

**Evaluación de la pérdida de suelo por erosión
en el cultivo de macadamia (*Macadamia
integrifolia*), finca Mocá Grande,
Suchitepéquez, Guatemala**

Violeta Beatriz Meléndez Rivera

Zamorano, Honduras

Noviembre, 2011

ZAMORANO
CARRERA DE DESARROLLO SOCIOECONÓMICO Y AMBIENTE

**Evaluación de la pérdida de suelo por erosión
en el cultivo de macadamia (*Macadamia
integrifolia*), finca Mocá Grande,
Suchitepéquez, Guatemala**

Proyecto especial de graduación presentado como requisito parcial para optar
al título de Ingeniera en Desarrollo Socioeconómico y Ambiente en el
Grado Académico de Licenciatura

Presentado por

Violeta Beatriz Meléndez Rivera

Zamorano, Honduras

Noviembre, 2011

**Evaluación de la pérdida de suelo por erosión
en el cultivo de macadamia (*Macadamia
integrifolia*), finca Mocá Grande,
Suchitepéquez, Guatemala**

Presentado por:

Violeta Beatriz Meléndez Rivera

Aprobado:

Gloria Arévalo, M.Sc.
Asesora principal

Arie Sanders, M.Sc.
Director
Carrera de Desarrollo
Socioeconómico y Ambiente

Carlos Gauggel, Ph.D.
Asesor

Raúl Espinal, Ph.D.
Decano Académico

RESUMEN

Meléndez Rivera, V. B. 2011. Evaluación de la pérdida de suelo por erosión en el cultivo de macadamia (*Macadamia integrifolia*) finca Mocá Grande, Suchitepéquez, Guatemala. Proyecto especial de graduación del programa de Ingeniería en Desarrollo Socioeconómico y Ambiente, Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano. Honduras. 32 p.

La erosión es un problema que está afectando la producción de los cultivos en diversas áreas, debido no solo que se arrastran sedimentos si no también nutrientes, perdiendo así gran parte del horizonte superficial. Esta situación causa deterioro de tierra fértil que repercute en la necesidad de mayor espacio para siembra de cultivos cada vez más limitado. En la actualidad se han realizado esfuerzos para reducir la erosión. Para contribuir con los avances en esta área se realizó un estudio de suelos en la finca Mocá Grande ubicada en Suchitepéquez, Guatemala. Se determinaron las características físicas, y químicas del suelo bajo el cultivo de macadamia (*Macadamia integrifolia*), al igual que se identificaron y midieron los indicadores de pérdidas de suelo (pedestales de erosión y cárcavas). En el estudio se determinó que el suelo tiene alto contenido de materia orgánica, con predominio de texturas gruesas, densidad aparente baja (0.84 t/m^3) típico de suelos volcánicos y se clasificaron los suelos según la taxonomía americana como Typic Hapludands grueso el cual fue dominante y Typic Hapludands Franco/grueso. Mediante indicadores se determinó la pérdida de suelo de 1.1 t/ha por pedestales de erosión y 42.5 t/ha/ por cárcavas. Se realizó la estimación de la pérdida de suelo actual mediante la ecuación universal de pérdida de suelo en 27.40 t/ha/año combinando los factores que causan la pérdida se estimó que las pérdidas pueden disminuir hasta llegar a 0.60 t/ha/año, con el establecimiento de prácticas de conservación en el suelo como terrazas de base ancha para disminuir el porcentaje y longitud de la pendiente, sembrar barreras vivas y establecer cobertura en el suelo, desde el inicio de la siembra de los cultivos.

Palabras clave: Cárcavas, degradación del suelo, pedestales por erosión.

CONTENIDO

Portadilla	i
Página de firmas	ii
Resumen	iii
Contenido	iv
Índice de cuadros, figuras y anexos	v
1. INTRODUCCIÓN.....	1
2. MATERIALES Y MÉTODOS.....	3
3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	9
4. CONCLUSIONES.....	20
5. RECOMENDACIONES.....	21
6. LITERATURA CITADA.....	22
7. ANEXOS.....	24

ÍNDICE DE CUADROS, FIGURAS Y ANEXOS

Cuadros	Página
1. Suelos por familia textural a diferentes profundidades en el lote en el lote El Rastrojo, finca Mocá Grande, Suchitepéquez, Guatemala.	10
2. Textura y tamaños de arenas, densidad real y aparente, porcentaje de humedad y porosidad del primer horizonte de las ocho calicatas realizadas en el lote El Rastrojo, finca Mocá Grande, Suchitepéquez, Guatemala.	11
3. pH y Materia Orgánica del primer horizonte de ocho calicatas, en el lote El Rastrojo, finca Mocá Grande, Suchitepéquez, Guatemala.	11
4. Caracterización de unidad de suelos por pendiente del Lote El Rastrojo, finca Mocá Grande, Suchitepéquez, Guatemala.....	13
5. Determinación del factor K en la Ecuación Universal de pérdida de suelo, de las unidades de suelo en el lote el rastrojo, finca Mocá Grande, Suchitepéquez, Guatemala.....	14
6. Pérdida de suelo (t/ha/año bajo) bajo condición actual de manejo del lote el rastrojo, finca Mocá Grande, Suchitepéquez, Guatemala.	15
7. Pérdida de suelo (t/ha/año bajo) bajo el estableciendo de cobertura en la gotera del árbol en el lote el rastrojo, finca Mocá Grande, Suchitepéquez, Guatemala.....	16
8. Pérdida de suelo (t/ha/año bajo) bajo el estableciendo de terrazas de base ancha para reducir el factor LS en el lote el rastrojo, finca Mocá Grande, Suchitepéquez, Guatemala.....	16
9. Pérdida de suelo (t/ha/año bajo) bajo la combinación de cobertura factor (C) y el factor (LS) en el lote el rastrojo, finca Mocá Grande, Suchitepéquez, Guatemala. ...	17
10. Pérdida de suelo (t/ha/año bajo) bajo el establecimiento de prácticas de conservación (P), en el lote el rastrojo, finca Mocá Grande, Suchitepéquez, Guatemala.....	17
11. Pérdida de suelo (t/ha/año bajo) estableciendo combinación con obras factor (LS) y prácticas de conservación (P), en el lote el rastrojo, finca Mocá Grande, Suchitepéquez, Guatemala	18
12. Pérdida de suelo (t/ha/año bajo) estableciendo combinación con cobertura en el suelo (C) y prácticas de conservación (P), en el lote el rastrojo, finca Mocá Grande, Suchitepéquez, Guatemala.....	19
13. Pérdida de suelo (t/ha/año bajo) estableciendo combinación con cobertura (C), factor (LS) y prácticas de conservación (P), en el lote el rastrojo, finca Mocá Grande, Suchitepéquez, Guatemala.....	19

Figuras	Página
1. Ubicación de la finca Mocá Grande (costa sur de Suchitepéquez, Guatemala).	3
2. Distribución de Barrenaciones. Lote El Rastrojo, finca Mocá Grande, Suchitepéquez, Guatemala.	4
3. Distribución de Calicatas. Lote El Rastrojo, finca Mocá Grande, Suchitepéquez, Guatemala.	5
4. Distribución de suelos por familias texturales bajo cultivo de macadamia, lote El Rastrojo finca Mocá Grande, Suchitepequez, Guatemala.	9
5. Ubicación de calicatas con mayor y menor porcentaje de materia orgánica en el lote El Rastrojo, finca Mocá Grande, Suchitepequez, Guatemala. Fuente: Google Earth (2011), adaptado por la autora.	12
6. Ubicación de lugares con evidencias de procesos de erosión por pedestales en el lote El Rastrojo Finca Mocá Grande, Suchitepéquez, Guatemala.	12
7. Distribución de cárcavas, lote El Rastrojo Finca Mocá Grande, Suchitepéquez, Guatemala.	13

Anexos	Página
1. Mapa finca Mocá Grande, Suchitepéquez, Guatemala (1,683.80 ha), área de estudio 17 ha.	24
2. Coordenadas de perímetro, barrenaciones y calicatas. Lote El Rastrojo, finca Mocá Grande, Suchitepéquez, Guatemala.	25
3. Descripción de las Calicatas. Lote El Rastrojo, finca Mocá Grande, Suchitepéquez, Guatemala.	26
4. Calicatas realizadas en el Lote El Rastrojo, finca Mocá Grande, Suchitepéquez, Guatemala.	31
5. Indicadores de procesos erosivos. Lote El Rastrojo, finca Mocá Grande, Suchitepéquez, Guatemala.	32

1. INTRODUCCIÓN

La degradación de la tierra se define generalmente como la disminución temporal o permanente en la capacidad para producir (Stocking y Mumaghan 2001). En los últimos años la degradación de la tierra se ha vuelto un factor ambiental relevante en el mundo ya que todos somos parte de la tierra y necesitamos de ella para poder subsistir. Los suelos que tardaron siglos en formarse, se están perdiendo (García-Chevesich 2008) por ello es necesario realizar estudios para identificar la magnitud de este problema mundial y tomar acciones sobre ellos.

La erosión del suelo es un proceso el cual consta de dos fases: primero se da un desprendimiento de partículas individuales de la masa del suelo y luego el transporte por los agentes que producen la erosión (Morgan 1996).

Actualmente en Guatemala existe la pérdida de tierra fértil causada por erosión; se han perdido 149 millones de TM de suelo (MARN 2011). Por ello se realizó un estudio para conocer las características de los suelos de la zona, conocer su potencial de erosión y contribuir implementando prácticas de conservación para disminuir las pérdidas y mantener los suelos fértiles para siembra de cultivos.

Existen indicadores de pérdida de suelo como: pedestales de erosión y cárcavas. Un pedestal es una columna de suelo que queda en pie a partir de la superficie erosionada circundante, protegida en su parte superior por una capa de material resistente y cárcava es una depresión profunda, canal o barranco en un paisaje, semejando una superficie reciente y muy activa para drenaje natural (Stocking y Mumaghan 2001).

