

UNIVERSIDAD RAFAEL LANDÍVAR
FACULTAD DE CIENCIAS AMBIENTALES Y AGRÍCOLAS
LICENCIATURA EN CIENCIAS AGRÍCOLAS CON ÉNFASIS EN CULTIVOS TROPICALES

USO DE VETIVER (*Chrysopogon zizanioides*) COMO BARRERA VIVA PARA CONTROL DE LA
EROSIÓN HÍDRICA; CHICACAO, SUCHITEPÉQUEZ
TESIS DE GRADO

SALVADOR ROSENDO RAMIREZ OCH
CARNET 16177-12

ESCUINTLA, AGOSTO DE 2018
SEDE REGIONAL DE ESCUINTLA

UNIVERSIDAD RAFAEL LANDÍVAR

FACULTAD DE CIENCIAS AMBIENTALES Y AGRÍCOLAS

LICENCIATURA EN CIENCIAS AGRÍCOLAS CON ÉNFASIS EN CULTIVOS TROPICALES

USO DE VETIVER (*Chrysopogon zizanioides*) COMO BARRERA VIVA PARA CONTROL DE LA
EROSIÓN HÍDRICA; CHICACAO, SUCHITEPÉQUEZ
TESIS DE GRADO

TRABAJO PRESENTADO AL CONSEJO DE LA FACULTAD DE
CIENCIAS AMBIENTALES Y AGRÍCOLAS

POR
SALVADOR ROSENDO RAMIREZ OCH

PREVIO A CONFERÍRSELE
EL TÍTULO DE INGENIERO AGRÓNOMO CON ÉNFASIS EN CULTIVOS TROPICALES EN EL GRADO
ACADÉMICO DE LICENCIADO

ESCUINTLA, AGOSTO DE 2018
SEDE REGIONAL DE ESCUINTLA

AUTORIDADES DE LA UNIVERSIDAD RAFAEL LANDÍVAR

RECTOR: P. MARCO TULIO MARTINEZ SALAZAR, S. J.
VICERRECTORA ACADÉMICA: DRA. MARTA LUCRECIA MÉNDEZ GONZÁLEZ DE PENEDO
VICERRECTOR DE INVESTIGACIÓN Y PROYECCIÓN: ING. JOSÉ JUVENTINO GÁLVEZ RUANO
VICERRECTOR DE INTEGRACIÓN UNIVERSITARIA: P. JULIO ENRIQUE MOREIRA CHAVARRÍA, S. J.
VICERRECTOR ADMINISTRATIVO: LIC. ARIEL RIVERA IRÍAS
SECRETARIA GENERAL: LIC. FABIOLA DE LA LUZ PADILLA BELTRANENA DE LORENZANA

AUTORIDADES DE LA FACULTAD DE CIENCIAS AMBIENTALES Y AGRÍCOLAS

DECANA: LIC. ANNA CRISTINA BAILEY HERNÁNDEZ
SECRETARIO: MGTR. LUIS MOISES PEÑATE MUNGUÍA
DIRECTOR DE CARRERA: MGTR. JOSÉ MANUEL BENAVENTE MEJÍA

NOMBRE DEL ASESOR DE TRABAJO DE GRADUACIÓN
DRA. MARÍA ANTONIETA ALFARO VILLATORO

TERNA QUE PRACTICÓ LA EVALUACIÓN
ING. EDWIN LEONEL ARGUETA VENTURA

Guatemala, 24 de agosto de 2018

Consejo de Facultad
Ciencias Ambientales y Agrícolas
Presente.

Estimados miembros del Consejo:

Por este medio hago contar que he asesorado el trabajo de graduación del estudiante Salvador Rosendo Ramírez Och, carné 16177-12, titulado: **“USO DE VETIVER (*Chrysopogon zizanioides*) COMO BARRERA VIVA PARA CONTROL DE LA EROSIÓN HÍDRICA, CHICACAO, SUCHITEPÉQUEZ”**.

El cual considero que cumple con los requisitos establecidos por la facultad, previo a su autorización de impresión.

Atentamente,



Dra. Maria Antonieta Alfaro Villatoro

Colegiado No. 831

Cod. URL 18291

Orden de Impresión

De acuerdo a la aprobación de la Evaluación del Trabajo de Graduación en la variante Tesis de Grado del estudiante SALVADOR ROSENDO RAMIREZ OCH, Carnet 16177-12 en la carrera LICENCIATURA EN CIENCIAS AGRÍCOLAS CON ÉNFASIS EN CULTIVOS TROPICALES, de la Sede de Escuintla, que consta en el Acta No. 06116-2018 de fecha 14 de julio de 2018, se autoriza la impresión digital del trabajo titulado:

USO DE VETIVER (*Chrysopogon zizanioides*) COMO BARRERA VIVA PARA CONTROL DE LA EROSIÓN HÍDRICA; CHICACAO, SUCHITEPÉQUEZ

Previo a conferírsele el título de INGENIERO AGRÓNOMO CON ÉNFASIS EN CULTIVOS TROPICALES en el grado académico de LICENCIADO.

Dado en la ciudad de Guatemala de la Asunción, a los 20 días del mes de agosto del año 2018.



MGTR. LUIS MOISES PEÑATE MUNGUÍA, SECRETARIO
CIENCIAS AMBIENTALES Y AGRÍCOLAS
Universidad Rafael Landívar

AGRADECIMIENTOS

A:

Dios el creador, por darme la vida y las oportunidades.

La URL por ser parte de mi formación académica.

Los catedráticos y compañeros de la universidad por compartir su experiencia y conocimientos.

Dra. Maria Antonieta Alfaro por su asesoría y apoyo.

Ing. Edwin Argueta, por su colaboración en el presente trabajo.

Los amigos y compañeros con quienes compartimos esta meta y trabajamos para alcanzarla.

Mi familia, por su apoyo y comprensión durante el proceso.

DEDICATORIA

A

Dios: Todo poderoso quien por su divina voluntad me permite la vida y alcanzar otra meta.

Mis Padres: Isabel Och Sajquiy
Diego Ramirez Ajacabul (QEPD)
Esta meta alcanzada sea una retribución por todo el sacrificio y amor que me brindaron y por creer en mis sueños.

Mi Esposa Maria Elena Garcia Samol
por su apoyo y paciencia durante estos años.

Mis hijos Diego Salvador y Eri Roberto por brindarme alegría y razones para esforzarme más cada día.

Mi familia Hermanos: Antonieta, Elena, Francisco, Tomas, y Marta que han sido parte esencial en mi vida, tios, sobrinos, primos.

Mis amigos por la sincera amistad.

ÍNDICE

	Página
RESUMEN.....	IX
1. INTRODUCCIÓN	1
2. MARCO TEÓRICO.....	2
2.1 Antecedentes	2
2.2 Concepto de erosión	3
5.1.1 Erosión hídrica	3
5.1.2 Consecuencias de la erosión.....	4
5.1.3 Factores físicos que influyen en la erosión hídrica	4
2.3 Sedimentación.....	5
2.4 Escorrentía	5
2.5 Estimación de la erosión hídrica superficial.....	5
2.6 Parcelas de escorrentía.....	6
2.7 Precipitación.....	9
2.8 Métodos de control de erosión	10
5.1.4 Barreras muertas	10
5.1.5 Barreras vivas	10
2.9 Vetiver	11
5.1.6 Resultados de estudios sobre vetiver	14
5.1.7 Usos comprobados del vetiver.....	15
3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA Y JUSTIFICACIÓN DEL TRABAJO.....	16
4. OBJETIVOS	17
4.1 General.....	17
4.2 Objetivos específicos.....	17
5. METODOLOGÍA.....	18
5.2 Ambiente	18
5.2.1 Clima.....	18
5.2.2 Precipitación	18
5.2.3 Suelos de Chicacao	18
5.3 Sujetos y/o unidades de análisis	20
5.3.1 Parcelas de escorrentía	20
5.3.2 Componentes de las parcelas de escorrentía.....	20

5.3.3	Distribución de las parcelas de escorrentía.	21
5.3.4	Procedimiento.	23
5.4	Tipo de investigación.	23
5.5	Instrumento	23
5.5.1	Instrumento de recopilación de datos.	23
5.5.2	Instrumento de presentación.	23
5.5.3	Instrumento de práctica.	23
5.6	Procedimiento	24
5.6.1	Consulta documental	24
5.6.2	Fase de campo	24
5.7	Análisis de la información.	26
6.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN.	28
6.1	Datos de precipitación	28
6.2	Volumen de suelo erosionado	28
6.3	Peso húmedo de suelo erosionado	29
6.4	Peso seco de suelo erosionado	30
6.5	Porcentaje de humedad del suelo erosionado	31
6.6	Proyección de la erosión de suelo en una hectárea	32
6.7	Análisis económico.	33
7.	CONCLUSIONES.	34
8.	RECOMENDACIONES	35
9.	BIBLIOGRAFÍA	36
10.	ANEXO.	40

ÍNDICE DE CUADROS

	Página
Cuadro No. 1. Características del suelo tipo Cutzán.....	19
Cuadro No. 2. Capacidad productiva de la tierra por clase agrológica donde se realizó el estudio	19
Cuadro No.3. Sistema de preparación de parcelas de escorrentía evaluadas en campo bajo lluvia natural.....	22
Cuadro No. 4. Volumen de suelo erosionado por parcela (m ³).....	29
Cuadro No. 5. Peso húmedo de suelo erosionado.....	30
Cuadro No. 6. Peso seco de suelo erosionado.....	31
Cuadro No.7. Porcentaje de humedad de suelo erosionado.....	32
Cuadro No. 8. Proyección de la erosión basada en las parcelas estudiadas..	32
Cuadro No. 9. Costos del establecimiento de barreras vivas de vetiver por hectárea.....	33

