas, muy finas y medias, consistencia en muy húmedo, pegajoso y plástico, textura al tacto, arcillo-arenoso, pedregosidad ligera de 2mm – 1.5 cm redondas de materiales diversos en diferente estado de intemperismo, poros, frecuentes, micros, muy finos, continuos, caóticos, dentro y fuera de los agregados, tubulares, estructura fuertemente desarrollada, en bloques subangulares, finas y medias, raíces, pocas y finas, cutanes por eluviación, continuos, moderadamente espesos en caras de agregados y en poros y canales de raíces de minerales de arcillosos con óxidos de hierro; nódulos, frecuentes, muy pequeños, rojos, prismáticos, angulares, blandos de óxido de hierro; permeabilidad moderada, nula reacción al HCl y nula reacción al peróxido de hidrogeno; pH 5.	
	C (119-150) cm	Humedad, húmedo, color de matriz amarillo parduzco (10YR 6/6) con motas de color rojo (2.5YR 4/8), prominentes, finas, muy finas y medias, consistencia cuando muy húmedo, pegajoso y plástico, textura al tacto, arcillo-arenoso, pedregosidad ligera de 2 mm – 1.5 cm redondas de materiales diversos en diferente estado de intemperismo, poros, frecuentes, micros y muy finos, continuos, caóticos, dentro y fuera de los agregados, tubulares, estructura, fuertemente desarrollado, bloques subangulares, finas y medias, raíces, pocas finas, cutanes, por eluviación, continuas, moderadamente espesos, en caras de agregados y poros y canales de raíces, de minerales de arcillosos con óxidos de hierro; nódulos, frecuentes, muy pequeños, rojos, prismáticos, angulares, blandos, de óxido de hierro, permeabilidad moderada, nula reacción al HCl y nula reacción al peróxido de hidrogeno; pH 5.	

Horizontes	pH(H <sub>2</sub> O) rel. 1:2	MO	Nt	P	K	Ca	Mg	Na	CIC	CICa	Arcilla	Limo	Arena	Textura
		(%)	(%)	mg kg <sup>-1</sup>	Cmol (+) kg <sup>-1</sup>				(%)					
A1	4.61	3.69	0.15	2.59	0.08	0.09	0.12	0.03	6.88	29.91	23	19	58	Migajón arcillo arenoso
A2	4.67	2.93	0.09	1.01	0.06	0.07	0.14	0.03	4.92	19.68	25	18	57	Migajón arcillo arenoso
Bt1	4.48	0.78	0.03	0.43	0.05	1.07	0.17	0.11	4.43	12.66	35	15	50	Migajón arcillo arenoso
Bt2	4.63	0.60	0.03	0.58	0.04	1.09	0.31	0.02	4.43	11.36	39	16	45	Arcilla arenosa
C	4.62	0.30	0.02	0.22	0.04	0.62	0.33	0.07	3.20	7.44	43	19	38	Arcilla

Fuente: Castillo *et al.*, 2014 (Acrisol Cutánico Umbrico (Férrico,Hiperdístico) ACctum(frhd)); Actualizado.

## Anexo 12. Perfil 11 (T1P1): Ferric Acrisol (Loamic, Cutanic)

**Fecha:** 15/02/2014  
**Localización:** 0436465-1983074  
**Localidad:** R/a. El Suspiro (Hilario Ribón)  
**Elevación:** 20 msnm  
**Relieve:** Lomerío ligeramente ondulado  
**Pendiente:** 1%  
**Drenaje superficial:** normal  
**Drenaje del perfil:** bien drenado  
**Material parental:** Sedimentos de arena-limo del Cuaternario Pleistoceno  
**Flora cultivada:** pradera de pasto humidícola introducido  
**Flora nativa:** pochote  
**Fauna:** ganado vacuno de cría con pastoreo rotacional  
**Manto freático:** no presente  
**Observaciones:** lluvia anterior



