

**Determinación de erosión bajo diferentes
manejos de suelos en laderas, en parcelas de
escorrentía en la época inicial de lluvia,
Zamorano, Honduras**

**Krizzia Lorena Guardado Moncada
Erick Antonio Quevedo Pérez**

**Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano
Honduras**

Noviembre, 2019

ZAMORANO
CARRERA DE INGENIERÍA AGRONÓMICA

**Determinación de erosión bajo diferentes
manejos de suelos en laderas, en parcelas de
escorrentía en la época inicial de lluvia,
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

**Krizzia Lorena Guardado Moncada
Erick Antonio Quevedo Pérez**

Zamorano, Honduras
Noviembre, 2019

Determinación de erosión bajo diferentes manejos de suelos en laderas, en parcelas de escorrentía en la época inicial de lluvia, Zamorano, Honduras

Krizzia Lorena Guardado Moncada
Erick Antonio Quevedo Pérez

Resumen. La erosión ocurre por desagregación y remoción de las partículas del suelo que conduce a su infertilidad y degradación. Sin realizar prácticas de conservación, la pérdida de suelo incrementa de manera acelerada. Los objetivos fueron determinar los componentes de la Ecuación Universal de Pérdida de Suelo (USLE), en condiciones de siembra en ladera, en parcelas de escorrentía y evaluar prácticas para el control de erosión en la Región Central de Honduras. Se realizó en el lote 13 de Conservación de Suelos de Zamorano con una precipitación de 175 mm del 10 de junio al 18 de agosto. Se utilizó un diseño BCA con tres repeticiones bajo cinco manejos de suelo: Camas a favor y perpendicular a la pendiente, con frijol; sin camas con siembra en hileras a favor y perpendicular a la pendiente con sorgo y maleza y cobertura natural, en suelos franco limosos con pendiente de 11 a 22%. Se midieron semanalmente la precipitación, pérdida de suelo y cobertura vegetal. Camas a favor de la pendiente alcanzó erosión de $69.81 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{período}^{-1}$. Sin camas con siembra perpendicular a la pendiente y cobertura natural generaron erosión de 28.17 y $15.91 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{período}^{-1}$. Camas perpendicular a la pendiente y sin camas con siembra en hileras a favor de la pendiente de 7.34 y $11.51 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{período}^{-1}$. Camas perpendicular a la pendiente es la práctica más efectiva para controlar erosión en laderas, con un factor P: 0.05 en topografía irregular.

Palabras Clave: Conservación de suelos, degradación, topografía irregular, USLE.

Abstract. Erosion occurs by disaggregation and removal of soil particles that leads to their infertility and degradation. Without applying conservation practices, soil loss increases rapidly. The objectives were to determine the components of the Universal Soil Loss Equation (USLE) in hillside planting conditions, in runoff plots and evaluate practices for erosion control in the Central Region of Honduras. It was carry out in lot 13 of Zamorano Soil Conservation with a precipitation of 175 mm from June 10 to August 18. RCB design is shown with three repetitions under five soil management: Beds in favor and perpendicular to the slope with beans, without beds with planted rows in favor and perpendicular to the slope with sorghum and weeds and natural cover, in silty loam soils with slope of 11 to 22%. The probability of soil loss and vegetation cover was measure. Beds in favor of the erosion slope of $69.81 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{period}^{-1}$. Without beds planted perpendicular to the slope and natural cover generated erosion of 28.17 and $15.91 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{period}^{-1}$. Beds perpendicular to the slope and no beds with row planting in favor of the slope of 7.34 and $11.51 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{period}^{-1}$. Beds perpendicular to the slope is the most effective practice to control erosion on hillsides, with a P factor: 0.05 in irregular topography.

Key words: Degradation, irregular topography, soil conservation, USLE.

CONTENIDO

Portadilla.....	i
Páginas de firmas.....	ii
Resumen.....	iii
Contenido.....	iv
Índice de cuadros y figuras.....	v
1. INTRODUCCIÓN	1
2. MATERIALES Y MÉTODOS	3
3. RESULTADOS Y DISCUSION	19
4. CONCLUSIONES	35
5. RECOMENDACIONES	36
6. LITERATURA CITADA	37

ÍNDICE DE CUADROS Y FIGURAS

Cuadros	Página
1. Intensidades de lluvia por semana durante el período del 10 de junio al 18 de agosto de 2019, EAP Zamorano, Honduras.....	9
2. Índice de estructura b utilizado en la ecuación de erodabilidad de suelo en base a su tipo.....	11
3. Índice de permeabilidad utilizado en la ecuación de erodabilidad del suelo con base en la textura del suelo.....	12
4. Descripción de rangos de pendientes.....	14
5. Condiciones topográficas de las 15 parcelas experimentales del lote 13 de Conservación de Suelos para el año 2019, EAP Zamorano, Honduras.....	14
6. Valor de m, utilizados para determinar el factor LS.....	15
7. Tratamientos evaluados en la determinación de erosión en parcelas de escorrentía en zonas de laderas, EAP Zamorano, Honduras.....	18
8. Precipitación (mm) durante el período del 10 junio al 18 de agosto del 2019, estación meteorológica Zorralles, EAP Zamorano, Honduras.....	20
9. Precipitación del 2010 - 2019 de las estaciones meteorológicas Campus Central (2010 - 2016) y Zorralles (2017 - 2019), EAP Zamorano, Honduras.....	20
10. Probabilidad de ocurrencia de intensidad de precipitación en los meses de junio, julio y agosto del 2019, EAP Zamorano, Honduras.....	21
11. Valores máximos de intensidad de lluvia para los meses de junio a agosto del 2019, EAP Zamorano, Honduras.....	22
12. Materia orgánica y textura de los suelos de las 15 unidades experimentales del lote 13 de la parcela de Conservación de Suelo, EAP Zamorano, Honduras.....	23
13. Valor del índice de estructura b para cada unidad experimental del lote 13 de la parcela de Conservación de Suelos, EAP Zamorano, Honduras.....	24
14. Índice de permeabilidad c asignado de acuerdo a la textura de cada unidad experimental del lote 13 de la parcela de Conservación de Suelos, EAP Zamorano, Honduras.....	24
15. Componentes del valor de erodabilidad del suelo (K) y valor K determinado para cada unidad experimental de acuerdo a las características edáficas del lote 13 de la parcela de Conservación de suelos, EAP Zamorano, Honduras.	25

16. Valores de erodabilidad del suelo (K) en el lote 13 de la parcela de Conservación de Suelos, EAP Zamorano, Honduras.....	26
17. Valores del factor LS para cada práctica establecida en el lote 13 de la parcela de Conservación de Suelos, EAP Zamorano, Honduras.....	27
18. Valores de factor C para las 15 unidades experimentales del lote 13 de la parcela de Conservación de Suelos, EAP Zamorano, Honduras.....	27
19. Valor de factor P para las prácticas de conservación en el lote 13 de la parcela de Conservación de Suelos, EAP Zamorano, Honduras.....	28
20. Análisis de suelo tomado al inicio del experimento en el lote 13 de la parcela de Conservación de Suelos, EAP Zamorano, Honduras.....	29
21. Análisis de suelo erosionado durante el período del 10 de junio al 18 de agosto del 2019 del lote 13 de la parcela de Conservación de Suelos, EAP Zamorano, Honduras.....	30
22. Nutrientes perdidos por erosión hídrica en el período del 10 de junio al 18 de agosto del 2019 en los suelos bajo diferentes manejos para control de erosión en el lote 13 de la parcela de Conservación de Suelos, EAP Zamorano, Honduras.....	31
23. Suelo erosionado durante el período del 10 junio al 18 agosto del 2019 en el lote 13 de la parcela de Conservación de Suelos, EAP Zamorano, Honduras.....	32
24. Capacidad erosiva de la lluvia en el periodo del 10 de junio al 18 de agosto del 2019 en el lote 13 de la parcela de Conservación de Suelos, EAP Zamorano, Honduras.....	32

Figuras	Página
1. Mapa de ubicación de la Escuela Agrícola Panamericana (EAP), Zamorano, Honduras.....	3
2. Diseño de las 15 unidades experimentales ubicadas en el lote 13 de la parcela de Conservación de Suelos, Zamorano, Honduras.....	4
3. Establecimiento de las unidades experimentales en el lote 13 de la Parcela de Conservación de Suelos, EAP Zamorano, Honduras. a) Estado de las parcelas antes de limpieza. b) Parcelas desmalezadas. c) Elaboración de camas y aislamiento de drenaje en las parcelas experimentales para la determinación de erosión en laderas.....	5
4. Determinación de textura por el método de Bouyoucos para erodabilidad del suelo de la Ecuación Universal de Pérdida de Suelo (USLE). a) Probeta de decantación para determinar textura en el método de Bouyoucos. b) Cribas 100 y 200 Mesh. c) Suelo tamizado en cribas 100 y 200 Mesh.....	11

5. Mini-calicatas realizadas en las 15 unidades experimentales para la descripción de estructura. a) Mini-calicata de la unidad experimental dos con buena condición de suelo. b) Mini-calicata de la unidad experimental nueve, suelo con profundidad < 10 cm. c) Mini-calicata de la unidad experimental cinco donde la cárcava es visible a 10 cm de profundidad.....	12
6. Clinómetro BRUNTON® Clino Master™ utilizado para determinar pendiente en las 15 unidades experimentales.....	13
7. Cuadrícula de 10 × 12 utilizada para determinar el porcentaje de cobertura en cada unidad experimental semanalmente.....	16
8. Pérdida de suelo por evento de precipitación durante el período del 10 junio al 18 de agosto del 2019 del lote 13 de la parcela de Conservación de Suelos, EAP Zamorano, Honduras. pp: precipitación.....	33
9. Pérdida de suelo por evento de máxima intensidad en 60 minutos para cada semana evaluada en el período del 10 junio al 18 de agosto del 2019 del lote 13 de la parcela de Conservación de Suelos, EAP Zamorano, Honduras.....	34

1. INTRODUCCIÓN

La definición de suelo varía de acuerdo al estudio al que es emprendido. Para un pedólogo, el suelo es un producto natural proveniente de la desintegración de las rocas por la acción del clima y los microorganismos. El edafólogo, considera al suelo, en relación a su uso, como un medio para el crecimiento de las plantas (Casanova 2005). Sin embargo, el suelo constituye el recurso natural básico para el soporte de los ecosistemas terrestres, ya sean naturales o productivos (De Alba Alonso *et al.* 2011). Para que se forme un centímetro de suelo se requieren años, décadas e incluso siglos de interacción entre los factores de formación (García-Chevesich 2008). A medida se continúa produciendo sin objetivos de conservación y con malas prácticas agrícolas, el centímetro que tardó tanto tiempo en convertirse en suelo se puede perder en pocas semanas por suelos desprotegidos. Para el año 2018 se estimaron pérdidas a nivel mundial de 75 billones de toneladas de suelo, valoradas en 400 mil millones de dólares (Lal 2018).

El principal factor de pérdida de capa arable y cultivable es la erosión de suelo, que posteriormente impulsa a la degradación del mismo. Esta actividad se define como la desagregación y remoción de manera acelerada de las partículas del suelo por factores naturales o antropogénicos que manifiesta la pérdida del recurso no renovable cada año. En otras palabras, la erosión es la pérdida física del suelo, en sus niveles más fértiles (Romero Díaz 2002). El 33 por ciento de la tierra se encuentra de moderada a altamente degradada debido a la erosión, salinización, compactación, acidificación y la contaminación química de los suelos (FAO 2015a). Esto causa una acelerada degradación física, química y biológica del recurso edafológico (Núñez 2001). Lo que ha determinado que cada año desaparecen 24,000 millones de toneladas de tierra fértil (Lal 2018).

América Latina y el Caribe es una de las regiones más ricas del mundo en término de recursos naturales. Sin embargo, la rápida explotación de minerales, gas, bosques y pasturas está produciendo cambios dramáticos en el uso de la tierra y una generalizada degradación de suelos en la región. Esta alta degradación se debe a los factores de erosión por agua y viento. Esta amenaza es considerada una de las más importantes en la región, en particular aquellas concentradas en regiones montañosas de los Andes, América Central, México y el Caribe (FAO 2015b).

Los países en vías de desarrollo, particularmente hablando de Centro América, ha recibido serias advertencias sobre el uso irracional e inadecuado en la agricultura, ganadería y forestaría, siendo sus principales consecuencias la erosión y pérdida de fertilidad de los

suelos (Vargas 1992). Uno de los principales problemas para la conservación de suelo es el impacto a causa de factores hídricos y falta de cobertura natural o artificial sobre el suelo, la cual provoca que, al caer las gotas de lluvia, impacten directamente al suelo y destruyen los agregados (Chávez Ramírez y Bojórquez Aguirre 2012). Por ende, una ley de conservación de suelos es de suma importancia para reducir dichas pérdidas y generar un uso sustentable del suelo (Irazoque Soria Galvarro 2015).

