

**Estimación de la erosión hídrica en los suelos
de la microcuenca Tzalá, San Marcos,
Guatemala**

Mauricio Lugo Ruiz

**Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano
Honduras**

Noviembre, 2016

ZAMORANO
CARRERA DE AMBIENTE Y DESARROLLO

Estimación de la erosión hídrica en los suelos de la microcuenca Tzalá, San Marcos, Guatemala

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

Presentado por

Mauricio Lugo Ruiz

Zamorano, Honduras

Noviembre, 2016

Estimación de la erosión hídrica en los suelos de la microcuenca Tzalá, San Marcos, Guatemala

Mauricio Lugo Ruiz

Resumen: La erosión hídrica de los suelos se da por la formación de escorrentía producto de las condiciones geológicas, climáticas y de cobertura vegetal. La microcuenca Tzalá se ubica en el municipio de Sipacapa, San Marcos, Guatemala y posee suelos de origen volcánico en su mayoría francos. La población rural de la microcuenca se dedica a la agricultura como medio de subsistencia y dependen directamente del recurso suelo. Este trabajo realizó una estimación de la cantidad de suelo erosionado anualmente en siete sitios de muestreo ubicados en la parte alta, media y baja de la microcuenca Tzalá. Como método indirecto de estimación se empleó la ecuación universal de pérdida de suelo USLE, propuesta por Wischmeier y Smith (1978). Los siete sitios se seleccionaron tomando en cuenta los lineamientos de FAO-Guatemala en la implementación de un proyecto de desarrollo integral en la microcuenca Tzalá. Se describió de forma general el sitio y se tomaron muestras de suelo para ser analizadas en el Laboratorio de Suelos de Zamorano. Las cantidades de suelo erosionado variaron de 10.58 a 295.85 t/ha.

Palabras clave: Agricultura de subsistencia, escorrentía, obras de conservación.

Abstract: Water erosion of soils is given by runoff, product of geological formations, weather and vegetation cover. The Tzalá watershed is located in the municipality of Sipacapa, San Marcos, Guatemala and has volcanic soils mostly francs. The rural population of the watershed is devoted to agriculture for their livelihoods and depends directly on the soil resource. The aim of this study was to estimate the amount of eroded soil annually in seven sampling sites, located in three altitudinal zones of the Tzalá watershed. The universal soil loss equation (USLE) was used as an indirect estimation method, proposed by Wischmeier and Smith (1978). The selection of the seven sites was based on the guidelines of FAO-Guatemala in the implementation of an integrated development project. The zone was generally described and soil samples were taken for analysis at Zamorano soil laboratory. The amount of eroded soil ranged from 10.58 to 295.85 t/ha.

Key words: Conservation works, runoff, subsistence farming.

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	4
3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	10
4. CONCLUSIONES	18
5. RECOMENDACIONES	19
6. LITERATURA CITADA	20
7. ANEXOS.....	23

ÍNDICE DE CUADROS, FIGURAS Y ANEXOS

Cuadros		Página
1.	Puntos de muestreo y ubicación para estimación de erosión hídrica en siete comunidades de la microcuenca Tzalá, San Marcos, Guatemala.....	5
2.	Índice de permeabilidad de los suelos de la microcuenca Tzalá, basado en la tasa de infiltración.....	8
3.	Resultados de laboratorio de suelos de Zamorano para textura, arenas finas, materia orgánica y carbono orgánico de la microcuenca Tzalá, San Marcos Guatemala.....	10
4.	Valores del Índice de estructura asignados a cada una de las muestras según la ecuación [2], microcuenca Tzalá, San Marcos Guatemala.....	11
5.	Índice de permeabilidad P ₁ según la tasa de infiltración y la categoría de permeabilidad según la textura del suelo de la microcuenca Tzalá, San Marcos Guatemala.....	11
6.	Erodabilidad (K) de los suelos de la microcuenca Tzalá, San Marcos, Guatemala.....	12
7.	Valores para el factor LS productos del cálculo de L y S a partir de la longitud y gradiente de pendiente, microcuenca Tzalá, San Marcos, Guatemala.....	12
8.	Valor para el factor C de en cada uno de los puntos de muestreo, microcuenca Tzalá, San Marcos, Guatemala.....	13
9.	Valores del factor P para cada uno de los puntos de muestreo según las obras de conservación implementadas.....	14
10.	Suelo erosionado en los suelos de la microcuenca Tzalá, San Marcos, Guatemala.....	15
11.	Distanciamiento de las obras de conservación según el grado de pendiente del terreno.....	17
Figuras		Página
1.	Mapa de ubicación y delimitación de la microcuenca Tzalá, Sipacapa, San Marcos, Guatemala.....	4
2.	Mapa de ubicación espacial de los siete sitios de estudio y muestreo de suelos en la microcuenca Tzalá, San Marcos, Guatemala.....	7
3.	Precipitación del año 2015, estación meteorológica de mina Marlin, Municipio de San Miguel de Ixtahuacn, Guatemala.....	8

Anexos	Página
1. Fase preparatoria antes de visitar los sitios de estudio en la microcuenca Tzalá.	23
2. Fase de toma de datos y muestreo de suelos.....	24

1. INTRODUCCIÓN

La Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO) estima que el 51% de la población guatemalteca vive en condiciones de pobreza y el 15.2% en pobreza extrema. Se estima que el 72% competen a personas del sector rural, de las cuales en su mayoría son indígenas. Estas poblaciones dependen de la agricultura de subsistencia como forma de asegurar una dotación alimentaria que permita combatir la pobreza (Barreda, 2015).

La microcuenca es una unidad geográfica delimitada, con un enfoque social, económico y operativo (FAO, Agencia Española de Cooperación Internacional para el Desarrollo [aecid], Centro Nacional de Tecnología Agropecuaria y Forestal Enrique Álvarez Córdova [CENTA], Ministerio de Agricultura y Ganadería [MAG], 2010) que interactúan y guardan una estrecha relación con la geología, ecología y condiciones climáticas. Muchas veces resulta que los límites políticos de los departamentos, municipios y comunidades no coinciden con los límites naturales del espacio geográfico en el que se asientan, en consecuencia se propone al momento de trabajar en una investigación es respetar los límites políticos y a su vez delimitar los de la cuenca, sub cuenca y microcuenca (Gómez, 2004).

Un componente importante y susceptible de la microcuenca es el suelo. El suelo está en formación constante debido a la interacción de cinco factores; Relieve (R), material parental (MP), organismos (O), clima (C) y tiempo (T). De la interacción de dichos factores dependerá la velocidad y el tiempo de formación de las capas del suelo. También se considera la hidrología (red, distribución y drenaje) y las actividades antropogénicas como dos factores independientes a los cinco ya mencionados en la formación del suelo (Nuñez, 1981). La erosión del suelo es un proceso degenerativo físico, químico o biológico. La superficie terrestre está permanentemente expuesta a los procesos de erosión. La intensidad de la degradación depende directamente de los agentes erosivos como lo son el viento y agua, que constantemente remueven, transportan y depositan los componentes del suelo (Thompson y Troeh, 1988).

