

**Determinación de la erosión bajo diferentes
condiciones de manejo de suelos en ladera en
parcelas de escorrentía, Zamorano, Honduras**

**Sara Valeria Berrezueta García
Marco Antonio Molina Castro**

**Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano
Honduras**
Noviembre, 2018

ZAMORANO
CARRERA DE INGENIERÍA AGRONÓMICA

Determinación de la erosión bajo diferentes condiciones de manejo de suelos en ladera en parcelas de escorrentía, Zamorano, Honduras

Proyecto especial de graduación presentado como requisito parcial para optar al título de Ingenieros Agrónomos en el Grado Académico de Licenciatura

Presentado por

Sara Valeria Berrezueta García
Marco Antonio Molina Castro

Zamorano, Honduras
Noviembre, 2018

Determinación de la erosión bajo diferentes condiciones de manejo de suelos en ladera en parcelas de escorrentía, Zamorano, Honduras

Sara Valeria Berrezueta García
Marco Antonio Molina Castro

Resumen. La erosión es un proceso de desagregación, transporte y deposición de suelo por agentes erosivos como agua y viento. La ausencia de prácticas de conservación y manejo de suelos favorecen este fenómeno. Los objetivos de este estudio fueron: Evaluar la pérdida de suelo por erosión bajo diferentes condiciones y prácticas para el control de erosión en la época lluviosa, calibrar la ecuación universal de pérdida de suelo (USLE) y determinar mejores prácticas de conservación de los suelos en ladera en la Región central de Honduras. Se realizó en el lote 13 de la parcela de Conservación de Suelos de Zamorano, con suelos de textura franco arenosa y pendientes entre 14 y 21%. Se establecieron cuatro prácticas de manejo: camas a favor y en contra de la pendiente con frijol, sin camas con siembra de cultivos mixtos y cobertura natural, en un diseño BCA con tres repeticiones. Se midió semanalmente el suelo erosionado, la intensidad de precipitación y el porcentaje de cobertura vegetal. Siembras en camas en curvas a nivel resultó la menor erosión de 9.6 vs 41 t·ha⁻¹ al sembrar a favor de la pendiente. Sin camas, la mejor cobertura fueron los cultivos mixtos donde se erosionaron 14.7 t·ha⁻¹ vs cobertura natural 21.6 t·ha⁻¹. Se determinó un R-285, K-0.15, C-0.24 cultivos mixtos, 0.38 cobertura natural, 0.75 en camas. Las prácticas de conservación disminuyeron la pérdida de suelo, pero superaron 7 t·ha⁻¹·año⁻¹, considerada la permitida para el trópico. Las prácticas de manejo disminuyeron la erosión al mantener el suelo cubierto.

Palabras clave: Factor P, pérdida de nutrientes, prácticas de conservación de suelo.

Abstract. Erosion is a process through which degradation, transportation, and deposition of soil takes place mainly by erosive agents such as wind, and water. This phenomenon is favored by the absence of conservation and management practices. This research, having the objectives of: Evaluating the loss of soil by erosion under different practices and conditions to control erosion during rainy season, calibrate the universal soil loss equation (USLE), and determine better soil conservation practices on hillsides in the Central region of Honduras. It took place at lot 13 of the Zamorano Soil Conservation plot, with a 14 and 21% slopes having a sandy loam soil texture. Four types of management: beds in favor and against slope with bean plants, without beds and different crops, and natural coverage, using a BCA design with three repetitions. Eroded soil was measured weekly, intensity of precipitation and vegetative coverage percent was measured weekly as well. Planting on level curving beds presented the least erosion being 9.6 vs 41 t/ha⁻¹ for planting in favor of the slope. Without beds, the best coverage being presented by mixed crops where 14.7 t/ha⁻¹ of soil was eroded vs natural coverage presented 21.6 t/ha⁻¹. An R-285, K-0.15, C-0.24 mixed crops, 0.38 natural coverage, 0.75 was determined. Conservation practices reduced soil loss, although it surpassed the 7 t/ha⁻¹/year⁻¹, which is what is considered allowed for the tropic region. Management practices decreased erosion by keeping the soil covered.

Keywords: Nutrient loss, P-factor, soil conservation practices.

CONTENIDO

Portadilla	i
Página de firmas	ii
Resumen	iii
Contenido	iv
Índice de Cuadros y Figuras.....	v
1. INTRODUCCIÓN.....	1
2. MATERIALES Y MÉTODOS.....	3
3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	13
4. CONCLUSIONES.....	20
5. RECOMENDACIONES.....	21
6. LITERATURA CITADA	22

ÍNDICE DE CUADROS Y FIGURAS

Cuadros	Página
1. Descripción de las condiciones topográficas de las parcelas de escorrentía, establecidas para determinar la erosión bajo diferentes condiciones de manejo de suelos de ladera, Zamorano, Honduras.....	4
2. Índice de estructura del suelo, utilizado en la ecuación de erodabilidad del suelo con base en la estructura del suelo.....	9
3. Índices de permeabilidad utilizados en la ecuación de erodabilidad del suelo con base en la textura del suelo.	10
4. Valores de m, utilizados en el factor LS con base en el porcentaje de la pendiente.	11
5. Distribución de los tratamientos en las unidades experimentales en el lote 13 de la parcela de Conservación de Suelos, Zamorano, Honduras.....	12
6. Suelo erosionado en las unidades experimentales en el lote 13 de la parcela de Conservación de Suelos, Zamorano, Honduras.....	13
7. Precipitación diaria desde el 02 de agosto al 20 de septiembre del 2018, estación meteorológica Zorrales, Zamorano, Honduras.....	14
8. Valores máximos de intensidad de lluvia y factor R (erosividad de la lluvia) desde el 02 de agosto al 20 de septiembre del 2018, Zamorano, Honduras.....	15
9. Valores del factor K de erodabilidad del suelo de las unidades experimentales en el lote 13 de la parcela de Conservación de Suelos, Zamorano, Honduras.....	16
10. Valores de LS de las unidades experimentales en el lote 13 de la parcela de Conservación de Suelos, Zamorano, Honduras.....	16
11. Valores del porcentaje de cobertura y factor C de las unidades experimentales en el lote 13 de la parcela de Conservación de Suelos, Zamorano, Honduras.....	17
12. Valores del factor P para las prácticas de manejo y conservación en las unidades experimentales en el lote 13 de la parcela de Conservación de Suelos, Zamorano, Honduras.	18
13. Porcentaje de pérdida de carbono orgánico, materia orgánica, macro y micro elementos con base a la disponibilidad total a 20 cm de profundidad en el lote 13 de la parcela de Conservación de Suelos, Zamorano, Honduras.....	19