Honduras es un país altamente montañoso. Aproximadamente el 72 por ciento del territorio del país tiene pendientes mayores al 15 por ciento, y más del 40 por ciento, pendientes mayores a 30 por ciento, incrementando la vulnerabilidad hacia la degradación de suelos por de la deforestación, la sobre explotación de suelos de vocación forestal y la agricultura en laderas con uso de tecnologías inapropiadas (SERNA 2001). En Honduras, hasta el 78 por ciento de las tierras utilizadas para la agricultura están en laderas (FAO 2015c). La marginación y la pobreza, han conducido a los pobladores de las laderas a explotar estos recursos con métodos y tecnologías no adecuadas, que contribuyen a la degradación del recurso (Raudes y Sagastume 2009). Previos estudios determinaron que el 38 por ciento de la superficie de Honduras se mantiene bajo el nivel aceptable de pérdida de suelo y que, en total llega a perder 234,089,900 toneladas anuales de suelo a causa de la erosión (Irazoque Soria Galvarro 2015).

En Zamorano, en los terrenos de Florencia y El Llano, la pérdida de suelo fluctúa entre 6 y 31 t·ha⁻¹ año⁻¹, lo que indica que el área se encuentra por encima del límite de la máxima pérdida de suelo permitida de 7 t·ha⁻¹ año⁻¹ (Gómez Botero 2017) en zonas del trópico. Asimismo, en el lote 13 de la parcela de Conservación de Suelos de Zamorano, la 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. Las prácticas de conservación disminuyeron la pérdida de suelo, pero superaron 7 t·ha⁻¹ ·año⁻¹, considerada la permitida para el trópico (Berrezueta García y Molina Castro 2018).

El suelo no es renovable: su pérdida no es recuperable en el arco de una vida humana. Sin un rápido progreso hacia la reducción y eliminación del hambre y la malnutrición en el año 2030, no se puede alcanzar todo el abanico de Objetivos de Desarrollo Sostenible establecido el año 2015 por la Organización de las Naciones Unidas (FAO 2015d).

Por lo que se estableció en el estudio los siguientes objetivos:

- Evaluar prácticas de manejo de suelos para el control de erosión en zonas de ladera en la Región Central de Honduras.
- Determinar los componentes de la Ecuación Universal de Pérdida de Suelos (USLE) para las condiciones de siembra en ladera en parcelas de escorrentía en la Región Central de Honduras.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

Ubicación.

El estudio se realizó en el lote 13 de la parcela de Conservación de Suelos de la Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano. Ubicada en la Región Central de Honduras en el departamento de Francisco Morazán (Figura 1). El período de evaluación fue del 10 de junio al 18 de agosto del 2019. Durante el estudio la precipitación fue de 175 mm (Estación Zorrales, EAP, Zamorano) con temperatura media de 18 °C y máximas de 32 °C (AGRITEC 2019).

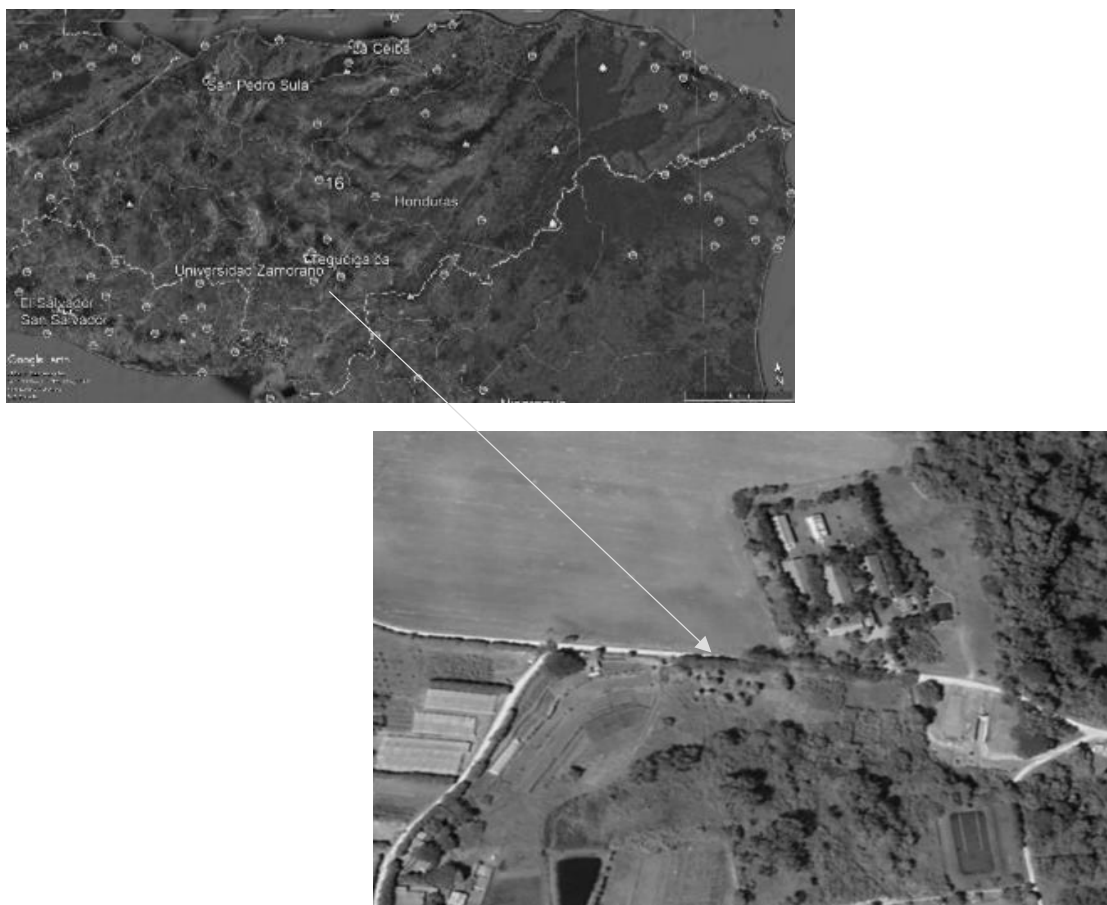


Figura 1. Mapa de ubicación de la Escuela Agrícola Panamericana (EAP), Zamorano, Honduras.

Delimitación de terreno.

El lote 13 de la parcela de Conservación de Suelos cuenta con un área de 1,577.1 m². Por la topografía presentada en el lote, se delimitaron 669.6 m² para la implementación de las parcelas de escorrentía, basado en el trabajo de Berrezueta García y Molina Castro (2018). Se logró dividir el área en 15 parcelas (Figura 2), la parcela 1, 2, 3 y 4 obtuvieron un área de 38.2 m², la parcela 5 y 6 de 76.4 m², las parcelas 7, 8, 9 y 10 de 39 m², las parcelas 11, 12 y 13 de 52 m² y la parcela 14 y 15 de 26 m² respectivamente.

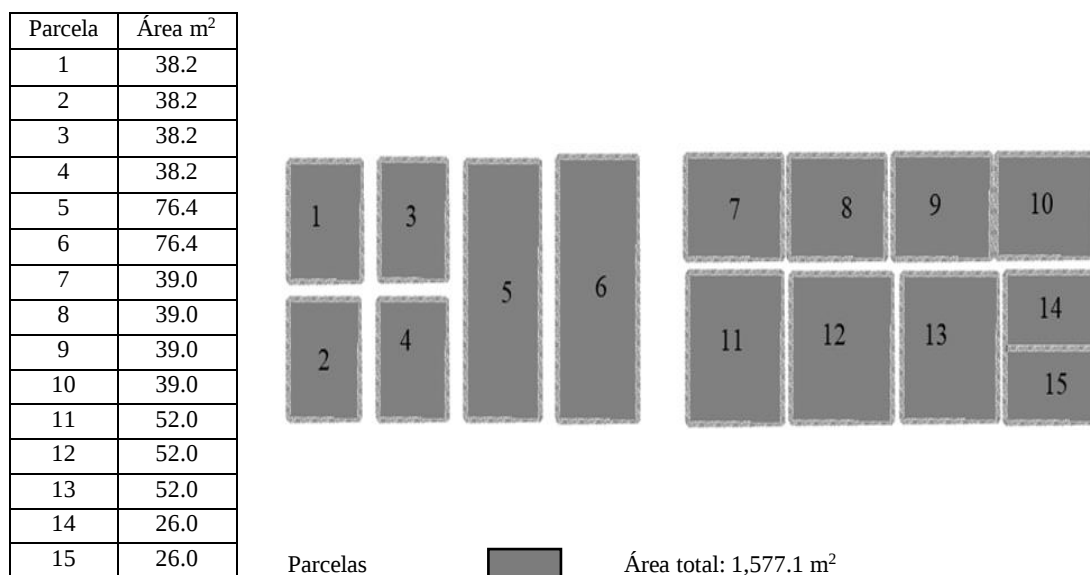


Figura 2. Diseño de las 15 unidades experimentales ubicadas en el lote 13 de la parcela de Conservación de Suelos, Zamorano, Honduras.

Preparación de parcelas.

Se limpió y preparó el terreno con herramientas de campo (piocha, pala, machete, azadón y carreta). Se aisló cada parcela de otra por un canal revestido con plástico fijado con piedras y estructuras de cemento (Figura 3) evitando la entrada de agua y suelo de otras unidades experimentales. Con la finalidad de recolectar y almacenar el suelo erosionado, en la parte inferior de cada parcela, se instaló un drenaje revestido con plástico negro. Para evitar el movimiento del plástico por la lluvia y el viento, se sujetó al suelo con clavos, asegurando una correcta toma de datos.

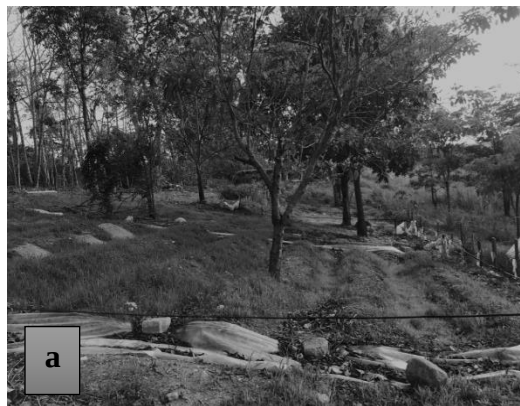


Figura 3. Establecimiento de las unidades experimentales en el lote 13 de la parcela de Conservación de Suelos, EAP Zamorano, Honduras. **a)** Estado de las parcelas antes de limpieza. **b)** Parcelas desmalezadas. **c)** Elaboración de camas y aislamiento de drenaje en las parcelas experimentales para la determinación de erosión en laderas.

Característica de los suelos.

Para determinar las características edáficas del lote 13 de la parcela de Conservación de Suelos, se recolectaron muestras de suelo de 0 a 20 cm de profundidad de las 15 unidades experimentales, con la ayuda de un barreno de copa, y se mezclaron por cada tratamiento. Se realizaron análisis de macronutrientes (N, P, K, Ca, Mg), pH, materia orgánica y textura en el Laboratorio de Suelos de Zamorano (LSZ), con el fin de conocer las condiciones del suelo a inicios del experimento y se determinó en cada parcela la condición física del suelo en los primeros horizontes mediante descripción de calicatas de 40 cm de profundidad o hasta donde hubiera suelo.

Siembra de cultivo.

En cada parcela se sembró un cultivo que correspondió a la cobertura en el experimento. Las coberturas evaluadas fueron: Sorgo (*Sorghum bicolor* L.) variedad Sureño, frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) variedad Amadeus 77 y cobertura natural. El frijol se sembró el 4 de junio al tresbolillo, a una distancia de 10 cm entre planta. Los tratamientos compuestos por camas tenían un ancho de 0.8 m y la distancia entre cada una de 0.7 m igual que en el estudio de Berrezueta García y Molina Castro (2018). El sorgo se sembró el 6 de junio a chorro corrido y no se sembró entre hilera otro cultivo, sin embargo, se dejó crecer maleza dentro de las parcelas de sorgo para aumentar la cobertura, sin que este interfiriera con el desarrollo del cultivo.

Toma de datos.