ÍNDICE DE FIGURAS

	Página
Figura 1. Tipos de erosión	3
Figura 2. Tipo de modelos en la evaluación de la erosión hídrica	6
Figura 3. Diseño de parcela de escorrentía	7
Figura 4. Parcela de escorrentía.	8
Figura 5. Planta de vetiver	12
Figura 6. Raíz de vetiver excavado en Guatemala	13
Figura 7. Modelo del funcionamiento de vetiver como barrera.....	14
Figura 8. Protección de taludes de la erosión, ciudad de Guatemala.....	15
Figura 9. Medición de pendiente.....	20
Figura 10. Conducción de suelo erosionado.....	21
Figura 11. Parcela delimitada.....	21
Figura 12. Diseño de las parcelas de escorrentía evaluadas.....	22
Figura 13. Parcela con frijol y barreras vivas de vetiver.....	22
Figura 14. Pluviómetro instalado.....	24
Figura 15. Colector de suelo erosionado	24
Figura 16. Monitoreo de sedimentos.....	25
Figura 17. Evaluación de agua.....	25
Figura 18. Peso de suelo.....	26
Figura 19. Muestras de suelo para el laboratorio.....	26
Figura 20. Volumen de suelo erosionado por parcela.....	26
Figura 21. Secado del suelo erosionado.....	27
Figura 22. Precipitación pluvial (mm) del periodo 1 de julio al 30 de septiembre 2017.....	28
Figura 23. Volumen de suelo erosionado por parcela (m ³).....	29
Figura 24. Resultado de peso húmedo de suelo erosionado.....	30
Figura 25. Resultado de peso seco de suelo erosionado.....	31

USO DE VETIVER (*Chrysopogon zizanioides*) COMO BARRERA VIVA PARA CONTROL DE LA EROSIÓN HÍDRICA, CHICACAO, SUCHITEPÉQUEZ

RESUMEN

Este estudio fué realizado en aldea San Pedro Cutzán, municipio de Chicacao, departamento de Suchitepéquez. El objetivo fué evaluar el efecto de barreras vivas de vetiver sobre las pérdidas de suelo por erosión hídrica, mediante parcelas de escorrentía; se realizó en un período de tres meses donde se registró la precipitación diaria. Se diseñaron cuatro parcelas de escorrentía con pendientes de 45%, y se cuantificó el suelo erosionado. Las parcelas fueron de diferente cobertura, la primera parcela fue desnuda, la segunda con cultivo de frijol, la tercera con frijol y barreras vivas de vetiver y el cuarto con vetiver. Para obtener un resultado preciso se procedió a realizar un peso seco de suelo erosionado con 193.77 kg de suelo en la parcela de suelo desnudo comparado con 4.35 kg de suelo erosionado en parcela 4 diseñada con barreras vivas de vetiver, asimismo en las parcelas de cultivo de frijol (parcela 2) con un resultado de 87.27 kg en comparación con la parcela 3 donde las condiciones fueron frijol y vetiver con un peso total de 10.78 de suelo erosionado. Así se demuestra que el volumen de suelo erosionado se redujo en un 80 % con las barreras vivas de vetiver utilizado en cultivos de frijol. El vetiver controla la erosión, genera humedad del suelo, y materia orgánica y una mejora en rendimiento de cultivos tradicionales como granos básicos y hortalizas, ofrece a la agricultura una herramienta de bajo costo y fácil aplicación.

1. INTRODUCCIÓN

El uso de áreas de terrenos con laderas o pendientes pronunciadas es una situación común en nuestro país. Estas áreas representan un uso agrícola económicamente importante, a pesar de ubicarse en suelos de baja fertilidad y de poca aptitud agrícola debido a las limitaciones topográficas y los riesgos de erosión hídrica asociados.

En Guatemala es común observar cultivos en estas áreas, como aprovechamiento de las condiciones climáticas favorables y la necesidad de utilizarlas debido al incremento de la población.

Los cultivos en laderas requieren de medidas para la conservación de suelos ya que son altamente vulnerables a la pérdida de suelo por efecto de la erosión hídrica. Estas áreas utilizadas para fines agrícolas, además de su vulnerabilidad a la erosión, se convierten en fuente de contaminación cuando los sedimentos conteniendo elementos nutritivos y residuos agroquímicos se llegan a depositar en las fuentes de agua, generando así, un problema ambiental.

Las barreras vivas de vetiver constituyen una tecnología de eficiencia probada para la conservación de suelos y aguas (Grimshaw, 1994; Greenfield, 2002; Rodríguez, 2002). El vetiver tiene la ventaja de adaptarse a diferentes sistemas de producción en condiciones ambientales muy variadas y extremas, no es invasivo y es de fácil establecimiento. Está siendo utilizado en zonas tropicales y subtropicales. En ocasiones el vetiver es combinado con muros de piedra, terrazas y acequias.

En el presente trabajo se propuso determinar el efecto de barreras vivas de vetiver sobre las pérdidas de suelo por erosión hídrica, en parcelas de escorrentía, con y sin cultivo de cobertura. La investigación se llevó a cabo en el municipio de Chicacao, Suchitepéquez.

2. MARCO TEÓRICO

2.1 ANTECEDENTES

El uso de plantas de vetiver para control de erosión es novedoso. Muy pocas personas en nuestro medio conocen esta planta. Posee un sistema radicular denso y fuerte, su crecimiento es rápido y se caracteriza por poseer buena tolerancia a suelos infértiles. Actualmente estas barreras están siendo utilizadas en Guatemala en el sector privado para estabilizar suelos con pendientes pronunciadas en fincas agroindustriales, zonas residenciales, carreteras, riberas y la mayoría en la ciudad.

Existen estudios (Santos, 2010; Motta, 1999) sobre la conservación de suelos y erosión hídrica en cuencas y riveras pero no se cuenta con un estudio específico sobre la utilización del vetiver como solución a la erosión en Guatemala.

Santos, (2010) estudió la pérdida de suelo para diferentes rangos de pendientes en plantaciones de café. Recomendó el uso de prácticas de conservación de suelos como las barreras vivas, sin mención del vetiver y barreras muertas.

Sánchez, (1989) mencionó que el deterioro de los suelos y disminución de productividad ocurre con el uso no planificado de los recursos naturales. Concluyó que la erosión de los suelos de la región central de Guatemala, se debe a pendientes pronunciadas deforestadas, y recomendó prácticas de conservación de suelos, entre ellas la utilización de terrazas, cultivos de contorno y acequias de laderas y reforestación de las áreas de bosques.

Las barreras vivas de vetiver constituyen una tecnología para la conservación de suelos y aguas de eficiencia probada en varios países (Grimshaw, 1994; Greenfield 2002; Rodríguez, 1998; Truong 2004). Tiene la ventaja de adaptarse a diferentes sistemas de producción en condiciones ambientales muy variadas, no es invasor y es de fácil aplicación. Tienen una velocidad de crecimiento muy rápida, en seis meses la altura de la planta, de cultivares selectos, alcanza dos metros. Las raíces crecen igual de rápido, alcanzando de 3 a 4 metros de profundidad en el primer año (Smyle, 1999).

2.2 CONCEPTO DE EROSIÓN

La FAO (1994) define este proceso como la desagregación, transporte y deposición de materiales del suelo por agentes erosivos; además, señala que los agentes erosivos son dinámicos; en el caso de la erosión hídrica, son la lluvia y el escurrimiento superficial o las inundaciones.

La erosión es definida como el fenómeno compuesto por tres procesos: a) el desprendimiento de las partículas del suelo; b) su transporte por el agente erosivo y c) la sedimentación.

En la figura 1, se muestran los tipos de erosión de suelo causadas por el agua que afectan las áreas con laderas. (USDA, 2002)

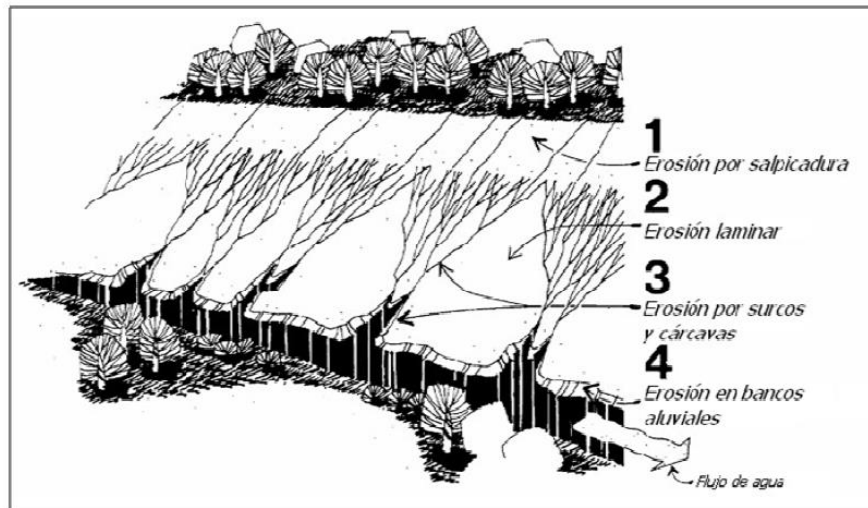


Figura 1. Tipos de erosión. (USDA 2002).

5.1.1 Erosión hídrica

Es la erosión provocada por efectos del agua, debido al contacto y ruta de la misma a través de la vegetación y el suelo. El agua al impactarse con el suelo o fluir sobre el provoca que las partículas superficiales del mismo se vayan desprendiendo y sean transportadas hacia otras áreas. La erosión hídrica puede ser laminar, en cárcavas, interna, en surcos, y por afloramiento.

5.1.2 Consecuencias de la erosión

La erosión disminuye la fertilidad del suelo al perderse con el agua los nutrientes esenciales para los cultivos y; provoca además otro problema de gran envergadura, la sedimentación (suelos desplazados del lugar original y depositado en otro). En general los suelos sometidos a los procesos erosivos tienen grandes pérdidas de nutrientes y de elementos vitales para las plantas, y de hecho decrecen los rendimientos de los cultivos económicos. El ascenso del relieve y la intensidad de los aguaceros, que en la mayoría de los casos se producen en forma de turbonadas de gran intensidad, unido a la mala protección de los suelos y a la acción antropogénica a que están expuestos, por lo que es de esperar como consecuencia un rápido deterioro (Pacheco, s.f.).