Figuras	Página
1. Mapa de ubicación del lote 13 de la parcela de Conservación de Suelos, Zamorano, Honduras.	3
2. Mapa de ubicación de las unidades experimentales en el lote 13 de la parcela de Conservación de Suelos, Zamorano, Honduras.	4
3. Establecimiento del experimento de erosión de suelos en laderas, Zamorano, Honduras. a) Unidades experimentales en el lote 13. b) Preparación de camas en las unidades experimentales. c) Camas en curvas en nivel. d) Camas paralelas a la pendiente	5
4. Colocación del plástico como medio de captación del suelo erosionado en laderas, Zamorano, Honduras. a) Ajustes frontales para la correcta colocación del plástico. b) Ajustes laterales para la correcta colocación del plástico. c) Ubicación del plástico en una unidad experimental como medio de captación del suelo erosionado	6

1. INTRODUCCIÓN

El suelo es un recurso no renovable compuesto por minerales, materia orgánica, microorganismos, aire y agua (FAO 2009). Su formación está dada gracias a la interacción de cinco factores formadores que también permiten determinar las propiedades del suelo y su grado de expresión. Estos son: material originario, clima, organismos vivos, relieve y tiempo (Porta *et al.* 2014). No obstante, este proceso puede tardar cientos y hasta millones de años por lo que difícilmente se podría compensar los millones de toneladas de la capa arable del suelo que la erosión se lleva cada año (FAO 2015).

Se define a la erosión del suelo como un proceso de desagregación, transporte y deposición de materiales del suelo por agentes erosivos como agua y viento (FAO 1994). El impacto que genera la erosión consiste generalmente en la disminución del espesor del suelo, menor capacidad de almacenamiento de agua y nutrientes (Porta *et al.* 2014), lo que sin duda alguna altera las características físicas, químicas y biológicas del suelo y posteriormente, provoca disminución en la productividad del terreno, reduce los rendimientos y aumenta los costos de producción (FAO 1994).

Para estimar la cantidad de suelo perdido, Wischmeier y Smith (1978) crearon la ecuación universal de pérdida de suelo por sus siglas en inglés “Universal Soil Loss Equation” (USLE), que permite hacer predicciones de la tasa promedio de erosión del suelo bajo distintas condiciones de manejo. Esta ecuación considera como factores para su cálculo: la cobertura del suelo, las prácticas para control de la erosión, el tipo de suelo, el patrón de precipitación y la topografía del terreno.

Actualmente, existen diferentes prácticas de manejo y conservación de suelos que son sencillas, de bajo costo y tienen gran aceptación por los agricultores. Entre ellas se destacan la siembra de cultivos de cobertura, la labranza conservacionista, la siembra en curvas a nivel y el establecimiento de barreras vivas y muertas. También existen otras técnicas de conservación que son más eficientes y brindan mayor protección pero son de costo más elevado, tales como zanjas de ladera, terrazas (FHIA 2011).

La pérdida de suelo causada por los factores hídricos es de mayor significancia para la erosión y conservación de suelos en América Latina. En Honduras, gran parte de la tierra tiene más del 30% de pendiente (SERNA 2005); sin embargo, han sido pocos los estudios relacionados con el tema de erosión de suelo (Gómez Botero 2017). Las laderas de Honduras ocupan entre el 60 y 80% de la superficie territorial del país, donde a pesar de su fragilidad ecológica, se produce aproximadamente el 75% de los cultivos anuales y el 65%

de cultivos perennes, lo que las convierte en un aporte significativo a la economía de la región (PASOLAC 2011).

Los suelos de laderas de la región centroamericana han venido sufriendo procesos de degradación acelerada en los últimos años, los mismos que son causados por fenómenos como la erosión. Esta situación se asocia principalmente a la aplicación de prácticas de manejo inadecuadas en dichas zonas (Raudes y Sagastume 2011).

Dada la gran extensión que tienen los suelos de ladera en Honduras, la importancia económica que representan y la degradación acelerada que han venido sufriendo debido a malas prácticas empleadas, se tomó la iniciativa de establecer parcelas de escorrentía bajo diferentes condiciones de manejo en suelos de ladera para medir la pérdida de suelo en la Escuela Agrícola Panamericana Zamorano.

- El objetivo del estudio fue la evaluación de la pérdida de suelo por erosión bajo diferentes condiciones de manejo en ladera en la época lluviosa en Zamorano; calibrar los valores de las variables de la ecuación universal de pérdida de suelo (USLE) para la región central de Honduras y determinar la mejor práctica de manejo para la conservación de los suelos en ladera bajo condiciones de Zamorano, Honduras.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

Ubicación del estudio.

El experimento se desarrolló el 16 de junio al 20 de septiembre del año 2018 en el lote 13 de la parcela del módulo de Conservación de Suelos en la Escuela Agrícola Panamericana, ubicada en el Valle del Yegüare, departamento de Francisco Morazán (Figura 1), a una altura de 765 msnm, con temperatura y precipitación promedio de 25 °C y 266 mm respectivamente, durante los meses en los que se llevó a cabo el estudio.



Figura 1. Mapa de ubicación del lote 13 de la parcela de Conservación de Suelos, Zamorano, Honduras.

Delimitación del terreno.

El lote cuenta aproximadamente con 1,577.1 m². El ensayo ocupó un área de 669.6 m², donde se establecieron doce unidades experimentales (parcelas), que, debido a la condición topográfica del terreno, no presentaron el mismo tamaño, por lo que se distribuyeron cuatro parcelas de 76.4 m², cuatro parcelas de 39 m² y cuatro parcelas de 52 m² (Figura 2 y Cuadro 1).