La instalación de las parcelas experimentales se realizó del 30 mayo al 10 de junio del 2019. Se inició la toma de datos el 10 de junio al 18 agosto del mismo año, para un total de 10 semanas de recolección de datos. Para determinar la tasa de erosión en el lote 13 de la parcela de Conservación de Suelos, se instalaron parcelas de escorrentía con cinco manejos de siembra bajo tres tipos de cobertura. Se diseñó la toma de datos una vez por semana, recolectando el suelo erosionado acumulado en el plástico negro, colocado en la parte inferior de cada unidad experimental. Para el almacenamiento, el suelo se depositó en bolsas plásticas (10 × 14 cm) y en sacos de polipropileno. El suelo total erosionado se pesó en húmedo, se homogenizó y se recolectó una sub-muestra en bolsas plásticas (5 × 11 cm) con un peso de medio kilogramo. El suelo erosionado se refirió en kg m^{-2} y se extrapoló a t h^{-1} período⁻¹ para cada parcela. Así mismo, se midió semanalmente la cobertura mediante la toma de fotografías y para la precipitación se obtuvieron los datos de la estación meteorológica de Zorralles de la Unidad de Maquinaria y Riego, EAP Zamorano.

Se determinó el porcentaje de humedad de cada sub-muestra llevada al Laboratorio de Suelos de Zamorano (LSZ). Se pesó en húmedo el suelo en bolsas de papel, se llevó al horno a 105 °C por 24 horas donde se obtuvo el peso en seco. Para el cálculo de porcentaje de humedad, se utilizó la ecuación [1] (Arévalo y Gauggel 2016).

$$\%w = \frac{P_{sh} - P_{ss}}{P_{ss}} \times 100 \quad [1]$$

Donde:

%w = Porcentaje de humedad

Psh = Peso de suelo húmedo en gramos

Pss = Peso de suelo seco en gramos

Ecuación Universal de Pérdida de Suelo (USLE).

Para realizar la determinación de erosión en las parcelas de escorrentía, se estudió y cálculo cada una de las variables de la Ecuación Universal de Pérdida de Suelo conocida como USLE, por sus siglas en inglés, desarrollada por Wischmeier y Smith (1978). Esta ecuación permite calcular la pérdida de suelo en toneladas por hectárea por año, por medio de los factores de precipitación anual, características físicas del suelo, topografía del terreno, el sistema de cobertura y manejo y prácticas de conservación que se le brinda al recurso edafológico. Estos factores pueden experimentar variaciones significativas en espacio y tiempo. Para el cálculo de la pérdida de suelo, se utilizó la ecuación [2]

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

Donde:

- A = Pérdida anual de suelo ($t \cdot ha^{-1} \cdot año^{-1}$)
- R = Erosividad por lluvia ($MJ \cdot mm$) ($ha^{-1} \cdot h^{-1} \cdot período^{-1}$)
- K = Erodabilidad del suelo ($t \cdot MJ^{-1} \cdot mm^{-1}$)
- LS = Factor de longitud y gradiente de pendiente
- C = Factor cobertura y manejo de cultivo
- P = Factor prácticas de conservación

Erosividad por lluvia (R). Es la energía capaz de causar erosión. Se define como el producto de la energía total de la tormenta (E) multiplicado por su máxima intensidad en 30 minutos (I_{30}) (Wischmeier y Smith 1978). Para conocer la erosividad por lluvia (R) en el lote 13 de la parcela de Conservación de Suelo, se recolectó la información de las precipitaciones e intensidades locales proporcionadas por la estación meteorológica de Zorralles de la Unidad de Maquinaria y Riego, EAP Zamorano. La recolección de datos inicio el 10 de junio al 18 de agosto del 2019. Los registros de las precipitaciones e intensidades se obtuvieron en intervalos de 10 minutos todos los días. Para determinar la intensidad en 30 minutos (I_{30}) e intensidad en 60 minutos (I_{60}) diario, se tomó la intensidad máxima de cada día de la semana y se dividió para 30 minutos, ecuación [3]. Luego el I_{30} se multiplicó por dos para conocer el valor de I_{60} , ecuación [4] (Ramírez Cruz *et al.* 2015). Se aplicó para todos los días del período evaluado (Cuadro 1) y se seleccionó la tormenta de mayor intensidad semanalmente. Para conocer la energía de cada milímetro de agua caído en un intervalo de lluvia, se utilizó la ecuación [5]. La energía total de un intervalo de lluvia se calculó con la ecuación [6] y finalmente R se determinó con la ecuación [7] el cual es la sumatoria de la energía total de los intervalos de lluvia (Wischmeier y Smith 1978).

Se calculó la frecuencia y probabilidad de ocurrencia de la intensidad de lluvia en milímetros por 10 minutos, ecuaciones [8 y 9]. Para facilitar el análisis, las intensidades de las lluvias se agruparon en rangos: 0.8 a 7, 7 a 12, 12 a 25, 25 a 50, 50 a 100, 100 a 150, 150 a 200 y >200.

$$I_{30} = \frac{\text{Intensidad máxima del día}}{30 \text{ minutos}} \quad [3]$$

Donde:

I_{30} = Intensidad de una lluvia en 30 minutos ($\text{mm} \cdot 30 \text{ min}^{-1}$)

$$I_{60} = I_{30} \times 2 \quad [4]$$

Donde:

I_{60} = Intensidad de una lluvia en 1 hora ($\text{mm} \cdot \text{h}^{-1}$)

$$e = (0.119 + 0.0873 \times \log_{10} I_{60}) \times I_{30} \quad [5]$$

Donde:

e = Energía de cada milímetro caído en un intervalo de lluvia ($\text{MJ} \cdot \text{ha} \cdot \text{mm}^{-1}$)

I_{60} = Intensidad de una lluvia en 1 hora ($\text{mm} \cdot \text{h}^{-1}$)

I_{30} = Intensidad de una lluvia en 30 minutos ($\text{mm} \cdot 30 \text{ min}^{-1}$)

$$E_i = e \times pp \quad [6]$$

Donde:

E_i = Energía total de un intervalo de lluvia ($\text{MJ} \cdot \text{ha} \cdot \text{mm}^{-1}$)

e = Energía de cada milímetro caído en un intervalo de lluvia ($\text{MJ} \cdot \text{ha} \cdot \text{mm}^{-1}$)

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

$$R = \sum E_i \quad [7]$$

Donde:

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

E_i = Energía total de un intervalo de lluvia ($\text{MJ} \cdot \text{ha} \cdot \text{mm}^{-1}$)

$$F = \sum R I_{10} \quad [8]$$

Donde:

F = Frecuencia

R = Rangos de intensidad

I_{10} = Intensidad de una lluvia en 10 minutos ($\text{mm} \cdot 10 \text{ min}^{-1}$)

$$P = \frac{\sum R I_{10}}{\text{total número de frecuencia}} \quad [9]$$

Donde:

P = Probabilidad

R = Rangos de intensidad

I₁₀ = Intensidad de una lluvia en 10 minutos (mm·10 min⁻¹)

Cuadro 1. Intensidades de lluvia por semana durante el período del 10 de junio al 18 de agosto de 2019, EAP Zamorano, Honduras.

Semana	Mes	Día	Precipitación (mm/día)	I ₁₀ (mm·10 min ⁻¹)	I ₃₀ (mm·30 min ⁻¹)	I ₆₀ (mm·h ⁻¹)
1	jun.	10	15.2	24.20	0.81	1.61
2	jun.	20	0.20	8.60	0.29	0.57
2	jun.	21	15.0	6.60	0.22	0.44
2	jun.	22	6.40	132.40	4.41	8.83
3	jun.	25	11.6	86.00	2.87	5.73
3	jun.	26	7.20	54.40	1.81	3.63
3	jun.	29	2.00	31.20	1.04	2.08
5	jul.	9	1.00	12.80	0.43	0.85
5	jul.	11	11.8	69.40	2.31	4.63
6	jul.	15	8.80	123.80	4.13	8.25
6	jul.	16	0.60	22.60	0.75	1.51
6	jul.	17	2.20	49.80	1.66	3.32
6	jul.	18	1.40	3.20	0.11	0.21
6	jul.	19	15.2	77.80	2.59	5.19
7	jul.	27	10.4	122.60	4.09	8.17
7	jul.	28	3.60	40.60	1.35	2.71
8	ago.	2	12.6	76.80	2.56	5.12
9	ago.	5	8.20	720.00	24.0	48.0
9	ago.	7	0.60	2.20	0.07	0.15
10	ago.	15	6.60	17.40	0.58	1.16
10	ago.	16	2.40	47.60	1.59	3.17
10	ago.	17	25.6	288.00	9.60	19.2
10	ago.	18	0.40	6.60	0.22	0.44

I₆₀: Intensidad en 1 hora (mm·h⁻¹), I₃₀: Intensidad en 30 minutos (mm·30 min⁻¹), I₁₀: intensidad en 10 minutos (mm·10 min⁻¹), jun.: junio, jul.: julio y ago.: agosto

Erodabilidad del suelo (K). Cuantifica la susceptibilidad de un suelo a erosionarse, dadas sus propiedades físicas y químicas. Se basa en características como la de arenas finas y limo, porcentaje de materia orgánica, estructura y permeabilidad del suelo (Wischmeier y Smith 1978). En un país como Honduras, donde hay grandes extensiones de suelos poco profundos, la roca madre constituye el factor dominante en la determinación de las características del suelo (Brito Mijares y Sarmiento Hernández 2012). Para calcular K, se utilizó la ecuación [10]

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

Donde:

- K = Erodabilidad del suelo ($t \cdot MJ^{-1} \cdot mm^{-1}$)
- % M.O.= Porcentaje materia orgánica del primer horizonte
- M = Índice de tamaño de partícula, ecuación [11]
- b = Índice de estructura del suelo (Cuadro 2)
- c = Índice de permeabilidad del suelo (Cuadro 3)

Para conocer la erodabilidad del suelo (K) se analizaron las muestras previamente obtenidas en el Laboratorio de Suelos de Zamorano (LSZ). Se determinó textura por medio del método de Bouyoucos con el fin de conocer el porcentaje de limo, arcilla, arena y arena muy fina para obtener el índice de tamaño de partícula – M, ecuación [11] (Wischmeier y Smith 1978). Para determinar la arena muy fina, el suelo sedimentado de la probeta del procedimiento de Bouyoucos, se colocó en un beaker de 50 mL y se llevó al horno a 105 °C por 24 a 48 horas. Se pesó el suelo seco y se tamizó con cribas de 100 y 200 Mesh (la criba de 100 se colocó en la parte superior y la criba de 200 en la parte inferior) (Figura 4). El suelo obtenido de las cribas se pesó y con el peso seco sedimentado del método de Bouyoucos, se obtuvo la relación porcentual de arena muy fina y el limo se tomó del resultado textural. Para determinar el porcentaje materia orgánica se aplicó el método de Walkley y Black (Walkley y Black 1934).

$$M = (\%L + \%AMF) \times (100 - \%Ar) \quad [11]$$

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)

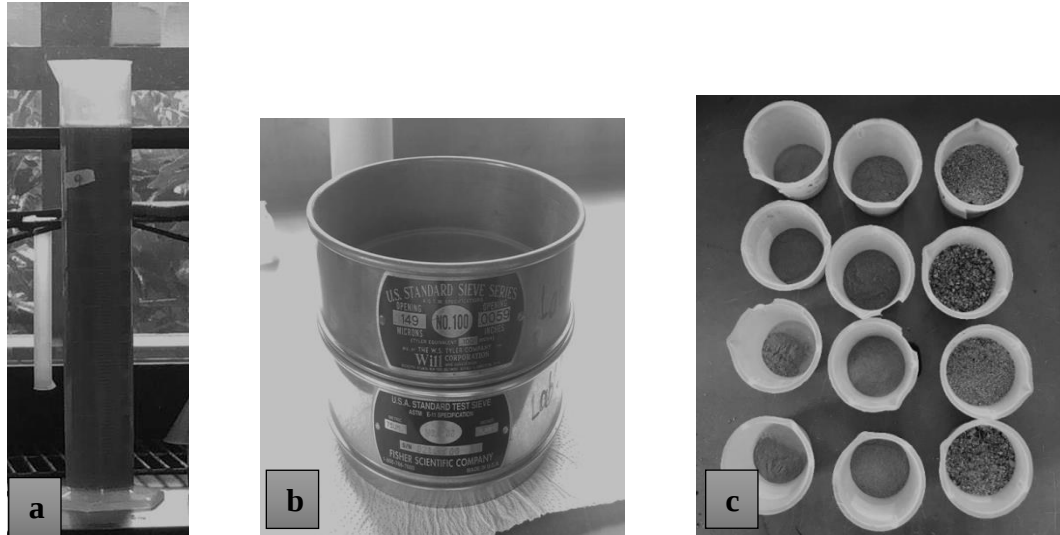


Figura 4. Determinación de textura por el método de Bouyoucos para erodabilidad del suelo de la Ecuación Universal de Pérdida de Suelo (USLE). **a)** Probeta de decantación para determinar textura en el método de Bouyoucos. **b)** Cribas 100 y 200 Mesh. **c)** Suelo tamizado en cribas 100 y 200 Mesh.