5.1.3 Factores físicos que influyen en la erosión hídrica

Los factores básicos que influyen en la magnitud de la erosión hídrica son la topografía, el clima, el suelo y la vegetación.

- a. Topografía. Entre las expresiones topográficas que influyen en la erosión están el grado y longitud de la pendiente y las dimensiones en la forma de la cuenca.
- b. Clima. Entre los factores climáticos están las precipitaciones, la temperatura, el viento, la humedad, y la relación solar. La relación entre las precipitaciones, la escorrentía y las pérdidas de suelos son muy complejas. La lluvia es el factor climático más importante con relación a la erosión de los suelos., así en dos regiones puede caer la misma cantidad de lluvia en el año, sin que ello signifique que las situaciones son semejantes; en un sitio el total puede estar formado por lloviznas aisladas y en el otro pueden haber caído dos o tres aguaceros fuertes por lo que en este último pueden esperarse daños severos por la erosión. De la intensidad del aguacero dependerá en gran medida la capacidad erosiva del flujo líquido que se desplaza sobre la superficie del terreno (Pacheco, s.f.).

- c. Suelos. Las propiedades del suelo que mayor efecto tienen sobre el valor de la erosión hídrica son: Estructura, textura, contenido de materia orgánica, humedad y densidad, además de sus características químicas y biológicas, pero hasta el presente no se ha podido encontrar una de ellas que, aisladamente, proporcione un medio preciso para predecir la erosión (Pacheco s.f.).
- d. Vegetación. Es un factor primordial de la conservación de los suelos. Toda planta defiende al suelo de la acción perjudicial de las lluvias, aunque en forma y proporciones diferentes, (Pacheco s.f.). Los principales efectos de la vegetación relacionados con la protección del suelo son: Intercepta las gotas de lluvia y reduce la escorrentía, retarda la erosión al disminuir la velocidad de la escorrentía, mejora la agregación y porosidad del suelo, aumenta la actividad biológica y la capacidad de almacenaje de agua del suelo.

2.3 SEDIMENTACIÓN

La sedimentación es la acumulación por deposición de todos aquellos materiales alterados y transportados previamente. Siempre tiene lugar cuando disminuye la energía de los agentes de transporte. Por ejemplo cuando el río llega al mar. Los sitios donde se acumulan los sedimentos se llaman medios sedimentarios (Ciencia y Biología, 2017).

2.4 ESCORRENTÍA

La escorrentía superficial es la lámina de agua que circula sobre la superficie en una cuenca de drenaje, es decir la altura en milímetros del agua de lluvia escurrida y extendida. Normalmente se considera como la precipitación menos la evapotranspiración real y la infiltración del sistema suelo (Ecured, 2017).

2.5 ESTIMACIÓN DE LA EROSIÓN HÍDRICA SUPERFICIAL

Según Morgan (1997), “cuando se predice la erosión, se debe decidir si la predicción es para un año, un día, una tormenta o para períodos cortos de tiempo, y si dicha

predicción se refiere a una parcela, una ladera o una cuenca. Estas perspectivas en el tiempo y en el espacio influirán en los procesos que deben incluirse en el modelo, en la forma que deben describirse y en el tipo de datos necesarios para validar el modelo y su funcionamiento.” En la figura 2, se puede apreciar los modelos de medición de la erosión, basados en los objetivos que se desean lograr según Vega (2008).



Figura 2. Tipo de modelos en la evaluación de la erosión hídrica (Vega, 2008).

2.6 PARCELAS DE ESCORRENTÍA

Las parcelas de escorrentía se utilizan como áreas permanentes de monitoreo, para estudiar los factores que afectan la erosión (Morgan, 2005), o bien cuando se desea demostrar a comunidades locales cuánto ayuda la vegetación en la disminución de la erosión (Hudson, 1993). Cada parcela, como se observa en la figura 3, es un área físicamente aislada del resto del terreno, con dimensiones de ancho y largo predeterminadas, así como pendiente, tipo de suelo y vegetación conocidos. Para cada parcela se mide la escorrentía y el suelo perdido o sedimento, así como la precipitación en el área de estudio. El número de parcelas es, por lo general, de dos o más réplicas por tratamiento.

Las barreras físicas que delimitan las parcelas deben sobrepasar la superficie del suelo en, al menos, 15 centímetros, siendo éstas enterradas bajo la superficie para evitar traspaso subterráneo de flujos de agua. Dichas barreras pueden ser de madera, metal o

cualquier material impermeable y duradero (Morgan, 2005). La escorrentía superficial producida dentro de los límites de la parcela es almacenada en un estanque o deposito.

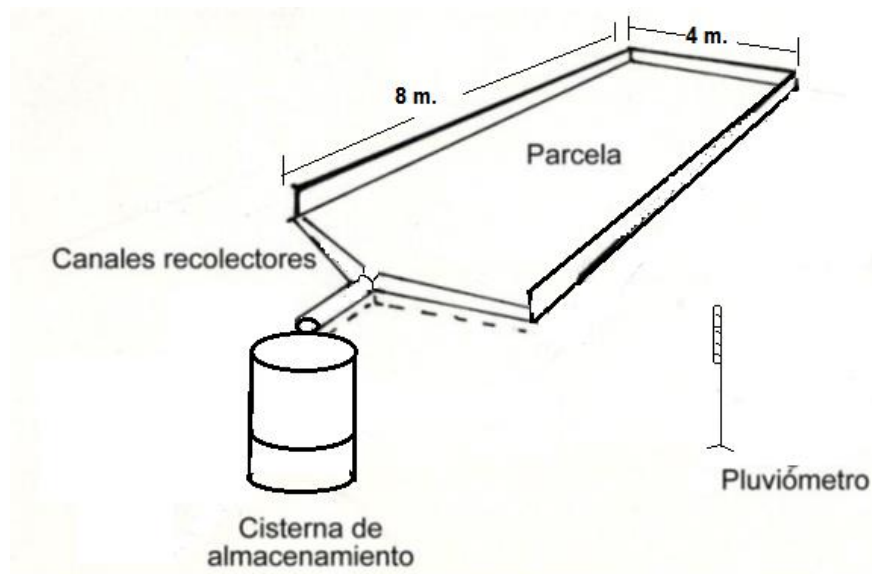


Figura 3. Diseño de parcela de escorrentía (Adaptado de Tierra tropical, 2006)

Una vez finalizado el período de estudio, se calcula la cantidad de sedimentos acumulados en términos de peso, valor que se lleva a la hectárea (por ejemplo, Mg/ha) relacionándolo con la superficie de la parcela. Además, se mide el agua acumulada, variable que se relaciona con el agua caída para obtener la relación precipitación/caudal correspondiente a cada tratamiento (Morgan, 2005).

Para determinar el peso total de suelo acumulado en el tanque, se toman muestras de sedimento en un volumen conocido, para luego secarlas y determinar el promedio de suelo (peso) en un volumen dado (recipiente de muestreo), determinando así el peso total a través de la multiplicación de dicho peso por el volumen total de suelo colectado. Los tanques pueden ser toneles tal como se muestran en la figura 4.



Figura 4. Parcela de escorrentía. (Estándares de ingeniería para aguas y suelos - EIAS, 2005).

Mutchler *et al.*, (1994) citado por Vega, (2008) destacan a las parcelas de escorrentía como una de las metodologías más conocidas para la evaluación directa de la erosión del suelo. Este método de investigación permite controlar muchas de las condiciones en que ocurren los procesos erosivos, como el sellamiento derivado del impacto de las gotas de lluvia.

Para Hudson (1997), son tres las razones donde se justifica el empleo de parcelas de escorrentía:

- Con fines demostrativos, cuando la finalidad es demostrar hechos conocidos.
- Para estudios comparativos, teniendo una indicación aproximada del efecto en la escorrentía o en la erosión de, por ejemplo, la existencia o no de una cubierta del suelo o la cuantía de la escorrentía en la cima y en la base de una ladera.
- En la obtención de datos que se van a emplear para construir o para validar un modelo o ecuación destinado a predecir la escorrentía o la pérdida de suelo.
-

Las parcelas de erosión constituyen uno de los métodos más utilizados en estudios focalizados en los efectos de distintas variables y prácticas de manejo de la tierra en la pérdida de suelo. Típicamente se utilizan dimensiones específicas representando una

parte de una hectárea, para así poder comparar los resultados obtenidos con otros estudios. Sin embargo, cualquier dimensión es válida, mientras se mantenga constante entre tratamientos y réplicas (Hudson, 1997).

Es importante recalcar que la erosión obtenida en las parcelas de muestreo no representa la erosión real del área en que dicha parcela se encuentra, pues la presencia de una barrera superior excluye la erosión laminar y en riles producida por el escurrimiento superficial proveniente de zonas localizadas ladera arriba de la parcela. Sin embargo, puesto que todas las parcelas cuentan con esta exclusión, la comparación entre tratamientos es perfectamente válida (Hudson, 1997).

Especial cuidado debe tenerse en todas las etapas de los estudios basados en parcelas de erosión. Entre los problemas más comunes se pueden mencionar los siguientes (Morgan, 2005): rebalse de los estanques colectores, estanques mal tapados, animales en busca de agua.

2.7 PRECIPITACIÓN

La lluvia, es uno de los factores climáticos más importantes que influyen sobre la erosión. El volumen y la velocidad de la escorrentía dependen de la intensidad, la duración y la frecuencia de la lluvia (FAO, 1994). De estos factores, la intensidad es el más importante y las pérdidas por la erosión aumentan con la intensidad de las lluvias. La duración de la lluvia es un factor complementario.

La frecuencia de la lluvia también tiene influencia sobre las pérdidas causadas por la erosión. Cuando la lluvia cae en intervalos cortos, la humedad del suelo permanece alta y la escorrentía es más voluminosa, aún si la lluvia es menos intensa. Después de largos períodos, el suelo está más seco y no debería haber escorrentía en lluvias de poca intensidad, pero en casos de sequía la vegetación puede sufrir debido a la falta de humedad y así reducir la protección natural de la tierra.