Las tierras agrícolas se vuelven gradualmente menos productivas por cuatro razones principales: degradación de la estructura del suelo, disminución de la materia orgánica, pérdida del suelo y pérdida de nutrientes. Estos son efectos que se producen por el uso y manejo inadecuado del suelo y por la acción acelerada de la erosión (Bertoni y Lombardi 1985).

El cultivo de macadamia (*Macadamia integrifolia*) de la familia Proteaceae, es una nuez que contiene 78 % de aceite, el cultivo es nativo de Australia. Crece a una temperatura ideal de 15°C y no más de 35 °C, si no está bajo estas condiciones se reduce la vegetación de la planta e incrementa prematuramente el crecimiento de la nuez sin que esta se encuentre finalmente formada. Esta nuez prefiere notablemente los suelos con alta porosidad (O´Hare 2004).

Se ha identificado la erosión como un factor determinante de degradación del suelo en el cultivo de macadamia (*Macadamia integrifolia*). Contribuye a este fenómeno la ubicación de la plantación, ya que se encuentra a seis kilómetros de las laderas del volcán Atitlán. En el lugar se genera una precipitación promedio anual de 4,700 mm según recopilación de datos con que cuenta la finca, las tormentas son fuertes y prolongadas las cuales causan estragos en el suelo y en el cultivo, por ello el estudio se desarrolló bajo los siguientes objetivos:

- Evaluar la pérdida de suelo por erosión bajo el cultivo de macadamia en terrenos cercanos al volcán Atitlán, Guatemala.
- Cuantificar la magnitud de la erosión del suelo mediante indicadores de campo.
- Calcular la magnitud de la erosión bajo las condiciones de la Finca Mocá Grande en el cultivo de macadamia mediante la Ecuación Universal de pérdida de suelo.
- Recomendar obras de conservación para el control de la erosión.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

El lugar donde se realizó la toma de datos para el estudio fue en la finca Mocá Grande, ubicada en el municipio de Santa Bárbara, Suchitepéquez, Guatemala (Figura 1). La finca cuenta con 1,683.80 ha de terreno bajo cultivo de café, macadamia y quina (Anexo 1). El terreno donde se realizó el estudio se encuentra bajo el cultivo de macadamia del cual existen 109.50 ha en total.

Se eligió el lote “El Rastrojo” para la toma de datos y realización del estudio, el lote cuenta con 17 ha, se encuentra localizado entre 700 y 800 msnm. En el lugar se cuenta con una temperatura promedio de 25 °C. La precipitación anual promedio es de 4700 mm distribuida en todo el año (finca Mocá Grande 2011).

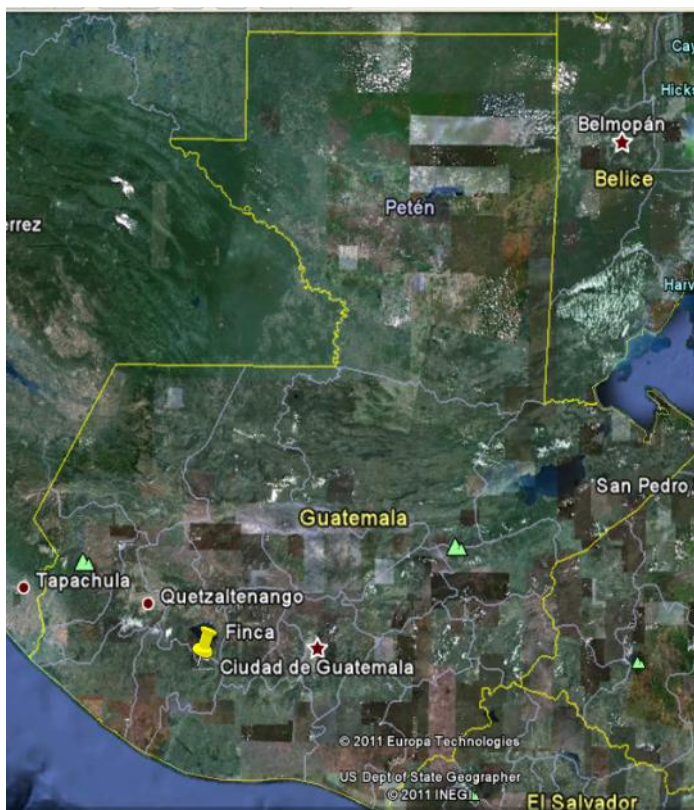


Figura 1. Ubicación de la finca Mocá Grande (costa sur de Suchitepéquez, Guatemala).
Fuente: Google Earth (2011), adaptado por la autora.

El estudio se desarrolló en las siguientes fases: Estudio de suelos en campo, identificación de evidencias de procesos erosivos (Stocking y Mumaghan 2001), determinación de propiedades físicas y químicas en el laboratorio de suelos, estimación de pérdida de suelo mediante la Ecuación universal (USLE) y recomendación de prácticas de conservación.

Estudio de suelos en campo. Para tener un programa de análisis de suelos se debe contar con una muestra que sea representativa del área de estudio (Peterson y Calvin 1986). Por ello se realizaron 36 barrenaciones distribuidas en toda el área en forma de cuadrícula (Figura 2), con un barreno oakfield (Arévalo y Gauggel 2009). Las barrenaciones se realizaron hasta una profundidad de 30 cm, en cada una se referenció altura sobre el nivel del mar (Anexo 2) y cobertura en todas las barrenaciones. Además se identificó la textura.

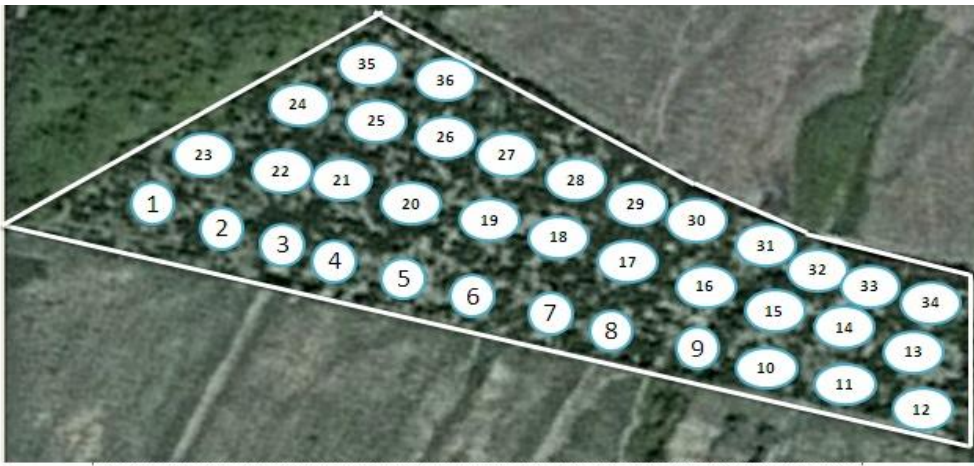


Figura 2. Distribución de Barrenaciones. Lote El Rastrojo, finca Mocá Grande, Suchitepéquez, Guatemala.

Fuente: Google Earth (2011), adaptado por la autora.

Basado en los resultados de las barrenaciones se realizó el mapa de distribución de suelos, y con los resultados se determinó realizar ocho calicatas con dimensiones de 1 m × 1 m, por la profundidad que se encontrase (Figura 3). En cada calicata se midió la pendiente del terreno por el método de la cuerda (Arévalo y Gauggel 2009). Se describieron las características representativas de la unidad de suelo ubicadas según su representatividad pendiente del terreno y familia textural. En cada calicata se describió: ubicación, uso de la tierra, pendiente, altura sobre el nivel del mar, número de horizontes, profundidad de cada uno y en cada horizonte se determinaron las características físicas: textura determinada al tacto, estructura, consistencia en mojado, húmedo y seco, raíces (abundancia y tamaño), porosidad (abundancia, clase y tamaño), penetración (estimada con cuchillo), horizontes por topografía y nitidez (Arévalo y Gauggel 2009).



Figura 3. Distribución de Calicatas. Lote El Rastrojo, finca Mocá Grande, Suchitepéquez, Guatemala.

Fuente: Google Earth (2011), adaptado por la autora.

Basado en las características físicas del suelo se identificaron características diagnósticas: régimen de humedad y temperatura, horizontes diagnósticos superficial (epipedon) y sub-superficial (endopedon), con ello se realizó la clasificación taxonómica (USDA 2006).

Identificación y medición de procesos erosivos. Se recorrió el área (17 ha) buscando evidencias de procesos de erosión como pedestales y cárcavas; una vez identificados se procedió a ubicar su distribución y se cuantificó la magnitud de las evidencias. Se midieron diez unidades de pedestales, en cada uno se midió el área de cada sección de pedestales, número de pedestales y altura promedio según Stocking y Mumaghan 2001. Se calculó el volumen de suelo perdido (m^3) mediante la siguiente ecuación:

$$\text{Volumen de suelo perdido (m}^3\text{)} = ap \times a \quad [1]$$

Donde:

Ap = altura promedio de los pedestales (m)

a = área (m^2)

El volumen de suelo en t/ha se calculó:

$$\text{Volumen de suelo perdido } \frac{t}{ha} = V \times 13 \quad [2]$$

Donde:

V = volumen (m^3)

13= constante

En las cárcavas se calculó el volumen de suelo perdido mediante la medición de ancho superior e inferior, largo y profundidad medida en cada sitio donde hubiera presencia de cárcavas y se estimó el volumen según la ecuación [3] Stocking y Mumaghan 2001.

$$\text{Volumen de suelo perdido (m}^3\text{)} = 0.5 (as + ai) \times l \quad [3]$$

Donde:

Volumen: suelo perdido en m³

0.5= constante

as= ancho superior (m)

ai= ancho inferior (m)

l= largo m

La lámina de suelo en metros se obtuvo con la ecuación [4]:

$$\text{Lámina de suelo (m)} = \frac{V}{A} \quad [4]$$

Donde:

V= volumen (m³)

A= área del terreno (m²)

El volumen en t/ha se obtiene con la ecuación [5]

$$V = l \times 13,000 \quad [5]$$

Donde:

V= volumen de suelo t/ha

l= lámina (m)

13,000= constante

Determinación de propiedades del suelo en el laboratorio. Se recolectaron muestras de suelo del primer horizonte de cada calicata para analizar en el laboratorio de suelos de la Escuela Agrícola Panamericana Zamorano las características químicas (pH y Materia Orgánica) y las características físicas (densidad aparente, densidad real, humedad del suelo, porosidad, textura y tamaño de arenas), (Arévalo y Gauggel 2009). Se midió el pH de cada una de las muestras en una relación 1:1 agua: suelo, al igual que la cantidad de materia orgánica, por el método de Walkley & Black con 0.5 g de suelo tamizado con malla No. 60 (0.25 mm) (Arévalo y Gauggel 2009).