La ecuación universal para estimar la pérdida de suelo por unidad de área en relación al tiempo es uno de los métodos indirectos más utilizados alrededor del mundo (Wischmeier y Smith, 1978). Existen muchos estudios que evalúan la precisión y exactitud del modelo USLE a la hora de estimar erosión. Un ejemplo es el realizado por Oyarsun Ortega en la cuenca del río Bio – Bio, Chile. En dicho trabajo se establecieron parcelas experimentales bajo distintas condiciones de cobertura y alteración. Se utilizó un equipo de recolección de sedimento para calcular la erosión real de dichas parcelas. Sin embargo a la hora de aplicar el modelo USLE se encontraron resultados que sobreestimaban la cantidad

de suelo perdido. En dicho estudio había un 22% de sobreestimación en la pérdida de suelos en un año, que es el tiempo bajo el cual opera el modelo (Ortega, 1993).

La microcuenca Tzalá, pertenece a la cuenca alta del río Cuilco y está ubicada en el municipio de Sipacapa, departamento de San Marcos, Guatemala. El río Tzalá, de carácter permanente, surge en la parte este del municipio de Sipacapa, recorre veinte kilómetros hasta desembocar con el río Cuilco, tributario del río Grijalva que desemboca en el Golfo de México (Bianchini, 2006). La microcuenca de Tzalá comprende aproximadamente el 36% del territorio del municipio de Sipacapa. Posee un área de 5,475.91 hectáreas correspondiente a 54.8 km² (FAO, 2015). En esta zona se llevó a cabo una disputa legal, social y jurídica entre habitantes del municipio de Sipacapa, San Miguel de Ixtahuacán, la empresa Montana Exploradora subsidiaria de Goldcorp Inc y el gobierno guatemalteco. La problemática surgió a raíz de la concesión de una licencia para la explotación minera en la zona a cargo de Montana (Yagenova y Garcia, 2009). Las actividades mineras generan grandes impactos ya sea por explotación subterránea o a cielo abierto, esta última la de mayor impacto sobre los suelos (Guariguata, 2002).

En la literatura existen trabajos relacionados con el cálculo de erosión hídrica en microcuencas. Espinoza (2009) en su estudio “Escenarios de erosión bajo diferentes manejos agrícolas en la cuenca del lago de Zirahuén, Michoacán, México”, estimaron la erosión de los suelos de esta cuenca bajo tres diferentes tipos de labranza; tradicional, mínima y de conservación. Los investigadores se valieron de los datos climatológicos de tres estaciones, determinaron los usos de suelos entre los que destacaron la agricultura tradicional. Los resultados concluyen que conforme se pasa de labranza tradicional a mínima y a labranza de conservación la pérdida de suelo erosionado por escorrentía disminuye considerablemente (Espinoza, Mendoza y Medina, 2009).

Otro ejemplo es la investigación de Pando Marisela cuyo tema es una Comparación de métodos para estimar la erosión hídrica. El investigador uso métodos directos o en campo y métodos indirectos como la fórmula USLE que le permitió determinar diferencias entre ambos métodos (Pando, Gutiérrez, Maldonado, Palacio y Estrada, 2003). El método de los clavos y rondanas es uno de los más efectivos a la hora de estimar erosión en los suelos, especialmente erosión hídrica. Es un método de aplicación directa y mediante la colocación de varillas lisas de acero enterradas a ciertas profundidades e intervalos, colocando rondanas en los extremos libres de la varilla para medir el descenso del suelo. Aunque es eficaz, resulta complicado y costoso para aplicarlo a una zona mucho más amplia como una microcuenca (Chang, Obando y Beltrán, 2005).

La importancia de la presente investigación no solo radicó en establecer un diagnóstico de la erosión hídrica del suelo, el factor social también jugó un papel importante. En esta área se identificaron poblaciones que dependen directamente de la agricultura como sustento de vida. La constante degradación de los suelos provoca la baja producción de los cultivos, el deterioro del medio ambiente, especialmente afluentes de agua y vegetación. Todas estas problemáticas desencadenan un proceso que lleva a los pobladores a la pobreza, migración y deterioro social (Organización de las Naciones Unidas [ONU], 2015).

Este estudio pretendió estimar la cantidad de suelo erosionado por hectárea en la microcuenca Tzalá, municipio de Sipacapa, departamento de San Marcos, Guatemala anualmente. Proponer las obras de conservación de suelos enfocadas a los recursos y capacidades de los productores locales de la microcuenca y generar información que permita a FAO utilizarla en proyectos que estime conveniente.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

La microcuenca Tzalá se ubica en el municipio de Sipacapa, colindando con el municipio de San Miguel Ixtahuacán y Comitancillo perteneciente al departamento de San Marcos, Guatemala (FAO, 2015), en las coordenadas GTM 365875 a 378538 en longitud y 1677880 a 1685385 en latitud, tomadas de los datos geográficos facilitados por FAO - Guatemala, mediante uso de programa ArcGIS® (enero 2016), (Figura 1).

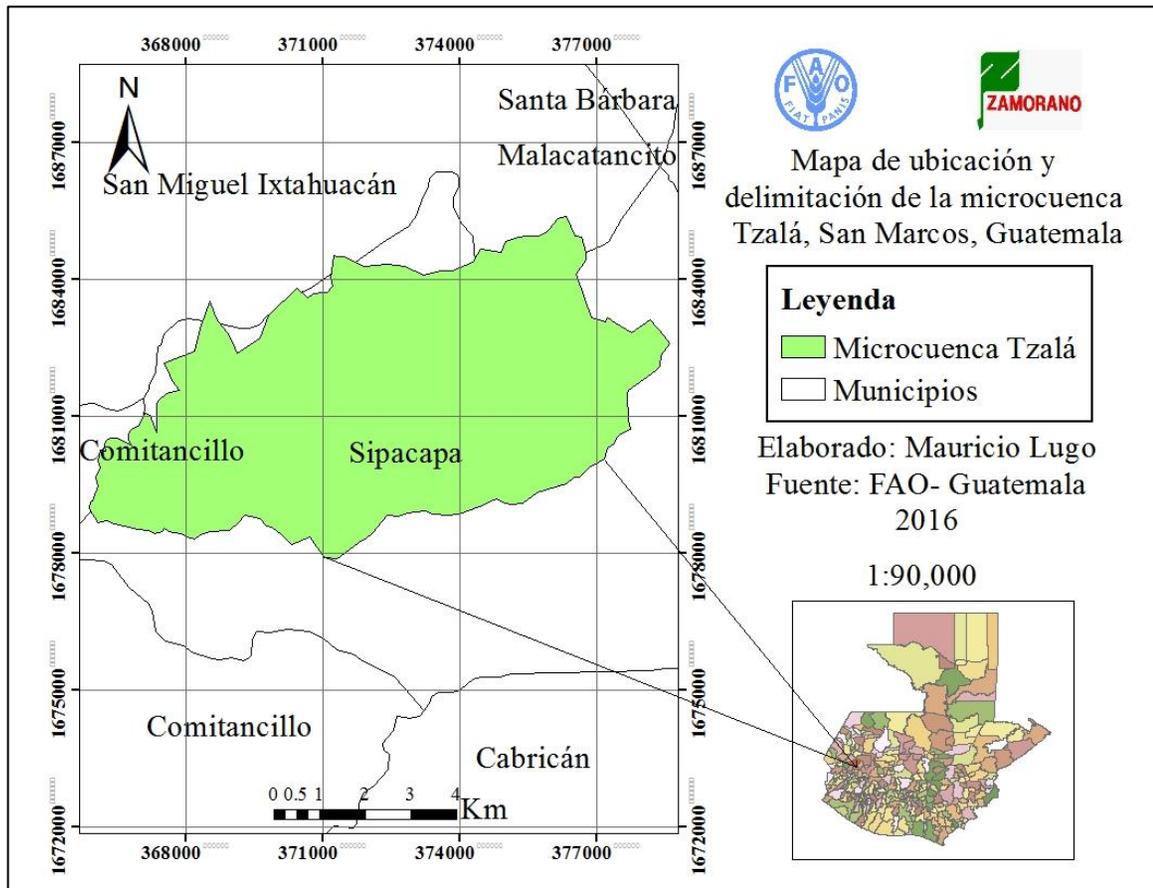


Figura 1. Mapa de ubicación y delimitación de la microcuenca Tzalá, Sipacapa, San Marcos, Guatemala.