2.8 MÉTODOS DE CONTROL DE EROSIÓN

Todos los métodos de control de erosión están enfocados a disminuir el flujo de agua que baja por la ladera. Así se reduce la cantidad de tierra que el agua corriente se pueda llevar y también se preserva agua a través de la infiltración. Cualquier tipo de barrera tendría que funcionar. Para que la barrera sea efectiva, debe de seguir las curvas a nivel.

5.1.4 Barreras muertas

Las barreras muertas, son muros de piedras o de rastrojos, colocados conforme a las curvas a nivel y sirven para disminuir la velocidad del agua de escorrentía y evitar la erosión de los suelos, siendo más utilizadas en terrenos pedregosos (FAO, 2011).

5.1.5 Barreras vivas

Las barreras vivas son cultivos que se siembran en curvas a nivel, principalmente en las laderas, con el propósito de controlar la erosión. Poseen la característica de que se manejan tupidas en los surcos, con alta densidad; por este motivo actúan como barreras. Pueden utilizarse una serie de plantas de preferencia perennes y que macollen como: vetiver, piña, té de limón, piñuela, limoncillo, sauco, etc., existiendo en cada lugar plantas que reúnen las condiciones mencionadas para utilizar como barreras vivas (FAO, 2011).

Las barreras vivas impiden que los flujos de agua de escorrentía adquieran velocidades erosivas, al cortar el largo de la pendiente en pequeñas longitudes. Permiten a las partículas finas de suelo sedimentarse, a la vez favorecen la infiltración del agua a través del perfil. Por lo tanto alargan el tiempo de concentración y logran que el sobrante del agua de escorrentía llegue al pie de la ladera sin haber sido concentrada en sitios específicos (FAO, 2011).

Para su establecimiento se realizan los siguientes pasos:

- Determinar la pendiente promedio del terreno.
- Definir el distanciamiento entre barreras.

- Trazar curvas de nivel.
- Instalar plantas como barreras vivas.

El mantenimiento de las barreras es importante, principalmente, si se trata de barreras vivas, porque pueden provocar problemas de extenderse mucho e invadir el terreno, o un excesivo macollamiento, por lo que deben recortarse periódicamente. (Salvatierra, 2006).

2.9 VETIVER

El vetiver (*Chrysopogon zizanioides*), es una planta gramínea, perenne, sin tallo aparente, con vida útil de más de cien años, de crecimiento rápido sin ser invasivas como otras hierbas. No tiene, ni desarrolla, rizomas o estolones. Tiene hojas largas, rígidas y sencillas de hasta 80 cm de largo y menos de uno de ancho, muy resistentes y de bordes ásperos que se puede apreciar en la figura 5. Extremadamente resistente a la sequía, anegamiento permanente, contaminación y a la salinidad (Smyle, 1999).

Alcanza una altura desde 0.50 hasta casi dos metros en menos de seis meses, tiene un sistema radicular extremadamente fuerte y muy resistente que crece en dirección vertical, formando una auténtica barrera y un formidable anclaje en el subsuelo, alcanzando hasta más de cinco metros de profundidad. Las raíces son rígidas, muy largas, verticales y de grosor uniforme, similares a alambres. Facilita la formación de terrazas naturales, incrementa el almacenamiento de la humedad del suelo y no compite con cultivos vecinos (Smyle, 1999).



Figura 5. Planta de vetiver

Una vez establecida puede resistir sequías e inundaciones, puede recuperar vertederos de minas, estabiliza cortes en vías y rellenos, ferrovías y rivera de los ríos (Greenfield, 2002).

Las raíces se adaptan a todo tipo de terrenos y penetran incluso en las capas rocosas. Estas raíces pueden absorber excesos de nitratos y fosfatos y tolera niveles altos de elementos tóxicos como los metales pesados: mercurio, aluminio, níquel, hierro, manganeso y contener su propagación (Greenfield, 2002).

Las raíces crecen igual de rápido, alcanzando de 3 a 4 metros de profundidad en el primer año. (Smyle, 1999). El sistema radicular de una raíz excavada en Guatemala se puede apreciar en la figura 6.



Figura 6. Raíz de vetiver excavada en Guatemala

La especie *Chrysopogon zizanioides* es originaria del sur de la India, que además se emplea en la producción de aceites esenciales. Es una planta que puede mejorar la producción de cultivos a través de la conservación de humedad y nutrientes, puede resistir al fuego, y crecerá solamente donde sea plantada por el hombre (Greenfield, 2002).

Por siglos los habitantes de la india, donde es nativo, han conocido esta planta que en nuestro continente es desconocida y descuidada. Entre sus atributos ofrece un control práctico y sostenible para la erosión, de fácil aplicación y bajo costo (Smyle, 1999).

El vetiver está considerado como el principal recurso vegetal en el combate de la erosión en países tropicales. Recomendado por el Banco Mundial (1990), Departamento de Agricultura de Estados Unidos –USDA (2009) y la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación –FAO (1998), pero en Guatemala existe poca información de este novedoso sistema ecológico que controla la erosión y estabilización de suelos.

Esta planta es utilizada en más de cien países alrededor del mundo. Entre ellos: Venezuela, Brasil, Vietnam, Filipinas, Australia, India donde es originaria, entre otros,

con resultados exitosos, incluyendo proyectos de vetiver financiados por la Agencia Internacional para el Desarrollo –USAID. Como resultado final poder demostrar la eficiencia y la influencia de las barreras vivas de vetiver en el control de erosión y retención de humedad, estabilización de suelos, como herramienta de conservación de suelos y contribuir a una agricultura sostenible (National Geographic, 2004).

5.1.6 Resultados de estudios sobre vetiver

Según The Vetiver Network International -TVNI, (2015) estudios sobre vetiver han demostrado el siguiente resultado y concluido en el funcionamiento demostrado en la figura 7:

- Los cercos vivos de vetiver, reducen la pérdida del suelo a tres toneladas/ha.
- La escorrentía se reduce hasta en 70%, dependiendo de la pendiente y el tipo de suelo.
- Se mejora el contenido de humedad del suelo.
- Los rendimientos de los cultivos, en suelos poco profundos en años secos, se han incrementado en 30%.
- Incrementos dramáticos en la materia orgánica del suelo (de 0,04% a 1,8% en dos años donde se utilizó hojas de vetiver como mulch).
- Incrementos significativos en N, P, K y otros elementos menores).

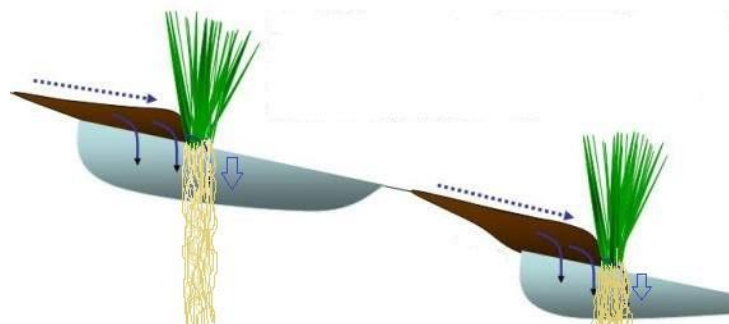


Figura 7. Modelo del funcionamiento de vetiver como barrera (adaptado de TVNI, 2015)

5.1.7 Usos comprobados del vetiver

Entre los usos reconocidos a nivel mundial están:

- Barrera contra erosión.
- Delimitación de áreas.
- Estabilización de taludes que se muestran en la figura 8.
- Protección y delimitación de vías y caminos.
- Tratamientos de aguas residuales.
- Hojas para mulch o cubresuelo para control de malezas.
- Hojas para artesanías y techos.
- Control de sedimentos.
- Barrera anti contaminación ambiental.
- Formación de bancales vivos y naturales.
- Cortavientos,
- Raíces para perfumería y otros.



Figura 8. Protección de taludes de la erosión, ciudad de Guatemala (Ingeniería Viva, 2016)

3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA Y JUSTIFICACIÓN DEL TRABAJO

En la actualidad existen serios problemas ambientales debido a los cambios que el planeta ha sufrido en los últimos años. La intensidad y frecuencia de las lluvias ha provocado muchos problemas en la superficie del suelo tales como erosión e inundaciones, causando pérdidas económicas, principalmente en países tropicales.

La erosión es un problema ambiental que afecta a Guatemala por su topografía y la ubicación geográfica, sumado a esto la intensidad de las tormentas tropicales de los últimos años, la disminución de la cobertura vegetal por la tala inmoderada y por las construcciones y las prácticas agrícolas inadecuadas, intensifican la erosión traduciéndose en catástrofes naturales como en el 2005 con la tormenta Stan.

Guatemala, a pesar de estar enfrentando la erosión no cuenta con políticas públicas para solucionarlo, aunque su clima y estación lluviosa favorece la aplicación de medidas que controlan la erosión, tales como las barreras vivas. Asimismo, las prácticas de conservación de suelos no existen en cada unidad de producción agrícola.

Según el Ministerio de ambiente y recursos naturales –MARN (2010), el 10% del territorio está en estado de degradación avanzada, y el 85% en proceso de degradación, y el mayor causante es la erosión hídrica. Además, no existen datos actualizados de estimación cuantificables para poder priorizar este problema.

En la actualidad existen una serie de sistemas de control y prevención de la erosión hídrica que son comprobadas científicamente. Entre ellas está el sistema vetiver, que consiste en la aplicación de barreras vivas en curvas a nivel utilizando la planta Vetiver que es una gramínea de desarrollo rápido, perenne, no invasivo, con resistencia a condiciones hostiles y un sistema radicular denso, fuerte y profundo en forma vertical.