Se midió la densidad aparente con una muestra de suelo disturbada; se utilizó 50 g de suelo en probetas de 100 ml (Arévalo y Gauggel 2009).

Se calculó mediante la ecuación:

$$\rho = \frac{M_{ss}}{V_{ap}} \quad [6]$$

Donde:

ρ = Densidad aparente (t/m³)

M_{ss} = masa del suelo seco (t)

V_{ap} = volumen aparente del suelo (m³)

Luego determinó la densidad real por el método de la probeta, mediante la ecuación:

$$\rho = \frac{M_{ss}}{V_r} \quad [7]$$

Donde:

ρ = Densidad real (t/m³)

M_{ss} = masa del suelo seco (t)

V_r = volumen real del suelo (m³)

Se realizaron tres repeticiones por muestra, la primera toma de datos inmediatamente, la segunda luego de dos horas y finalmente 16 horas comprobando que no hubiera variación.

Se determinó la humedad del suelo utilizando 5g, secado por 16 horas a una temperatura de 80 °C, esta humedad se tomó en cuenta para ajustar la medida de densidad real con el peso seco del suelo. A partir de los datos de densidad aparente y densidad real se calculó el porcentaje de porosidad en el suelo.

$$\text{Porcentaje de porosidad} = 100 - \frac{d_{ap} \times 100}{d_r} \quad [8]$$

Donde:

d_{ap} : densidad aparente

d_r : densidad real

Para determinar texturas se utilizó el método de Boyoucus con 50 g de suelo en probetas de 1,000 ml (Arévalo y Gauggel 2009). Se determinaron los tamaños de arenas, se utilizaron cinco tamices de diferente medida¹ (No. 10, No. 40, No. 60, No. 100, No. 200), para separar las arenas de la siguiente manera: arena muy gruesa, arena gruesa, arena media, arena fina y muy fina.

¹ Análisis de Laboratorio de Suelos. Escuela Agrícola Panamericana Zamorano. Honduras.

Aplicación de la ecuación universal de pérdida de suelo. Se estimó la pérdida de suelo mediante la Ecuación Universal de Pérdida de Suelos EUPS o USLE por sus siglas en inglés (Wishmeir y Smith 1978).

$$A = R \times K \times LS \times C \times P \quad [9]$$

Donde:

A= pérdidas causadas por erosión (t/ha/año)

R= erosividad de la lluvia (MJ/mm)/(ha/hora/año)

K= erodabilidad del suelo

LS= factor basado en longitud y porcentaje de pendiente

C= cobertura

P= prácticas de conservación

Esta ecuación pretende aislar cada uno de estos factores y reducir su efecto expresándolo en un número, con ello al final cuando se multipliquen todos los factores se pueda obtener la pérdida de suelo total (Hudson 1982).

El factor de erosividad de la lluvia (R) que se estimó en 800 (MJ/mm)/(ha/hora/año) tomando como base la precipitación media anual la cual es de 4700 mm. El factor K erodabilidad, toma en cuenta el contenido de: limo más arena fina, materia orgánica, porcentaje de arena, estructura y permeabilidad del suelo. El factor LS el cual se calculó a través del nomograma (Landon 1991), pendiente y longitud del terreno, utilizando el valor correspondiente en cada unidad de suelo (Arévalo y Gauggel 2009). Factor C es el factor de cobertura del suelo y el factor P son prácticas de conservación.

Escenarios de pérdida de suelo. Se calcularon ocho escenarios para determinar la cantidad de suelo perdido y establecer prácticas de conservación diferentes y combinadas: (1) refleja la situación actual del terreno, (2) se calculó teniendo cobertura en el suelo la cual disminuye el factor C, (3) se calculó corrigiendo el factor LS, (4) se combinó el resultado del escenario dos y tres (C y LS), (5) se estimó el factor P, (6) se combinó el escenario tres y cinco (LS y P), (7) combinación de factor de cobertura y prácticas de conservación (C y P), (8) escenario final combina todos los factores (C, LS y P).

Al final de la toma de datos, se calculó la pérdida de suelo actual y potencial según los ocho escenarios propuestos en el cultivo de macadamia y se interpretaron los resultados, se propuso prácticas de control según la magnitud de avance de erosión en la finca y según las necesidades con la que el cultivo cuenta.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Después de realizar el análisis de suelos y determinar las texturas se realizó la distribución de suelos donde las texturas dominantes son texturas gruesas: Arena franca y arena (g) y texturas medias M (Franco Arenosa) (Figura 4).

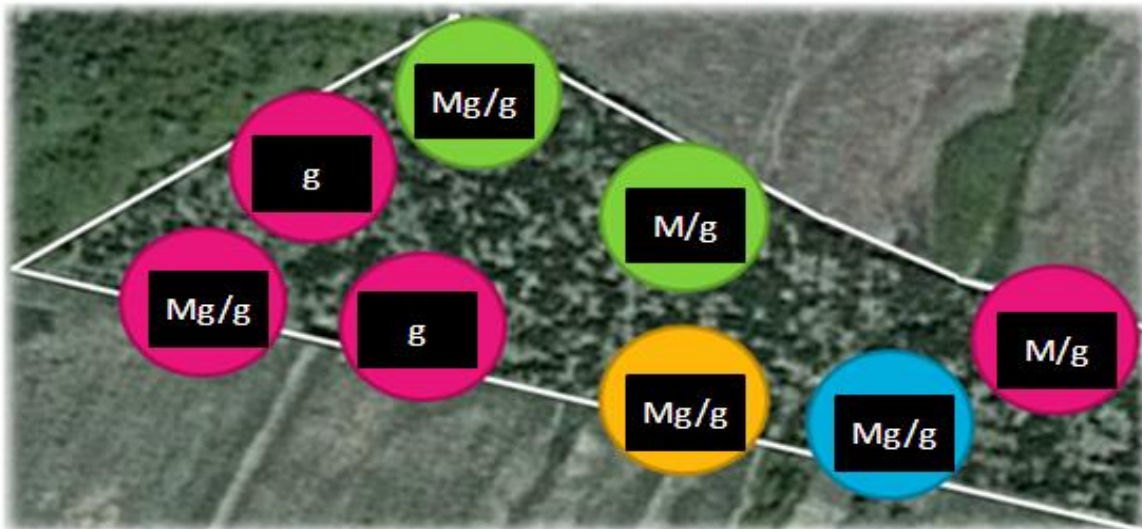


Figura 4. Distribución de suelos por familias texturales bajo cultivo de macadamia, lote El Rastrojo finca Mocá Grande, Suchitepequez, Guatemala.

Fuente: Google Earth (2011), adaptado por la autora.

Las texturas identificadas en cada calicata muestran uniformidad de la textura, dominando las texturas gruesas: arena franca (AF) y arena (A) con algunas variaciones. La sucesión de texturas a diferentes profundidades, determinó las familias texturales dominando la familia gruesa con arena hasta 90 cm, seguido por texturas medias/arena hasta 60 cm, texturas gruesas a profundidad mayor de 60 cm y texturas arenosas en todo el perfil (Cuadro 1).

Cuadro 1. Suelos por familia textural a diferentes profundidades en el lote en el lote El Rastrojo, finca Mocá Grande, Suchitepéquez, Guatemala.

Familia textural	^h Texturas a diferentes profundidades (cm)				Calicata
	00-30	30-60	60-90	>90	
^γ (M)/ ^{&} g	F	FA	AF	A	1
	FA	FA	AF	AF	3
	FA	AF	AF	AF	2
	FA	FA	AF	AF	4
(Mg)/(g)	FA	FA	AF	AF	5
	FA	FA	AF	A	7
g	AF	AF	AF	A	6
	AF	AF	AF	AF	8

^γ M: agrupa texturas medias: franco (F), Franco arenoso (FA); [&] g: agrupa texturas gruesas Arena franca (AF), arena (A). La profundidad de cada familia textural se establece: ((00-30)/(30-60))/(60-90)/(>90cm)

^h: textura predominante a igual profundidad.

Clasificación taxonómica: Las características diagnósticas de los suelos del área de estudio en la finca Mocá Grande en el Lote “El Rastrojo” bajo cultivo de macadamia son:

- El régimen de temperatura es Iso-hipertérmico ya que la temperatura promedio es mayor a 22 °C.
- Régimen de humedad Udico ya que el suelo no se seca más de 90 días y la precipitación es mayor a la evapotranspiración.
- El horizonte diagnóstico superficial (epipedón) es ocrico (cuenta con alto contenido de materia orgánica, pero el horizonte superior no tiene más de 18 cm de espesor para ser un horizonte Mólico.
- Horizonte diagnóstico (endopedón) es cambico ya que evidenciada por cambios de color, textura, estructura y otras propiedades que no presenta evidencias de traslocación.

De acuerdo a estas características los suelos se clasifican como: Typic Hapludands grueso y Typic Hapludands Franco/grueso.

La densidad aparente en estos suelos es baja con un promedio de 0.84 t/m³ típico de suelos volcánicos (USDA 2006), alto porcentaje de arena de tamaño muy gruesa, humedad promedio de 17 % y porosidad promedio de 45 % (Cuadro 2).

Cuadro 2. Textura y tamaños de arenas, densidad real y aparente, porcentaje de humedad y porosidad del primer horizonte de las ocho calicatas realizadas en el lote El Rastrojo, finca Mocá Grande, Suchitepéquez, Guatemala.