El valor de la estructura se obtuvo de la tabla de Wischmeier y Smith 1978 (Cuadro 2). Para determinar la estructura, se realizó la descripción del primer horizonte de la unidad experimental por medio de una mini-calicata (Caja) (Figura 5), de 30 cm de ancho y la profundidad limitante que presentó cada parcela. Esta evaluación se realizó para cada unidad experimental, ya que el lote presentó alta variabilidad en profundidad.

Cuadro 2. Índice de estructura b utilizado en la ecuación de erodabilidad de suelo en base a su tipo.

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

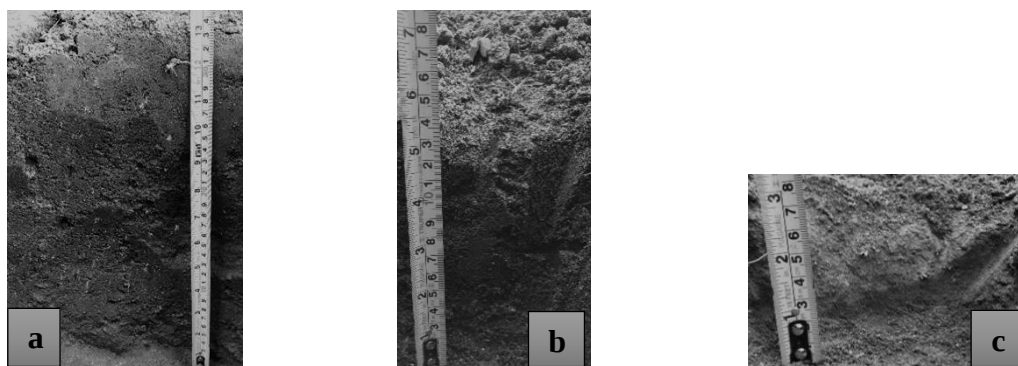


Figura 5. Mini-calicatas realizadas en las 15 unidades experimentales para la descripción de estructura. **a)** Mini-calicata de la unidad experimental dos con buena condición de suelo. **b)** Mini-calicata de la unidad experimental nueve, suelo con profundidad < 10 cm. **c)** Mini-calicata de la unidad experimental cinco donde la cárcava es visible a 10 cm de profundidad.

El valor de permeabilidad del suelo se obtuvo a partir de la textura del suelo (Cuadro 3) (Wischmeier y Smith 1978). Un material es permeable cuando contiene vacíos continuos, estos vacíos existen en todos los suelos, incluyendo las arcillas más compactadas, por lo tanto, se habla de medios porosos. A estos medios se los caracteriza a través de su “porosidad” y a su vez esta propiedad condiciona la permeabilidad del medio, es decir, la facultad con la que el agua pasa a través de los poros (Angelone *et al.* 2006).

Cuadro 3. Índice de permeabilidad utilizado en la ecuación de erodabilidad del suelo con base en la textura del suelo.

Textura	Infiltración		Índice de permeabilidad c
	Tasa (cm h ⁻¹)	Categoría	
Arenoso	>20	Muy rápida	1
Franco arenoso	8 a 1	Mod“. rápida	2
Franco	2 a 0.1	Mod. Lenta	3
Limoso	1.5 a 0.2	Mod. Lenta	4
Arcillo limoso	0.5 a 0.03	Lenta	5
Arcilloso	0.8 a < 0.1	Muy lenta	6

Fuente: Landon 1991, “Mod.: Moderadamente

Factor LS (Longitud y gradiente de pendiente). El factor LS es el que determina el efecto de la topografía y el relieve en general. La topografía es uno de los mayores determinantes de los procesos de erosión y transporte de agua (tanto flujo superficial como su superficial) y de materiales (Geler Roffe *et al.* 2012). Donde L corresponde a la longitud total ininterrumpida de la pendiente y S al porcentaje de pendiente del terreno (Wischmeier y Smith 1978). Para conocer S (pendiente en porcentaje) se utilizó un clinómetro marca BRUNTON® Clino Master™ (Figura 6) y para determinar L (longitud) se utilizó una cinta métrica. Para obtener el factor LS, se utilizó ecuación [12] (Wischmeier y Smith 1978). La pendiente se describió de acuerdo a los valores proporcionados por la FAO (2009) (Cuadro 4). La actividad se realizó para cada unidad experimental (Cuadro 5), donde la parcela 6 presentó una pendiente compuesta, el cual tuvo una participación importante en la pérdida de suelo por erosión.

$$LS = (L \div 22.1)^m \times (0.065 + 0.045 + 0.0065S^2) \quad [12]$$

Donde:

- LS = Factor de longitud y gradiente de pendiente
- L = Longitud de la pendiente (m)
- S = Porcentaje de la pendiente
- m = Valor dado al porcentaje de la pendiente (Cuadro 6)



Figura 6. Clinómetro BRUNTON® Clino Master™ utilizado para determinar pendiente en las 15 unidades experimentales.

Cuadro 4. Descripción de rangos de pendientes.

Clase	Descripción	Pendiente (%)		
1	Plano	0.0	a	0.2
2	Nivel	0.2	a	0.5
3	Cercano a nivel	0.5	a	1.0
4	Muy ligeramente inclinado	1.0	a	2.0
5	Ligeramente inclinado	2.0	a	5.0
6	Inclinado	5.0	a	10.0
7	Fuertemente inclinado	10.0	a	15.0
8	Moderadamente escarpado	15.0	a	30.0

Fuente: FAO 2009

Cuadro 5. Condiciones topográficas de las 15 parcelas experimentales del lote 13 de Conservación de Suelos para el año 2019, EAP Zamorano, Honduras.

Parcelas	Área (m ²)	Pendiente				Descripción
		S [§] (%)	L [¶] (m)	m [®]	LS [®]	
1	38.2	14.0	12.5	0.5	1.0	ME
2	38.2	16.0	12.5	0.5	1.3	FI
3	38.2	14.0	12.4	0.5	1.0	FI
4	38.2	15.0	12.4	0.5	1.2	FI
5	76.4	16.0	12.3	0.5	1.3	ME
6	76.4	21.0 ^d	12.3	0.5	2.2	ME
7	39.0	17.0	6.4	0.5	1.1	ME
8	39.0	14.0	6.4	0.5	0.7	FI
9	39.0	15.0	6.4	0.5	0.8	FI
10	39.0	11.0	6.4	0.5	0.5	FI
11	52.0	22.0	7.6	0.5	1.9	ME
12	52.0	17.0	7.6	0.5	1.2	ME
13	52.0	18.0	7.6	0.5	1.3	ME
14	26.0	17.0	3.8	0.5	0.8	FI
15	26.0	18.0	3.8	0.5	0.9	FI

[§]S: Porcentaje de pendiente, [¶]L: Longitud en metros [®]m: Valor dado al porcentaje de pendiente, [®]LS: Longitud y gradiente de pendiente, ME: Moderadamente escarpado, FI: Fuertemente inclinado, ^d: Pendiente compuesta

Cuadro 6. Valor de m, utilizados para determinar el factor LS.

S ^s (%)	m (valor dado en porcentaje de pendiente)
< 1	0.2
1.0 - 3.0	0.3
3.1 - 4.9	0.4
> 5	0.5

^sS: porcentaje de pendiente, Fuente: Wischmeier y Smith 1978

Factor C (Cobertura y manejo de cultivo). Es la cobertura que presenta el terreno y el tiempo que permanece desprotegido (Wischmeier y Smith 1978). Para el cálculo de factor C, se tomaron fotos semanalmente con dos dispositivos “iPhone plus 7” y “iPhone X”. La altura a la cual se tomaron las fotos osciló entre 1.3 - 1.5 m sobre cada parcela. A cada parcela experimental se le asignó una cobertura, donde: seis parcelas fueron con cultivo de frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) variedad Amadeus 77, el cual tiene habito arbustivo indeterminado tipo II (Rosas 2002), seis parcelas con cultivo de sorgo (*Sorghum bicolor* L.) variedad Sureño y tres parcelas con cobertura natural. Para determinar el porcentaje de cobertura por parcela, las imágenes obtenidas semanalmente fueron divididas en 120 cuadros con medidas iguales organizadas en 10 cuadros horizontalmente y 12 verticalmente (Figura 7). Se realizó un conteo sobre los cuadros que presentaron cobertura vegetal, y se dividió a la cantidad de cuadros rellenos con vegetación entre los cuadros totales (120) y se multiplicó por 100 para obtener la cobertura en porcentaje, ecuación [13]¹. También se reconoció la cobertura de árboles que presentó cada unidad experimental, que se convirtió en protección adicional de cobertura en el área. El porcentaje de cobertura de los árboles se estimó por medio de las tablas proporcionadas por Wischmeier y Smith (1978), aumentando así el valor de la cobertura sobre el suelo.

$$\%C = \frac{CR}{CT} \times 100 \quad [13]$$

Donde:

%C = Porcentaje de cobertura

CR = Cuadros rellenos con vegetación

CT = Cuadros totales

¹ Arévalo, GE. 2019. Dra. Profesora en manejo de suelos y nutrición vegetal. EAP Zamorano. Comunicación personal. ggauggel@zamorano.edu

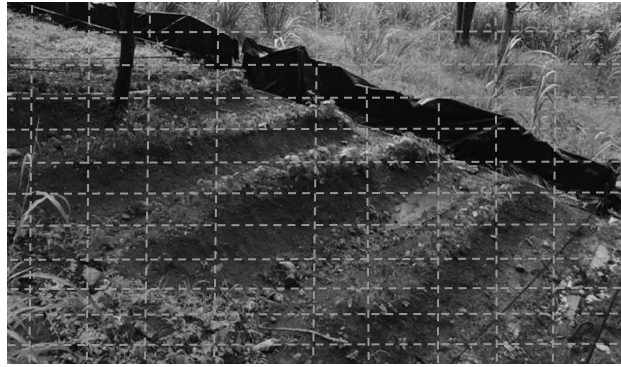


Figura 7. Cuadrícula de 10×12 utilizada para determinar el porcentaje de cobertura en cada unidad experimental semanalmente.

Factor P (Prácticas de conservación). El factor P se refiere a las prácticas de conservación de suelos presentes en el terreno (Wischmeier y Smith 1978). En el estudio, al factor P, se le asignó un valor cada semana, esto de acuerdo a la erosión obtenida de cada unidad experimental. La Ecuación de Pérdida de Suelo (USLE), ecuación [2], se despejó para el factor P, ecuación [14], y se ajustó al valor máximo de 1 establecido por Wischmeier y Smith en 1978.

$$P = \frac{A}{R \times K \times LS \times C} \quad [14]$$

Donde:

- P = Factor prácticas de conservación
- A = Pérdida anual de suelo ($t \cdot ha^{-1} \cdot período^{-1}$)
- R = Erosividad por lluvia ($MJ \cdot mm$) ($ha^{-1} \cdot h^{-1} \cdot período^{-1}$)
- K = Erodabilidad del suelo ($t \cdot MJ^{-1} \cdot mm^{-1}$)
- LS = Factor de longitud y gradiente de pendiente
- C = Factor de cobertura y manejo de cultivo

Pérdida de materia orgánica y nutrientes.

El suelo erosionado de cada unidad experimental, en el período de junio a agosto de 2019, se recolectó una muestra por tratamiento y se realizó un análisis de suelo (macronutrientes (N, P, K, Ca, Mg), pH y materia orgánica) en LSZ, para calcular la pérdida de nutrientes que se dio por erosión, se utilizaron las ecuaciones [15 y 16].

$$\text{Pérdida del elemento} = \left(\frac{Ci \times SEF}{100} \right) \times 1,000 \quad [15]$$

Donde:

- Ci = Contenido inicial (g/100g)
- SEF = Suelo erosionado final ($t \cdot ha^{-1} \cdot período^{-1}$)

$$\text{Pérdida del elemento} = \left(\frac{C_i \times \text{SEF}}{1,000,000} \right) \times 1,000 \quad [16]$$

Donde:

C_i = Contenido inicial (mg/kg)

SEF = Suelo erosionado final ($\text{t} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{período}^{-1}$)

Capacidad erosiva de la lluvia.

Se determinó la magnitud de erosión que generó cada milímetro de lluvia de acuerdo, a la precipitación presentada en el período del 10 junio al 18 de agosto y se obtuvo la pérdida de suelo en $\text{t} \cdot \text{mm}^{-1}$ para cada uno de los tratamientos, ecuación [17]². Se compararon los resultados con los datos del experimento realizado por Berrezueta García y Molina Castro en el mismo lote de Conservación de suelos en los meses de agosto a septiembre del 2018.

$$\text{App} = \frac{\text{Suelo total erosionado semanal}}{\text{pp total}} \quad [17]$$

Donde:

App = Suelo erosionado generado por cada mm de lluvia ($\text{t} \cdot \text{mm}^{-1}$)

pp = Precipitación semanal (mm)

Diseño experimental y tratamientos.