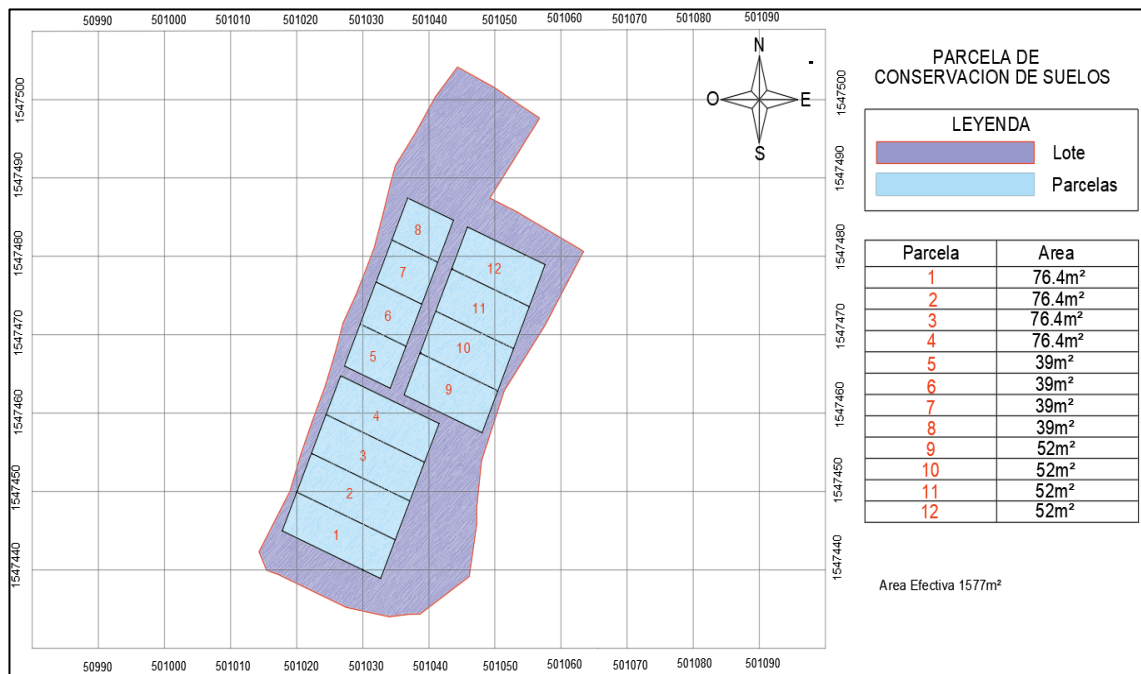


Figura 2. Mapa de ubicación de las unidades experimentales en el lote 13 de la parcela de Conservación de Suelos, Zamorano, Honduras.

Cuadro 1. Descripción de las condiciones topográficas de las parcelas de escorrentía, establecidas para determinar la erosión bajo diferentes condiciones de manejo de suelos de ladera, Zamorano, Honduras.

Área (m ²)	Unidad Experimental	Pendiente	
		(%)	Descripción
76.4	1, 2	14 a 15	FI ^φ
	3, 4	16 a 21	ME [□]
39.0	5, 6, 7, 8	18 a 20	ME
52.0	9	17	ME
	10, 11, 12	15	FI

Preparación de parcelas.

Se prepararon las parcelas de acuerdo al tratamiento previamente establecido. Se utilizaron herramientas como: azadón, piocha y pala para el establecimiento de las mismas y se recibió apoyo de los estudiantes del módulo de Conservación de Suelos. Para trazar las curvas a nivel, se usó el nivel "A".

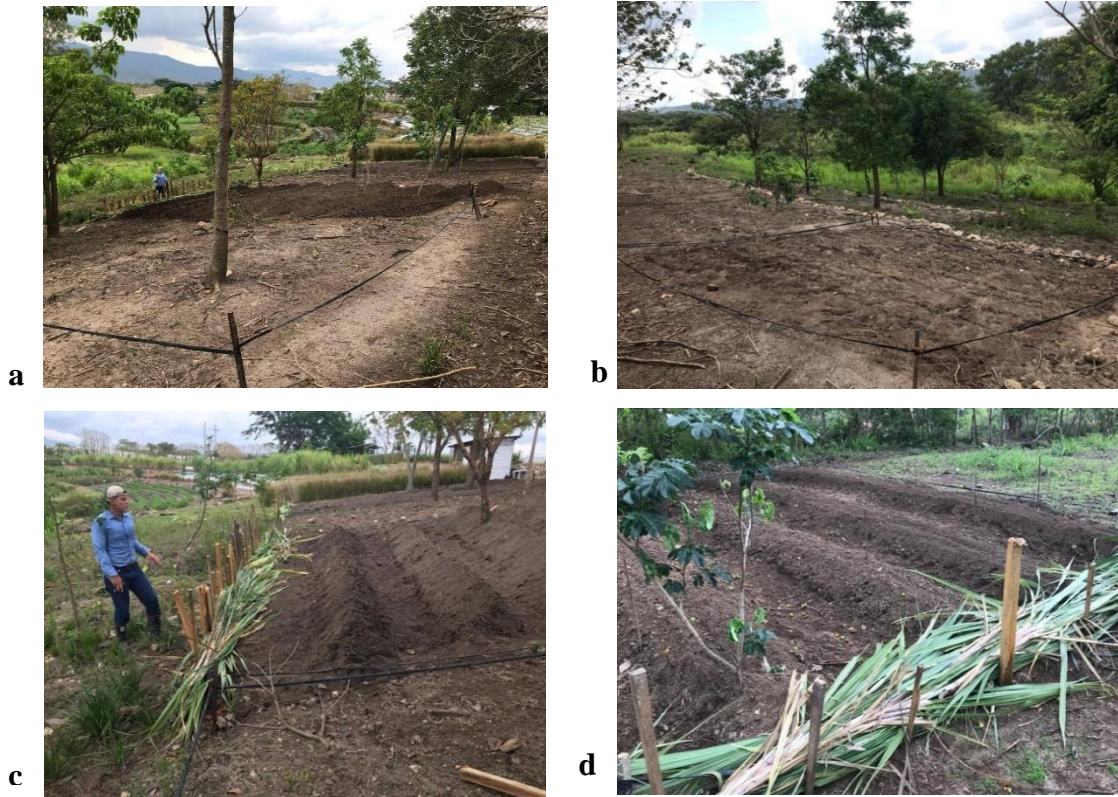


Figura 3. Establecimiento del experimento de erosión de suelos en laderas, Zamorano, Honduras. **a)** Unidades experimentales en el lote 13. **b)** Preparación de camas en las unidades experimentales. **c)** Camas en curvas a nivel. **d)** Camas paralelas a la pendiente.

Colocación del plástico.

Se colocó plástico amarillo al final de cada unidad experimental como medio de captación para retener y almacenar el suelo erosionado en cada una de ellas y poder medir la tasa de erosión en el período de duración del estudio.



Figura 4. Colocación del plástico como medio de captación del suelo erosionado en laderas, Zamorano, Honduras. **a)** Ajustes frontales para la correcta colocación de plástico. **b)** Ajustes laterales para la correcta colocación del plástico. **c)** Ubicación de plástico en una unidad experimental como medio de captación del suelo erosionado.

División de parcelas.

Debido a la corta distancia que separaba una parcela de otra y para evitar que el suelo erosionado en cada una de ellas se acumulara en otra, se elaboraron canales que permitieron establecer una separación adecuada entre las unidades experimentales. Asimismo, se colocaron estructuras de concreto separando los canales y se cubrió con plástico, lo que facilitó y aseguró una correcta toma de datos.

Siembra de cultivos.

Se utilizaron semillas de (*Sorghum bicolor*), frijol (*Phaseolus vulgaris*) y *Dolichos lablab*. Las semillas de sorgo fueron sembradas a chorro corrido, directamente al suelo como cobertura, formando hileras perpendiculares a la pendiente cada 0.3 m. El espacio entre hileras fue cubierto con *Dolichos*, el cual se estableció dos semanas más tarde formando una nueva hilera con un distanciamiento de 0.15 m entre plantas. En las camas paralelas a la pendiente y en curvas a nivel se sembró frijol como cobertura. Estas camas tenían un ancho de 0.8 m y la distancia entre cada una fue de 0.7 m.