Unidad de suelo	Textura %								t/m ³		%	
	Arena	amg	Ag	Am	af	amf	Limo	Arcilla	DAP	DR	Humedad	Porosidad
^μ gsp1	76	36	19	17	28	0	20	4	0.83	1.32	30	37
	74	20	19	21	39	0	22	4	0.83	1.56	16	47
[§] gsp2	76	20	25	20	36	0	20	4	0.86	1.47	22	41
	74	27	24	20	29	0	22	4	0.96	1.79	2	46
[¥] Mslp1	76	25	21	26	28	0	20	4	0.81	1.39	26	42
	66	27	26	26	21	0	30	4	0.78	1.47	18	47
^γ gslp2	60	31	23	25	21	0	34	6	0.81	1.56	13	48
	84	19	29	33	18	0	12	4	0.86	1.79	4	52

^μgsp1: textura gruesa con pendiente de 1 %, [§]gsp2: textura gruesa con pendiente de 3 %, [¥]Mslp1: texturas medias con pendiente de 7 %, ^γgslp2: textura gruesa con pendiente de 10 %. AF: arena franca, FA: franco arenoso, amg: arena muy gruesa, ag: arena gruesa, am: arena media, af: arena fina, amf: arena muy fina, DAP: Densidad Aparente, DR: Densidad real.

El pH en todo el terreno es uniforme ligeramente ácido ideal para el cultivo (O' Hare 2004). El contenido de materia orgánica en el horizonte superior varía entre 2.8 % y 16.6 %. Esta variación es preocupante ya que los suelos de origen volcánico tienen una alta afinidad con la materia orgánica y bajo contenido de ella (Cuadro 3).

Cuadro 3. pH y Materia Orgánica del primer horizonte de ocho calicatas, en el lote El Rastrojo, finca Mocá Grande, Suchitepéquez, Guatemala.

Unidad	# Muestra	pH	Materia Orgánica
^μ gsp1	1	6.04	9.7
	5	5.92	9.7
	6	6.11	9.2
	8	6.21	2.8
[§] gsp2	2	5.6	13.4
[¥] Mslp1	3	5.74	10.6
^γ gslp2	7	5.09	16.6
	4	6.12	5.2

^μgsp1: textura gruesa con pendiente de 1 %, [§]gsp2: textura gruesa con pendiente de 3 %, [¥]Mslp1: texturas medias con pendiente de 7 %, ^γgslp2: textura gruesa con pendiente de 10 %.

El contenido de materia orgánica en el primer horizonte de suelos estudiado, fluctuó entre los valores muy altos (16.6 %) (calicata siete) y valores bajos (2.8 %) (calicata ocho).

La calicata siete fue ubicada en la parte alta del terreno y la ocho en la parte más baja, lo que hace suponer pérdidas severas de materia orgánica en la parte baja del terreno principalmente por procesos de erosión (Figura 5).

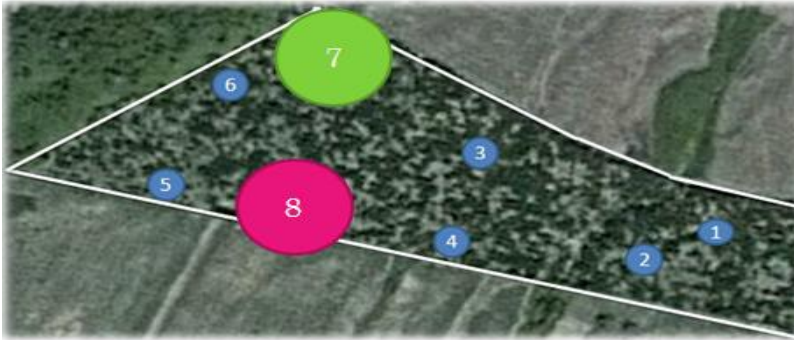


Figura 5. Ubicación de calicatas con mayor y menor porcentaje de materia orgánica en el lote El Rastrojo, finca Mocá Grande, Suchitepequez, Guatemala. Fuente: Google Earth (2011), adaptado por la autora.

Según los indicadores de pérdida de suelo el tipo de erosión reflejada fue erosión hídrica:

- Erosión laminar por presencia de pedestales de erosión, se encontraron diez cúmulos de pedestales, localizados principalmente en la zona norte del lote (Figura 6). Se determinó una altura promedio de $0.078 \text{ m} \times 13$ (constante) y se determinó una pérdida de 1.00 t/ha de suelo.



Figura 6. Ubicación de lugares con evidencias de procesos de erosión por pedestales en el lote El Rastrojo Finca Mocá Grande, Suchitepéquez, Guatemala.

Fuente: Google Earth (2011), adaptado por la autora.

- Se determinó erosión profunda por la formación de 20 cárcavas las cuales se encontraron distribuidas en la zona central del lote a partir de la calle principal (Figura 7), según Stocking y Mumaghan 2001 la formula: $558 \text{ m}^3/17,000\text{m}^2$, lámina de suelo perdido= $0.0033\text{m} \times 13,000$ (constante) se ha perdido 42.5 t/ha de suelo.



Figura 7. Distribución de cárcavas, lote El Rastrojo Finca Mocá Grande, Suchitepéquez, Guatemala.

Fuente: Google Earth (2011), adaptado por la autora.

En la actualidad en los trópicos húmedos se permite un máximo de pérdida de suelo de 14 t/ha/año (Landon 1991), aunque se pretende disminuir los niveles hasta 7 t/ha/año. Se determinó erosión laminar por pedestales, estos datos se encuentran 85 % debajo de los niveles permisibles, mientras que por formación de cárcavas se encuentra 600 % arriba de los niveles permisibles.

Ecuación Universal de Pérdida de Suelo (USLE): Con los datos de textura y pendiente se determinaron cuatro unidades de suelo para el estudio y la estimación de pérdida de suelo (Cuadro 4). Las calicatas: (1 y 6), (5 y 8), cuentan con los mismos datos de pendiente y clase textural pero varían en la ecuación universal de pérdida de suelo por los tamaños diferente de arena.

Cuadro 4. Caracterización de unidad de suelos por pendiente del Lote El Rastrojo, finca Mocá Grande, Suchitepéquez, Guatemala.

Unidad de suelo	Pendiente	Clase textural	Calicata
^μ gsp1	1	AF	1, 5, 6 y 8
[§] gsp2	3	AF	2
[¥] Mslp1	7	FA	3,7
^γ gslp2	10	AF	4

^μgsp1: textura gruesa con pendiente de 1 %, [§]gsp2: textura gruesa con pendiente de 3 %, [¥]Mslp1: texturas medias con pendiente de 7 %, ^γgslp2: textura gruesa con pendiente de 10 %.

Se modificaron los factores en la ecuación universal de pérdida de suelo de la siguiente manera:

- Factor R: Erosividad de la lluvia en función de la energía del agua, se estableció un factor de 800 (MJ/mm)/(ha/ hora/año) para todos los casos, ya que las precipitaciones son intensas y prolongadas (Landon 1991), se tiene un promedio anual de 4,700 mm (finca Mocá Grande).
- Factor K: contenido de suelo que expresa la erodabilidad. Se calculó con base en el contenido de limo más arena fina, materia orgánica, porcentaje de arena, estructura y permeabilidad del suelo, el cual es diferente para cada tipo de suelo. Se obtuvo resultados con valores entre 0.20 y 0.30 (Cuadro 5).

Cuadro 5. Determinación del factor K en la Ecuación Universal de pérdida de suelo, de las unidades de suelo en el lote el rastrojo, finca Mocá Grande, Suchitepéquez, Guatemala.

Unidad De Suelo	Textura %					E	^α P	valor K		Final
	[£] amf	limo	[£] amf limo	+ arena	% *M.O			1 aprox	2 aprox	
^μ gsp1	36	20	56	76	10	2	2	38	30	0.30
	20	22	42	74	10	2	1	33	23	0.23
	20	20	40	76	9	2	1	30	26	0.26
	27	22	49	74	3	2	1	33	27	0.27
[§] gsp2	25	20	45	76	13	2	1	26	22	0.22
[¥] Mslp1	27	30	57	66	11	2	1	23	20	0.20
	31	34	65	60	17	2	1	30	24	0.24
^γ gslp2	19	12	31	84	5	2	1	36	20	0.20

^μgsp1: textura gruesa con pendiente de 1 %, [§]gsp2: textura gruesa con pendiente de 3 %, [¥]Mslp1: texturas medias con pendiente de 7 %, ^γgslp2: textura gruesa con pendiente de 10 %. [£]amf: arena muy fina, *MO: materia orgánica. E: estructura, ^αP: permeabilidad. 1: primera aproximación del valor K, 2: segunda aproximación de K. M.O: materia orgánica.

- Factor C: El factor C actual se expresa tomando en cuenta que el suelo se encuentra cubierto con hojarasca y parte de la cosecha del cultivo de macadamia que no es recolectada. Se estableció un factor de 0.30 bajo esta condición. La gotera del árbol cubre un área aproximada de 4 m², en época de cosecha se limpia la gotera del árbol para recolectar la nuez. Se calculó pérdida de suelo disminuyendo el factor a 0.15 si se utiliza zarán con sombra al 50 %, con esto la gota de la lluvia llegará al suelo con menor intensidad ya que el zarán reducirá el tamaño de la gota en secciones pequeñas provocando menor cantidad de suelo erosionado.
- Factor LS: Bajo la condición actual se consideró la pendiente y su longitud promedio para encontrar este factor. Este factor se modificó basado en implementar terrazas de base ancha siguiendo las curvas a nivel. Las terrazas tienen como función reducir el porcentaje y longitud de la pendiente, la escorrentía y la erosión tanto laminar como en surcos, estas se deben construir en pendientes entre 2-20 %.