El diseño experimental utilizado fue de bloques completos al azar (BCA). Las unidades experimentales fueron las parcelas de escorrentía ubicadas en un terreno con pendientes inclinadas (11% y 22%). Se establecieron cinco tratamientos: camas a favor y perpendicular a la pendiente con frijol, sin camas con siembra en hileras a favor y perpendicular a la pendiente con sorgo y testigo sin siembra con cobertura natural. Cada tratamiento tuvo tres repeticiones (Cuadro 7) y el suelo erosionado se recolectó una vez por semana.

² Arévalo, GE. 2019. Dra. Profesora en manejo de suelos y nutrición vegetal. EAP Zamorano. Comunicación personal. ggauggel@zamorano.edu

Cuadro 7. Tratamientos evaluados en la determinación de erosión en parcelas de esorrentía en zonas de laderas, EAP Zamorano, Honduras.

Tipo de siembra	Manejo del suelo a la instalación del cultivo
Camas favor de la pendiente con frijol	Remoción del suelo
Camas perpendiculares a la pendiente con frijol	Remoción del suelo
Sin cama con siembra a favor de la pendiente con sorgo	Desmalezado con azadón
Sin camas con siembra perpendicular a la pendiente con sorgo	Desmalezado con azadón
Testigo sin siembra con cobertura natural	Sin manejo

Análisis estadístico.

Los datos se analizaron por medio de análisis de varianza (ANDEVA), con separación de medias por Duncan con probabilidad de ($P \leq 0.05$). Se utilizó programa estadístico SAS[®] “Statistical Analysis System” versión 9.4.

3. RESULTADOS Y DISCUSION

Evaluación de las variables de la Ecuación de Pérdida de Suelo (USLE).

Se encontraron diferencias significativas ($P \leq 0.05$) entre las prácticas para el control de erosión en las variables de la Ecuación de Pérdida de Suelo (USLE) excepto en la pendiente del terreno.

Erosividad de la lluvia (R). En el período evaluado durante las 10 semanas, se obtuvo una precipitación de 175 mm, distribuida semanalmente, exceptuando semana cuatro que no presentó precipitación (Cuadro 8). Se tienen registros de precipitación mensual de la estación meteorológica Campus Central desde 2010 y a partir del 2017 se registran de la estación meteorológica Zorralles en la EAP Zamorano. La precipitación ocurrida en el período analizado en los meses de junio, julio y agosto de 2019 fue menor en comparación al promedio de lluvia de los años anteriores, pero muy similar el patrón de las precipitaciones del año 2018 (Cuadro 9), excepto para el mes de agosto.

La intensidad de lluvia para los meses de junio, julio y agosto indica que ocurren lluvias con intensidades en 10 minutos de 0.8 a 7 mm, con una frecuencia de 17 a 30 veces por mes, con probabilidad de ocurrencia entre 41 al 65%, dependiendo del mes. Lluvias con intensidades entre 12 a 25 mm en 10 minutos, ocurrieron con una probabilidad del 11 al 27%. Cabe destacar que en agosto ocurrió una precipitación con una intensidad >200 mm en 10 minutos con probabilidad del 4% (Cuadro 10). En Zamorano los meses de mayo a octubre se caracterizan por ser los más lluviosos y por tener lluvias de alta intensidad y corta duración, haciéndolas altamente erosivas (Gómez Botero 2017).

Cuadro 8. Precipitación (mm) durante el período del 10 junio al 18 de agosto del 2019, estación meteorológica Zorrales, EAP Zamorano, Honduras.

Semana	Periodo		L ^z	M	M	J	V	S	D	Semanal (mm)
1	10-jun	16-jun	15.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	15.2
2	17-jun	23-jun	0.0	0.0	0.0	0.2	15.0	6.4	0.0	21.6
3	24-jun	30-jun	0.0	11.6	7.2	0.0	0.0	2.0	0.0	20.8
4	1-jul	7-jul	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
5	8-jul	14-jul	0.0	1.0	0.0	11.8	0.0	0.0	0.0	12.8
6	15-jul	21-jul	8.8	0.6	2.2	1.4	15.2	0.0	0.0	28.2
7	22-jul	28-jul	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	10.0	3.6	13.6
8	29-jul	4-ago	0.0	0.0	0.0	0.0	12.6	0.0	0.0	12.6
9	5-ago	11-ago	8.2	0.0	0.6	0.0	0.0	0.0	0.0	8.8
10	12-ago	18-ago	0.0	0.0	0.0	6.6	2.4	25.6	7.0	41.6
Total										175.2

^z Días de la semana, jul: julio, jun: junio, agos: agosto

Cuadro 9. Precipitación del 2010 - 2019 de las estaciones meteorológicas Campus Central (2010 - 2016) y Zorrales (2017 - 2019), EAP Zamorano, Honduras.

Mes	Precipitación (mm)										Promedio
	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019 ^y	
Enero	nd ^s	7	6	18	24	12	2	15	9	2	10
Febrero	nd	12	8	0	9	1	1	1	18	9	7
Marzo	11	2	7	18	11	8	6	6	4	4	8
Abril	206	12	44	1	2	29	71	25	144	0	53
Mayo	244	187	365	185	55	56	61	180	414	112	186
Junio	198	146	170	154	159	76	119	438	134	139	173
Julio	178	313	93	73	77	42	71	147	46	45	109
Agosto	382	115	132	105	163	18	189	96	13	63	128
Sept.	250	162	52	301	162	134	132	0	77	nd	141
Oct.	50	182	172	175	215	116	151	0	0	nd	118
Nov.	16	29	24	29	36	46	5	3	14	nd	22
Dic.	4	11	16	26	6	3	42	18	0	nd	14
Total	nd	1178	1089	1086	920	540	850	930	872	nd	969

Fuente: Gómez Botero 2017, ^snd: no dato, Sept.: septiembre, Oct.: octubre, Nov.: noviembre, Dic.: diciembre

Cuadro 10. Probabilidad de ocurrencia de intensidad de precipitación en los meses de junio, julio y agosto del 2019, EAP Zamorano, Honduras.

Rangos de intensidades (mm·10 min ⁻¹)	Frecuencia (veces· mes)			Probabilidad %		
	junio	julio	agosto	junio	julio	agosto
0.8 - 7	21	17	30	50	41	65
7 - 12	7	2	4	17	5	9
12 - 25	6	11	5	14	27	11
25 - 50	1	5	2	2	12	4
50 - 100	6	4	3	14	10	7
100 - 150	1	2	0	2	5	0
> 200	0	0	2	0	0	4

Para el período de lluvia analizado, el valor de R en los meses de junio a agosto del 2019 resultó en 398 (MJ·mm⁻¹) (ha⁻¹·h⁻¹·año⁻¹) (Cuadro 11). En el 2018 en los meses de agosto a septiembre se obtuvo un valor para R de 285 (MJ·mm⁻¹) (ha⁻¹·h⁻¹·año⁻¹) (Berrezueta García y Molina Castro 2018). Para las condiciones climáticas de Zamorano, estudios recientes determinaron que de las precipitaciones del 2010 hasta el 2017, la erosividad por lluvia (R) fue de 329 (MJ·mm⁻¹) (ha⁻¹·h⁻¹·año⁻¹) (Gómez Botero 2017). Todos los resultados reafirman que en el mapa isoerodante para las regiones de Honduras, la zona centro del país se destacó por ser la menos erosiva con un R de 200 – 600 (MJ·mm⁻¹) (ha⁻¹·h⁻¹·año⁻¹) (Mikhailova *et al.* 1995) (Gómez Botero 2017).

Cuadro 11. Valores máximos de intensidad de lluvia para los meses de junio a agosto del 2019, EAP Zamorano, Honduras.

Semana	I_{30}^y (mm·30min ⁻¹)	I_{60}^y (mm·h ⁻¹)	e^9 (MJ·ha·mm ⁻¹)	E_i^f (MJ·ha·mm ⁻¹)	R^u (MJ·mm ⁻¹)
1	0.8	1.6	0.18	2.72	
2	4.4	8.8	1.55	33.42	
3	2.9	5.7	0.91	18.95	
4	0.0	0.0	0.00	0.00	
5	2.3	4.6	0.70	8.93	
6	4.1	8.3	1.43	40.20	
7	4.1	8.2	1.41	19.16	
8	2.6	5.1	0.79	9.98	
9	24.0	48.0	11.50	101.16	
10	9.6	19.2	3.93	163.54	
Total					398.06

^yI: Intensidad de una lluvia, ⁹e: Energía de cada milímetro caído

^fE_i: Energía total de un intervalo de lluvia, ^uR: Erosividad por lluvia

Erodabilidad del suelo (K). La erodabilidad del suelo representa el grado de resistencia natural que ofrece el suelo a ser erosionado, al actuar sobre éste los otros factores erosivos (Rivera 1997). En su mayoría, las texturas encontradas fueron franca y franca limosas, predominando la franca limosa. La materia orgánica alcanzó valores máximos de 3.58% y mínimo de 1.7% (Cuadro 12).

Cuadro 12. Materia orgánica y textura de los suelos de las 15 unidades experimentales del lote 13 de la parcela de Conservación de Suelo, EAP Zamorano, Honduras.

Unidades experimentales	M.O ^o	Arena	Limo	Arcilla	AMF ^v	Textura ^s
	(%)					
1	1.75	24	64	12	17	FL
2	1.75	24	64	12	17	FL
3	3.23	28	58	14	7	F
4	3.23	28	58	14	7	F
5	3.38	20	70	10	15	FL
6	3.23	24	62	14	16	FL
7	3.23	30	56	14	25	FL
8	3.23	24	64	12	14	FL
9	3.38	26	62	12	14	FL
10	3.58	26	62	12	19	FL
11	3.23	22	68	10	17	FL
12	3.38	20	72	8	13	FL
13	1.75	22	68	10	18	FL
14	3.58	20	72	8	7	FL
15	3.58	23	67	10	13	FL

^oM.O: Materia orgánica, ^vAMF: Arena muy fina, ^stextura: FL – Franco limoso, F – Franco

Los suelos presentaron estructura granular gruesa, fina y muy fina, predominando granular muy gruesa, lo cual los clasifica con un índice de estructura b entre 1 y 3 (Cuadro 13). En el lote predominó la textura franca limosa, por lo tanto, el índice de permeabilidad lo colocó en la categoría moderadamente lenta ($2 - 0.1 \text{ cm} \cdot \text{h}^{-1}$). Sin embargo, tres parcelas ingresaron en la categoría de infiltración lenta ($0.5 - 0.03 \text{ cm} \cdot \text{h}^{-1}$) debido a que, en campo se encontraron suelos con horizontes Ap/Cr con arcilla y gravilla como limitante de profundidad. Por la presencia de arcilla, los suelos se clasificaron como tipo III clase hidrológica C con permeabilidad lentamente permeable (Gauggel 2009). En lote 13 de la parcela de Conservación de Suelos predominó permeabilidad moderadamente lenta (Cuadro 14). En la Región Central de Honduras predomina niveles bajos, medios y excesivo de permeabilidad del suelo (CIDBIMENA 2019).

Cuadro 13. Valor del índice de estructura b para cada unidad experimental del lote 13 de la parcela de Conservación de Suelos, EAP Zamorano, Honduras.

Unidades experimentales	Estructura	Índice de estructura b
1	Granular gruesa	3
2	Granular gruesa	3
3	Granular fina	2
4	Granular fina	2
5	Granular gruesa	3
6	Granular gruesa	3
7	Granular gruesa	3
8	Granular gruesa	3
9	Granular gruesa	3
10	Granular muy fina	1
11	Granular gruesa	3
12	Granular muy fina	1
13	Granular muy fina	1
14	Granular gruesa	3
15	Granular gruesa	3

Cuadro 14. Índice de permeabilidad c asignado de acuerdo a la textura de cada unidad experimental del lote 13 de la parcela de Conservación de Suelos, EAP Zamorano, Honduras.