El clima es variable según la altitud, húmedo y templado en la parte baja y húmedo semifrío en la parte alta. Una temperatura entre 13.5 y 20 °C con una precipitación media anual de 1,000 mm (Muralles, 2012).

Una vez delimitada el área de estudio se procedió a determinar la metodología para estimar la erosión hídrica del suelo. Se utilizó la ecuación USLE como método indirecto.

Ecuación USLE: La ecuación USLE, ecuación universal de pérdida de suelos [1] es una metodología que permite estimar cantidades anuales de suelo erosionado por unidad de área y fue propuesta por Wischmeier y Smith (1978).

$$A = K \times R \times LS \times C \times P \quad [1]$$

Donde:

A=Pérdida de suelo promedio anual ($t \text{ ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$).

K=Factor de erodabilidad del suelo ($t \text{ ha h ha}^{-1} \text{ MJ}^{-1} \text{ mm}^{-1}$).

R=Factor de erosividad de la lluvia ($\text{MJ mm ha}^{-1} \text{ h}^{-1}$).

LS=Longitud de la pendiente y gradiente de la pendiente (adimensional).

C=Factor dependiente de la cobertura (adimensional).

P=Factor de uso y manejo de suelos (adimensional).

Para aplicar esta ecuación fue necesario calcular el valor de cada uno de los factores que la componen. Tanto el factor K, LS, C y P deben ser calculados tomando datos de campo. El factor R puede ser estimado obteniendo datos meteorológicos de las estaciones más cercanas al área de estudio. El primer paso fue determinar los puntos donde se realizó la toma de datos. Los sitios de estudio y muestreo de suelos (Cuadro 1).

Cuadro 1. Puntos de muestreo y ubicación para estimación de erosión hídrica en siete comunidades de la microcuenca Tzalá, San Marcos, Guatemala.

Ubicación en la microcuenca	Comunidad	Punto ^u	Coordenadas (GTM)	
			Y_Norte	X_Este
Baja	Llano Grande	1	1680960	377349
Baja	Pie De La Cuesta	2	1680456	375133
Alta	Estancia	3	1678848	365975
Alta	Escupija	4	1680909	367969
Media	Poj	5	1681607	373205
Baja	Salén	6	1684550	374622
Media	Chual	7	1681336	370884

Fuente: Oficina Municipal de la Mujer, Sipacapa, San Marcos, Guatemala.

^u Puntos ubicados en el mapa de la Figura 1, determinados según el diagnóstico de la microcuenca Tzalá realizado por FAO en el 2016.

Los criterios de selección de cada sitio fueron:

- **Accesibilidad al sitio:** Se tomó en cuenta disponibilidad de vehículo y vías de acceso. Para llegar a los sitios fue necesario establecer conversaciones previas con autoridades municipales y comunitarias. Esto como medida preventiva para evitar mal entendidos, debido al conflicto existente entre comunidades y personal de la empresa mina Marlin. Se establecieron rutas de acceso a los sitios mediante mapas viales y conocimiento del personal de la Oficina Forestal Municipal de Sipacapa (OFM). Se realizó un recorrido previo y posteriormente se entablaron diálogos con las autoridades comunitarias para explicar el motivo de la investigación. Con los permisos ya establecidos se accedió a los sitios donde se tomaron los datos del lugar y las muestras de suelo.
- **Personal de apoyo:** Fue necesario contar con el acompañamiento del personal de FAO y la OFM de Sipacapa, con la finalidad de tener mejor ubicación debido al conocimiento con que contaba el personal.
- **Distribución:** Se dividió la microcuenca en parte alta, media y baja de acuerdo al diagnóstico establecido por el Programa Conjunto de FAO. Se distribuyeron siete sitios de muestreo para el cálculo de los factores K, LS, C y P. Por petición de FAO se seleccionaron siete comunidades donde el PC implementó su proyecto de desarrollo (Cuadro 1), (Figura 2).

Factor K. El factor K corresponde a la erodabilidad del suelo depende de la textura, porcentaje de limo, arena y arcilla (Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura [UNESCO], 2010). Para el cálculo del factor K se utilizó la ecuación [2] propuesta por Foster, (Foster, McCool, Renard y Moldenhauer, 1981).

$$K = \frac{2.1 \times 10^{-4} (12 - \% MO) M^{1.14} + 3.25 (S_1 - 2) + 2.5 (P_1 - 3)}{100} \quad [2]$$

Donde:

MO=Es el porcentaje de materia orgánica del horizonte A.

S₁=Índice de estructura: 1 granular muy fina, 2 granular fina, 3 granular gruesa, 4 bloque laminar masivo.

P₁=Índice de permeabilidad: 1 rápida, 2 moderada a rápida, 3 moderada, 4 lenta a moderada, 5 lenta, 6 muy lenta.

Para la variable M de la ecuación [2] se utiliza la ecuación [3].

$$M = (\%L + \%AF) \times (100 - \%Ar) \quad [3]$$

Donde:

L=Porcentaje de limo.

AF=Porcentaje de arenas finas.

Ar=Porcentaje de arcillas.

Para encontrar los valores del factor K, fue necesario realizar un análisis de suelos, por lo cual en cada uno de los sitios seleccionados (Figura 2) se tomó una muestra de suelos. Las muestras tomadas fueron del primer horizonte, un kilogramo para cada muestra. Se empacaron en bolsas de polietileno de alta densidad con la finalidad de proteger la muestra de roturas y contaminación. Se etiquetó asignándole datos de localización (comunidad, caserío o aldea), fecha, coordenadas y número de muestra. Las siete muestras se reunieron, empacaron y rotularon para su transporte. Las muestras se trasladaron al Laboratorio de Suelos de Zamorano. Los parámetros analizados en el laboratorio fueron textura y materia orgánica necesarios para calcular el factor K.