- Para pendiente de 1 % a una distancia de 30 m, pendiente de 3 % a 19 m, pendiente de 7 % a 14 m y pendiente de 10 % a 12 m (Landon 1991). El propósito es cortar la pendiente en segmentos y llevar el agua de escorrentía a través de un canal. Las terrazas deben tener mantenimiento tres veces al año: (antes, durante y al final de la época lluviosa).
- Factor P: Bajo condición actual no se realizan prácticas de conservación de suelos, por lo que el valor para este factor es 1. Se recomienda realizar prácticas de conservación, combinar disipadores de energía con roca para disminuir la fuerza del agua de escorrentía y pedazos de bambú (*Bambusa vulgaris*), en las cárcavas y canales de evacuación de agua. Barreras vivas siguiendo el contorno de las curvas a nivel con especies como pasto vetiver (*Vetiveria zizanioides*) y palo de agua (*Dracaena fragans*). Bajo la combinación de estas prácticas el factor P se reduce a 0.05 (Landon 1991). La siembra de barreras vivas se debe hacer a distancias variables en función de la pendiente: pendiente de 1 % se deberán realizar a una distancia de 42 m, pendiente de 3 % a 31 m, pendiente de 7 % a 18 m y pendiente de 10 % a una distancia de 15 m.

Escenarios considerados para disminuir la pérdida de suelo. Se calculó la pérdida de suelo del lote el rastrojo bajo condiciones de manejo actual, sin ningún tipo de obra de conservación. La pérdida varía en función del suelo, es menor en suelos gruesos entre (8 y 16 t/ha/año) y en suelos con texturas medias aumenta entre (42 y 73 t/ha/año), el promedio de suelo perdido en el terreno es de 27.4 t/ha/año (Cuadro 6).

Cuadro 6. Pérdida de suelo (t/ha/año bajo) bajo condición actual de manejo del lote el rastrojo, finca Mocá Grande, Suchitepéquez, Guatemala.

Unidad de Suelo	Calicata	Factores ecuación (USLE)					Pérdida de suelo t/ha/año
		R	K	LS	C	P	
^u gsp1	1	800	0.30	0.14	0.30	1.00	10.10
	5	800	0.23	0.14	0.30	1.00	7.70
	6	800	0.26	0.14	0.30	1.00	8.70
	8	800	0.27	0.14	0.30	1.00	9.10
[§] gsp2	2	800	0.22	0.31	0.30	1.00	16.40
[¥] Mslp1	3	800	0.20	0.90	0.30	1.00	43.20
^γ gslp2	7	800	0.24	0.90	0.30	1.00	51.80
	4	800	0.20	1.50	0.30	1.00	72.00

^ugsp1: textura gruesa con pendiente de 1 %, [§]gsp2: textura gruesa con pendiente de 3 %, [¥]Mslp1: texturas medias con pendiente de 7 %, ^γgslp2: textura gruesa con pendiente de 10 %. R: es el factor de erosividad de la lluvia, K: es el factor de erodabilidad del suelo expresado en toneladas, LS: factor basado en longitud y porcentaje de pendiente, C: es el factor de cobertura del suelo y el factor P son prácticas de conservación.

Al estimar la pérdida de suelo con el factor C estableciendo zarán como se indicó en la descripción se disminuye 50 % las pérdidas de suelo reduciendo hasta 13.7 t/ha/año (Cuadro 7).

Cuadro 7. Pérdida de suelo (t/ha/año bajo) bajo el estableciendo de cobertura en la gotera del árbol en el lote el rastrojo, finca Mocá Grande, Suchitepéquez, Guatemala.

Unidad De Suelo	Calicata	Factores ecuación (USLE)					P	Pérdida de suelo t/ha/año
		R	K	LS	C			
^u gsp1	1	800	0.30	0.14	0.15	1.00	5.00	
	5	800	0.23	0.14	0.15	1.00	3.90	
	6	800	0.26	0.14	0.15	1.00	4.40	
	8	800	0.27	0.14	0.15	1.00	4.50	
[§] gsp2	2	800	0.22	0.31	0.15	1.00	8.20	
[¥] Mslp1	3	800	0.20	0.90	0.15	1.00	21.60	
	7	800	0.24	0.90	0.15	1.00	25.90	
^γ gslp2	4	800	0.20	1.50	0.15	1.00	36.00	

^ugsp1: textura gruesa con pendiente de 1 %, [§]gsp2: textura gruesa con pendiente de 3 %, [¥]Mslp1: texturas medias con pendiente de 7 %, ^γgslp2: textura gruesa con pendiente de 10 %. R: es el factor de erosividad de la lluvia, K: es el factor de erodabilidad del suelo expresado en toneladas, LS: factor basado en longitud y porcentaje de pendiente, C: es el factor de cobertura del suelo y el factor P son prácticas de conservación.

Al implementar la construcción de terrazas de base ancha estableciendo canales perpendiculares a la pendiente los cuales disminuye el factor LS y con ello se reduce la pérdida en 20 % teniendo como resultado promedio esperado de 21.9 t/ha/año (Cuadro 8).

Cuadro 8. Pérdida de suelo (t/ha/año bajo) bajo el estableciendo de terrazas de base ancha para reducir el factor LS en el lote el rastrojo, finca Mocá Grande, Suchitepéquez, Guatemala.

Unidad De Suelo	Calicata	Factores ecuación (USLE)					P	Pérdida de suelo t/ha/año
		R	K	LS	C			
^u gsp1	1	800	0.30	0.12	0.30	1.00	8.60	
	5	800	0.23	0.12	0.30	1.00	6.60	
	6	800	0.26	0.12	0.30	1.00	7.50	
	8	800	0.27	0.12	0.30	1.00	7.80	
[§] gsp2	2	800	0.22	0.25	0.30	1.00	13.20	
[¥] Mslp1	3	800	0.20	0.60	0.30	1.00	28.80	
	7	800	0.24	0.60	0.30	1.00	34.60	
^γ gslp2	4	800	0.20	1.30	0.30	1.00	62.40	

^ugsp1: textura gruesa con pendiente de 1 %, [§]gsp2: textura gruesa con pendiente de 3 %, [¥]Mslp1: texturas medias con pendiente de 7 %, ^γgslp2: textura gruesa con pendiente de 10 %. R: es el factor de erosividad de la lluvia, K: es el factor de erodabilidad del suelo expresado en toneladas, LS: factor basado en longitud y porcentaje de pendiente, C: es el factor de cobertura del suelo y el factor P son prácticas de conservación.

Para disminuir la pérdida de suelo se pretende combinar las practicas que reducen los factores de cobertura (C) y el factor (LS), con ello se reduce la pérdida 61 %, con un promedio de 10.60 t/ha/año (Cuadro 9).

Cuadro 9. Pérdida de suelo (t/ha/año bajo) bajo la combinación de cobertura factor (C) y el factor (LS) en el lote el rastrojo, finca Mocá Grande, Suchitepéquez, Guatemala.

Unidad de suelo	Calicata	Factores ecuación (USLE)					Pérdida de suelo t/ha/año
		R	K	LS	C	P	
^u gsp1	1	800	0.30	0.12	0.15	1.00	4.30
	5	800	0.22	0.25	0.15	1.00	6.60
	6	800	0.20	0.60	0.15	1.00	14.40
	8	800	0.20	1.30	0.15	1.00	31.20
^s gsp2	2	800	0.23	0.12	0.15	1.00	3.30
^y Mslp1	3	800	0.26	0.12	0.15	1.00	3.70
	7	800	0.24	0.60	0.15	1.00	17.30
^y gslp2	4	800	0.27	0.12	0.15	1.00	3.90

^ugsp1: textura gruesa con pendiente de 1 %, ^sgsp2: textura gruesa con pendiente de 3 %, ^yMslp1: texturas medias con pendiente de 7 %, ^ygslp2: textura gruesa con pendiente de 10 %. R: es el factor de erosividad de la lluvia, K: es el factor de erodabilidad del suelo expresado en toneladas, LS: factor basado en longitud y porcentaje de pendiente, C: es el factor de cobertura del suelo y el factor P son prácticas de conservación.

Se debe implementar prácticas de conservación (P) como instalar disipadores de energía elaborados con bambú y rocas, combinados con siembra de pasto vetiver y palo de agua, con ello se reduce la pérdida 95 % (promedio 1.35 t/ha/año) (Cuadro 10).

Cuadro 10. Pérdida de suelo (t/ha/año bajo) bajo el establecimiento de prácticas de conservación (P), en el lote el rastrojo, finca Mocá Grande, Suchitepéquez, Guatemala

Unidad de Suelo	Calicata	Factores ecuación (USLE)					Pérdida de suelo t/ha/año
		R	K	LS	C	P	
^u gsp1	1	800	0.30	0.14	0.30	0.05	0.50
	5	800	0.22	0.31	0.30	0.05	0.82
	6	800	0.20	0.90	0.30	0.05	2.16
	8	800	0.20	1.50	0.30	0.05	3.60
^s gsp2	2	800	0.23	0.14	0.30	0.05	0.38
^y Mslp1	3	800	0.26	0.14	0.30	0.05	0.43
	7	800	0.24	0.90	0.30	0.05	2.50
^y gslp2	4	800	0.27	0.14	0.30	0.05	0.45

^ugsp1: textura gruesa con pendiente de 1 %, ^sgsp2: textura gruesa con pendiente de 3 %, ^yMslp1: texturas medias con pendiente de 7 %, ^ygslp2: textura gruesa con pendiente de 10 %. R: es el factor de erosividad de la lluvia, K: es el factor de erodabilidad del suelo expresado en toneladas, LS: factor basado en longitud y porcentaje de pendiente, C: es el factor de cobertura del suelo y el factor P son prácticas de conservación.

Además se estableció un escenario combinando obras para disminuir el porcentaje y la longitud de la pendiente, factor: (LS) y establecer prácticas de conservación (P) las pérdidas se reducen 96 % y se obtiene como resultado promedio 1.05 t/ha/año de pérdida de suelo (Cuadro 11).