Unidades experimentales	Textura [§]	Infiltración		Índice de permeabilidad c
		Tasa (cm·h ⁻¹)	Categoría ^º	
1	FL	2 a 0.1	Mod. lenta	3
2	FL	2 a 0.1	Mod. lenta	3
3	F	2 a 0.1	Mod. lenta	3
4	F	2 a 0.1	Mod. lenta	3
5	FL	2 a 0.1	Mod. lenta	3
6	FL	2 a 0.1	Mod. lenta	3
7	FL	2 a 0.1	Mod. lenta	3
8	FL	2 a 0.1	Mod. lenta	3
9	FL	2 a 0.1	Mod. lenta	3
10	FL	0.5 a 0.03	Lenta	5
11	FL	2 a 0.1	Mod. lenta	3
12	FL	0.5 a 0.03	Lenta	5
13	FL	0.5 a 0.03	Lenta	5
14	FL	2 a 0.1	Mod. lenta	3
15	FL	2 a 0.1	Mod. lenta	3

[§]Textura: FL – Franco limoso, F – Franco, ^ºCategoría: Mod – moderadamente

El tamaño relativo de partícula (M) osciló en un rango de 5,588 en las unidades experimentales tres y cuatro correspondiente al suelo de textura franca, hasta valores 7,776 que se debe a la mayor cantidad de limo en los suelos. La erodabilidad de los suelos evaluados son valores cercanos a 0.5, que son considerados susceptible al efecto de erosión. Los valores más bajos son menores a 0.4, lo cual corresponden a suelos con contenido de materia orgánica mayor al 3% (Cuadro 15) brindando resistencia a ser erosionado.

Cuadro 15. Componentes del valor de erodabilidad del suelo (K) y valor K determinado para cada unidad experimental de acuerdo a las características edáficas del lote 13 de la parcela de Conservación de suelos, EAP Zamorano, Honduras.

Unidades experimentales	M [‡]	K ^δ (t·MJ ⁻¹ mm ⁻¹)
1	7,099	0.56
2	7,099	0.56
3	5,588	0.34
4	5,588	0.34
5	7,616	0.51
6	6,670	0.45
7	6,989	0.48
8	6,867	0.47
9	6,656	0.45
10	7,095	0.45
11	7,636	0.52
12	7,776	0.51
13	7,719	0.60
14	7,237	0.48
15	6,160	0.40

[‡]M: Índice de tamaño de partícula, ^δK: Erodabilidad del suelo

El valor más bajo de K fue de 0.39 para el tratamiento sin camas con siembra a favor de la pendiente con sorgo (Cuadro 16), debido a la mayor cantidad de materia orgánica que presentaron las parcelas 3, 4 y 7 (3.23%). El valor más alto fue de 0.57 y ocurrieron en las camas a favor de la pendiente con frijol con apenas 1.75% de materia orgánica. Entre más alto sea el valor de K, mayor será la erodabilidad de la lluvia sobre el suelo (Lugo Ruiz 2016). Sin embargo, se encontraron valores superiores en comparación a los datos obtenido por Berrezueta García y Molina Castro (2018) de 0.13 a 0.16 en el mismo lote. La diversidad de los valores K en este lote pone en evidencia la gran variabilidad de la condición del suelo en esta posición geomorfológica de escarpe producido por erosión en el pie del abanico (Hamblin 1985).

Cuadro 16. Valores de erodabilidad del suelo (K) en el lote 13 de la parcela de Conservación de Suelos, EAP Zamorano, Honduras.

Tratamiento	K ($t \cdot MJ^{-1} \cdot mm^{-1}$)
Camas favor de la pendiente con frijol	0.57 c [‡]
Camas perpendiculares a la pendiente con frijol	0.49 b
Sin camas con siembra a favor de la pendiente con sorgo	0.39 a
Sin camas con siembra perpendicular a la pendiente con sorgo	0.48 bc
Testigo sin siembra con cobertura natural	0.44 b
P	0.01*
R ²	0.87
CV	6.27

[‡]Medias con distinta letra en la misma columna indican diferencia significativa ($P \leq 0.05$).
K: Erodabilidad del suelo ($t \cdot MJ^{-1} \cdot mm^{-1}$).

La variación del valor K es debido a la textura predominante en el suelo y el porcentaje de materia orgánica que presente. Los suelos predominantes del lote son francos y franco limosos y estos son fácilmente desagregados y transportados, por eso se los considera muy erodables (Wischmeier y Mannering 1969) y el contenido de materia orgánica, debido a que tiene un efecto agregante entre las partículas del suelo, lo cual hace que haya mayor estabilidad estructural y resistencia del suelo a la erosión, a su vez la materia orgánica influye en otras propiedades como incremento de la infiltración y retención de agua y reducción de la escorrentía, entre otras (Ramírez Ortiz *et al.* 2009).

Factor LS (Longitud y gradiente de pendiente). El factor LS no presentó diferencias significativas entre prácticas debido a que la pendiente no varió en el tiempo (Cuadro 17). La pendiente del terreno juega un papel importante, puesto que la lluvia tiende a desplazar partículas más pequeñas y se da un transporte neto de éstas, mayormente pendiente abajo (Morgan 1996) y la combinación de la pendiente con la limitada capacidad de infiltración del terreno y la alta intensidad de la lluvia son factores potenciales para causar altas tasas de pérdida de suelo (Gómez Botero 2017).

Cuadro 17. Valores del factor LS para cada práctica establecida en el lote 13 de la parcela de Conservación de Suelos, EAP Zamorano, Honduras.

Tratamiento	Factor LS
Camas favor de la pendiente con frijol	1.14
Camas perpendiculares a la pendiente con frijol	1.57
Sin camas con siembra a favor de la pendiente con sorgo	0.90
Sin camas con siembra perpendicular a la pendiente con sorgo	1.19
Testigo sin siembra con cobertura natural	1.01
P	0.49 n.s
R ²	0.36
CV	40.20

n.s: no significativo, LS: Factor de longitud y gradiente de pendiente

Factor C (Cobertura y manejo de cultivo). El valor del factor C ocurre en una magnitud de 0 a 1, siendo C cercana a 0 con cobertura total del suelo y C:1 suelo descubierto (Wischmeier y Smith 1978). El factor C presentó diferencias significativas, siendo el manejo sin camas con cobertura natural el de mejor desempeño (C:0.39) en comparación a camas perpendiculares a la pendiente con frijol con el valor más alto (C:0.90) (Cuadro 18). El factor C tiene en cuenta que la eficacia de los cultivos para proteger el suelo varía de una planta a otra y para cada una de ellas según el momento del ciclo vegetativo a lo largo del año, en relación a la erosividad de la lluvia (Porta *et al.* 2003). En el lote 13 hubo presencia de cobertura por árboles, brindando protección adicional en la unidad experimental del tratamiento con camas a favor de la pendiente con frijol, lo cual influyó en la cobertura de la misma y alcanzó un valor de C de 0.82. Por lo tanto, es importante tener un alto porcentaje de cobertura vegetal ya que ayuda a reducir considerablemente la pérdida de suelo por erosión (Zhou *et al.* 2008).

Cuadro 18. Valores de factor C para las 15 unidades experimentales del lote 13 de la parcela de Conservación de Suelos, EAP Zamorano, Honduras.

Tratamiento	Factor C
Camas favor de la pendiente con frijol	0.82 b [¥]
Camas perpendiculares a la pendiente con frijol	0.90 b
Sin camas con siembra a favor de la pendiente con sorgo	0.86 b
Sin camas con siembra perpendicular a la pendiente con sorgo	0.77 b
Testigo sin siembra con cobertura natural	0.39 a
P	0.008**
R ²	0.82
CV	17.00

[¥]Medias con distinta letra en la misma columna indican diferencia muy significativa (P 0.01 – 0.0001). C: Factor de cobertura y manejo de cultivo

Factor P (Prácticas de conservación). Se encontraron diferencias altamente significativas entre los manejos, donde camas perpendiculares a la pendiente con frijol presentó el valor más bajo ($P= 0.05$), seguido de la práctica sin camas con siembra en hilera a favor de la pendiente con sorgo ($P= 0.12$). En el 2018 se determinó un factor P de 0.2 para camas en curvas a nivel en el lote 13 de la parcela de Conservación de Suelos (Berrezueta García y Molina Castro 2018). Camas a favor de la pendiente con frijol obtuvo el valor más alto ($P= 0.6$) (Cuadro 19). Wischmeier y Smith (1978) establecieron que, si las hileras y la labranza están en la dirección de la pendiente del terreno, el factor P estará más cerca al valor de 1, por lo que la presencia de vegetación no evita la producción de escurrimiento superficial, el empleo de prácticas de conservación en el suelo minimiza el efecto del flujo de agua (Mancilla 2008).

Cuadro 19. Valor de factor P para las prácticas de conservación en el lote 13 de la parcela de Conservación de Suelos, EAP Zamorano, Honduras.

Tratamiento	Factor P
Camas favor de la pendiente con frijol	0.60 b [‡]
Camas perpendiculares a la pendiente con frijol	0.05 a
Sin camas con siembra a favor de la pendiente con sorgo	0.12 a
Sin camas con siembra perpendicular a la pendiente con sorgo	0.44 b
Testigo sin siembra con cobertura natural	0.48 b
P	<0.0001**
R ²	0.79
CV	26.40

[‡] Medias con distinta letra en la misma columna indican diferencia altamente significativa ($P < 0.0001$). P: Factor de prácticas de conservación

Erosión y fertilidad de suelo.

Las condiciones químicas de los suelos de cada tratamiento indicaron variación en el pH de 5.53 a 6.21, contenido de carbono orgánico de 1.01 a 2.07, siendo el suelo de las camas a favor de la pendiente con menor contenido de carbono orgánico, materia orgánica y nitrógeno, mientras que calcio, magnesio y sodio fueron muy similar en todas las parcelas. El fósforo en el área de camas tuvo un comportamiento normal y en las otras áreas (siembra en hileras y cobertura natural) era bajo. El potasio fue variable, sin relación a los tratamientos (Cuadro 20).

Cuadro 20. Análisis de suelo tomado al inicio del experimento en el lote 13 de la parcela de Conservación de Suelos, EAP Zamorano, Honduras.

Tratamiento	pH	g/100g			mg/kg				
		C.O	M.O	N	P	K	Ca	Mg	Na
Camas favor de la pendiente con frijol	6.21	1.01	1.75	0.09	29	184	1,278	165	26
Camas perpendiculares a la pendiente con frijol	5.53	1.96	3.38	0.17	15	216	1,040	155	15
Sin camas con siembra a favor de la pendiente con sorgo	5.54	1.87	3.23	0.16	10	173	1,057	158	14
Sin camas con siembra perpendicular a la pendiente con sorgo	5.54	1.87	3.23	0.16	10	173	1,057	158	14
Testigo sin siembra con cobertura natural	6.12	2.07	3.58	0.18	8	246	1,317	214	27

C.O: Carbono orgánico, M.O: Materia orgánica, N: nitrógeno, P: fósforo, K: potasio, Ca: calcio, Mg: magnesio, Na: sodio

Las condiciones químicas del suelo erosionado de cada tratamiento indicaron un pH homogéneo para cada unidad experimental. El contenido de carbono orgánico, materia orgánica y nitrógeno para los tratamientos camas a favor de la pendiente con frijol y sin camas con siembra a favor y perpendicular a la pendiente obtuvieron la mayor pérdida (Carbono orgánico > 2%, materia orgánica > 3% y nitrógeno > 0.17). El contenido de potasio para los mismos tratamientos las pérdidas fueron mayores en comparación a los demás manejos, sin siembra con cobertura natural y camas perpendiculares a la pendiente con frijol, alcanzando valores mayores a 265 mg/kg. El fósforo, la pérdida fue diferente para dos de los cinco tratamientos, siendo sin cama con siembra a favor y perpendicular a la pendiente el de mayor pérdida (P: 0.22 mg/kg) mientras que calcio, magnesio y sodio fueron los elementos con menos pérdidas en todos los tratamientos muy similar en todas las parcelas (Cuadro 21).

Cuadro 21. Análisis de suelo erosionado durante el período del 10 de junio al 18 de agosto del 2019 del lote 13 de la parcela de Conservación de Suelos, EAP Zamorano, Honduras.