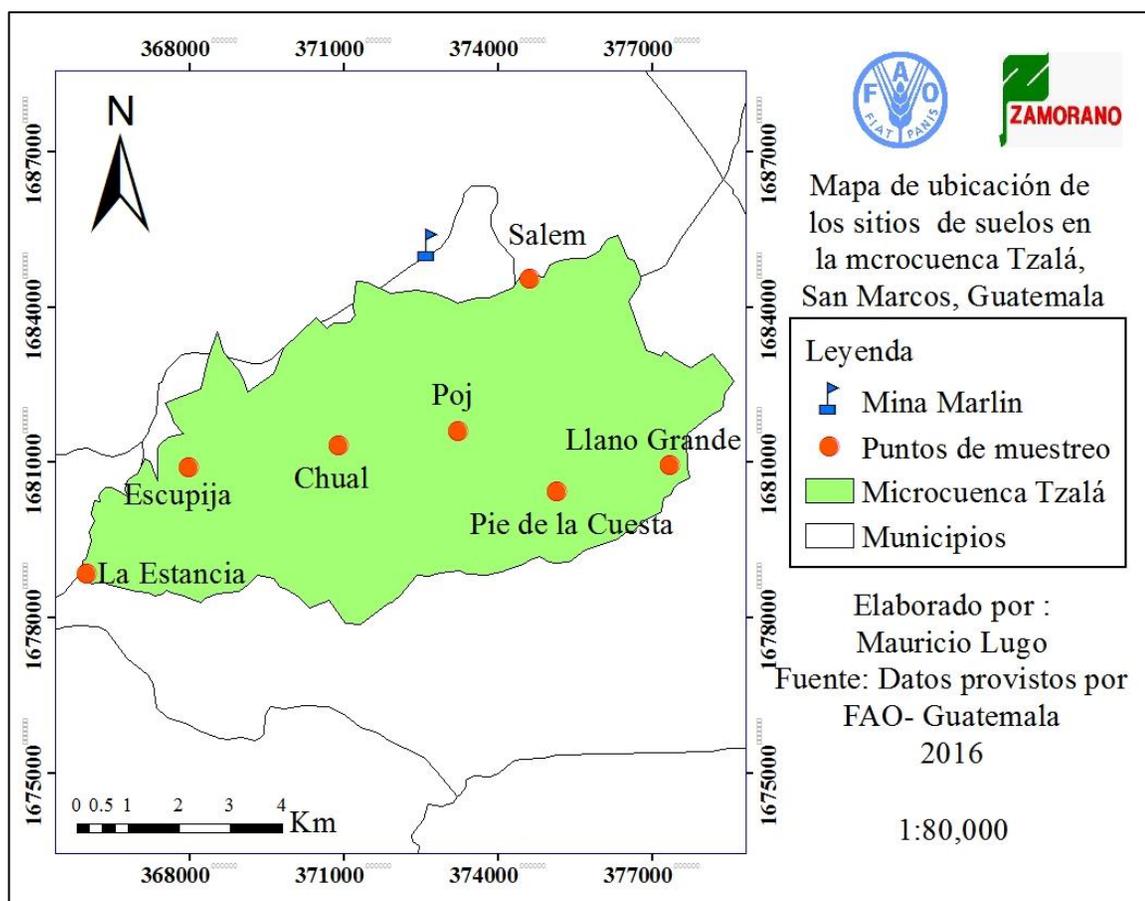


Figura 2. Mapa de ubicación espacial de los siete sitios de estudio y muestreo de suelos en la microcuenca Tzalá, San Marcos, Guatemala.

El índice S_1 de la ecuación [2] se determinó en campo (Arévalo y Gauggel, 2014) y de acuerdo a las cuatro categorías que comprende S_1 (1 granular muy fina, 2 granular fina, 3 granular gruesa, 4 bloque laminar masivo). El índice de permeabilidad P_1 de la ecuación [2] se determinó de acuerdo a la velocidad de infiltración del agua en el suelo según la textura de cada suelo analizado (Cuadro 2).

Cuadro 2. Índice de permeabilidad de los suelos de la microcuenca Tzalá, basado en la tasa de infiltración.

"Tipo de suelo	Infiltración		Índice de permeabilidad P ₁
	Tasa (cm h ⁻¹)	Categoría	
Arenoso	> 20	Muy Rápido	1
Franco arenoso	8 a 1	Moderadamente rápido	2
Franco	2 a 0.1	Moderadamente lenta	4
Limoso	1.5 a 0.2	Moderadamente lenta	4
Arcillo limoso	0.5 a 0.03	Lenta	5
Arcilloso	0.8 a < 0.1	Muy lenta	6

Fuente: (Arévalo y Gauggel, 2014).

^a Dependiente de la textura obtenida en el análisis de laboratorio.

Factor R. El factor R compete a la influencia que tienen los eventos de lluvia sobre la erosión del suelo. La época lluviosa comprende del mes de mayo hasta octubre y para el año 2015 la cantidad de precipitación registrada en la microcuenca Tzalá fue de 1,293 mm (Figura 3). Los datos fueron obtenidos de la estación meteorológica de la mina Marlin, tomando en cuenta su proximidad a la microcuenca (Figura 2). La ecuación [4] fue utilizada para el cálculo de R. Esta ecuación propuesta (Silva, 2004), utiliza datos de precipitación mensual y anual, el valor de R es anual.

$$R = 125,59 \Sigma(M_i^2 / P_a)^{0,603} \quad [4]$$

Donde:

R=Erodabilidad anual de la lluvia y escorrentía (MJ mm ha⁻¹ h⁻¹);

M_i=Precipitación mensual (mm);

P_a=Precipitación anual (mm)

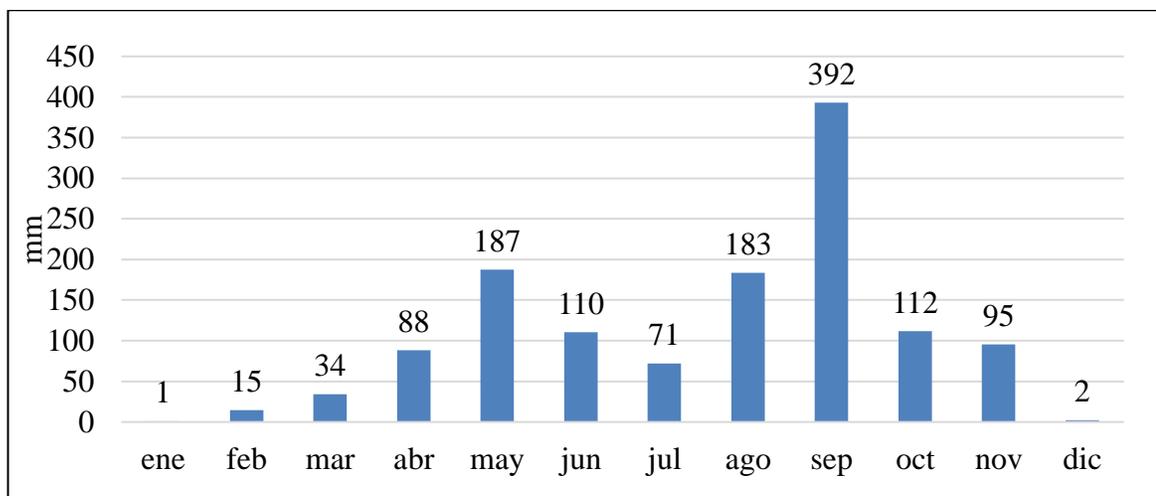


Figura 3. Precipitación del año 2015, estación meteorológica de mina Marlin, Municipio de San Miguel de Ixtahuacan, San Marcos, Guatemala.

Factor LS. El factor LS se calculó con una medición en campo, con el objetivo de determinar la gradiente de pendiente en porcentaje y longitud de la misma de cada uno de los siete sitios seleccionados. Usando un clinómetro marca Suunto Taandem® se obtuvo la pendiente en porcentaje y en grados. Con una cinta métrica marca Stanley® (60 metros) se obtuvo la longitud en metros de la pendiente en cada uno de los sitios de muestreo. Con los datos se procedió a utilizar las ecuaciones que determinan el valor de LS. Para calcular L se utiliza la ecuación [5] (Wischmeier y Smith, 1978).

$$L = (l/22.1)^m \quad [5]$$

Donde:

l = Longitud de la pendiente en metros.

m = Exponente proporcional al gradiente de la vertiente.