Cuadro 11. Pérdida de suelo (t/ha/año bajo) estableciendo combinación con obras factor (LS) y prácticas de conservación (P), en el lote el rastrojo, finca Mocá Grande, Suchitepéquez, Guatemala

Unidad De	Calicata	Factores ecuación (USLE)					Pérdida de suelo t/ha/año
		R	K	LS	C	P	
^u gsp1	1	800	0.30	0.12	0.30	0.05	0.40
	5	800	0.22	0.25	0.30	0.05	0.70
	6	800	0.20	0.60	0.30	0.05	1.40
	8	800	0.20	1.30	0.30	0.05	3.10
[§] gsp2	2	800	0.23	0.12	0.30	0.05	0.30
[¥] Mslp1	3	800	0.26	0.12	0.30	0.05	0.40
	7	800	0.24	0.60	0.30	0.05	1.70
^γ gslp2	4	800	0.27	0.12	0.30	0.05	0.40

^ugsp1: textura gruesa con pendiente de 1 %, [§]gsp2: textura gruesa con pendiente de 3 %, [¥]Mslp1: texturas medias con pendiente de 7 %, ^γgslp2: textura gruesa con pendiente de 10 %. R: es el factor de erosividad de la lluvia, K: es el factor de erodabilidad del suelo expresado en toneladas, LS: factor basado en longitud y porcentaje de pendiente, C: es el factor de cobertura del suelo y el factor P son prácticas de conservación.

También se incluyó un escenario en el cual se realizó estableciendo cobertura en el suelo (C) y prácticas de conservación (P), las pérdidas se reducen 97 % y se obtiene como resultado promedio 0.83 t/ha/año de pérdida de suelo (Cuadro 12).

Cuadro 12. Pérdida de suelo (t/ha/año bajo) estableciendo combinación con cobertura en el suelo (C) y prácticas de conservación (P), en el lote el rastrojo, finca Mocá Grande, Suchitepéquez, Guatemala.

Unidad de Suelo	Calicata	Factores ecuación (USLE)					Pérdida de suelo t/ha/año
		R	K	LS	C	P	
^h gsp1	1	800	0.30	0.14	0.15	0.05	0.25
	5	800	0.22	0.31	0.15	0.05	0.41
	6	800	0.20	0.90	0.15	0.05	1.10
	8	800	0.20	1.50	0.15	0.05	1.80
[§] gsp2	2	800	0.23	0.14	0.15	0.05	0.19
[¥] Mslp1	3	800	0.26	0.14	0.15	0.05	0.22
	7	800	0.24	0.90	0.15	0.05	1.30
^γ gslp2	4	800	0.27	0.14	0.15	0.05	0.23

^hgsp1: textura gruesa con pendiente de 1 %, [§]gsp2: textura gruesa con pendiente de 3 %, [¥]Mslp1: texturas medias con pendiente de 7 %, ^γgslp2: textura gruesa con pendiente de 10 %. R: es el factor de erosividad de la lluvia, K: es el factor de erodabilidad del suelo expresado en toneladas, LS: factor basado en longitud y porcentaje de pendiente, C: es el factor de cobertura del suelo y el factor P son prácticas de conservación.

El último escenario se calculó con la combinación de los tres factores cobertura (C), factor (LS) y prácticas de conservación (P), la pérdida se reducen en 98 % y se obtiene como resultado promedio 0.60 t/ha/año de pérdida de suelo (Cuadro 13).

Cuadro 13. Pérdida de suelo (t/ha/año bajo) estableciendo combinación con cobertura (C), factor (LS) y prácticas de conservación (P), en el lote el rastrojo, finca Mocá Grande, Suchitepéquez, Guatemala.

Unidad de Suelo	Calicata	Factores ecuación (USLE)					Pérdida de suelo t/ha/año
		R	K	LS	C	P	
^h gsp1	1	800	0.30	0.12	0.15	0.05	0.20
	5	800	0.22	0.25	0.15	0.05	0.30
	6	800	0.20	0.60	0.15	0.05	0.70
	8	800	0.20	1.30	0.15	0.05	1.60
[§] gsp2	2	800	0.23	0.12	0.15	0.05	0.20
[¥] Mslp1	3	800	0.26	0.12	0.15	0.05	0.20
	7	800	0.24	0.60	0.15	0.05	0.90
^γ gslp2	4	800	0.27	0.12	0.15	0.05	0.20

^hgsp1: textura gruesa con pendiente de 1 %, [§]gsp2: textura gruesa con pendiente de 3 %, [¥]Mslp1: texturas medias con pendiente de 7 %, ^γgslp2: textura gruesa con pendiente de 10 %. R: es el factor de erosividad de la lluvia, K: es el factor de erodabilidad del suelo expresado en toneladas, LS: factor basado en longitud y porcentaje de pendiente, C: es el factor de cobertura del suelo y el factor P son prácticas de conservación.

4. CONCLUSIONES

- Los suelos del lote El Rastrojo de la finca Mocá Grande, Suchitepéquez Guatemala, son susceptibles a erosión ya que son suelos muy livianos por tener densidad aparente baja, además se pierde mayor cantidad de suelo en texturas medias que gruesas.
- El tipo de erosión que afecta al cultivo es la erosión hídrica y la zona más afectada del terreno es la zona central.
- La mayor evidencia de pérdida de suelo se da por formación de cárcavas, ya que las depresiones que se forman son muy profundas y se mostró mayor pérdida de suelo en áreas específicas.
- La materia orgánica del suelo se pierde en mayor cantidad en el área mas baja del terreno en la finca.
- Al implementar prácticas de conservación individuales o combinadas se reduce la pérdida de suelo a valores permitidos.

5. RECOMENDACIONES

- Realizar combinación de prácticas de conservación de suelos ya que con ello se reduce la pérdida de suelo por erosión y se llega a niveles permitidos en el trópico.
- Capacitar al personal técnico de la finca en diseño de prácticas de conservación de suelos para su implementación.
- Realizar un mapa en escala 1: 5,000 para utilizar en trabajos de conservación de suelos, ya que el detalle de la escala es mayor y se puede observar detalles topográficos para trabajar con mayor precisión en las prácticas de conservación.
- Realizar posteriormente de la implementación de las prácticas de conservación de suelos un nuevo estudio para determinar el avance en cuanto a la disminución de pérdidas de suelo por erosión.

6. LITERATURA CITADA

Arévalo, G; Gauggel C. 2010. Manual de prácticas. Curso de manejo de suelos y nutrición vegetal. EAP, Zamorano. 75 p.

Arévalo, G; Gauggel C. 2009. Manual de laboratorio de ciencia de suelos y aguas. EAP, Zamorano. 74 p.

Bertoni, J; Lombardi Neto. 1985. Relación entre erosión y pérdida de fertilidad del suelo. Erosión de suelos en América Latina (en línea). Consultado 10 mar. 2011. Disponible en <http://www.fao.org/docrep/T2351S/T2351S00.htm>

Cubero, D. 1999. Barreras vivas y su aplicación en la agricultura conservacionista. FAO-MAG (en línea). Consultado 15 abr. 2011. Disponible en http://www.mag.go.cr/congreso_agronomico_xi/a50-6907-III_003.pdf

Finca Mocá Grande, 2011. Registros de datos climatológicos. 35 años.

García- Chevesich, P. 2008. Procesos y control de la erosión. Edición 1. 286. p.

Hudson, N. 1982. Conservación del Suelo. Batsford, B. editorial Reverte (en línea). Consultado 16 sep. 2011. Disponible en http://books.google.hn/books?id=u137pQPxYGAC&pg=PA183&dq=ecuacion+universal+de+pérdida+de+suelo&hl=es&ei=CLNzTsmEYLrgQf_zozJDA&sa=X&oi=book_result&ct=result&resnum=1&ved=0CCkQ6AEwAA#v=onepage&q&f=false

Landon, J. 1991. Booker tropical soil manual. 473 p. England.

MARN (Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales) 2011. Noticias en tiempo. Guatemala ha perdido 149 millones de toneladas de suelo fértil por erosión real (en línea). Consultado 03 mar. 2011. Disponible en: <http://www.ambienteplay.com/noticias/guatemala-ha-perdido-149-millones-de-toneladas-de-suelo-fertil-por-erosion>

Morgan, C. 1996. Erosión y conservación de suelo. Ediciones mundi prensa (en línea). Consultado 10 de marzo de 2011. Disponible en http://books.google.hn/books?id=jcFqaFlu1UC&printsec=frontcover&hl=es&source=gbs_ge_summary_r&cad=0#v=onepage&q&f=false

O´ Hare, 2004. Macadamia Grower´s handbook. Queensland, Dpt. of Primary Industries. NSW Agriculture. Australian Macadamia Society. Growing guide. 255 p.

Owen, S. s.f. Conservación de recursos naturales (en línea). Disponible en http://books.google.hn/books?id=0Z_KmG0yOvEC&pg=PA101&dq=erosion+definicion&hl=es&ei=hyeBTsvNB43UgAfB5ahF&sa=X&oi=book_result&ct=result&resnum=2&ved=0CC8Q6AEwATgK#v=onepage&q&f=false.

Peterson, R; Calvin, L. 1986. Muestra y análisis de suelo. INTA (Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria). Argentina.

Puentes, R. 1983. Una Metodología Para Evaluar La Capacidad de Uso de Las Tierras. Consultado 22 sep. 2011 (en línea). Disponible en http://books.google.hn/books?id=geUqAAAAAYAAJ&pg=PA13&dq=ecuacion+universal+de+pérdida+de+suelo&hl=es&ei=Ku97Tq-JoHQgAeu6YjAAQ&sa=X&oi=book_result&ct=result&resnum=7&ved=0CEQQ6AEwBg#v=onepage&q&f=false.

Stocking, M; Mumaghan, N. 2001. Manual para la evaluación de campo de la degradación de la tierra. Ediciones Mundi Prensa. 168. p.

Roberts, T.; Henry. s.f. El muestreo de suelos: los beneficios de un buen trabajo. Departamento de Ciencias del suelo de la Universidad de Saskatchewan. Canadá.