Perfil 11		Horizontes (cm)		Descripción del perfil												
		A1 (0-(27-37)) cm		Transición ondulada y tenue; húmedo; color de la matriz 5YR 2.5/1 Negro; sin presencia de motas; textura migajón limosa; estructura moderadamente desarrollada de forma en bloques subangulares de tamaño fina y muy finas; consistencia en húmedo friable y en muy húmedo ligeramente pegajoso y ligeramente plástico; cutanes por eluviación, continuos, delgados en cara de agregados y poros de minerales arcillosos con humus; poros numerosos, finos y muy finos, continuos, caóticos, dentro de agregados y fuera de agregados, tubulares; permeabilidad rápida; raíces comunes, finas y delgadas; fauna presencia de lombrices, coleópteros y arañas; pH 5.0.												
		A2-B (27-37)-(37-57)) cm		Transición ondulada y tenue; húmedo; color de la matriz 10 YR 6/8 Amarillo Parduzco; motas marcadas, comunes, muy finas, finas y medias color 10YR 2/1 Negro; textura migajón arenoso; pedregosidad muy pocas gravas redondeadas de cuarzo; estructura moderadamente desarrollada de forma de bloques subangulares de tamaño muy finos y medios; consistencia en húmedo friable y en muy húmedo ligeramente pegajoso y plástico; cutanes por eluviación, continuos, delgados en cara de agregados y poros de minerales arcillosos con óxidos de hierro; poros numerosos, finos y muy finos, continuos, caóticos, dentro y fuera de agregados, tubulares; permeabilidad rápida; raíces comunes, finas y delgadas; fauna presencia de lombrices, coleópteros y arañas; pH 5.0.												
		Bt ((47-57)-92)cm		Transición media y horizontal; húmedo; color de la matriz 10 YR 6/8 Amarillo Parduzco; motas marcadas, comunes, finas y medias color 2.5 YR 4/6 rojo; textura arcillo arenoso; pedregosidad muy pocas gravas redondeadas de cuarzo; estructura moderadamente desarrollada de forma de bloques subangulares de tamaño finos y medios; consistencia en húmedo friable y en muy húmedo ligeramente pegajoso y plástico; cutanes por eluviación, continuos, espesos en cara de agregados de minerales arcillosos con óxidos de hierro; poros frecuentes, finos y muy finos, continuos, caóticos, dentro y fuera de agregados, tubulares; permeabilidad moderada; raíces pocas, finas y delgadas; pH 5.0.												
		C (92-140) cm		Húmedo; color de la matriz 40% 10R 4/8 rojo, 40% 10YR 6/6 amarillo parduzco, 20% 10R 7/1 ligeramente grisáceo; textura arcillo arenoso; pedregosidad muy pocas gravas redondeadas de cuarzo; estructura fuertemente desarrollada de forma de bloques subangulares de tamaño medios y finos; consistencia en húmedo firme y en muy húmedo ligeramente pegajoso y plástico; cutanes por eluviación, continuos, espesos en cara de agregados de minerales arcillosos con óxidos de hierro; nódulos pocos, muy pequeños, rojos, prismáticos angulares, blandos de óxidos de hierro; poros frecuentes, finos y muy finos, continuos, caóticos, dentro y fuera de agregados, tubulares; permeabilidad moderada; raíces raras, finas y delgadas; pH 4.0.												
Horizontes	pH(H <sub>2</sub> O) rel. 1:2	Da g cm <sup>-3</sup>	MO	Nt	P	K	Ca	Mg	Na	CIC	Al int	CICa	Arcilla	Limo	Arena	Textura
			(%)	(%)	mg kg <sup>-1</sup>											
			Cmol (+) kg <sup>-1</sup>													
			%													
A1	4.85	1.26	2.74	0.04	6.76	0.08	0.69	0.39	0.09	6.29	0.62	31.45	20	36	44	Franco
A2	5.15	1.40	1.00	0.01	2.25	0.04	0.57	0.48	0.08	5.24	0.62	47.65	11	31	58	Migajón arenoso
Bt	5.3	1.45	0.67	0.01	0.99	0.05	0.47	0.47	0.08	3.67	0.42	40.76	9	33	58	Migajón arenoso
C	5.08	1.22	0.53	0.01	0.42	0.05	0.75	1.02	0.09	8.39	0.52	36.46	23	19	58	Migajón arcillo arenoso

### Anexo 13. Perfil 12 (T1L1): Chromic Acrisol (Clayic, Cutanic)

**Fecha:** 14-Oct-2014  
**Describió:** Sofia Tinal Ortiz, Dr. David J. Palma López, Mirna Alexis Vázquez, Álvaro Felipe García Jiménez.  
**Localidad:** Laguna los Limones  
**Localización UTM:** 0448393-1970130  
**Elevación:** 26 msnm  
**Relieve:** Ligeramente ondulado  
**Pendiente:** 1%  
**Drenaje superficial:** normal  
**Drenaje del perfil:** Bien drenado  
**Material parental:** Sedimentos de arena-limo del Cuaternario Pleistoceno  
**Vegetación nativa:** Pastizal  
**Flora cultivada:** Limón  
**Observaciones:** terreno sin laboreo, sin presencia de grietas