El exponente m de la ecuación [5] se calcula con la ecuación [6] y sus valores van de 0.1 a 0.5.

$$m = 0.1342 \times \ln(\theta) + 0.192 \quad [6]$$

Donde:

θ = Gradiente de pendiente en porcentaje.

Ln = Logaritmo natural.

Para el factor S se utilizó la ecuación [7].

$$S = 0.00654 s^2 + 0.0456 s + 0.065 \quad [7]$$

Donde:

s = Gradiente promedio de la pendiente en porcentaje.

Factor C. El factor C corresponde al tipo de cobertura del área bajo estudio. La cobertura vegetal mitiga la fuerza de impacto que tienen las gotas de lluvia sobre el suelo. Las raíces de las plantas impiden el fácil desprendimiento de los agregados del suelo. El factor C tiene un valor que varía de 0 a 1 y depende del tipo de cobertura vegetal (UNESCO, 2010). Se calculó por inspección en campo, visitando el sitio de estudio y determinando el tipo de cobertura existente. Se asignaron valores al factor C de acuerdo a los distintos tipos de cobertura (Lianes, Marchamalo y Roldán, 2009).

Factor P. El factor P corresponde a las obras de conservación, destinadas a evitar la erosión de los suelos. Para asignarle el valor a P en cada uno de los puntos se tomó como referencia a (Wischmeier y Smith, 1978). El valor de P varía de 0 a 1 y depende de la existencia y medida de obras de conservación realizadas en el sector. En cada uno de los sitios se realizó una inspección visual con la finalidad de identificar las obras de conservación existentes.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Factor K. Se utilizó la metodología de Bouyoucos para determinar la textura. Para determinar arenas finas se utilizaron tamices de 20, 40 y 60 mesh. El método de Bouyoucos permitió determinar los porcentajes de limos, arenas y arcillas (Cuadro 3). Existe una metodología manual que se realiza en campo para determinar la textura (Arévalo y Gauggel, 2014) sin embargo, por términos de cálculo de erosión es importante determinar con la mayor exactitud posible la textura del suelo. Otros métodos de laboratorio como el de la pipeta arrojan resultados sin diferencia significativa con Bouyoucos por lo cual es una opción viable (Norambuena, Luzio y Vera, 2002). En su mayoría los suelos son francos y con estructura granular. Estas características se deben a los orígenes volcánicos de los suelos (Muralles, 2012). En cuanto a materia orgánica el contenido varía de 1.44 a 13.48%.

Cuadro 3. Resultados de laboratorio de suelos de Zamorano para textura, arenas finas, materia orgánica y carbono orgánico de la microcuenca Tzalá, San Marcos Guatemala.

Ubicación en la microcuenca	Comunidad	MO (%)	CO (%)	Ar (%)	L (%)	A (%)	AF (%)	Textura
Alta	Estancia	5.97	3.46	6	26	68	39	FA
Alta	Escupija	3.14	1.82	30	22	48	32	FArA
Media	Poj	2.09	1.21	30	32	38	23	FAr
Media	Chual	13.48	7.82	18	22	60	36	FA
Baja	Llano Grande	1.44	0.83	12	14	74	34	FA
Baja	Pie de la Cuesta	4.76	2.76	30	22	48	25	FArA
Baja	Salén	3.38	1.96	16	24	60	38	FA

MO (materia orgánica), CO (carbono orgánico), Ar (arcillas), L (limo), A (arena) y AF (arenas finas), FA (franco arenoso), FAr (franco arcilloso) y FArA (franco arcillo arenoso).

El índice S_1 de la ecuación [2] se determinó según la estructura del suelo (Cuadro 4). Todos los suelos muestreados poseen una estructura granular que va de muy fina a gruesa. La estructura granular le confiere gran porosidad a los suelos sobretodo en el primer horizonte. Estas propiedades son típicas de suelos volcánicos, la geomorfología de la microcuenca Tzalá es propia de este tipo de suelos (Muralles, 2012).

Cuadro 4. Valores del Índice de estructura asignados a cada una de las muestras según la ecuación [2], microcuenca Tzalá, San Marcos Guatemala.

Ubicación en la microcuenca	Comunidad	Textura	Estructura	Índice de estructura S_1
Alta	Estancia	FA	Granular fina	2
Alta	Escupija	FArA	Granular fina	2
Media	Poj	FAr	Granular gruesa	3
Media	Chual	FA	Granular muy fina	1
Baja	Llano Grande	FA	Granular muy fina	1
Baja	Pie de la Cuesta	FArA	Granular muy fina	1
Baja	Salén	FA	Granular gruesa	3

FA: Franco arenoso.

FAr: Franco arcilloso.

FArA: Franco arcillo arenoso.

El índice de Permeabilidad P_1 depende de la tasa de infiltración y la categoría de permeabilidad (Cuadro 5). La categoría de permeabilidad varía de moderada lenta a moderada rápida, mientras que el índice P_1 es de 2 a 4.

Cuadro 5. Índice de permeabilidad P_1 según la tasa de infiltración y la categoría de permeabilidad según la textura del suelo de la microcuenca Tzalá, San Marcos Guatemala.

Ubicación	Comunidad	Textura	Tasa de infiltración (cm h^{-1})	Categoría de permeabilidad	βP_1
Alta	Estancia	FA	2.5	MR	2
Alta	Escupija	FArA	0.8	ML	4
Media	Poj	FAr	1.3	ML	4
Media	Chual	FA	2.5	MR	2
Baja	Llano Grande	FA	2.5	MR	2
Baja	Pie de la Cuesta	FArA	0.8	ML	4
Baja	Salén	FA	2.5	MR	2

FA (franco arenoso), FAr (franco arcilloso), FArA (franco arcillo arenoso), MR (moderadamente rápida), ML (moderadamente lenta),

^a Ubicación en la microcuenca.

^b Índice de permeabilidad según la ecuación [2]: (1) rápida, (2) moderada a rápida, (3) moderada, (4) lenta a moderada, (5) lenta, (6) muy lenta.

La erodabilidad (K) varía de 0.147 a 0.318 dependiendo de la textura y el contenido de materia orgánica. El valor más bajo de K corresponde a la comunidad de Chual debido al

alto contenido de materia orgánica (13.48%). Entre más alto sea el valor de K, mayor será la erodabilidad de la lluvia sobre el suelo (Cuadro 6).

Cuadro 6. Erodabilidad (K) de los suelos de la microcuenca Tzalá, San Marcos, Guatemala.

Ubicación en la microcuenca	Comunidad	Textura	Factor K
Alta	Estancia	Franco arenoso	0.24
Alta	Escupija	Franco arcillo arenoso	0.25
Media	Poj	Franco arcilloso	0.31
Media	Chual	Franco arenoso	0.00
Baja	Llano Grande	Franco arenoso	0.24
Baja	Pie de la Cuesta	Franco arcillo arenoso	0.15
Baja	Salem	Franco arenoso	0.32

Factor R. Los valores del Factor R corresponden a la erodabilidad causada por la precipitación en el año 2015. En general para la microcuenca el valor de R es 3155 MJ mm ha⁻¹ año⁻¹. El factor R no presenta variación, debido a que se estima que los eventos de lluvia son muy similares para toda la microcuenca, principalmente en la época lluviosa.