Análisis de suelos.

Se tomó una muestra compuesta de suelo del primer horizonte en cada unidad experimental a 20 cm de profundidad. Se realizó análisis de textura, materia orgánica, pH, macro y micro elementos en el Laboratorio de Suelos de Zamorano, para conocer las condiciones del suelo y disponibilidad de nutrientes al inicio del ensayo. Al final del estudio y completada la recolección de datos, se realizó el mismo análisis al suelo erosionado de cada parcela, con el objetivo de comparar los cambios físicos y químicos causados por la erosión hídrica.

Toma de datos.

La toma de datos se llevó a cabo desde el 02 de agosto al 20 septiembre del 2018, una vez por semana, durante ocho semanas consecutivas. El suelo erosionado acumulado al final de cada parcela en el plástico se recogió, pesó y almacenó en sacos de polipropileno, rotulados por unidad experimental. Para determinar la humedad del suelo erosionado, se mezcló el suelo recogido en cada parcela para homogenizarlo y tomar una muestra representativa. La humedad se determinó en el Laboratorio de Suelos de Zamorano. Se pesó la muestra húmeda, se secó en el horno a 105 °C hasta conseguir un peso constante y se utilizó la ecuación [1] para obtener el porcentaje de humedad (Arévalo y Gauggel 2016).

$$\%w = \frac{Psh - Pss}{Pss} \times 100 \quad [1]$$

Donde:

%w = Porcentaje de humedad

Psh = Peso del suelo húmedo (g)

Pss = Peso del suelo seco (g)

Factores que determinan la erosión.

La pérdida de suelo se calcula mediante la ecuación universal de pérdida del suelo conocida por sus siglas en inglés como USLE (Wischmeier y Smith 1978). La ecuación [2] predice la cantidad de suelo que se erosionará en toneladas por hectárea por año, considerando el patrón de precipitación, el tipo de suelo, topografía del terreno, el cultivo y las prácticas de manejo.

$$A = R \times K \times LS \times C \times P \quad [2]$$

Donde:

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

R = Erosividad de la lluvia ($MJ \cdot mm^{-1}$) ($ha^{-1} h^{-1} \text{ año}^{-1}$)

K = Erodabilidad del suelo ($t \cdot MJ^{-1} mm^{-1}$)

LS = Longitud y gradiente de la pendiente (sin dimensiones)

C = Factor de cobertura y manejo del terreno (sin dimensiones)

P = Prácticas de conservación (sin dimensiones)

Factor R (erosividad de la lluvia). Hace referencia a la capacidad potencial de la precipitación de una zona, de provocar erosión en un período dado. Se obtiene multiplicando la energía total de la tormenta (E) por su intensidad máxima en 30 minutos (I_{30}). Para calcularlo, se tabularon los datos de intensidad de lluvia en Zamorano de la estación de Zorralles proporcionados por la Unidad de Maquinaria y Riego, desde el 26 de julio hasta el 20 de septiembre del 2018 con el fin de determinar la intensidad máxima en 30 minutos por semana. Se utilizó la ecuación [3] para obtener la energía que tuvo cada milímetro de agua caído semanalmente. La energía total del intervalo de lluvia de cada semana se calculó mediante la ecuación [4] basándose en la precipitación que tuvo cada intervalo. El factor R se determinó con la ecuación [5] que constituye la sumatoria de energía total de todos los intervalos de lluvia y de esta forma obtener el factor de erosividad para el período de estudio (Wischmeier y Smith 1978).

$$e = (0.119 + 0.0873 \times \log_{10} I_{60}) \times I_{30} \quad [3]$$

Donde:

e = Energía de cada milímetro de agua caído en un intervalo de lluvia (MJ/ha- mm^{-1})

I_{60} = Intensidad de cada lluvia (mm h^{-1})

I_{30} = Intensidad de cada lluvia (mm 30 min^{-1})

$$E_i = e \times pp \quad [4]$$

Donde:

E_i = Energía total de un intervalo de lluvia (MJ/ha- mm^{-1})

e = Energía de cada milímetro de agua caído en un intervalo de lluvia (MJ/ha- mm^{-1})

pp = Total de milímetros de agua caídos en un intervalo de lluvia (mm)

$$R = \Sigma E_i \quad [5]$$

Donde:

R = Erosividad de la lluvia ($\text{MJ} \cdot \text{mm}^{-1}$) ($\text{ha}^{-1} \text{h}^{-1} \text{año}^{-1}$)

E_i = Energía total de un intervalo de lluvia (MJ/ha- mm^{-1})

Factor K (erodabilidad del suelo). Indica la vulnerabilidad de un suelo a erosionarse debido a sus propiedades físicas y químicas tales como: textura, contenido de materia orgánica, estructura y permeabilidad (Porta et al. 2014). Para determinar el factor K se utilizó la ecuación [6] (Wischmeier y Smith 1978).

$$K = \frac{2.1 \times 10^{-4} (12 - \%M.O.) \times M^{1.14} + 3.25 (b - 2) + 2.5 (c - 3)}{100} \quad [6]$$

Donde:

K = Erodabilidad del suelo ($t \cdot MJ^{-1} mm^{-1}$)
 %M.O = Porcentaje de materia orgánica del suelo
 M = Índice de tamaño de partícula
 b = Valor de estructura del suelo
 c = Valor de permeabilidad del suelo

Para conocer los valores del factor K se tomó una muestra de suelo en cada parcela, como se explicó previamente y fueron analizadas en el Laboratorio de Suelos de Zamorano. Se determinó el porcentaje de materia orgánica mediante el método Walkley y Black (Walkley y Black 1934) y el tamaño de partícula M (ecuación [7]) (Wischmeier y Smith 1978), a través de la textura por el método de Bouyoucus. Para establecer el porcentaje de arena muy fina (0.05 a 0.1 mm), el suelo sedimentado en la prueba de Bouyoucus fue secado en el horno a 105 °C por 72 horas. Seguido a esto, se pesó el suelo seco sedimentado y fue tamizado utilizando las cribas 100 y 200 Mesh (se ubicó la criba 100 Mesh en la parte superior y la de 200 Mesh en la parte inferior). Luego, el suelo que quedó entre las cribas de 100 y 200 Mesh se pesó y se sacó la relación porcentual con el peso seco del suelo sedimentado de Bouyoucus, para obtener el porcentaje de arena muy fina.

$$M = (\%L + \%AMF) \times (100 - \%Ar) \quad [7]$$

Donde:

M = Índice de tamaño de partícula
 %L = Porcentaje de limo (0.05 – 0.002 mm)
 %AMF = Porcentaje de arena muy fina (0.05 – 0.1 mm)
 %Ar = Porcentaje de arcilla (< 0.002 mm)

El valor de estructura del suelo se definió mediante los valores que adjudican Wischmeier y Smith (1978) (Cuadro 2), según el tipo de estructura. La estructura del suelo en estudio fue descrita en el primer horizonte de cada parcela.