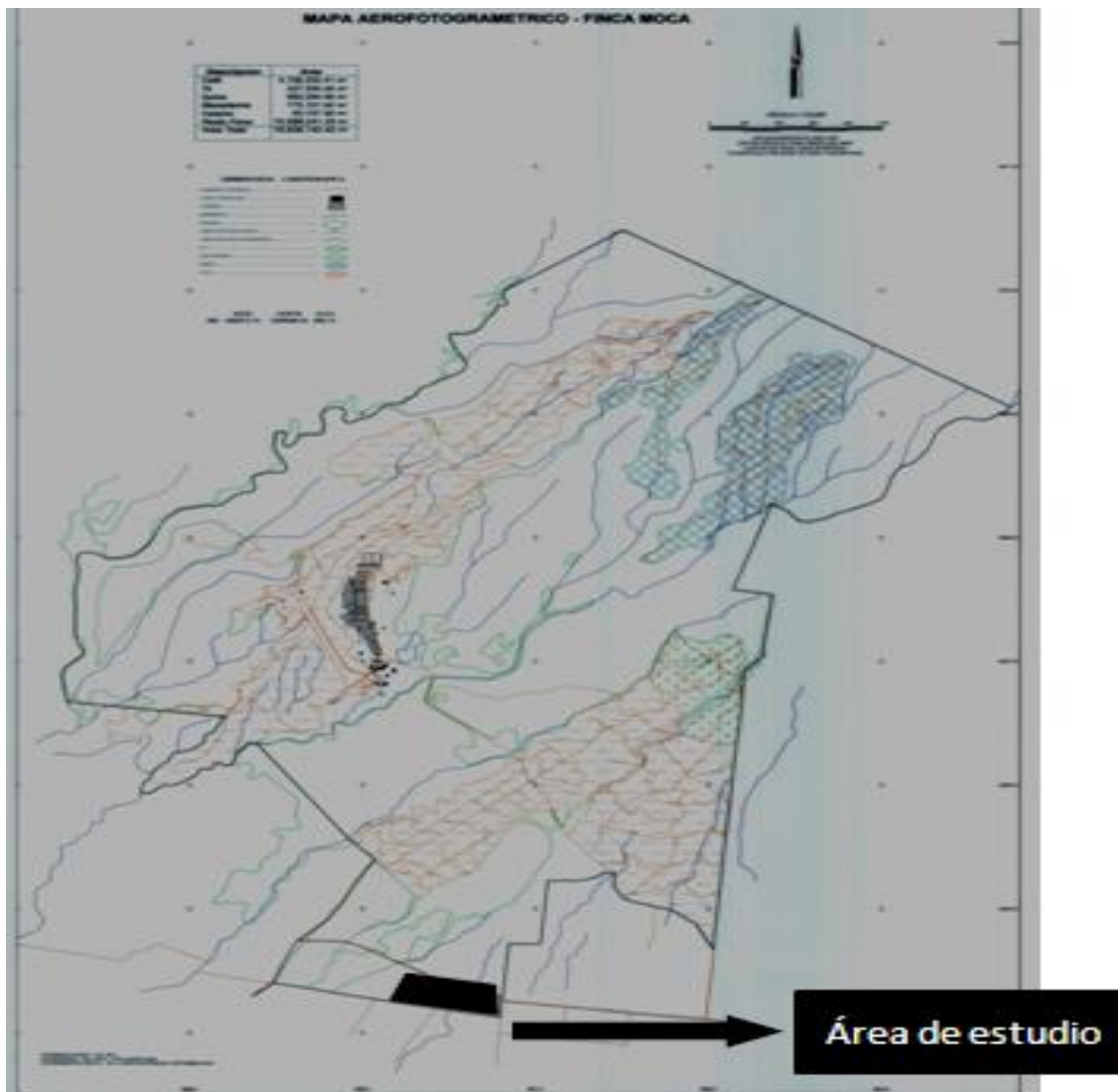
Urrutia, C. 2000. Efecto del uso de obras de conservación sobre las características del suelo y el rendimiento de maíz y sorgo en el sur de Honduras. Proyecto de graduación. Ing. Agr. Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano, Honduras. 56 p.

USDA (United States Department of Agriculture) 2006. Clave para la taxonomía de suelos, 2010. Decima edición.

Wischmeier, W; Smith, D. 1978. Predicting Rainfall Erosion Losses. A guide to conservation planning. Agriculture Handbook No. 537. USDA-SEA. Washington, DC. 58p.

7. ANEXOS

Anexo 1. Mapa finca Mocá Grande, Suchitepéquez, Guatemala (1,683.80 ha), área de estudio 17 ha.



Fuente: Biblioteca finca Mocá Grande.

Anexo 2. Coordenadas de perímetro, barrenaciones y calicatas. Lote El Rastrojo, finca Mocá Grande, Suchitepéquez, Guatemala.

Descripción	X	Y	Altura msnm
Perímetro inicio	N1430.239	W9113.463	780.5
Perímetro	N1430.283	W9113.585	809.6
Perímetro	N1430.342	W9114.084	802.6
Perímetro	N1430.184	W9113.468	796.8
Perímetro	N1430.210	W9113.588	792.2
Perímetro fin	N1430.256	W9114.198	791.5
Barrenación 1	N1430.208	W9113.570	800.7
Barrenación 2	N1430.241	W9113.527	793.7
Barrenación 3	N1430.255	W9113.575	798.3
Barrenación 4	N1430.275	W9114.001	798.9
Barrenación 5	N1430.310	W9114.065	793.7
Barrenación 6	N1430.319	W9114.071	771.4
Barrenación 7	N1430.249	W9114.070	780.3
Barrenación 8	N1430.279	W9114.025	782.7
Barrenación 9	N1430.259	W9113.590	782.7
Barrenación 10	N1430.256	W9113.596	791.3
Barrenación 11	N1430.239	W9113.560	788.8
Barrenación 12	N1430.223	W9113.526	795.8
Barrenación 13	N1430.228	W9113.504	796.4
Barrenación 14	N1430.224	W9113.181	798.6
Barrenación 15	N1430.222	W9113.478	800.1
Barrenación 16	N1430.205	W9113.473	780.3
Barrenación 17	N1430.212	W9113.515	792.2
Barrenación 18	N1430.215	W9113.519	793.7
Barrenación 19	N1430.219	W9113.541	791.9
Barrenación 20	N1430.223	W9113.561	789.7
Barrenación 21	N1430.226	W9113.582	792.5
Barrenación 22	N1430.224	W9113.590	790.7
Barrenación 23	N1430.221	W9114.006	787.9
Barrenación 24	N1430.224	W9114.028	783.6
Barrenación 25	N1430.227	W9114.047	786.1
Barrenación 26	N1430.234	W9114.070	780.9
Barrenación 27	N1430.237	W9114.091	777.5
Barrenación 28	N1430.240	W9114.111	775.1
Barrenación 29	N1430.243	W9114.117	774.2
Barrenación 30	N1430.245	W9114.125	774.8
Barrenación 31	N1430.248	W9114.148	775.7
Barrenación 32	N1430.251	W9114.168	771.1
Barrenación 33	N1430.257	W9114.179	769.9

Barrenación 34	N1430.269	W9114.153	775.7
Barrenación 35	N1430.267	W9114.123	778.8
Barrenación 36	N1430.256	W9114.101	777.8
calicata 1	N1430.223	W9113.486	779.3
calicata 2	N1430.200	W9113.529	809.0
calicata 3	N1430.261	W9113.588	803.2
calicata 4	N1430.219	W9114.020	790.0
calicata 5	N1430.272	W9114.118	785.4
calicata 6	N1430.303	W9114.101	790.3
calicata 7	N1430.325	W9114.063	777.4
calicata 8	N1430.239	W9114.051	766.4

X y Y: coordenadas en grados, minutos y segundos, msnm: metros sobre nivel del mar.

Anexo 3. Descripción de las Calicatas. Lote El Rastrojo, finca Mocá Grande, Suchitepéquez, Guatemala.

Ubicadas en la planicie del volcán Atitlán, Guatemala, bajo el cultivo de macadamia (*Macadamia integrifolia*).

Perfil uno, pendiente: 1 %, elevación: 774 msnm. Coordenadas X: N14 30.371 Y: W91 13.810

Ap1 0-10 cm. Pardo grisáceo muy oscuro (10 YR 2/2); Franco, migajoso débil y fino; no pegajoso en mojado, firme en húmedo y duro en seco; poros medianos tubulares y pocos; raíces finas y frecuentes; límite gradual y plano.

Ap2 10-30 cm. Negro (10 YR 2/1); Franco Arenoso, bloques angulares débil y medianos; tendencia no pegajoso en mojado, friable en húmedo y duro en seco; poros medianos de forma tubular y pocos; raíces medianas y pocas; límite plano y gradual.

C1 30-44 cm. Pardo oscuro (7.5 YR 3/3); Franco Arenoso, granular débil y medianos; no pegajoso en mojado, firme en húmedo y duro en seco; poros finos de forma tubular y pocos; raíces grandes y frecuentes; límite plano y gradual.

2Ab 44-54 cm. Pardo amarillento oscuro (10 YR 3/3); Arenoso; migajoso débil y muy fino, no pegajoso en mojado, firme en húmedo y suelto en seco; poros finos tubulares y muchos; raíces finas y ausentes; límite plano y gradual.

2C2 54-80 cm. Pardo (10 YR 4/2); Arenoso, migajoso, moderado y mediano; no pegajoso en mojado, suelto en húmedo y suelto en seco; poros finos tubulares y muchos; raíces finas y ausentes; límite plano y gradual.

Perfil dos, pendiente: 3 %: elevación: 804 msnm. Coordenadas X: N14 30.334 Y: W91 13.882

Ap1 0-15 cm. Negro (10 YR 2/1); Franco Arenoso, migajoso débil y finos; no pegajoso en mojado, friable en húmedo y duro en seco; poros pequeños tubulares y pocos, raíces medianas y frecuentes. Límite plano y gradual.

Ap2 15-30 cm. Pardo oscuro (5YR 2.5/1); Franco Arenoso; bloques subangulares débil y medianos; no pegajoso en mojado, friable en húmedo y duro en seco; poros muy finos tubulares y pocos; raíces medianas y frecuentes; límite plano y gradual

A1 30-67 cm. Pardo oscuro (5YR 2.5/1); Franco Arenoso, bloques subangulares débil y medianos; no pegajoso en mojado, friable en húmedo y duro en seco; poros finos tubulares y pocos; raíces medianas, finas y frecuentes; límite plano y gradual.