Factor LS. La combinación de una gradiente de pendiente pronunciada junto a una longitud de pendiente de varios metros eleva considerablemente los valores de LS como lo es en las comunidades La Estancia y Salém. En las comunidades de Llano Grande y Pie de la Cuesta los valores de LS son relativamente bajos con respecto a los otros puntos, lo cual indica que a pesar de tener una longitud de pendiente que supera los 40 metros para ambos sitios un factor determinante es el grado de inclinación del terreno (Cuadro 7). Wischmeier y Smith (1978) reportaron en sus tablas de resultados para pérdida de suelos el mismo comportamiento, donde pequeños aumentos en la gradiente tienen mayores efectos que aumentos en la longitud de la pendiente.

Cuadro 7. Valores para el factor LS productos del cálculo de L y S a partir de la longitud y gradiente de pendiente, microcuenca Tzalá, San Marcos, Guatemala.

Ubicación en la microcuenca	Comunidad	Pendiente (%)	Longitud (m)	L	S	Factor LS
Alta	Estancia	60	32	1.32	23.61	31.1
Alta	Escupija	40	77	2.36	10.53	24.8
Media	Poj	36	75	2.28	8.54	19.4
Media	Chual	34	23	1.03	7.63	7.8
Baja	Llano Grande	5	43	1.31	0.23	0.3
Baja	Pie de la Cuesta	7	40	1.31	0.39	0.5
Baja	Salém	42	150	3.77	11.60	43.8

Factor C. El valor de C depende del tipo de cobertura, densidad y etapa (especialmente en cultivos). Los valores de C (Cuadro 8) se mantienen en rangos menores a uno, es un indicativo de que no hay suelos desprovistos de cobertura vegetal en las siete comunidades donde se muestreó suelo. La presencia de vegetación mitiga la fuerza de la lluvia al no impactar directamente contra la superficie del suelo, las raíces contienen los agregados del suelo, le confieren porosidad y aireación. Tanto el gradiente de pendiente como la cobertura son factores fundamentales que influyen en la cantidad de suelo erosionado. El tipo de vegetación es crucial debido a la extensa red de raíces que se forman bajo la superficie del suelo, sumados a una cobertura vegetal aérea conforman un excelente amortiguador contra los agentes erosivos como el viento y la lluvia (Lianes et al., 2009).

Cuadro 8. Valor para el factor C de en cada uno de los puntos de muestreo, microcuenca Tzalá, San Marcos, Guatemala.

Ubicación en la microcuenca	Comunidad	Cobertura	Valor
Alta	Estancia	Bosque latifoliado	0.003
Alta	Escupija	Matorral	0.017
Media	Poj	Pasto	0.009
Media	Chual	Bosque latifoliado	0.003
Baja	Llano Grande	Maíz	0.519
Baja	Pie de la Cuesta	Tomate con mulch plástico	0.090
Baja	Salém	Bosque conífera	0.003

Fuente: (Lianes et al., 2009).

Factor P. Las obras de conservación de suelos están destinadas a impedir las pérdidas de suelo por erosión y se representan en el factor P. Los valores de P (Cuadro 9) van de cero a uno, siendo uno para la ausencia de obras de conservación (Wischmeier y Smith, 1978).

En las comunidades La Estancia, Salen y Chual no se aprecian obras de conservación, debido al uso forestal sin presencia de cultivos. En las comunidades Pie de la Cuesta se observan cultivos en curvas a nivel con la presencia de terrazas, lo cual contribuye a disminuir la pendiente y longitud de la misma. En Escupija existen señales de terrazas y curvas a nivel aunque ya se encuentran altamente deterioradas debido a la falta de mantenimiento. Los productores del sector manifiestan que en los años 50 los sacerdotes, en su mayoría de origen español, promovieron la implementación de obras de conservación de suelos como; cultivos en curvas a nivel, acequias, barreras vivas y canales de drenaje. Los terrenos son heredados de generación en generación donde los nuevos propietarios continúan con el uso agrícola. Algunos productores le dan el mantenimiento a las obras de conservación, especialmente barreras vivas y terrazas, sin embargo no están conscientes de cuán importante son para impedir la erosión de los suelos. Por el contrario otros productores no le dan mantenimiento a estas obras por lo que los terrenos vuelven a su gradiente natural de pendiente y longitud aumentando la cantidad de suelo erosionado.

Cuadro 9. Valores del factor P para cada uno de los puntos de muestreo según las obras de conservación implementadas.

Ubicación en la microcuenca	Comunidad	Uso	Obras de conservación	P
Alta	Estancia	Bosque natural latifoliado.	No se aprecian.	1.0
Alta	Escupija	Cultivo de Durazno con crecimiento de malezas y arbustos.	Terrazas sin mantenimiento.	0.9
Media	Poj	Terreno de cultivo afectado por desplazamiento de suelo	No se aprecian	1.0
Media	Chual	Bosque natural latifoliado.	No se aprecian	1.0
Baja	Llano Grande	Cultivo de maíz y frijol asociados, labranza mínima manual.	No se aprecian	1.0
Baja	Pie de la Cuesta	Cultivo de tomate, con cobertura plástica y riego por goteo, labranza manual.	Cultivo en curvas a nivel	0.5
Baja	Salém	Bosque de conífera con reciente incendio que afectó el sotobosque.	No se aprecian	1.0

Fuente: (Wischmeir y Smith, 1978).

La cantidad de suelo erosionado varía de 10 a 295 toneladas (Cuadro 10). La cantidad más alta corresponde a la comunidad de Escupija. Este sitio corresponde a un cultivo disperso de durazno, con terrazas para cultivar muy deterioradas y una pendiente del 40%. El sitio con menor pérdida de suelos está ubicado en la comunidad Chual, con una pendiente del 34% y una cobertura vegetal densa de bosque latifoliado lo cual le confiere protección al suelo contra el impacto de la lluvia y formación de escorrentía. Debido al elevado contenido de materia orgánica presente en la muestra de suelo del sitio siete (13.48%) la ecuación para el cálculo de K presentaba valores negativos por lo cual fue necesario igualar el contenido de materia orgánica a 12, valor limitante de materia orgánica en la ecuación. De esta manera el valor de K fue cero y el resultado de suelo erosionado en el sitio siete fue cero.

Cuadro 10. Suelo erosionado en los la microcuenca Tzalá, San Marcos, Guatemala.

Ubicación en la microcuenca	Comunidad	Factores de la ecuación USLE				A
		K	LS	C	P	Erosión anual t ha ⁻¹ año ⁻¹
Alta	Estancia	0.237	31.07	0.003	1.0	69
Alta	Escupija	0.247	24.82	0.017	0.9	295
Media	Poj	0.310	19.44	0.009	1.0	171
Media	Chual	0.000	7.83	0.003	1.0	0
Baja	Llano Grande	0.244	0.30	0.519	1.0	119
Baja	Pie de la Cuesta	0.147	0.51	0.090	0.5	10
Baja	Salém	0.318	43.79	0.003	1.0	131

El factor R es 3155 para todos los sitios de estudio.

Los factores más influyentes en los resultados de suelo erosionados fueron LS y C. El sitio estudiado en la comunidad de Llano Grande a pesar de poseer una gradiente de pendiente del 5% y un factor LS de 0.30 tiene una pérdida anual de 119.76 toneladas de suelo por hectárea. El factor C eleva considerablemente los valores de A, esto se debe a que la cobertura vegetal es escasa y el suelo está expuesto al impacto directo de la lluvia, lo cual dispersa los agregados del suelo (UNESCO, 2010).