Cuadro 2. Índice de estructura del suelo, utilizado en la ecuación de erodabilidad del suelo con base en la estructura del suelo.

Estructura del suelo	Índice de estructura b
Granular muy fina	1
Granular fina	2
Granular gruesa	3
Bloques angulares, Bloques subangulares, laminar y masivo	4

Fuente: (Wischmeier y Smith 1978)

El valor de permeabilidad del suelo se obtuvo a través de la textura determinada por el método de Bouyoucus, utilizando los valores adjudicados por Wischmeier y Smith (1978) (Cuadro 3).

Cuadro 3. Índices de permeabilidad utilizados en la ecuación de erodabilidad del suelo con base en la textura del suelo.

Tipo de suelo	Infiltración		Índice de permeabilidad c
	Tasa (cm h ⁻¹)	Categoría	
Arenoso	2 – > 25	Mod ^e rápido a Muy rápido	1.0
Franco arenoso	1 – 8	Mod lenta a Mod. rápido	2.0
Franco	0.1 – 2	Lenta a Mod lenta	3.0
Limoso	0.2 – 1.5	Lenta a Mod lenta	4.0
Franco arcilloso	0.2 – 0.5	Lenta	4.5
Arcillo limoso	0.03 – 0.5	Muy lenta a Lenta	5.0
Arcilloso	< 0.01 – 0.8	Muy lenta a Mod lenta	6.0

Fuente: Adaptado de (Landon 1991), (Wischmeier y Smith 1978)

^e Mod: Moderadamente

Factor LS (longitud y gradiente de la pendiente). El factor LS es determinado con base en la longitud y porcentaje de la pendiente en un terreno, donde L corresponde a la longitud total ininterrumpida de la pendiente y S al porcentaje de pendiente del terreno (Wischmeier y Smith 1978). Para obtener S se realizó una medición en campo usando un nivel topográfico y con una cinta métrica se obtuvo la longitud en metros de la pendiente de cada parcela. Posteriormente, se calculó el factor LS utilizando la ecuación [8] (Wischmeier y Smith 1978).

$$LS = (L \div 22.1)^m \times (0.065 + 0.045 + 0.0065S^2) \quad [8]$$

Donde:

LS = Longitud y gradiente de la pendiente (sin dimensiones)

L = Longitud de la pendiente (m)

m = Valor dado al porcentaje de la pendiente (Cuadro 4)

S = Porcentaje de la pendiente

Cuadro 4. Valores de m, utilizados en el factor LS con base en el porcentaje de la pendiente.

S (%)	m (valor asignado al porcentaje de la pendiente)
< 1	0.2
1 - 3	0.3
3.1 - 4.9	0.4
> 5	0.5

Fuente: (Wischmeier y Smith 1978)

Factor C (cobertura y manejo del cultivo). El factor C corresponde a la cobertura del terreno y la proporción del mismo que permanece desprotegido. El factor C tiene un valor que varía de 0 a 1 y depende del tipo de cobertura vegetal que se esté utilizando (UNESCO 2010). Para obtener su valor se tomaron fotografías semanales de la cobertura utilizando la cámara de un dispositivo móvil “iPhone 8 Plus”. Estas fotografías fueron tomadas desde un punto superior, a una altura de 1.4 m aproximadamente. La cantidad de fotografías tomadas en cada parcela dependía del área que esta tuviera. Esto debido a que si el área era mayor, se requerían más puntos a consideración para poder estimar un porcentaje uniforme. Sobre las fotografías se determinó el porcentaje de cobertura de los cultivos en cada semana mediante el programa “ImageJ”. Posteriormente, se calculó el porcentaje de cobertura promedio de los cultivos durante las ocho semanas evaluadas y se convirtió a valores del factor C a través de la ecuación [9].

$$C = \frac{100 - \%CCP}{100} \quad [9]$$

Donde:

C = Factor C (cobertura y manejo del cultivo)

%CCP = Porcentaje de cobertura del cultivo promedio

Factor P (prácticas de conservación de suelos). El factor P corresponde a las prácticas de conservación del suelo presentes en el terreno. Se despejó la USLE, ecuación [1], para calcular su valor para cada práctica de manejo realizada.

Variables medidas.

Semanalmente se midió el peso seco del suelo erosionado de cada parcela (A) en kg/m² y al finalizar el estudio, se calculó en t·ha/período. El período fue equivalente a ocho semanas, iniciando el 2 de agosto hasta el 20 de septiembre del 2018. El porcentaje de cobertura de los cultivos también se midió cada semana y la precipitación e intensidad de lluvia fueron medidas a diario.

Tratamientos.

Se establecieron cuatro tratamientos en total con tres repeticiones (Cuadro 5). Las unidades experimentales fueron las parcelas de escorrentía.

Cuadro 5. Distribución de los tratamientos en las unidades experimentales en el lote 13 de la parcela de Conservación de Suelos, Zamorano, Honduras.

Tipo de siembra	Práctica	Manejo del suelo	Cobertura
Camas	A favor de la pendiente	Remoción del suelo	Frijol
Camas	En curvas a nivel	Remoción del suelo	Frijol
Sin camas	Siembra perpendicular a la pendiente	Desmalezado con azadón	Sorgo y Dolichos
Testigo – Sin camas	Sin	Sin	Cobertura natural

Diseño experimental.

Se utilizó un diseño de bloques completamente al azar (BCA) con cuatro tratamientos y tres repeticiones. Los tratamientos se distribuyeron aleatoriamente, dando un total de 12 unidades experimentales.

Análisis estadístico.

Los datos se analizaron con el programa estadístico SAS[®] versión 9.4 “Statistical Analysis System”. Se hizo un ANDEVA utilizando el modelo lineal general, incluyendo la separación de medias Duncan, a una probabilidad de ($P \leq 0.05$).

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Erosión en parcelas de escorrentía.

Se obtuvo la cantidad total de suelo erosionado en cada parcela de escorrentía durante el intervalo de tiempo evaluado. Debido a que las parcelas no eran del mismo tamaño, se calculó los kilogramos de suelo perdido por m² y su equivalente a toneladas por hectárea (Cuadro 6).

Cuadro 6. Suelo erosionado de las unidades experimentales en el lote 13 de la parcela de Conservación de Suelos, Zamorano, Honduras.