A2 67-97 cm. Pardo grisáceo muy oscuro (10 YR 2/2); Franco Arenoso; bloques subangulares, moderados y medianos; no pegajoso en mojado, friable en húmedo y duro en seco; poros finos tubulares y pocos; raíces medianas, finas y frecuentes; límite plano y gradual.

Perfil tres, pendiente: 3 %, elevación: 798 msnm. Coordenadas X: N14 30.435 Y: W91 13.981

Ap1 0-10 cm. Negro (10 YR 2/1); Franco Arenoso; suelto moderado y mediano; no pegajoso en mojado, firme en húmedo y duro en seco; poros finos tubulares y abundantes; raíces de todos los tamaños y pocas; límite plano y gradual. RP: Moderada.

Ap2 10-34 cm. Pardo oscuro (5YR 2.5/1); Franco Arenoso, migajoso moderado y medianos; no pegajoso en mojado, firme en húmedo y duro en seco; poros ausentes tubulares y pocos; raíces medianas y frecuentes; límite plano y gradual.

2Ab 34-54 cm. Negro (10 YR 2/1); Franco Arenoso, migajoso moderado y mediano; no pegajoso en mojado, friable en húmedo y suelto en seco; poros finos tubulares y pocos, raíces de todos los tamaños y muchas; límite plano y gradual.

2Cg 54-87 cm. Pardo grisáceo muy oscuro (10 YR 2/2); Franco Arenoso; migajoso, moderado y mediano; no pegajoso en mojado, friable en húmedo y duro en seco; poros medianos tubulares y muchos; raíces de todos los tamaños y muchas; límite plano y gradual.

2Cg2 Gris claro (5YR 7.5/1); Arenoso; migajoso, moderado y mediano; no pegajoso en mojado, suelto en húmedo y duro en seco; poros ausentes tubulares y pocos; raíces medianas y frecuentes; límite plano y gradual.

Perfil cuatro, pendiente: 10 %, elevación: 785 msnm. Coordenadas X: N14 30.365 Y: W91 14.033

Ap1 0-5 cm. Negro (10 YR 2/1); Franco Arenoso; bloques subangulares moderados y medianos; no pegajoso en mojado, muy friable en húmedo y duro en seco; poros finos tubulares y pocos, raíces ausentes; límite plano y gradual.

Ap2 5-16 cm. Negro (10 YR 2/1); Franco Arenoso; bloques subangulares moderados y medianos; no pegajoso en mojado, friable en húmedo y duro en seco; poros muy finos tubulares y pocos, raíces ausentes; límite plano y gradual.

2Ab1 16- 40 cm. Negro (10 YR 2/1); Franco Arenoso; migajoso débil y mediano; no pegajoso en mojado, friable en húmedo y duro en seco; poros finos tubulares y pocos; raíces ausentes, límite plano y gradual.

2Ab2 40-55 cm. Negro (10 YR 2/1); Franco Arenoso; bloques angulares moderados y medianos; no pegajoso en mojado, friable en húmedo y duro en seco; poros finos tubulares y pocos; raíces ausentes; límite plano y gradual.

2Ab3 55-68 cm. Negro (10 YR 2/1); Franco Arenoso; bloques subangulares moderados y medianos; no pegajoso en mojado, friable en húmedo y duro en seco; poros tubulares y pocos; raíces ausentes; límite plano y gradual.

Perfil cinco, pendiente: 1 %, elevación: 780 msnm. Coordenadas X: N14 30.454 Y: W91 14.197

Ap1 0-9 cm. Negro (10 YR 2/1); Franco Arenoso; bloques subangulares débiles y finos; no pegajoso en mojado, muy friable en húmedo y duro en seco; poros finos tubulares y pocos, raíces finas y ausentes; límite plano y gradual.

Ap2 9-23 cm. Pardo muy oscuro (7.5 YR 2.5/2); Franco Arenoso; con bloques subangulares débiles y finos; con tendencia no pegajoso en mojado, friable en húmedo y duro en seco; poros finos tubulares y pocos; raíces ausentes; límite plano y gradual.

2Ab 23-40 cm. Pardo muy oscuro (7.5 YR 2.5/2); Franco Arenoso; migajoso débil, finos y medianos; no pegajoso en mojado, friable en húmedo y duro en seco; poros medianos tubulares y pocos; raíces ausentes; límite plano y gradual.

2Ab2 40-54xNegro (10 YR 2/1) en húmedo; Franco Arenoso; granular débil, finos y medianos; no pegajoso en mojado, friable en húmedo y duro en seco; poros finos tubulares y pocos; raíces ausentes; límite plano y gradual.

Perfil seis, pendiente: 1 %, elevación: 785 msnm. Coordenadas X: N14 30.505 Y: W91 14.169

Ap1 0-9 cm. Negro (10 YR 2/1); Franco Arenoso; granular débil y fina; no pegajoso en mojado, muy friable en húmedo y duro en seco; poros finos tubulares y pocos; raíces de todos los tamaños y muchas. Límite plano y gradual.

Ap2 9-30 cm. Negro (10 YR 2/1); Franco Arenoso; bloques subangulares débiles y medianos; no pegajoso en mojado, friable en húmedo y duro en seco; poros muy finos tubulares y muchos; raíces de todos los tamaños y muchas. Límite plano y gradual.

AC 30-41 cm. Negro (10 YR 2/1); Franco Arenoso; bloques subangulares débiles y medianos; no pegajoso en mojado, friable en húmedo y duro en seco; poros finos tubular y pocos; raíces de todos los tamaños y muchas; límite plano y gradual.

Cr 41-64 cm. Negro (10 YR 2/1) en húmedo; Franco Arenoso; bloques subangulares débil y finos; no pegajoso en mojado, friable en húmedo y suelto en seco; poros finos de forma tubular y pocos; raíces finas y muchas; límite plano y difuso.

Perfil siete, pendiente: 7 %, elevación: 772 msnm. Coordenadas X: N14 30.542 Y: W91 14.105

Ap 0-12 cm. Pardo (10 YR 2/1); Franco Arenoso, bloques subangulares moderados y medianos; no pegajoso en mojado, friable en húmedo y suelto en seco; poros finos de forma tubular y pocos; raíces medianas y pocas; límite plano y gradual.

Ap2 12-24 cm. Pardo muy oscuro (7.5 YR 2.5/2); Franco Arenoso; bloques subangulares débil y medianos; no pegajoso en mojado, friable en húmedo y duro en seco; poros finos tubulares y muchos; raíces medianas y pocas; límite plano y gradual.

2Ab 24-40 cm. Pardo (10 YR 2/1); Franco Arenoso; bloques subangulares débil y medianos; no pegajoso en mojado, friable en húmedo y duro en seco; poros finos y muy finos de forma tubular y pocos; raíces de todos los tamaños y muchas; límite plano y gradual.

2 Bw1 40-54 cm. Pardo oscuro (7.5 YR 3/3); Franco Limoso; bloques subangulares débil y medianos; no pegajoso en mojado, friable en húmedo y suelto en seco; poros finos, muy finos, tubulares y pocos; raíces de todos los tamaños y muchas; límite plano y gradual

2Bw2 54-95 cm. Pardo (7.5 YR 4/2) en húmedo; Franco Arenoso; bloques subangulares débil y medianos, no pegajoso en mojado, friable en húmedo y suelto en seco; poros finos tubulares y pocos; raíces de todos los tamaños y muchas; límite plano y gradual.

Perfil ocho, pendiente: 1 %, elevación: 761 msnm. Coordenadas X: N14 30.398 Y: W91 14.085.

Ap1 0-9 cm. Negro (10 YR 2/1); Franco Arenoso, granular moderado y medianos; no pegajoso en mojado, muy friable en húmedo y suelto en seco; poros de todos los tamaños tubulares y abundantes; raíces finas y ausentes; límite plano y gradual.

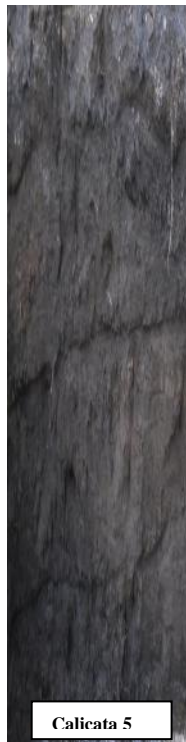
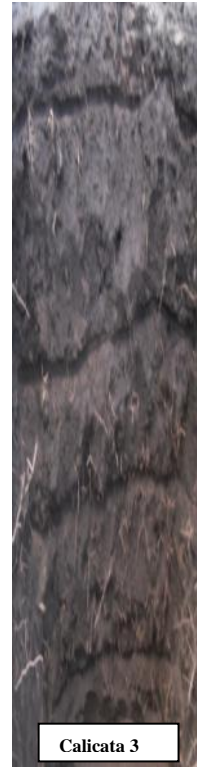
Ap2 9-33 cm. Negro (10 YR 2/1); Franco Arenoso; bloques sub-angulares débiles y medianos; no pegajoso en mojado, friable en húmedo y suelto en seco; poros medianos tubulares y pocos; raíces finas y escasas. Límite plano y gradual.

2A1 33- 47 cm. Negro (10 YR 2/1); Franco Arenoso; migajoso débil y medianos; no pegajoso en mojado, friable en húmedo y suelto en seco; poros finos tubulares y pocos; raíces finas y escasas; límite plano y gradual.

2A2 Negro (10 YR 2/1); Franco Arenoso; bloques sub-angulares débiles y medianos; no pegajoso en mojado, friable en húmedo y suelto en seco; poros finos tubulares y pocos, raíces medianas y pocas; límite plano y gradual.

2A3 10 YR 2/1; Franco Arenoso; bloques sub-angulares débiles y medianos; no pegajoso en mojado, friable en húmedo y suelto en seco; poros finos, tubulares y pocos; raíces finas y ausentes; límite plano y gradual.

Anexo 4. Calicatas realizadas en el Lote El Rastrojo, finca Mocá Grande, Suchitepéquez, Guatemala.



Anexo 5. Indicadores de procesos erosivos. Lote El Rastrojo, finca Mocá Grande, Suchitepéquez, Guatemala.

Pedestales de erosión



Cárcava