El punto cobertura vegetal de bosque de coníferas por lo cual se le asignó un valor de 0.003 para C, sin embargo el factor LS tiene un valor de 43.79, por esta razón la pérdida de suelo es de 131.05 toneladas anuales, superiores al de La Estancia que posee valores similares de K, C y P. Los altos contenidos de materia orgánica producen un factor K equivalente a cero, lo cual neutraliza la pérdida de suelo.

La precisión de la ecuación USLE radica en la correcta aplicación del modelo, obteniendo datos lo más precisos posible y realizando adaptaciones al área y condiciones de estudio. Actualmente el modelo USLE ha sido criticado duramente debido a las sobreestimaciones o subestimaciones de los resultados en comparación a la aplicación de modelos directos de mediciones. Sin embargo el Departamento de Agricultura de los Estados Unidos ha generado nuevos modelos computarizados para USLE donde la recolección de datos es mucho más detallada para obtener resultados más precisos (González del Tanago, 1991).

Obras de conservación de suelos. Tomando en cuenta las condiciones y recursos de los pequeños productores presentes en la microcuenca Tzalá se recomienda la aplicación de obras de conservación de suelos que sean fácilmente aplicables, efectivas, económicas y de rápida adopción por parte de los productores.

Implementación y mantenimiento de terrazas. La existencia de terrazas en varios de los terrenos agrícolas demuestra que los productores son capaces de implementar estas técnicas. En otros terrenos no se aprecian cultivos en terrazas, especialmente terrenos recientes que han cambiado de uso de forestal a agrícola. La implementación de terrazas para cultivos tiene dos efectos fundamentales; la reducción de la pendiente y su longitud.

Los materiales que los productores han venido implementando son rocas para la construcción de los muros de contención. Este material se encuentra en los terrenos, quebradas e incluso es utilizado en la construcción de muros para delimitar las propiedades. Las medidas de las terrazas deben ser particulares para cada terreno, a mayor grado de pendiente, menor será la longitud efectiva de la terraza y mayor será el número de terrazas. La implementación de terrazas debe complementarse con zanjas de drenaje y acequias con la finalidad de conducir adecuadamente el escurrimiento superficial en eventos de gran precipitación, evitando el daño y deterioro acelerado de las terrazas (Sheng, 1990).

Cobertura. Lo más recomendable es la siembra de leguminosas que actúan como disipadores de la energía de la lluvia, retienen el suelo con sus raíces e incorporan nitrógeno. El cultivo de maíz es típico ya que se trata de un cultivo de granos básicos conjuntamente con el frijol. Muchos agricultores están implementando cultivo de café debido a las condiciones favorables de altura, temperatura y suelos. Es recomendable que se implementen cultivos intermedios de ciclo corto en medio de los cultivos de café ya que la escasa cobertura que ofrece el café en sus estadios tempranos no es suficiente para proteger el suelo de la erosión hídrica. La implementación de cultivo de café con sombra o sistemas agroecológicos es una alternativa viable, los agricultores le dan al café las condiciones necesarias de crecimiento e implementan la conservación de humedad en los suelos al sembrar cultivos intermedios e incorporar materia orgánica (Sheng, 1990).

Barreras vivas. Las raíces de las plantas que se coloquen como barreras vivas permiten aumentar la infiltración del agua hacia el suelo, también retienen parte del suelo que la escorrentía transporta y que puede ser reincorporado al terreno de cultivo (Sheng, 1990). La siembra de pastos es una alternativa viable. Muchos de los pequeños productores poseen vacas y ovejas como aporte de proteína y leche. Colocando franjas de pasto a intervalos específicos según la pendiente puede constituir una barrera viva y una fuente de alimento para las vacas y ovejas. Realizando un raleo del pasto adecuado manteniendo su función de barrera viva.

Diques. Los Diques son muros de piedras o postes en forma de media luna, se ubican en las cárcavas formadas por la escorrentía siguiendo el contorno de las curvas a nivel. El objetivo es retener el suelo que pueda ser arrastrado por la escorrentía. El suelo retenido es rico en nutrientes y se puede reincorporar a las parcelas (Programa para la Agricultura Sostenible en Laderas de América Central [PASOLAC], 2000).

Barreras muertas. Se ubican siguiendo el contorno de las curvas a nivel. Se construyen con rocas que se obtienen de las mismas parcelas. Su principal objetivo es reducir la velocidad y disipar la energía de la escorrentía (PASOLAC, 2000). La implementación de las obras de conservación de suelos va en función de la gradiente de pendiente (Cuadro 11).

Cuadro 11. Distanciamiento de las obras de conservación según el grado de pendiente del terreno.

Obra de conservación de suelos	Espaciamiento de las obras de conservación		
	Pendiente suave (hasta 15%)	Pendiente moderada (15 a 20%)	Pendiente fuerte (30 a 50%)
Barreras vivas	15 a 30 m	10 a 15 m	4.0 a 10 m
Barreras muertas	10 a 20 m	6 a 10 m	4.0 a 6 m
Acequias	10 a 20 m	8 a 10 m	6.0 a 8 m
Diques	4 a 12 m	2 a 4 m	1.3 a 2 m

Fuente: (Programa para la Agricultura Sostenible en Laderas de América Central [PASOLAC], 2000).

4. CONCLUSIONES

- La pérdida anual de suelo por hectárea va de 10.6 a 296 toneladas, con un valor medio de 133 toneladas. En la comunidad de Chual no hubo pérdida de suelo, debido a la cobertura vegetal que presenta, ausencia de actividades agrícolas y alto contenido de materia orgánica producto de la descomposición del material vegetal proveniente del bosque latifoliado allí presente.
- Las obras de conservación están enfocadas en prácticas que disminuyen los valores de LS y C. La construcción y mantenimiento de terrazas y cultivos en curvas a nivel reduce el grado y longitud de pendiente considerablemente, disminuyendo la formación de escorrentía y transporte de suelo.
- La información generada con el presente trabajo contribuye a que las ONG presentes en la microcuenca Tzalá, como el caso de FAO, tengan una perspectiva sobre el estado de los suelos de la microcuenca. La conservación de recurso suelo es fundamental en temas de seguridad alimentaria, especialmente para los agricultores de subsistencia.
- Los factores LS y C tienen gran influencia sobre los resultados para pérdida de suelo. El incremento en la gradiente de pendiente tiene mayor efecto en el incremento de pérdida de suelo que un aumento en la misma magnitud de la longitud de la pendiente.

5. RECOMENDACIONES

- Involucrar a pequeños productores en futuras investigaciones relacionadas con toma de muestras de suelos, acompañando los estudios con análisis de las necesidades nutricionales de sus cultivos para despertar el interés de los productores. De esta manera puede capacitarse a los productores para tomar muestras de suelos, documentar los sitios de muestreo y agilizar el proceso para trabajos futuros.
- Es recomendable establecer un método directo de medición de erosión y así los resultados se pueden comparar con los del presente trabajo mediante un análisis estadístico.
- Realizar un mapa de suelos más detallado que permita apreciar la variación de los tipos de suelos. Con un mapa de suelos y un mapa de usos y coberturas actualizado y más detallado pueden usarse sistemas computarizados para realizar estimaciones de erosión de forma más continua y económica.
- Establecer parcelas demostrativas con la aplicación de obras de conservación de suelos para que los pequeños agricultores puedan capacitarse, adoptar y promover el uso de estas prácticas en sus terrenos.
- Es recomendable fomentar la implementación de sistemas agroforestales utilizando cultivos de café que permitan conservar los suelos y garantizar mejores ingresos a los productores ya que las condiciones son adecuadas para este cultivo.
- Las terrazas y curvas a nivel ya existentes deben ser complementadas con acequias y drenajes que permitan desviar el exceso de agua evitando el deterioro de las terrazas. La cobertura vegetal del terreno debe ser permanente e incluso en tiempos donde no exista cultivo.