4. OBJETIVOS

4.1 GENERAL

Evaluar el efecto de barreras vivas de vetiver sobre las pérdidas de suelo por erosión hídrica, mediante parcelas de escorrentía, con y sin cultivo, en el municipio de Chicacao, Suchitepéquez.

4.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Determinar el volumen de suelo erosionado (sedimentos) con y sin barreras de vetiver.
- Cuantificar el peso del suelo seco y de suelo húmedo, del sedimento colectado en kilogramos en cada una de las parcelas diseñadas.
- Determinar el costo de la práctica de utilización de vetiver como barrera viva en los sistemas de producción en laderas.

5. METODOLOGÍA

5.2 AMBIENTE

El municipio de Chicacao se divide en tres áreas geográficas: la zona baja, zona media y zona alta. La parcela en estudio se localizó en la zona media, en la aldea San Pedro Cutzán, del municipio de Chicacao, departamento de Suchitepéquez, a 6 kilómetros de la cabecera municipal y 150 kilómetros de la ciudad capital. Las coordenadas de esta localidad son Latitud: N 14.29.378 y Longitud: W 91.20.244. El estudio se llevó a cabo en un área de cultivo de frijol.

5.2.1 Clima

Según los registros del Instituto Nacional de Sismología Vulcanología Meteorología e Hidrología -INSIVUMEH- el promedio de temperatura mínima anual es de 10 a 12 grados centígrados, y el promedio de temperatura máxima anual es de 20 a 27 grados centígrados. Las condiciones climáticas son muy variadas, debido a sus diferentes altitudes que van desde 165 hasta 1,300 metros sobre el nivel del mar –msnm. La localidad donde se realizó el estudio se ubica a 287 msnm.

Los vientos que predominan en la región son de dirección noreste y sureste, en temporada lluviosa llegan a alcanzar los 63 kilómetros por hora. La humedad relativa promedio anual es de 80% para las zonas media y alta, mientras que para la zona baja es del 75% (Urizar *et al*, 2012).

5.2.2 Precipitación

La región presenta una precipitación pluvial abundante (aproximadamente 4,483 milímetros) durante los meses de mayo a octubre y en los meses de noviembre a abril la precipitación baja a 1,500 milímetros.

5.2.3 Suelos de Chicacao

Según el Ministerio de Agricultura, Ganadería y Alimentación –MAGA (2010), en Chicacao se localizan los siguientes tipos de suelos:

- Tipo Tiquisate; franco-arenosa; que por su textura, humedad y profundidad es uno de los mejores tipos de suelo de Guatemala.
- Tipo Cutzán; que son suelos profundos desarrollados sobre ceniza volcánica de color claro, muy susceptibles a la erosión.
- Tipo Suchitepéquez; suelos de humedad media, buena textura y resistente a la erosión.
- Tipo Coyolate; suelos con vocación completa para bosques.
- Tipo Chipó; que son suelos profundos desarrollados sobre ceniza volcánica de color claro, muy susceptibles a la erosión.

El área donde se estudiaron las parcelas corresponden al tipo Cutzán y se ubica en la zona geográfica conocida como zona media del municipio de Chicacao. En las tablas 1 y 2 se describen las características de este tipo de suelo, según el MAGA 2001.

Cuadro 1. Características del suelo tipo Cutzán.

Símbolo	Color	Textura	Valor de pH	Profundidad
Cz	Café oscuro	Franco-arenosa	6.30	40

Cuadro 2. Capacidad productiva de la tierra por clase agrológica donde se realizó el estudio

Clase agrológica /descripción
IV / Tierras cultivables sujetas a medianas limitaciones, permanentes, no aptas para el riego, salvo en condiciones especiales, con topografía plana, ondulada o inclinada, aptas para pastos y cultivos perennes, requieren prácticas intensivas de manejo, productividad mediana a baja.

5.3 SUJETOS Y/O UNIDADES DE ANÁLISIS

5.3.1 Parcelas de escorrentía

Son pequeñas estructuras que se construyen en un área de terreno con pendiente para captar suelo erosionado. Estas parcelas se delimitan por barreras físicas para lograr conducir la escorrentía a un depósito donde los sedimentos asienten y puedan ser cuantificadas. Estos sedimentos se van monitoreando a lo largo del periodo de lluvia establecido.

5.3.2 Componentes de las parcelas de escorrentía.

La parcela de medición está compuesta de un área de escurrimiento con bordes y un recipiente de captación. Los bordes dividen las parcelas estos pueden ser de lámina de zinc, enterrados 0.20 m. y con una altura de 0.15 - 0.20 m. sobre el suelo. El recipiente puede ser un barril, tonel o cualquier tanque que se adapte al tamaño necesario para captar el suelo proveniente de la parcela. Las dimensiones de la parcela pueden variar pero se han utilizado, para calcular áreas grandes, parcelas de 8 m de ancho por 15 m de largo (Vallejos y Velásquez, 1998). Para este fin se utilizaron cuatro parcelas de 4 metros de ancho y 8 metros de largo. Estas parcelas se ubicaron en pendientes de características similares, habiendo realizado una medición de las mismas, como se muestra en la figura 9.



Figura 9. Medición de pendiente

Utilizando láminas de zinc en los bordes que evitó las filtraciones hacia el interior o el exterior de la parcela a través de los bordes que pueden ser una causa común de error, como se muestra en las figuras 10 y 11. Se construyeron un dren encima de la parcela para desviar el agua de superficie que desciende desde las tierras más altas.

Las laminas que delimitan las parcelas serán mantenidas verticales por medio de varillas de acero clavadas a cada lado, unidas a través de traslapes y cubiertas por un sujetador formado por una lámina de metal.



Figura 10. Conducción de suelo erosionado



Figura 11. Parcela delimitada

5.3.3 Distribución de las parcelas de escorrentía.

Las parcelas de escorrentía que sirvieron para el estudio se construyeron en una misma pendiente de 45 % y cada parcela de 8 m de largo y 4 m de ancho tiene un total de 32 metros cuadrados, tal como se muestra en la tabla 3. Las condiciones o prácticas de cobertura diseñadas para cada parcela fueron diferentes y se aprecian en la figura 12 y una de las parcelas con cobertura combinada de frijol y vetiver se muestra en la figura 13.

Cuadro 3. Sistema de preparación de parcelas de escorrentía evaluadas en campo bajo lluvia natural.

Parcela	Práctica/condición	Pendiente %	Área m ²
1	Suelo desnudo	45	32
2	Cultivo de frijol	45	32
3	Barreras vivas de vetiver y cultivo de frijol	45	32
4	Barreras vivas de vetiver	45	32

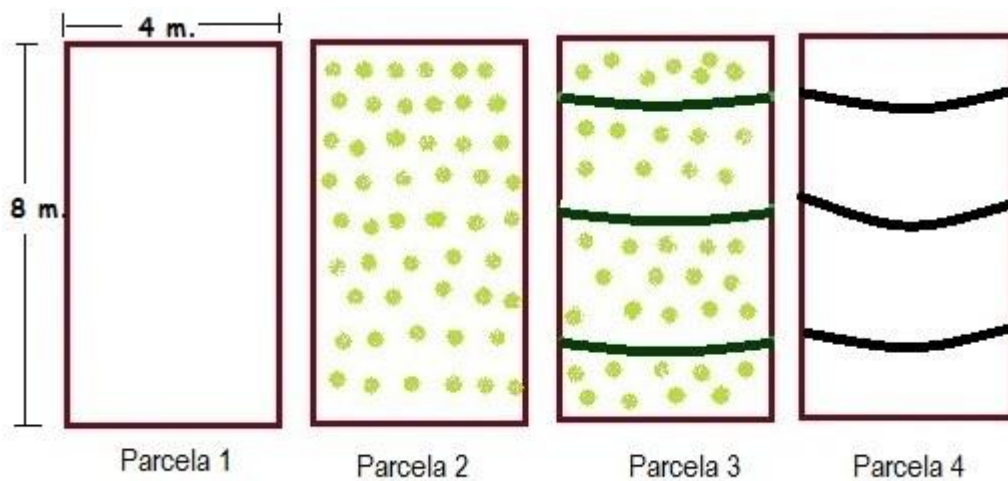


Figura 12. Diseño de las parcelas de escorrentía evaluadas



Figura 13. Parcela con frijol y barreras vivas de vetiver

5.3.4 Procedimiento.

Se realizó monitoreo de los sedimentos recolectados y almacenados en los depósitos diarios y en dependencia de la frecuencia e intensidad de eventos de lluvia. Los sedimentos fueron pesados en el campo, esto es el peso de campo húmedo. Luego se tomaron muestras (1 kg. de suelo) por tratamiento para determinar peso de suelo seco en laboratorio.

5.4 TIPO DE INVESTIGACIÓN

El presente trabajo de tesis fue una investigación descriptiva cuya finalidad fue evaluar, y comparar la efectividad de barreras vivas de vetiver para controlar la erosión hídrica.

5.5 INSTRUMENTO

5.5.1 Instrumento de recopilación de datos.

Se creó una boleta de registro diario y semanal de información para recopilar datos que incluyen precipitación, observaciones de sedimentos, entre otros. También una boleta de consolidado de la información al final del estudio.

5.5.2 Instrumento de presentación.

Se utilizaron tablas para presentar datos registrados de acumulación de sedimentos durante los tres meses de estudio.

5.5.3 Instrumento de práctica.

Para este estudio se utilizó pluviómetro como equipo de registro de la precipitación pluvial como se muestra en la figura 14, materiales de láminas metálicas en la construcción de la delimitación de las parcelas de escorrentía, tubos de aguas pluviales de 4 pulgadas como conductores, y toneles plásticos de 55 galones como depósitos para sedimentos que se pueden apreciar en la figura 15.