Tratamiento	Suelo erosionado	
	kg/m ²	t/ha
Camas a favor de la pendiente con frijol	4.09 a [#]	40.92 a
Camas en curvas a nivel con frijol	0.96 b	9.67 b
Cultivos mixtos sin camas sorgo y dolichos	1.47 b	14.76 b
Cobertura natural sin camas cobertura natural, testigo	2.16 b	21.62 b
P	0.01	0.01
R ²	0.69	0.70
CV	21.97	21.85

[#]Valores con letras diferentes en la columna presentan diferencia significativa (P≤0.05)

El tratamiento de camas sin práctica de conservación presentó la mayor cantidad de suelo erosionado, siendo significativamente superior a las prácticas de camas en curvas a nivel, cultivos mixtos sin camas y cobertura natural sin camas. Estos tres tratamientos no presentaron diferencias significativas entre ellos. Gómez Botero (2017), determinó en su estudio que en los terrenos de Florencia y El Llano, la siembra a favor de la pendiente genera una pérdida de suelo que fluctúa entre 6 y 31 t·ha⁻¹ año⁻¹, la cual podría reducirse a valores entre 3 y 16 t·ha⁻¹ año⁻¹ al cambiar la dirección de siembra perpendicular a la pendiente. Esa reducción disminuye la pérdida de suelo en 15 t·ha⁻¹ año⁻¹. Bajo las condiciones de manejo establecidas para este estudio, se podría relacionar los valores de erosión en las parcelas con camas sin prácticas de conservación con las parcelas de cultivo mixto sin camas, ya que estos cultivos fueron sembrados perpendiculares a la pendiente y la pérdida de suelo que sufrió este tratamiento es inferior al que presenta las camas sin práctica de conservación.

Factor R (erosividad de la lluvia).

La época lluviosa en Zamorano ocurre durante los meses de mayo a octubre, cuando se presenta mayor capacidad para causar erosión en el suelo debido a lluvias con alta intensidad y corta duración (Gómez Botero 2017). El experimento se realizó durante el mes de agosto y septiembre, donde se evidencia esta época lluviosa (Cuadro 7).

Cuadro 7. Precipitación diaria desde el 02 de agosto al 20 septiembre del 2018, estación meteorológica Zorralles, Zamorano, Honduras.

Semana	Precipitación (mm)							Total
	L	M	M	J	V	S	D	
26 jul – 02 ago	4.4	7.0	2.0	1.6	0.4	16.4	2.2	34.0
02 ago – 09 ago	17.4	2.0	2.0	3.0	8.2	8.0	9.0	49.6
09 ago – 16 ago	17.0	0.0	0.0	4.0	5.0	9.0	4.0	39.0
16 ago – 23 ago	0.0	0.0	0.2	7.0	3.0	5.0	6.8	22.0
23 ago – 30 ago	0.0	4.6	11.0	0.0	0.4	0.0	0.0	16.0
30 ago – 6 sept	4.0	12.0	2.0	1.0	12.0	10.0	2.0	43.0
06 sept – 13 sept	2.0	1.0	0.0	0.0	12.6	39.2	2.0	56.8
13 sept – 20 sept	1.0	0.0	2.0	1.0	1.4	0.0	0.2	5.6
Total								266.0

Según Gómez Botero (2017), el valor de erosividad de la lluvia R obtenido para las condiciones climáticas de Zamorano es $329 \text{ (MJ}\cdot\text{mm}^{-1}) \text{ (ha}^{-1} \text{ h}^{-1} \text{ año}^{-1})$, que corresponde a las lluvias de mayor intensidad y más erosivas. Al aplicar la ecuación [5], el valor del factor R es de $285 \text{ (MJ}\cdot\text{mm}) \text{ (ha}^{-1} \text{ h}^{-1} \text{ año}^{-1})$ puesto que se consideró únicamente la intensidad de lluvia registrada durante las ocho semanas evaluadas (Cuadro 8).

Cuadro 8. Valores máximos de intensidad de lluvia y factor R (erosividad de la lluvia) desde el 02 de agosto al 20 de septiembre del 2018, Zamorano, Honduras.

Período		I_{60}^{ϕ}	I_{30}^{ϕ}	e^{ϖ}	E_i^{π}	R^{δ}
Mes	SEM ^x	(mm h ⁻¹)	(mm 30 min ⁻¹)	(MJ·mm ⁻¹)	(MJ·mm ⁻¹)	
Agosto	1	7.6	3.8	0.4	14.0	
	2	5.6	2.8	0.3	15.0	
	3	27.2	13.6	1.8	71.1	
	4	12.8	6.4	0.7	16.2	
Septiembre	5	11.2	5.6	0.6	10.1	
	6	15.6	7.8	0.9	40.1	
	7	30.4	15.2	2.1	118.5	
	8	1.2	0.6	0.1	0.7	
Total					285.0	285

^x SEM: Semana, ^{*} PP: Precipitación, ^φ I: Intensidad de cada lluvia, ^ϖ e: Energía de cada milímetro de agua caído, ^π E_i: Energía de cada lluvia, ^δ R: Erosividad de la lluvia (MJ·mm⁻¹) (ha⁻¹ h⁻¹ año⁻¹)

Factor K (erodabilidad del suelo).

El valor de erodabilidad del suelo K fue determinado considerando las características edáficas del suelo en el lote de estudio, los valores obtenidos para los tratamientos fluctúan entre 0.13 a 0.16 (Cuadro 9). La cantidad de suelo que se pierde por erosión hídrica está relacionada y mayormente influenciada por factores como la pendiente del terreno, la energía de las lluvias, cobertura presente y del manejo que se le brinda a un terreno, no obstante, las partículas inherentes del suelo tienden a erosionarse de manera más acelerada dependiendo de su tamaño, sin importar que demás factores de la ecuación presenten los mismos valores, por lo tanto, el factor de erodabilidad del suelo K debe evaluarse independientemente de los efectos causados en la erosión por los demás factores (Wischmeier y Smith 1978).

La variación del valor del factor K en los tratamientos se adjudica a la diferencia textural y contenido de materia orgánica que presentaron las unidades experimentales. Al presentar mayor contenido de arcilla y partículas finas son más susceptible a la erosión y de esta forma incrementando los valores respectivos para el factor K. La susceptibilidad de las partículas del suelo para erosionarse se relaciona a que la erosión actúa de manera selectiva, arrastrando las partículas más finas y también las más reactivas del suelo, incluyendo la materia orgánica (Stocking 1984).

Cuadro 9. Valores del factor K de erodabilidad del suelo de las unidades experimentales en el lote 13 de la parcela de Conservación de Suelos, Zamorano, Honduras.

Tratamiento		Factor K
Camas a favor de la pendiente	con frijol	0.16
Camas en curvas a nivel	con frijol	0.13
Cultivos mixtos sin camas	sorgo y dolichos	0.13
Cobertura natural sin camas	cobertura natural, testigo	0.14
P		0.21
R ²		0.41
CV		5.81

ns: no significativo

Factor LS (longitud y gradiente de la pendiente).