Tratamiento	pH	g/100g			mg/kg				
		C.O	M.O	N	P	K	Ca	Mg	Na
Camas favor de la pendiente con frijol	6.12	2.01	3.47	0.17	24	265	1,126	177	8
Camas perpendiculares a la pendiente con frijol	6.02	1.87	3.22	0.16	16	223	786	149	<0.5
Sin camas con siembra a favor de la pendiente con sorgo	6.31	2.52	4.34	0.22	23	279	1,000	161	4
Sin camas con siembra perpendicular a la pendiente con sorgo	6.22	2.56	4.41	0.22	18	276	1,139	188	6
Testigo sin siembra con cobertura natural	6.17	1.97	3.4	0.17	11	259	1,102	154	8

C.O: Carbono orgánico, M.O: Materia orgánica, N: nitrógeno, P: fósforo, K: potasio, Ca: calcio, Mg: magnesio, Na: sodio

El análisis de suelo muestra una pérdida de macro nutrientes, materia orgánica y carbono orgánico. Donde, camas a favor de la pendiente con frijol generó la mayor pérdida de carbono orgánico y materia orgánica ($1,380$ y $2,382 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{período}^{-1}$), continuando con el tratamiento sin camas con siembra en hileras perpendicular a la pendiente con sorgo (702 y $1,210 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{período}^{-1}$) (Cuadro 22). A pesar que las parcelas contaban con cobertura de hoja ancha y gramíneas con maleza, una buena cobertura vegetal por sí sola no garantiza la disminución en la pérdida de suelo y nutrientes por erosión (Rodríguez *et al.* 2009), es por esto que el sedimento encontrado producto de este proceso ha llegado a ser hasta 2.5 veces más rico en nutrientes que el suelo de la superficie (Clark 1996).

La erosión hídrica provoca importantes pérdidas de materia orgánica acompañadas por N y P (Barrows y Kilmer 1963). Las parcelas con la mayor pérdida de N y P fueron camas a favor de la pendiente con frijol (N_{total} : $117 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{período}^{-1}$ y P_2O_5 : $4 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{período}^{-1}$) y sin cama con siembra en hileras perpendicular a la pendiente con sorgo (N_{total} : $60 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{período}^{-1}$ y P_2O_5 : $1 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{período}^{-1}$) (Cuadro 22). El fósforo es uno de los elementos menos móviles en el suelo (Narváez 1986), por ende, permanece en los estratos superficiales del perfil del suelo (Buckman y Brady 1960).

Camas perpendicular a la pendiente con frijol, sin camas con siembra en hileras a favor de la pendiente con sorgo y sin siembra con cobertura natural obtuvieron una pérdida menor de carbono orgánico, materia orgánica y macro nutrientes (N, P, K, Ca, Mg) debido a la escasa erosión de suelo presentada durante el período de estudio (Cuadro 22).

Cuadro 22. Nutrientes perdidos por erosión hídrica en el período del 10 de junio al 18 de agosto del 2019 en los suelos bajo diferentes manejos para control de erosión en el lote 13 de la parcela de Conservación de Suelos, EAP Zamorano, Honduras.

Tratamiento	kg·ha ⁻¹ ·período ⁻¹			kg·ha ⁻¹ ·período ⁻¹			
	C.O	M.O	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	CaO	MgO
Camas favor de la pendiente con frijol	1,380	2,382	117	4	22	110	20
Camas perpendiculares a la pendiente con frijol	133	229	11	0	2	8	2
Sin camas con siembra a favor de la pendiente con sorgo	290	499	25	1	4	16	3
Sin camas con siembra perpendicular a la pendiente con sorgo	702	1,210	60	1	9	45	9
Testigo sin siembra con cobertura natural	350	605	30	0	6	28	5

C.O: Carbono orgánico, M.O: Materia orgánica, N: nitrógeno, P₂O₅: fósforo disponible, K₂O: potasio soluble en agua, CaO: calcio, MgO: magnesio

Erosión en parcelas de esorrentía.

El tratamiento que presentó mayor pérdida de suelo en el período evaluado fue camas a favor de la pendiente con frijol (69.81 t·ha⁻¹·período⁻¹) seguido por el manejo sin camas con siembra en hileras perpendicular a la pendiente con sorgo (28.17 t·ha⁻¹·período⁻¹) (Cuadro 23). Berrezueta García y Molina Castro (2018), determinaron que las camas sin práctica de conservación presentan la mayor cantidad de suelo erosionado con 40.92 t·ha⁻¹ en ocho semanas evaluadas, siendo significativamente superior a las prácticas de camas en curvas a nivel, cultivos mixtos sin camas y cobertura natural sin camas que oscilaron ente 9 a 22 t·ha⁻¹ en el mismo periodo. En el terreno de Florencia en Zamorano, se estimó una pérdida de 31 t·ha⁻¹·año⁻¹ debido a las largas líneas de siembra a favor de la pendiente, pero la pérdida por erosión puede reducirse notablemente al cambiar el modo de siembra perpendicular a la pendiente (Gómez Botero 2017). Basado en ello, el tratamiento camas perpendiculares a la pendiente con frijol obtuvo la menor pérdida de suelo en comparación a otros manejos (7.34 t·ha⁻¹·período⁻¹) (Cuadro 23).

Cuadro 23. Suelo erosionado durante el período del 10 junio al 18 agosto del 2019 en el lote 13 de la parcela de Conservación de Suelos, EAP Zamorano, Honduras.

Tratamiento	Calculado Estimado	
	(t·ha ⁻¹ ·periodo ⁻¹)	
Camas favor de la pendiente con frijol	69.81 a [‡]	326.25
Camas perpendiculares a la pendiente con frijol	7.34 c	60.10
Sin camas con siembra a favor de la pendiente con sorgo	11.51 c	124.67
Sin camas con siembra perpendicular a la pendiente con sorgo	28.17 b	25.24
Testigo sin siembra con cobertura natural	15.91 b	56.35
P		<0.0001**
R ²		0.83
CV		22.82

[‡]Medias con distinta letra en la misma columna indican diferencia significativa

Capacidad erosiva de la lluvia.

De acuerdo a la precipitación presentada en el período de evaluación, se obtuvo la pérdida de suelo en toneladas referidas a cada milímetro de lluvia para cada uno de los tratamientos, lo que resultó en que camas a favor de la pendiente con frijol fue donde ocurrió la mayor pérdida (0.4 t·mm⁻¹) (Cuadro 24) similar a la relación obtenida con los datos suministrados por uno de los autores³.

Cuadro 24. Capacidad erosiva de la lluvia en el periodo del 10 de junio al 18 de agosto del 2019 en el lote 13 de la parcela de Conservación de Suelos, EAP Zamorano, Honduras.

Tratamiento	Suelo erosionado (t·mm ⁻¹)	
	2019	2018
Camas favor de la pendiente con frijol	0.40	0.15
Camas perpendiculares a la pendiente con frijol	0.04	0.04
Sin camas con siembra a favor de la pendiente con sorgo	0.07	0.06
Sin camas con siembra perpendicular a la pendiente con sorgo	0.16	-
Testigo sin siembra con cobertura natural	0.09	0.08

⁹: Calculado con datos suministrados por Berrezueta García y Molina Castro (2018).

³ Molina Castro MA. 2019. Ingeniero agrónomo. Comunicación personal. Marco98molinacastro@gmail.com

Existe una relación entre la intensidad de la lluvia y el suelo erosionado. El desarrollo del cultivo está estrechamente relacionado a la pérdida de suelo y la magnitud de la lluvia, siendo diferente para cada semana. Al inicio del experimento (semana uno) se obtuvo una alta pérdida de suelo con precipitaciones e intensidades bajas y es debido a la poca cobertura que presentó cada unidad experimental (Figura 8). De semana dos a nueve, se observa una disminución de pérdida de suelo a pesar que las precipitaciones fueron mayores y las intensidades bajas, exceptuando semana nueve con la mayor intensidad de lluvia registrada (Figura 9). No obstante, debido al desarrollo del cultivo la pérdida de suelo fue menor en comparación a semana uno con suelo descubierto. En la última semana de toma de datos (semana 10) se tuvo la mayor precipitación registrada en el periodo de investigación, sin embargo, la erosión fue menor debido a que el suelo permaneció protegido por los cultivos y la maleza.

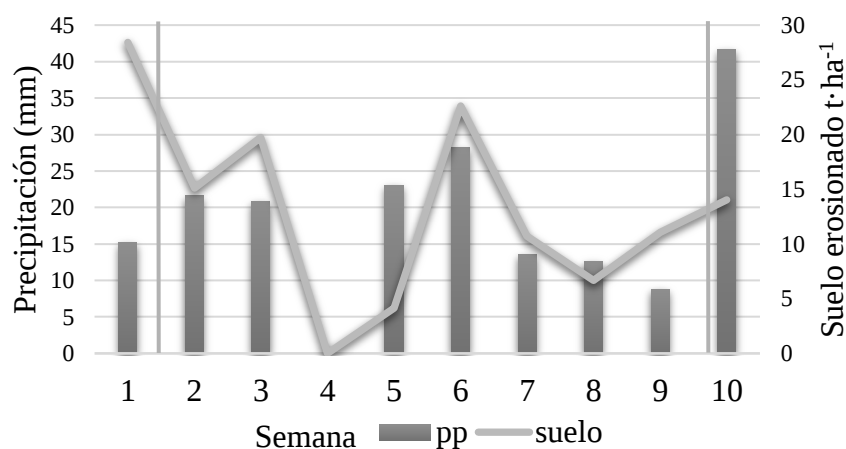


Figura 8. Pérdida de suelo por evento de precipitación durante el período del 10 junio al 18 de agosto del 2019 del lote 13 de la parcela de Conservación de Suelos, EAP Zamorano, Honduras. pp: precipitación

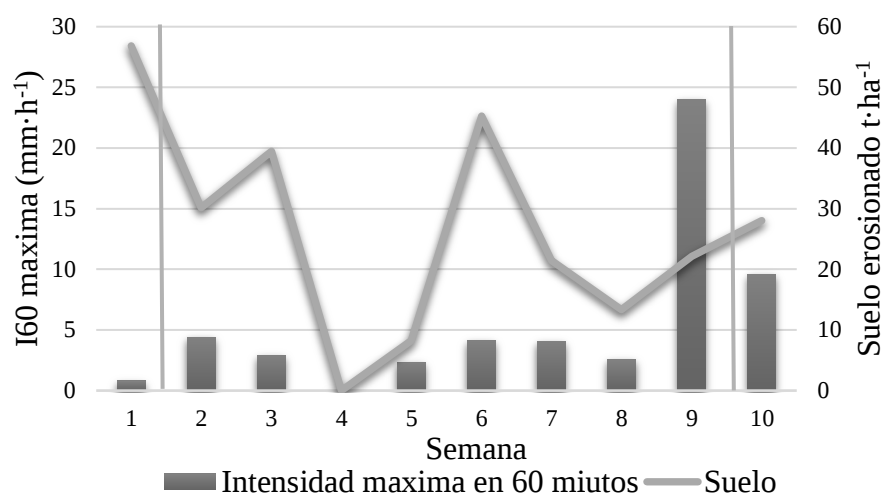


Figura 9. Pérdida de suelo por evento de máxima intensidad en 60 minutos para cada semana evaluada en el período del 10 junio al 18 de agosto del 2019 del lote 13 de la parcela de Conservación de Suelos, EAP Zamorano, Honduras.

4. CONCLUSIONES

- El mejor manejo es sembrar frijol en camas perpendiculares a la pendiente, ya que la erosión se reduce sustancialmente ($7.34 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{periodo}^{-1}$) respecto a un manejo diferente.
- De los componentes de la Ecuación de Pérdida de Suelo (USLE), el factor P fue el más determinante para el control de erosión en la Región Central de Honduras. Existiendo una relación entre la magnitud del suelo erosionado por cada milímetro de lluvia y las prácticas para la conservación de suelos.

5. RECOMENDACIONES

- Implementar prácticas de conservación de suelos en laderas para producción con siembra en camas perpendicular a la pendiente.
- Proponer un plan de estrategias de conservación de suelos en zonas de ladera, para disminuir la erosión por efecto de la lluvia.
- Aumentar el número de repeticiones por tratamiento para obtener una mayor precisión de datos y distribuir el área para cada parcela de manera homogénea.
- Aplicar diferentes diseños de trampas para la recolección de suelo que se ajuste a la topografía del terreno.
- Usar materiales más eficientes en el aislamiento y recolección del suelo erosionado para la evaluación en parcelas de escorrentía.
- Medir erosión de suelo en áreas productivas de Zamorano en el período de lluvia de mayo a octubre.