Perfil 12		Horizontes (cm)		Descripción del perfil												
	Ap (0-25) cm	Transición horizontal y tenue, ligeramente seco; textura migajón arenoso; color de la matriz negro (10YR 2/1); estructura fuertemente desarrollada, bloques subangulares muy finas y fina; consistencia cuando muy húmedo ligeramente plástico y pegajoso; poros numerosos, micros muy finos y finos continuos caóticos dentro y fuera de los agregados y tubulares; permeabilidad rápida; raíces finas, delgadas y medias, fauna lombrices, hormigas y termitas; cutanes por eluviación moderadamente espesos continuos en paredes de agregados de minerales arcillosos y humus, pH de 5; observaciones restos de carbonos en los primero 10cm.														
	A2 (25-44) cm	Transición horizontal y tenue; ligeramente seco; color matriz pardo amarillento obscuro (10YR 3/6; textura migajón arcillo limoso; motas marcadas, comunes y finas de 2 a 5m, color negro (10YR 2/1); consistencia cuando muy húmedo ligeramente plástico y pegajoso; estructura moderadamente desarrollada en bloques subangulares finas y medias; pedregosidad muy pocas, gravas y redondeadas; poros numerosos, micros muy finos y finos continuos caóticos dentro y fuera de los agregados y tubulares; permeabilidad rápida; raíces comunes finas delgadas; cutanes por eluviación espesos, continuos de minerales arcillosos con óxido de hierro y humus; fauna lombrices, hormigas y termitas, pH de 5; observaciones evidencia de carbón.														
	Bt1 (44-88) cm	Transición horizontal y tenue; húmedo; color matriz rojo (2.5YR 4/8); textura arcillo limoso, moteado tenues, marcadas, pocas y muy finas, gris rojizo oscuro (5YR 4/2); consistencia cuando muy húmedo pegajoso y muy plástico; estructura fuertemente desarrollada en bloques angulares y subangulares finas y medias; cutanes por eluviación, espesos, continuos, en caras de agregados, en poros grandes de minerales arcillosos con óxido de hierro; pedregosidad ligeramente, con gravas pequeñas y medianas redondeadas de diferente materiales diversos; poros frecuentes, micros muy finos, finos y medios, continuos, caóticos dentro y fuera de los agregados, tubulares; cutanes por eluviación, espesos, continuos en caras de agregados y poros grandes de minerales arcillosos con óxido de hierro; permeabilidad moderada; raíces pocas finas y delgadas, pH de 4.5.														
	Bt2 (88-115) cm	Transición horizontal y tenue; húmedo; color de la matriz rojo (2.5YR 5/8); textura arcillo limoso; motas marcadas, pocas y finas amarillo pardusco (10YR 6/8); consistencia cuando muy húmedo pegajosa y muy plástica; estructura fuertemente desarrollada en bloques angulares y subangulares finas; cutanes por eluviación, espesos, continuos en caras de agregados y poros grandes de minerales arcillosos con óxido de hierro; pedregosidad ligeramente, con gravas y piedras pequeñas y medianas redondeadas de diferente materiales diversos; poros frecuentes, micros muy finos, finos y medios, continuos, caóticos dentro y fuera de los agregados, tubulares;; permeabilidad moderada; raíces pocas finas; pH de 5.														
	C (115-145) cm	Transición horizontal y tenue; húmedo; color matriz rojo (10R 4/8); textura arcillo limoso; moteado prominente, mucha, medias y grandes, amarillo (10YR 7/6); consistencia cuando muy húmedo pegajosa y plástica; estructura moderadamente desarrollada, bloques subangulares y angulares, muy finos y finos; cutanes por eluviación, continuos, en poros grandes y paredes de agregados minerales con óxido de hierro; pedregosidad ligeramente, con gravas y piedras pequeñas y medianas redondeadas de diferente materiales diversos; poros frecuentes, micros muy finos, finos, continuos, caóticos dentro y fuera de los agregados, tubulares; permeabilidad moderada; raíces muy raras y finas; pH de 5.														
Horizontes	pH(H <sub>2</sub> O) rel. 1:2	Da g cm <sup>-3</sup>	MO (%)	Nt	P mg kg <sup>-1</sup>	K	Ca	Mg	Na	CIC	Al int	CiCa	Arcilla	Limo %	Arena	Textura
Ap	5.12	1.15	6.02	0.11	3.10	0.17	2.57	0.62	0.19	11.01	0.52	35.50	31	25	44	Migajón arcilloso
A2	5.33	1.18	2.01	0.03	0.70	0.07	1.45	0.39	0.04	4.72	0.21	17.47	27	17	56	Migajón arcillo arenoso
Bt1	4.76	1.06	1.00	0.02	1.41	0.10	0.82	0.44	0.07	6.81	0.73	15.85	43	15	42	Arcilla
Bt2	4.77	1.03	0.74	0.02	0.28	0.12	0.62	0.52	0.07	3.67	1.15	7.49	49	13	38	Arcilla
C	4.78	1.04	0.40	0.01	0.28	0.14	0.40	0.83	0.05	3.67	1.46	7.64	48	12	40	Arcilla arenosa