Las pendientes dominantes del lote de estudio tienen un gradiente que oscila entre 14 – 21%, el cual fue obtenido por medio de mediciones actuales en campo. Se trabajó con tres longitudes de pendiente distintas, siendo la longitud mayor, media y menor de 11.5 m, 8 m y 6 m respectivamente. Sin embargo, el valor del factor LS no presentó diferencia significativa en ningún tratamiento (Cuadro 10). La intensidad de la erosión hídrica es afectada por la inclinación y longitud del área. Sin embargo, un aumento en la gradiente tiene mayor efecto en el factor LS que un aumento en la longitud de la pendiente (Wischmeier y Smith 1978).

Cuadro 10. Valores de LS de las unidades experimentales en el lote 13 de la parcela de Conservación de Suelos, Zamorano, Honduras.

Tratamiento		Factor LS
Camas a favor de la pendiente	con frijol	1.10
Camas en curvas a nivel	con frijol	1.15
Cultivos mixtos sin camas	sorgo y dolichos	1.19
Cobertura natural sin camas	cobertura natural, testigo	1.53
P		0.50
R ²		0.24
CV		13.28

ns: no significativo

Factor C (cobertura y manejo del cultivo).

El factor C corresponde a la cobertura que tiene el suelo y también a la proporción que se encuentre descubierta. A menor porcentaje de cobertura presente en el terreno, el valor del factor C será más cercano a cero. Un valor de C = 1 representa ausencia total de cobertura. Los porcentajes de cobertura más bajos se encontraron en los tratamientos de camas a favor

de la pendiente y en curvas a nivel (Cuadro 11), por lo que sus valores eran cercanos a uno. La siembra sin camas con cultivos mixtos y cobertura vegetal presentaron un porcentaje de cobertura mayor, siendo cultivos mixtos la cobertura con el valor más alto. Un alto porcentaje de cobertura vegetal puede reducir considerablemente la pérdida de suelo por erosión (Zhou *et al.* 2008), haciendo referencia de tal manera a la cobertura vegetal como uno de los más importantes en la pérdida de suelo por erosión.

Cuadro 11. Valores del porcentaje de cobertura y factor C de las unidades experimentales en el lote 13 de la parcela de Conservación de Suelos, Zamorano, Honduras.

Tratamiento		Cobertura (%)		Factor C
Camas a favor de la pendiente	con frijol	25	c [#]	0.75 c
Camas en curvas a nivel	con frijol	25	c	0.75 c
Cultivos mixtos sin camas	sorgo y dolichos	75	a	0.24 a
Cobertura natural sin camas	cobertura natural, testigo	62	b	0.38 b
P		<.0001		<.0001
R ²		0.97		0.97
CV		9.37		8.21

[#]Valores con letras diferentes en la columna presentan diferencia significativa (P≤0.05)

Factor P (prácticas de conservación de suelos).

El factor P corresponde al valor que se le asigna a las prácticas realizadas para lograr una reducción en la erosión de un terreno. Si no existe una obra de conservación establecida, se asigna un valor de uno. El factor P se considera el valor más incierto (Morgan y Nearing 2011), por lo que suele estimarse con base en la literatura (Stone y Hilborn 2012). Para este estudio, el valor del factor P fue calculado despejando la USLE, ecuación [2] y se ajustó al valor máximo obtenido para este estudio fue ajustado basándose directamente en los valores reales que se midieron durante el periodo de tiempo del experimento de las diferentes variables relacionadas con la Ecuación Universal de Pérdida de Suelo (USLE). Las camas en curvas a nivel presentaron el valor más bajo, por lo que se encontró diferencia significativa con los demás tratamientos (Cuadro 12). Esto se atribuye a la interacción positiva entre la cobertura y la obra de conservación. La implementación de prácticas de conservación individual o combinada permite reducir la pérdida de suelo a los valores máximos permitidos (Meléndez 2011).

Cuadro 12. Valores del factor P para las prácticas de manejo y conservación en las unidades experimentales en el lote 13 de la parcela de Conservación de Suelos, Zamorano, Honduras.

Tratamiento	Factor P
Camas a favor de la pendiente con frijol	0.7 a [#]
Camas en curvas a nivel con frijol	0.2 b
Cultivos mixtos sin camas sorgo y dolichos	0.8 a
Cobertura natural sin camas cobertura natural, testigo	0.7 a
P	0.01
R ²	0.72
CV	18.74

[#]Valores con letras diferentes en la columna presentan diferencia significativa ($P \leq 0.05$)

Efecto de la erosión en la fertilidad del suelo.

Las características del suelo como el contenido de materia orgánica, carbono orgánico y nutrientes que se perdió a causa de la erosión hídrica también fue evaluada en este estudio (Cuadro 13). La erosión provoca cambios en las propiedades del suelo que producen alteraciones en el nivel de fertilidad y consecuentemente en su capacidad de sostener una agricultura (FAO 1994). Las características que originalmente forman parte de los suelos como la materia orgánica y la estructura son destruidas gradualmente, esto causado por el efecto del mal manejo que es realizado en los suelos y por la acción de la erosión acelerada (FAO 1994). Según Westerhof (1999), una parte del carbono orgánico también contiene cantidades considerables de Nitrógeno. Terrones (2008) destacó la relación que tiene la materia orgánica con otros elementos presentes en el suelo, entre ellos el Nitrógeno. La erosión afecta de gran manera las características del suelo, por lo tanto, diferentes elementos se verán afectados de mayor manera en caso que tengan relación directa con otras características presentes en el suelo.

Cuadro 13. Porcentaje de pérdida de carbono orgánico, materia orgánica, macro y micro elementos con base a la disponibilidad total a 20 cm de profundidad en el lote 13 de la parcela de Conservación de Suelos, Zamorano, Honduras.

TRT [∞]	C.O. [‡]	M.O. [¥]	N total	P	K	Ca	Mg	Na	Cu	Fe	Mn	Zn
%												
CC - FP [‡]	1.93 a	1.80	1.05	2.99 a	2.76 a	1.73 a	1.63	1.14 a	1.93 a	2.93 a	3.87 a	0.01 a
CC - CN [‡]	0.60 b	1.33	0.93	1.48 b	0.70 b	0.53 b	0.56	0.36 b	0.55 b	0.73 b	0.82 b	0.60 b
SC - CM ^Ω	0.41 b	1.49	1.06	0.60 ab	0.45 b	0.36 b	0.23	0.28 ab	0.33 b	0.47 b	0.57 ab	0.65 b
SC - CN [‡]	1.03 b	1.50	1.11	1.84 ab	1.17 ab	0.88 b	0.57	0.82 ab	0.90 b	0.99 ab	1.39 ab	1.88 a
P	<0.01	0.88	0.96	0.05	0.06	< 0.01	0.35	0.09	0.01	0.08	0.11	0.03
R	0.83	0.07	0.02	0.59	0.57	0.78	0.31	0.52	0.71	0.54	0.51	0.63
CV	30	51.66	49.1	50.47	73.67	38.39	128.5	61.35	50.82	85.09	94.96	46.06