6. LITERATURA CITADA

- AGRITEC. 2019. Datos de la estación meteorológica instalada en la Parcela de conservación de suelos de la EAP Zamorano. Plataforma de monitoreo y control de nutrición vegetal AgriTEC. DISAGRO, Honduras.
- Angelone S, Gaibay MT, Cauhape Casaux M. 2006. Permeabilidad de suelos. Universidad Nacional de Rosario - Rosario, Santa Fe, Argentina. 3 p; [Consultado 18 ago. 2019]. https://s3.amazonaws.com/academia.edu.documents/45888253/Permeabilidad_en_Suelos.pdf?response-content-disposition=inline%3B%20filename%3DUNIVERSIDAD_NACIONAL_DE_ROSARIO_FACULTAD.pdf&X-Amz-Algorithm=AWS4-HMAC-SHA256&X-Amz-Credential=AKIAIWOWYYGZ2Y53UL3A%2F20190819%2Fus-east-1%2Fs3%2Faws4_request&X-Amz-Date=20190819T173909Z&X-Amz-Expires=3600&X-Amz-SignedHeaders=host&X-Amz-Signature=ce13c271721fa2a58906fd7fc5540c87c2275d00eeb9ae19d9578c167e39adce
- Arévalo GE, Gauggel CA. 2016. Manual de laboratorio de ciencia de suelos. 3ra edición. Tegucigalpa (Honduras): Lithocom. 118 p.
- Barrows LH, Kilmer VJ. 1963. Plant nutrient losses from soils by erosion. *Advance Agronomy* 15: 303-316
- Berrezueta García SV, Molina Castro MA. 2018. Determinación de la erosión en parcelas de escorrentía bajo diferentes condiciones de manejo de suelos en Zamorano, Honduras [Tesis]. Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano - Honduras. 3 – 20 p; [Consultado 18 nov. 2018]. <https://bdigital.zamorano.edu/bitstream/11036/6330/1/CPA-2018-T012.pdf>
- Brito Mijares JR, Sarmiento Hernández GE. 2012. Propuesta para la actualización del mapa de suelos de Honduras como base para diagnóstico de uso del suelo y contenido de carbón orgánico [Tesis]. Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano - Honduras. 18 p; [Consultado 7 sep. 2019]. <https://bdigital.zamorano.edu/bitstream/11036/1093/1/T3383.pdf>

- Buckman MO, Brady NC. 1960. The nature and properties of soils. 6ta edition. MacMillan publishing company. New York. 643 p.
- Casanova E. 2005. Introducción a la ciencia del suelo. 2da edición. Caracas (Venezuela): Universidad Central de Venezuela: CDCH. 17-18 p; [Consultado 3 jun. 2018]. https://books.google.hn/books?id=k4FXuHW1ozQC&printsec=frontcover&hl=es&source=gbs_ge_summary_r&cad=0#v=onepage&q&f=false
- CIDBIMENA, Centro de Información sobre Desastres y Salud. 2019. Mapas de vulnerabilidad de Honduras, Permeabilidad. [Consultado 7 sept. 2019]. <http://cidbimena.desastres.hn/staticpages/index.php?page=20060705105134280>
- Clark R. 1996. Methodologies for the economic analysis of soil erosion and conservation. Reino Unido. 70 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. 1- 2p; [Consultado 18 jun. 2019] <https://bdigital.zamorano.edu/bitstream/11036/1099/1/T3390.pdf>.
- De Alba Alonso S, Alcázar M, Cermeño F, Barbero F. 2011. Erosión y manejo de suelo. Importancia del laboreo ante los procesos erosivos naturales y antrópicos. En: De Alba Alonso S, Alcázar M, Cermeño F, Barbero F, editores. Agricultura ecológica en secano, soluciones sostenibles en ambientes mediterráneos. Madrid (España): Universidad Complutense de Madrid. 13 - 38 p; [Consultado 18 oct. 2018]. https://digital.csic.es/bitstream/10261/60833/1/Capitulo13_38.pdf
- FAO, Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. 2009. Guía para la descripción de suelos. 4a ed. Roma: Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. 12 p; [Consultado 20 agosto 2019]. <http://www.fao.org/3/a0541s/a0541s.pdf>
- FAO, Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. 2015a. Los suelos están en peligro, pero la degradación puede revertirse. Roma: Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación; [Consultado 2018 sept. 01]. <http://www.fao.org/news/story/es/item/357165/icode/>

- FAO, Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. 2015b. Erosión, pérdida de carbono orgánico y salinización son las principales amenazas a los suelos de América Latina y el Caribe. Santiago de Chile: Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación; [Consultado 20 sept. 2018]. <http://www.fao.org/americas/noticias/ver/es/c/360627/>
- FAO, Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. 2015c. El sistema Quesungual: cambiando vidas en Honduras. Roma: Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación; [Consultado 23 jun. 2019]. <http://www.fao.org/soils-2015/news/news-detail/es/c/319909/>
- FAO, Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. 2015d. La FAO y los 17 objetivos de Desarrollo Sostenible. Roma: Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación; 1p; [Consultado 18 agosto 2019]. <http://www.fao.org/3/a-i4997s.pdf>
- García Chevesich PA. 2008. Procesos y control de la erosión. 1a ed. Denver (EE.UU): Outskirts press. 289 p
- Gauggel CA. 2009. Manual general de conservación de suelos en áreas bajo el cultivo de piña para productores de CANAPEP. Costa Rica. 3 p; [Consultado 7 sept. 2019]. http://www.pnp.cr/sites/default/files/canapep_2009.manual_general_de_conservacion_de_suelos.pdf
- Geler Roffe T, Penteado Crósta A, Perez Filho A. 2012. Análisis del factor-LS en diferentes modelos de predicción de la erosión hídrica del suelo [Tesis]. Instituto de Geográfica Tropical, CITMA - La Habana, Cuba. 1 p; [Consultado 15 jul. 2018]. <http://observatoriogeograficoamericalatina.org.mx/egal15/Nuevastecnologias/Sig/18.pdf>
- Gómez Botero M. 2017. Estimación de la erosión y propuesta de obras para la conservación de suelos de Florencia y El Llano en Zamorano, Honduras. Departamento de Francisco Morazán, Honduras [Tesis]. Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano - Honduras. 4 - 30 p; [Consultado 12 mayo 2018]. <https://bdigital.zamorano.edu/bitstream/11036/5993/1/CPA-2017-052.pdf>
- Hamblin K. 1985. The earth's dynamic system. 5ta edition. MacMillan publishing company. New York. 560 p.

- Irazoque Soria Galvarro AA. 2015. Lineamientos técnicos para una ley de conservación de suelos para la Republica de Honduras. Departamento de Francisco Morazán, Honduras [Tesis]. Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano - Honduras. 11-19 p; [Consultado 24 mayo 2018]. <https://bdigital.zamorano.edu/bitstream/11036/4509/1/IAD-2015-018.pdf>
- Lal R. 2018. Conferencia inaugural Congreso mundial de suelo. Rio de Janeiro (Brasil). Agosto. Brasil. 17 de Agosto 2018.
- Landon JR. 1991. Booked tropical soil manual: a handbook for soil survey and agricultural land evaluation in the tropics and subtropics. 1ra edition. Londres (Inglaterra): Paperback edition. 532 p.
- Lugo Ruiz M. 2016. Estimación de la erosión hídrica en los suelos de la microcuenca Tzala, San Marcos, Guatemala. Departamento de Francisco Morazán, Honduras [Tesis]. Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano - Honduras. 17 – 18 p; [Consultado 7 sept. 2019]. <https://bdigital.zamorano.edu/bitstream/11036/5735/1/IAD-2016-T026.pdf>
- Mancilla G. 2008. Uso y conservación de suelos: Uso de la Ecuación Universal de Pérdida de Suelo (USLE) en el campo forestal [Tesis]. Universidad de Chile: Facultad de ciencias forestales, departamento de silvicultura – Chile. 48 p; [Consultado 28 agos. 2019]. http://repositorio.uchile.cl/bitstream/handle/2250/120400/Apuntes_docentes_USLE.pdf?sequence=1
- Mikhailova EA, Bryant RB, Schwager SJ, Smith SD. 1995. Predicting rainfall erosivity in Honduras [Tesis]. Cornell University. 13 p; [Consultado 5 sept. 2019]. <https://ecommons.cornell.edu/bitstream/handle/1813/31895/BU-1302-M.pdf;sequence=1>
- Morgan R. 1996. Erosión y conservación de suelo. Trad. Terrón U.; López de Meneses U. Madrid, España, Ediciones Mundi-Prensa. 339 p.

- Narváez W. 1986. Pérdida de nutrientes del suelo por efecto de la erosión hídrica, bajo diferentes sistemas de siembra en el cultivo de avena. Universidad Central del Ecuador – Ecuador. 14 p [Consultado 15 sept. 2019]. <https://books.google.hn/books?id=qBEiAgAAQBAJ&pg=PA16&lpg=PA16&dq=p%C3%A9rdida+de+potasio+por+erosion&source=bl&ots=LgLy0U0mDf&sig=ACfU3U3h--uVsy8hUdQBtdV-63Mp-H9XMg&hl=en&sa=X&ved=2ahUKEwiLrr2P19PkAhVLb60KHTMpCxAQ6AEwGnoECAkQAQ#v=onepage&q&f=false>
- Núñez J. 2001. Manejo y conservación de suelos. 1ra edición. Editorial. San Jose (Costa Rica): Universidad Estatal a Distancia San José. 4 p; [Consultado 13 jul. 2018]. https://books.google.hn/books?id=l47PHoTfjoC&pg=PR6&lpg=PR6&dq=Manejo+y+conservaci%C3%B3n+de+suelos.+Editorial+Universidad+Estatal+a+Distancia&source=bl&ots=LJskT5NcUo&sig=ACfU3U2oYYtMmvlc382hJ52Lw842wgTIOw&hl=en&sa=X&ved=2ahUKEwjFsfndXo_kAhWDjVkJKHedZD6UQ6AEwA3oECACQAQ#v=onepage&q&f=false
- Porta J, López Acevedo M, Roquero C. 2003. Edafología para la agricultura y el medio ambiente. 3ra edición. Ediciones mundi-presa. Madrid. 709 p
- Ramírez Ortiz F, Hincapié Gómez E, Sadeghian – Khalajabadi S. 2009. Erodabilidad de los suelos de la zona central cafetera del departamento de Caldas [Tesis]. Centro Nacional de Investigación de Café (Cenicafé). 67 p; [Consultado 7 sep. 2019]. <http://biblioteca.cenicafe.org/bitstream/10778/157/1/arc060%2801%2958-71.pdf>
- Ramírez Cruz H, López Velasco O, Ibáñez Castillo LA. 2015. Estimación mensual de intensidad de la lluvia en 30 minutos a partir de datos pluviométricos [Tesis]. Universidad Autónoma de Chapingo, México. 153 – 157 p; [Consultado 18 agos. 2019]. <http://www.scielo.org.mx/pdf/tl/v33n2/2395-8030-tl-33-02-00151.pdf>
- Raudes M, Sagastume N. 2009. Manual de Conservación de Suelos. Tegucigalpa: Programa de Manejo Integrado de Plagas en América Central (PROMIPAC). [Consultado 25 jul. 2019]. https://www.se.gob.hn/media/files/media/Modulo_3_Manual_Conseervacion_de_Suelos.pdf
- Rivera P. 1997. Predicción, prevención y control de diferentes procesos de erosión en suelos de ladera de la zona cafetera de Colombia para lograr un desarrollo sostenible. Chinchiná, Cenicafe. 323 p.

- Rodríguez JA, Sepúlveda IC, Camargo García JC, Galvis Quintero JH. 2009. Pérdida de suelo y nutrientes bajo diferentes coberturas vegetales en la zona Andina de Colombia. Universidad Tecnológica de Pereira, Colombia. 165 p; [Consultado 15 sept. 2019]. <http://www.scielo.org.co/pdf/acag/v58n3/v58n3a07.pdf>
- Rosas JC. 2002. Amadeus 77. Programa de Investigación en Frijol. [Consultado 17 sept. 2019] <http://www.dicta.hn/files/2002-Amadeus-77,-f.pdf?fbclid=IwAR1GVBmRfCtLZHdHr2YC0Fh1N9DwYymNy9ZuIZxJ-AeUYdrZB2W9INtXL5w>
- SERNA, Secretaria de Recursos Naturales y Ambiente. 2001. Informe del estado del ambiente. Tegucigalpa (Honduras): Secretaria de Recursos Naturales y Ambiente. [2 ago. 2019]. <http://cidbimena.desastres.hn/ri-hn2/pdf/doch0022/doch0022.htm>
- Vargas G. 1992. Estudio del uso actual y capacidad de uso de la tierra en América Central [Tesis]. Universidad de Costa Rica – Costa Rica. 8 – 9 p; [Consultado 8 jul. 2018]. <https://www.jstor.org/stable/pdf/25662009.pdf?refreqid=excelsior%3Ad5a6f763721522b7938a715d62fd3dfa>
- Walkley A, Black I. 1934. An examination of the Degtjaeff method for determining soil organic matter and a proposed modification of the chromic acid titration method. *Soil Science* 37, 29-38.
- Wischmeier WH, Mannering JV. 1969. Relation of Soil Properties to its Erodibility. *Soil Sci. Soc. Proc.*, Vol. 33, pag 131-136.
- Wischmeier WH, Smith DD. 1978. Predicting rainfall erosion losses: a guide to conservation planning. 1ra edición. Washington D.C (EE.UU): U.S. Department of Agriculture. <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. *Catena* 319-325 p.