6. LITERATURA CITADA

- Arévalo, G. E. y Gauggel, C. A. (2014). *Manual de laboratorio de ciencia de suelos* (Tercera ed.). Tegucigalpa, Honduras: LITOCOM.
- Barreda, C. (2015). Guatemala: crecimiento económico, pobreza y redistribución. Recuperado el 12 de Septiembre de 2016, de: <http://www.albedrio.org/html/documentos/CarlosBarreda-001.pdf>.
- Bianchini, F. (2006). Calidad de agua del Río Tzalá (municipio de Sipakapa; departamento de San Marcos). Guatemala. Recuperado el 12 de Septiembre de 2016, de: http://blog.reportero.org/wp-content/estudio_de_agua_del_rio_tzal.pdf
- Chang, S. M., Obando, M. y Beltrán, J. A. (2005). *Manual de métodos sencillos para estimar erosión hídrica*. Nicaragua.
- Espinoza-Bravo, M., Mendoza-Cantú, M. E. y Medina-Orozco, L. E. (2009). Escenarios de erosión bajo diferentes manejos agrícolas en la cuenca del lago de Zirahuén, Michoacán, México. *Investigaciones Geográficas*, 73-84.
- Foster, G. R., McCool, D., Renard, G. K. y Moldenhauer, C. W. (1981). Conversion of the universal soil loss equation to SI metric units. *Journal of Soil and Water Conservation*, 36, 355-359. Recuperado el 4 de Agosto de 2016, de: <http://www.jswconline.org/content/36/6/355.abstract>.
- Gómez, C. (2004). Porqué trabajar con enfoque de Cuencas y Microcuencas. World Vision, Salvador (Ed.), *Manual de manejo de cuencas* (Segunda Edición ed., págs. 31-41). San Salvador.
- González del Tanago, M. (1991). La ecuación universal de pérdida de suelo, pasado, presente y futuro. *Ecología*, 13-50.
- Guariguata, M. R. (2002). *Curso Principios para la Restauración Ecológica*. Costa Rica: CATIE. Recuperado el 20 de Agosto de 2016, de <https://books.google.hn>.
- Lianes, E., Marchamalo, M. y Roldán, M. (2009). Evaluación del factor C de la RUSLE para el manejo de coberturas vegetales en el control de la erosión en la cuenca del río Birrís, Costa Rica. *Agronomía Costarricense*, 217-235.

- Murales C, G. A. (2012). Recarga hídrica natural en la subcuenca del río Tzalá de los municipios San Miguel Ixtahuacán, Sipacapa y Comitancillo del departamento de San Marcos, Guatemala (trabajo de pregrado). Universidad de San Carlos de Guatemala, Guatemala.
- Norambuena V. P., Luzio L. W. y Vera E. W. (2002). Comparación entre los métodos de la pipeta y Bouyoucos y su relación con la retención de agua en ocho suelos de la zona altiplánica de la provincia de Parinacota, Chile. *Agricultura Técnica*, 62. 150-157. Recuperado el 4 de Agosto de 2016, de:http://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0365-28072002000100015.
- Organización de las Naciones Unidas. (2015). Programa Conjunto Desarrollo Rural Integral en cinco municipios de la cuenca alta del río Cuilco en el departamento de San Marcos. Guatemala: Naciones Unidas.
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. (2015). Análisis de las amenazas y vulnerabilidades de las microcuencas de la cuenca del alto Cuilco objeto de intervención en el programa conjunto. San Marcos, Guatemala: FAO.
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura; Agencia Española de Cooperación Internacional para el Desarrollo; Centro Nacional de Tecnología Agropecuaria y Forestal Enrique Álvarez Córdova; Ministerio de Agricultura y Ganadería del Salvador. (2010). La microcuenca como ámbito de planificación de los recursos naturales. Nota técnica, FAO, San Salvador. Recuperado el 12 de Septiembre de 2016, de: [fao.org:http://www.fao.org/climatechange/3032907fbeat2365b50c707fe5ed283868f23d.pdf](http://www.fao.org/climatechange/3032907fbeat2365b50c707fe5ed283868f23d.pdf).
- Ortega, C. E. (1993). Evaluación del modelo U.S.L.E. para predecir pérdidas de suelo en áreas forestadas de la cuenca del río Bío-Bío. *BOSQUE*, 45-54.
- Pando, M., Gutiérrez, M., Maldonado, A., Palacio, J. L. y Estrada, E. A. (2003). Comparación de métodos en la estimación de erosión hídrica. *Boletín del Instituto de Geografía, UNAM. Scielo*, 23-36.
- Programa para la Agricultura Sostenible en Laderas de América Central. (2000). Guía Técnica de Conservación de Suelos y Agua. San Salvador: PASOLAC. Recuperado el 29 de Septiembre de 2016, de: <http://infoagro.net/programas/ambiente/pages/agricultura/herramientas/3.pdf>.
- Sheng, T. C. (1990). *Conservación de suelos para los pequeños agricultores de las zonas tropicales húmedas*. Roma, Italia: FAO. Recuperado el 12 de Septiembre de 2016, de: <https://books.google.hn>.
- Silva, M. A. (2004). Rainfall erosivity map for Brazil. *ELSEVIER*, 251-259.

- Solis, N. J. (1981). *Fundamentos de Edafología* (Primera ed.). San José, Costa Rica: EUNED. Obtenido de <https://books.google.hn>.
- Thompson, L. M. y Troeh, F. R. (1988). *Los suelos y su fertilidad*. Barcelona: *Reverte*. 19-21.
- United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization. (2010). *Proceso de erosión y sedimentación en causas y cuencas* (Vol. 1). (F. B. José Daniel Brea, Ed.) PHI-LAC.
- Wischmeier, W. H. y Smith, D. D. (1978). *Predicting rainfall erosion losses*. USDA. Washington, DC: Science and Education Administration, U.S. Department of Agriculture. Recuperado el 25 de Octubre de 2016. de: <https://naldc.nal.usda.gov/download/CAT79706928/PDF>
- Yagenova, S. V. y Garcia, R. (2009). Guatemala: el pueblo de Sipakapa versus la empresa minera Goldcorp. OSAL (Buenos Aires: CLACSO) Año X, N° 25, abril. Recuperado el 5 de Agosto de 2016, de <http://bibliotecavirtual.clacso.org.ar/ar/libros/osal/osal25/05yage.pdf>.

7. ANEXOS

Anexo 1. Fase preparatoria antes de visitar los sitios de estudio en la microcuenca Tzalá.

1. Reuniones con autoridades comunitarias de los siete sitios donde se realizó la visita a campo, toma de datos y muestreo.



2. Pre recorrido y visita de los sitios de estudio distribuidos en las siete comunidades en la parte alta media y baja de la microcuenca.



Anexo 2. Fase de toma de datos y muestreo de suelos.

1. Mediciones de gradiente y longitud de pendientes en el sitio de estudio.



2. Toma de muestras de suelos del horizonte A en los sitios de estudio.