[∞]TRT: Tratamiento, [‡]C.O.: Carbono orgánico, [¥]M.O.: Materia orgánica

[‡]CC – FP: Con camas a favor de la pendiente con frijol

[‡]CC – CN: Con camas en curvas a nivel con frijol

^ΩSC – CM: Sin camas con hileras perpendiculares a la pendiente con sorgo y dolichos

[‡]SC – CN: Sin camas sin práctica de conservación con cobertura natural

4. CONCLUSIONES

- Hacer camas en curvas a nivel presentó una pérdida de suelo de $9.6 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$ vs $41 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$ con camas a favor de la pendiente. Sin camas la mejor cobertura fueron los cultivos mixtos donde se erosionaron $14.7 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$ vs cobertura natural $21.6 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$.
- Se determinó un R-285, K-0.15, C-0.24 cultivos mixtos, 0.38 cobertura natural, 0.75 en camas, P-0.7 en camas a favor de la pendiente y cobertura natural, 0.2 para camas en curvas a nivel, 0.8 cultivos mixtos sin cama.
- Las prácticas de conservación disminuyeron la pérdida de suelo, pero superaron $7 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{año}^{-1}$, considerada la permitida para el trópico.

5. RECOMENDACIONES

- Realizar el estudio donde la toma de datos sea durante todo el año para evaluar el comportamiento de la erosión durante la época seca y lluviosa.
- Realizar estudios posteriores con las mismas prácticas de manejo, utilizando el mismo cultivo de cobertura en todas las parcelas de escorrentía.
- Implementar prácticas de conservación en suelos de ladera para disminuir considerablemente la tasa de erosión existente.

6. LITERATURA CITADA

- Arévalo GE, Gauggel CA. 2016. Manual de laboratorio de ciencia de suelos. 3.^a ed. Tegucigalpa (Honduras): Lithocom. 118 p.
- Chávez Ramírez KM, Bojórquez Aguirre JE. 2012. Plan de conservación de suelos en laderas y fertilización para el cultivo de café en Ahuachapán, El Salvador [Tesis]. Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano- Honduras. 26 p.
- FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación). 1994. Erosión de los suelos en América Latina [internet]. Chile; [sin editorial] [actualizado el 9 de ene. de 2007; consultado el 7 de jul. de 2018]. <http://www.fao.org/docrep/t2351s/T2351S00.htm>.
- FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación). 2009. El suelo [internet]. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura; [actualizado el 4 de ene. de 2007; consultado el 7 de jul. de 2018]. <http://www.fao.org/docrep/006/W1309S/w1309s04.htm>.
- FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación). 2015. El suelo es un recurso no renovable. Roma: [sin editorial]; [consultado el 7 de jul. de 2018]. 4 p. <http://www.fao.org/3/a-i4373s.pdf>.
- FHIA (Fundación Hondureña de Investigación Agrícola). 2011. Guía sobre prácticas de conservación de suelos. 2.^a ed. Honduras: [sin editorial]; [consultado el 7 de jul. de 2018]. http://www.fhia.org.hn/downloads/guia_conservacion_de_suelos.pdf.
- Gómez Botero M. 2017. Estimación de la erosión y propuesta de obras para la conservación de los suelos de Florencia y El Llano en Zamorano, Honduras [tesis]. Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano-Honduras. 40 p.
- Landon JR. 1991. Booked tropical soil manual: a handbook for soil survey and agricultural land evaluation in the tropics and subtropics. 1.st ed. Londres (Inglaterra): Paperback edition. 532 p.
- Meléndez Rivera VB. 2011. Evaluación de la pérdida de suelo por erosión en el cultivo macadamia (*Macadamia integrifolia*), finca Mocá Grande, Suchitepéques, Guatemala. [Tesis]. Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano-Honduras. 32 p.

- Morgan RPC, Nearing MA. 2011. Handbook of erosion modelling. 1.st ed. [sin lugar de publicación]: WILEY BLACKWELL; [consultado 2018 oct 02]. <https://www.stmichaelscepbolton.co.uk/pdf-book/handbook-of-erosion-modelling>
- OMAFRA (Ministerio de Agricultura, Alimentación y Asuntos Rurales). 2015. Universal soil loss equation [internet]. Ontario: FACTSHEET. [consultado 2018 oct 02] <http://www.omafra.gov.on.ca/english/engineer/facts/12-051.htm>
- PASOLAC (Programa para la Agricultura Sostenible en Laderas de América Central). 2001. Guía técnica de conservación de suelos y agua. San Salvador, El Salvador. 222 p.
- Porta J, López-Acevedo M, Poch R. 2014. Edafología: Uso y protección del suelo. 3.^a ed. España: Mundi-Prensa.
- Raudes M, Sagastume N. 2011. Módulo 3, Conservación de suelos. Programa para la agricultura sostenible en laderas de América Central. Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano-Honduras. 75 p.
- SERNA (Secretaria de Recursos Naturales y Ambiente). 2005. Informe del Estado y perspectivas del ambiente. 1.^a ed. Honduras. Geo Honduras 2005. Tegucigalpa(Honduras): PNUMA; [consultado el 8 de jul. de 2018]. <http://www.pnuma.org/deat1/pdf/GEOHonduras2005.pdf>.
- Stocking M, Clark R. 1999. Soil productivity and erosion: biophysical and farmer-Perspective assessment for hillslopes. Mountain research and development. [consultado 2018 sep 28] 19(3): 191-202. <https://www.jstor.org/stable/pdf/25164025.pdf>
- UNESCO (Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia, y la Cultura). 2017. Procesos de erosión: sedimentación en causas y cuencas. Volumen 3. [sin lugar de publicación] [sin editorial] [consultado 2018 sep 09]. <http://unesdoc.unesco.org/images/0025/002535/253563S.pdf>.
- Walkley A, Black I. 1934. An examination of the Degtareff method for determining soil organic matter and a proposed modification of the chromic acid titration method. Soil Science 37: 29-38.
- Wischmeier W, Smith D. 1978. Predicting rainfall erosion losses – a guide to conservation planning. 1.st ed. Washington D.C (EE.UU): U.S. Department of Agriculture; [consultado 2018 sep 04] <https://naldc.nal.usda.gov/download/CAT79706928/PDF>.

Zhou P, Luukkanen O, Tokola T, Nieminen J. 2008. Effect of vegetation cover on soil erosion in a mountainous watershed. [consultado 2018 oct 01]; [sin numero]: 319-325.
https://www.researchgate.net/publication/223868816_Effect_of_Vegetation_Cover_on_Soil_Erosion_in_a_Mountainous_Watershed#pf7.