Figura 14. Pluviómetro instalado



Figura 15. Colector de suelo erosionado

5.6 PROCEDIMIENTO

5.6.1 Consulta documental

Se realizaron las siguientes actividades:

- Se reunió información sobre la erosión hídrica principalmente en Guatemala.
- Se recopiló información sobre las prácticas más comunes y económicas de conservación de suelos utilizadas actualmente en Guatemala.
- Se revisaron las aplicaciones comprobadas del vetiver como barrera viva para combate de la erosión hídrica en países tropicales.
- Se analizaron datos de precipitación, tipos de suelo del área de Chicacao.
- Se diseñó presentación de los resultados obtenidos en cuadros y gráficas que describieron la efectividad del vetiver cuando se utiliza adecuadamente para control de erosión hídrica.
- Se elaboraron muestras de diseños de parcelas en el uso de vetiver como barrera viva en agricultura tomando en cuenta factores como pendiente, tipo de suelo, tipo de cultivo, etc.

5.6.2 Fase de campo

Se midieron las áreas para establecimiento de las parcelas que fueron de 4 metros de ancho y 8 metros de largo, considerando el área donde el vetiver ya estaba establecido de un año de edad como barrera viva. Esto se realizó en el mes de mayo para iniciar a

preparar el área. El estudio se realizó en los meses de julio, agosto y septiembre y los datos de precipitación pluvial (PP) se registraron en milímetros (mm). Se prepararon las áreas para establecer y delimitar las parcelas de escorrentía. Entre las actividades están la delimitación física de cada parcela e instalación de toneles de 55 galones como depósitos de sedimentos, para cada parcela de escorrentía. Se supervisaron los sedimentos colectados en cada depósito y se eliminaron aguas pluviales colectadas después de asentar el suelo erosionado, como se muestra en las figuras 16 y 17, el cual se realizó semanalmente y en dependencia de la frecuencia e intensidad de eventos de lluvia.



Figura 16. Monitoreo de sedimentos



Figura 17. Evacuación de agua

Los sedimentos fueron pesados en campo, esto es el peso de suelo húmedo (PSH); Luego se tomaron muestras (1 Kg. de suelo) de los mismos sedimentos por cada parcela para determinar peso de suelo seco (PSS) en el laboratorio, como se muestran en las figuras 18 y 19. Para el registro de datos de los sedimentos colectados se utilizaron la unidad de medida en metros cúbicos (m^3) y el registro de datos de precipitación en milímetros (mm). Para describir el área de las parcelas, las unidades de medida fueron metros cuadrados (m^2).



Figura 18. Peso de suelo



Figura 19. Muestras de suelo para el laboratorio

5.7 ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN

Se presentaron primero los datos de la precipitación pluvial obtenida diariamente durante el periodo de estudio. Luego los datos de volumen de suelo recolectado en los depósitos o toneles de 55 galones en el periodo de tres meses o 92 días que duró el experimento. Posteriormente se procedió a un análisis estadístico descriptivo y comparativo del volumen, peso de suelo seco -PSS y peso de suelo húmedo -PSH recolectado en cada parcela, estos volúmenes de suelo erosionado por parcela se puede apreciar en la figura 18.



Figura 20. Volumen de suelo erosionado por parcela

Para evidenciar el proceso se procedió a ordenar una amplia serie de fotografías, como la figura 21, así como una minuciosa descripción de los eventos de mayor impacto durante el estudio. En cuanto al análisis económico se detallaron los costos de la implementación barreras vivas de vetiver y se sintetizó en un cuadro.



Figura 21. Secado del suelo erosionado

En el anexo 1 y 2 se presentan las boletas empleadas en el registro de datos de campo.

6. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

6.1 DATOS DE PRECIPITACIÓN

En la figura 22 se muestra el comportamiento de las lluvias durante los tres meses evaluados, los cuales suman un total de 92 días, contabilizando un total de 2,788 mm en dicho período. Se registraron los datos diarios de precipitación por la mañana a las 8 horas, con el fin de obtener los datos del día anterior. Con estos datos de precipitación pluvial se demuestra el comportamiento y la intensidad de la lluvia en la zona de Chicacao en solamente la mitad de la época lluviosa en que se llevaron a cabo las observaciones.

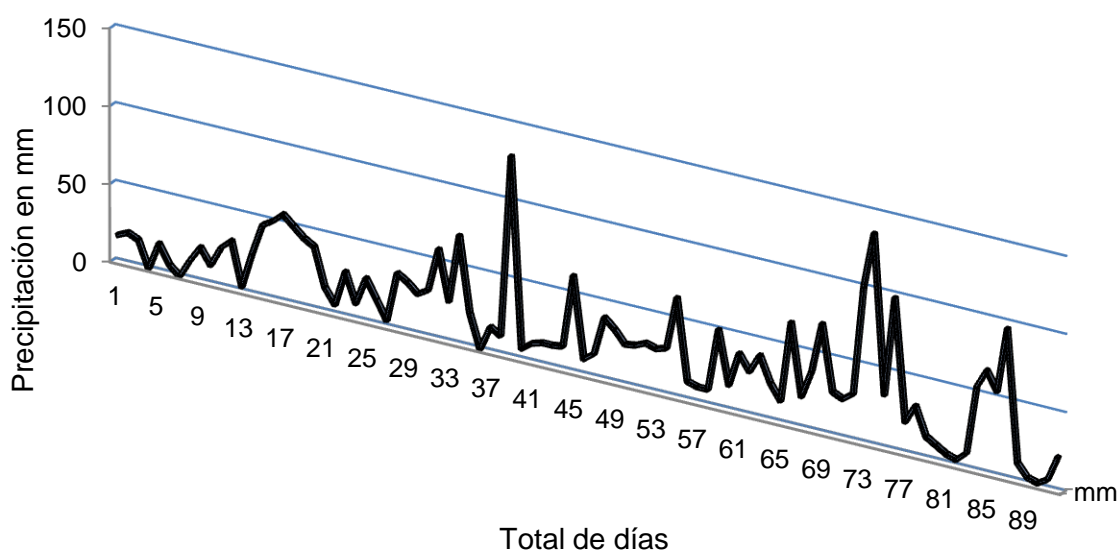


Figura 22. Precipitación pluvial (mm) del periodo 1 de julio al 30 de septiembre 2017.

6.2 VOLUMEN DE SUELO EROSIONADO

Al finalizar los tres meses de recolección de datos y sedimentos, se procedió a cuantificar el suelo erosionado recolectado en cada parcela, dando como resultado los datos presentados en la tabla 4 y representados en la figura 23. El valor más alto siendo 0.22 m³ corresponde a la parcela 1 donde se produjo más erosión y fue de la parcela de suelo desnudo, seguido 0.10 m³ de la parcela 2 con cultivo de frijol, luego la parcela 4 con 0.03 m³ donde se evaluaron las barreras vivas de vetiver, y en la parcela 3 se obtuvieron los valores absolutos más bajos de erosión con 0.02 m³ donde se

evaluó la combinación de barreras de vetiver y frijol. La combinación del cultivo con las barreras vivas de vetiver redujo significativamente la producción de sedimentos o la erosión en comparación con el cultivo de frijol sin prácticas de conservación de suelo como suele suceder comúnmente en la mayoría de áreas de producción agrícola. Asimismo podemos deducir que un suelo agrícola sin cobertura por mínimo que sea el área siempre se pierde suelo.

Cuadro 4. Volumen de suelo erosionado por parcela (m³)

Parcela	Parcela 1	Parcela 2	Parcela 3	Parcela 4
Volumen en m ³	0.22	0.10	0.02	0.03

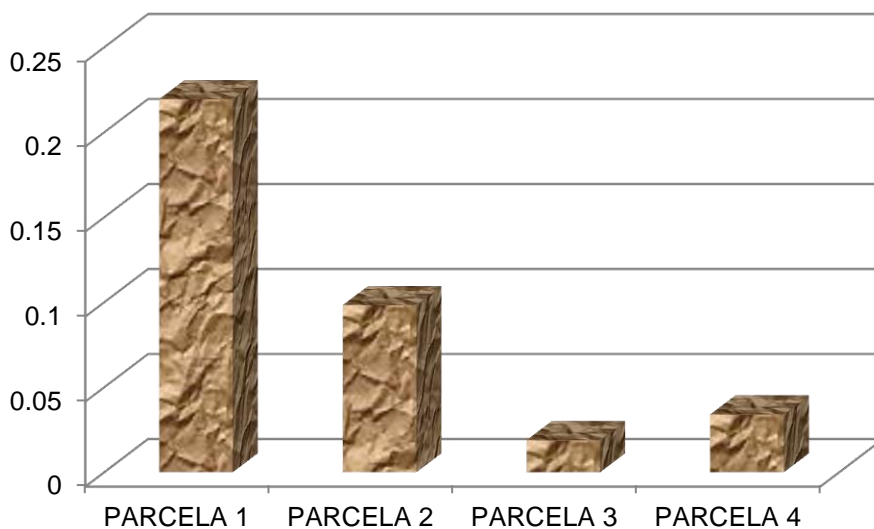


Figura 23. Volumen de suelo erosionado por parcela (m³).

6.3 PESO HÚMEDO DE SUELO EROSIONADO

Al finalizar el estudio se procedió a pesar el suelo erosionado, obteniendo como resultado los datos que se presentan en la tabla 5 y graficada en la figura 24. obviamente la parcela 1 donde se obtuvo mayor suelo erosionado tiene el peso mayor,

seguido de la parcela 2 donde se evaluó cultivo de frijol, luego la parcela 3 se obtuvo mayor peso que la parcela 4. Estas últimas dos parcelas donde se evaluaron parcelas con barreras de vetiver ya establecido, mostraron un suelo erosionado más fino debido a las retenciones de suelo que las barreras de vetiver generan. La unidad de medida para el peso fue kilogramos.

Cuadro 5. Peso húmedo de suelo erosionado

Parcela	1	2	3	4
Suelo en kg	264.00	137.65	15.39	9.18

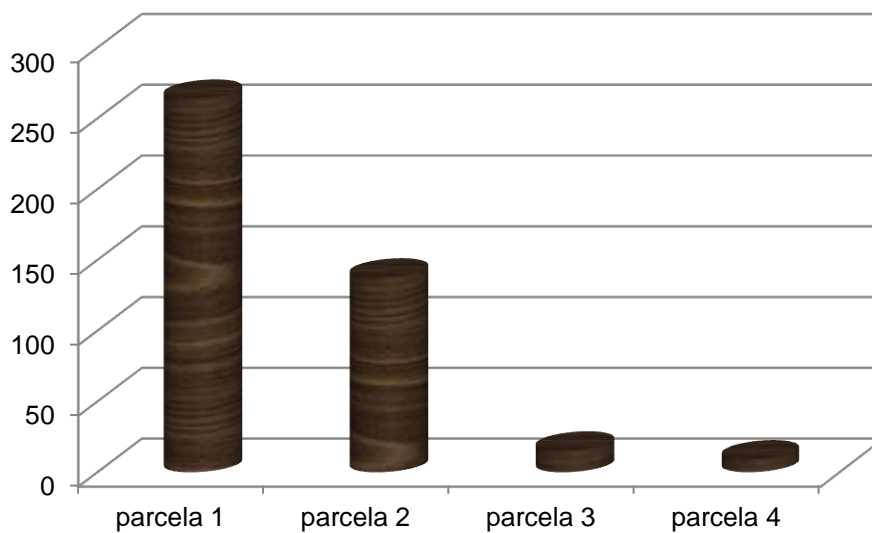


Figura 24. Resultado de peso húmedo de suelo erosionado

6.4 PESO SECO DE SUELO EROSIONADO

Se procedió a enviar el suelo húmedo al laboratorio de suelos de ICTA para determinar el peso de suelo seco y el porcentaje de humedad. El resultado de peso de suelo seco se presenta en la tabla 6 y en la figura 25. Las parcelas 1 y 2 que corresponden a suelo desnudo y cultivo de frijol presentaron un peso proporcional a la cantidad de sedimentos. En la parcela 3 donde se evaluaron barreras vivas de vetiver y frijol

presentó mayor peso de suelo seco comparado con la parcela 4 donde se evaluó barreras vivas de vetiver, se puede considerar que esta diferencia de suelo erosionado entre estas parcelas se debe a las actividades culturales que el cultivo de frijol conlleva tales como la siembra, fertilización, donde se trabaja con el suelo.

Cuadro 6. Peso seco de suelo erosionado.

Parcela	parcela 1	parcela 2	parcela 3	parcela 4
Suelo en kg	193.77	87.27	10.78	4.35

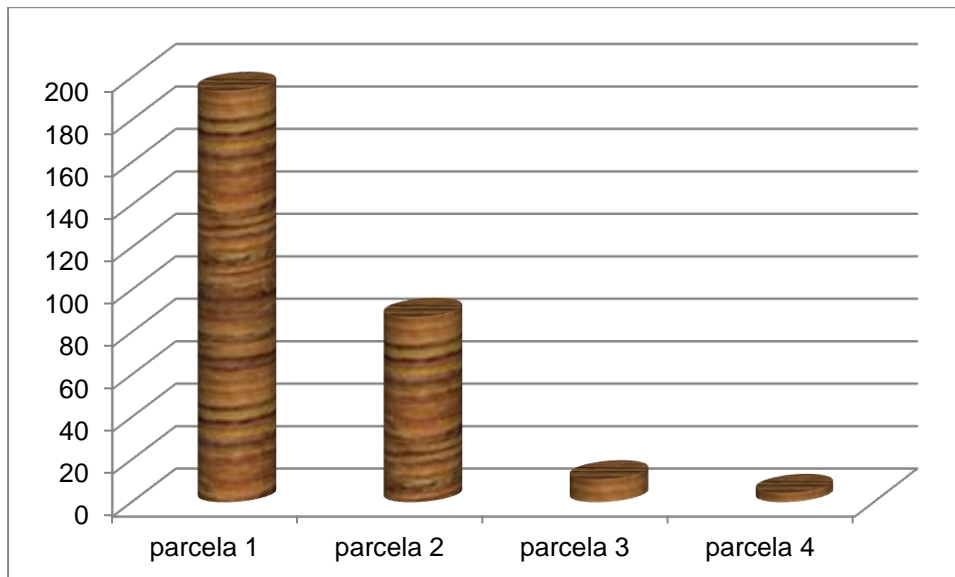


Figura 25. Resultado de peso seco de suelo erosionado

6.5 PORCENTAJE DE HUMEDAD DEL SUELO EROSIONADO

Con los datos de suelo húmedo y peso seco se determinó el contenido de humedad en el suelo erosionado obteniendo los resultados que se presentan en la tabla 7. Las primeras tres parcelas donde se evaluó el suelo desnudo y cultivo de frijol, se determinaron que el porcentaje de humedad fue menor ya que debido a la granulometría más gruesa del suelo erosionado almacenó menor humedad. La última parcela donde se evaluó vetiver y donde no se trabajó el suelo mostró mayor porcentaje

de humedad siendo las partículas de suelo erosionado fue más fina lo que posiblemente contribuyó a retener mayor humedad.

Cuadro 7. Porcentaje de humedad de suelo erosionado.

Parcela	Parcela 1	Parcela 2	Parcela 3	Parcela 4
% Humedad	26.6	36.6	29.9	52.5

6.6 PROYECCIÓN DE LA EROSIÓN DE SUELO EN UNA HECTÁREA

La tabla 8 nos muestra los datos de erosión proyectado para una hectárea con una pendiente de 45 %; esta proyección se basó en los datos obtenidos de las parcelas estudiadas. Se proyecta que cada parcela de una hectárea en las mismas condiciones de cobertura sufra diferentes grados de erosión. En la parcela 1 en un área desnuda se perderían en una hectárea 68.61 m³ de suelo, lo que indica también pérdida de nutrientes y minerales que puede aprovecharse en un cultivo. En la parcela 3 podemos apreciar que la erosión sería menor de 5.91 m³ si las condiciones son la combinación de barreras vivas de vetiver y frijol, se lograría una reducción bastante significativa de 91% comparado con un suelo denudo y de una reducción del 80% comparado con un área de frijol sin barreras vivas de vetiver como lo es la parcela 2.

Cuadro 8. Proyección de la erosión basada en las parcelas estudiadas

Parcelas	1	2	3	4
Volumen (m ³) de suelo erosionado en 32 m ²	0.22	0.10	0.02	0.03
Proyección de Volumen de suelo erosionado en 10,000 m ² (1 Ha)	68.61	30.76	5.91	10.64

6.7 ANÁLISIS ECONÓMICO

Los datos que se muestran en la tabla 9 están calculados para el establecimiento de barreras vivas de vetiver en una hectárea con 45% de pendiente. En esta tabla no se consideran los costos de fertilización y mantenimiento debido a que esta planta tolera suelos extremos o de baja fertilidad, sequía, no invasivo y no compite con los cultivos. En una hectárea (10,000 m²) en estas condiciones, se necesitan barreras vivas con densidades de 4 m. entre hileras y 0.25 m. entre plantas, necesitando 10,000 plántulas de vetiver con un costo de Q. 0.60 por cada plántula, resultando un costo total de Q.6000.00 para proteger de la erosión una hectárea.

Se puede considerar que una hectárea no presentaría toda la superficie en las mismas condiciones topográficas, por lo que las necesidades de barreras vivas variarán en función de la topografía. Con el uso de barreras vivas se mantiene la humedad del suelo por más tiempo beneficiando al cultivo, así como la retención de nutrientes que las barreras generan, requiriendo cada vez menor aplicación de fertilizantes, mejor infiltración de agua para desarrollo del cultivo y un incremento de materia orgánica, además de mulch que puede aprovecharse al podar las hojas de vetiver.

Cuadro 9. Costos del establecimiento de barreras vivas de vetiver por hectárea.

Cantidad	Unidad de medida	Descripción	Costo unitario (Q)	Sub total (Q)
10,000	Planta	Plántulas de vetiver	0.60	6,000.00
1	Flete	Transporte de plantas	200.00	200.00
3	Jornal	Siembra de plantas	300.00	300.00
				6,500.00

7. CONCLUSIONES

El volumen de suelo erosionado se redujo en un 80 % con las barreras vivas de vetiver utilizado en cultivos de frijol. En la parcela 2 con cultivo de frijol sin vetiver se obtuvo 0.10 metros cúbicos mientras en la parcela 3 de frijol protegido con barreras vivas de vetiver se obtuvo 0.02 metros cúbicos de suelo erosionado.

Tras el proceso de peso de suelo erosionado podemos apreciar la diferencia entre un área protegida de erosión con barreras vivas de vetiver (parcela 3) obteniendo 10.78 kg de suelo como producto de la erosión y un área con cultivo de frijol sin protección para la erosión (parcela 2) obteniendo 87.27 kg de suelo erosionado en un periodo de tres de los seis meses de lluvia en la zona de Chicacao, con 2788 mm de lluvia durante el estudio.

El vetiver se desarrolla muy bien en asociación con los cultivos tradicionales especialmente granos básicos por ser una planta C4 y ofrece a la agricultura una herramienta especial de bajo costo y fácil aplicación para el control de la erosión. Los Q6,500.00 que el estudio muestra como el costo de las barreras de vetiver para la protección contra la erosión para una hectárea, es una inversión única para conservar suelos, ya que existen estudios sobre vetiver con más de 60 años de vida útil.

8. RECOMENDACIONES

La erosión de suelo reduce los niveles de fertilidad del mismo por lo que se debe considerar la conservación de suelos como un componente importante en la agricultura especialmente en suelos con pendientes donde se concentra la pequeña y mediana producción agrícola de este país.

Realizar otras investigaciones sobre la pérdida de suelo utilizando como metodología las parcelas de esorrentía pero en diferente cultivo, de preferencia en hortalizas de interés económico como tomate o chile y en diferente clima para conocer el impacto de las barreras vivas con vetiver y generar información que cuantifica la reducción de la erosión.

Las entidades estatales como el Ministerio de Agricultura, Ganadería y Alimentación y el Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales deben priorizar la implementación de programas educativos sobre la importancia de las prácticas de conservación de suelos y facilitar información sobre herramientas como vetiver que es muy poco conocido en nuestro país.

9. BIBLIOGRAFÍA

- American Psychological Association (2010). *Manual de Publicaciones de la American Psychological Association -APA (6 ed.)*. México, D.F.: Editorial El Manual Moderno. Recuperado de <https://www.um.es/documents/378246/2964900/Normas+APA+Sexta+Edici%C3%B3n.pdf/27f8511d-95b6-4096-8d3e-f8492f61c6dc>
- Argueta, J.C. (2010). "Estimación de los riesgos y niveles de erosión hídrica en la microcuenca del río negro, Chimaltenango. (Tesis de grado) Recuperado de http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/01/01_2572.pdf
- Banco Mundial, (1990). *Vetiver-La barrera contra la erosión*. Recuperado de http://www.vetiver.org/PUBLICATIONS/TVN_GreenSpan.pdf
- Ciencia y biología. (2017). *Sedimentación*. Recuperado de <https://cienciaybiologia.com/sedimentacion-y-estratificacion/>
- Da Silva, V.T. (2006). *Propuesta metodológica para medir la escorrentía en sistemas agropecuarios del cantón de guácimo, zona del caribe de costa rica*. Recuperado de <http://cro.ots.ac.cr/rdmcnfs/datasets/biblioteca/pdfs/nbina-8550.pdf>
- EcuRed, (2017). *Escorrentía superficial*. Recuperado de https://www.ecured.cu/Escorrent%C3%ADa_Superficial
- EIAS. (2005). *Diseño de obras para la conservación de agua y suelos*. Recuperado de http://eias.atalca.cl/Docs/pdf/Publicaciones/libros/disen%C3%B3n_de_obras_para_la_conservaci%C3%B3n_de_aguas_y_suelos.pdf
- FAO. (1994). *Erosión de suelos en América latina*. Recuperado de <http://www.fao.org/docrep/t2351s/T2351S00.htm>
- FAO. (1997). Medición sobre el terreno de la erosión del suelo y de la escorrentía. *Boletín de Suelos N° 68*. Recuperado de <http://www.fao.org/docrep/T0848S/t0848s00.htm#Contents>
- Greenfield, J. C. (2002). *Vetiver Grass, An Essential Grass for the Conservation of Planet Earth*. Haverford, Pa. U.S.A. Infinity Publishing.
- Grimshaw, R. (1994). The Role of Vetiver Grass in Sustaining Agricultural Productivity. 15° Congreso Mundial de la Ciencia del Suelo. *Soil Technology for Sustainable Agriculture. Volumen 7*. Recuperado de http://www.vetiver.org/TVN_Mexico%20

World%20.pdf

Hudson, N. (1997). Parcelas de escorrentía. *Medición sobre el terreno de la erosión del suelo y de la escorrentía. Boletín FAO 68*. Recuperado de <http://www.fao.org/docrep/T0848S/T0848S00.htm>

Ingeniería Viva, (2016), *Estabilización de taludes y control de erosión con vetiver en Guatemala*. Recuperado de <https://sites.google.com/site/vetiverguate/>

MAGA -Ministerio de Agricultura, Ganadería y Alimentación (2001), *Mapa de usos de la tierra*. Recuperado de <http://web.maga.gob.gt/sigmaga/suelos-1-250/>

MARN -Ministerio de ambiente y recursos naturales (2010). Situación Ambiental del Estado de Guatemala, 2009-2010. *Informe sobre los avances institucionales de la gestión pública en materia ambiental 2010*. Recuperado de <http://www.marn.gob.gt/Multimedios/51.pdf>

Morgan, R. (2005). *Soil erosion and conservation*. Oxford, UK. National Soil Resources Institute. Cranfield University. Blackwell Science Ltd.

Morgan, R. (1997). *Erosión y conservación del suelo*. España. Grupo Mundi-Prensa.

Motta, E.L. (1999). *Estudio de la erosión hídrica del suelo, microcuenca del río Itzapa, Chimaltenango, de 1994 a 1996*. (Tesis de grado). Universidad de San Carlos de Guatemala-USAC, Guatemala.

National geographic, (2004). Grass Grows 13-Foot Roots of "Steel". *National geographic News*. Recuperado de https://news.nationalgeographic.com/news/2004/08/0831_040831_supergrass.html

Pacheco, (s.f.). *Medidas de conservación para suelos potencialmente erosionables*. (Tesis de grado). Centro de investigaciones agropecuarias, Universidad Central "Marta Abreu" de Las Villas. Cuba.

Rodríguez, O. (2002). Establecimiento exitoso de barreras de vetiver en el terreno. *Boletín Vetiver: Publicación divulgativa de la Red Latinoamericana del Vetiver*. (Numero 10). Recuperado de http://www.vetiver.org/LAVN_boletin_10.pdf

Salvatierra, F. (2006). *Estudio de la cuenca del río cajolá con fines de manejo de suelos, municipio de cajolá, departamento de Quetzaltenango*. (Tesis de grado). Universidad de San Carlos de Guatemala-USAC, Guatemala.

Santos, (2010). *Determinación de la erosión hídrica para diferentes rangos de pendientes en finca Santa Albina, municipio de Colomba costa cuca*,

departamento de Quetzaltenango. (Tesis de grado). Universidad Rafael Landívar. Guatemala.

SEGEPLAN -Secretaría General de Planificación y Programación de la Presidencia. (2001). *Pendientes topográficas: rangos de porcentaje, Territorio 3 del Departamento de Suchitepéquez*. Recuperado de http://ide.segeplan.gob.gt/tablas/tablas_municipal/pdfs/10_Tablas_Suchi/Territorio3/tabla_41_10_03.pdf

Smyle, J. (1999,07). Experiencia mundial con el uso del vetiver para infraestructura, cuenca y uso en la finca. Recuperado de <http://belojardin.blogspot.com/2009/10/experiencia-mundial-con-el-uso-del.html>

The Vetiver Network International. (2001). *The Vetiver System: A Proven Solution. Vetiver System*. Recuperado de http://www.vetiver.org/PRVN_TCM.pdf

Truong, P.N.V. (2004). Vetiver system for erosion and sediment control. *Conserving Soil and Water for Society: Sharing Solutions*. Recuperado de <http://www.tucson.ars.ag.gov/isco/isco13/PAPERS%20R-Z/TRUONG.pdf>

UNA -Universidad Nacional Agraria. (2005). *Manual de métodos sencillos para estimar erosión hídrica*. (Documento 502). Recuperado de <http://cartografia.mag.gob.sv/index.php/documentacion-tecnica/category/5-manuales-tecnicos>

UNESCO, 2010. Procesos de erosión y sedimentación en cauces y cuencas. *Programa Hidrológico Internacional (PHI) de la Oficina Regional de Ciencia para América Latina y el Caribe de la Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura (UNESCO)*. (Documento Técnico N° 38). Recuperado de <http://unesdoc.unesco.org/images/0025/002535/253563S.pdf>

Urizar *et al*, (2012). *Diagnóstico socioeconómico, potencialidades productivas y propuestas de inversión. Municipio de Chicacao, departamento de Suchitepéquez*. (Tesis grupal 2-70-50-C-2010). Universidad de San Carlos de Guatemala. Recuperado de http://biblioteca.usac.edu.gt/EPS/03/03_0792_v1.pdf

USDA-United States Department of Agriculture. (2002). *National Agronomy Manual*. Recuperado de https://www.nrcs.usda.gov/Internet/FSE_DOCUMENTS/stelprdb1043208.pdf

Vega, L.P. (2008). *Evaluación de la erosión hídrica superficial por parcelas experimentales en suelos desnudos de la región de Coquimbo*. (Tesis).

Universidad de Talca, Chile. Recuperado de
[http://eias.entalca.cl/Docs/pdf/Publicaciones/tesis_de_grado/
leonardo_vega.pdf](http://eias.entalca.cl/Docs/pdf/Publicaciones/tesis_de_grado/leonardo_vega.pdf)

10. ANEXO

Anexo 1. Boleta de registro de precipitación

Uso de vetiver (*Chrysopogon zizanioides*) como barrera viva para control de la erosión hídrica

FECHA	Revisión de suelo erosionado	PLUVIOMETRO (mm)	OBSERVACIONES

Anexo 2. Cuantificación de pérdida de suelo

Uso de vetiver (*Chrysopogon zizanioides*) como barrera viva para control de la erosión hídrica

Cuantificación de pérdida de suelo a través de parcelas de escorrentía

PARCELAS FACTORES EVALUAR A	1 Suelo desnudo	2 Frijol	3 Vetiver y frijol	4 Vetiver
Volumen m ³				
PSH Peso suelo húmedo				
PSS Peso suelo seco				
OBSERVACIONES				

Anexo 3. Cronograma de trabajo

CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES

Uso de vetiver (*Chrysopogon zizanioides*) como barrera viva para control de la erosión hídrica

Responsable: Salvador Rosendo Ramírez Och

Duración: 16 semanas (Del 01 de julio al 30 de septiembre de 2017)

No.	NOMBRE DE LA ACTIVIDAD	Semana 1	Semana 2	Semana 3	Semana 4	Semana 5	Semana 6	Semana 7	Semana 8	Semana 9	Semana 10	Semana 11	Semana 12	Semana 13	Semana 14	Semana 15	Semana 16
01	Preparación de área para establecimiento de parcelas de escorrentía, instalación de depósitos.	■															
02	Instalación de parcela 1	■															
03	Instalación de parcela 2	■															
04	Instalación de parcela 3	■															
05	Instalación de parcela 4	■															
06	Lectura de precipitación y monitoreo de escorrentía		■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■			
07	Control de maleza en el área			■													
08	Labores de cultivo en parcela 2 y 3				■			■									
09	Evacuación de agua después de asentada el sedimento		■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■			
10	Peso de sedimento														■		
11	Secado de sedimento														■		
12	Análisis de datos, elaboración de informe, conclusiones y recomendaciones														■	■	■