

**Estimación de la erosión y propuesta de obras  
para la conservación de los suelos de  
Florencia y El Llano en Zamorano, Honduras**

**Mariana Gómez Botero**

**Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano  
Honduras**

Noviembre, 2017

ZAMORANO  
CARRERA DE INGENIERÍA AGRONÓMICA

# **Estimación de la erosión y propuesta de obras para la conservación de los suelos de Florencia y El Llano en Zamorano, Honduras**

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

Presentado por

**Mariana Gómez Botero**

**Zamorano, Honduras**

Noviembre, 2017

## **Estimación de la erosión y propuesta de obras para la conservación de los suelos de Florencia y El Llano en Zamorano, Honduras**

**Mariana Gómez Botero**

**Resumen.** La erosión es un proceso de desagregación, transporte y deposición de materiales del suelo por viento y agua, a raíz de esto se pierden alrededor de 40,000 millones de toneladas/año. Los objetivos fueron: Calcular la pérdida de suelo por erosión bajo las condiciones actuales de manejo y al cambiar la dirección de siembra de Florencia y El Llano en Zamorano, Honduras, diseñar obras de conservación bajo condiciones actuales de manejo y al cambiar la dirección de siembra. Se utilizó la ecuación universal de pérdida del suelo USLE. Se analizó el patrón de precipitación de la zona, propiedades del suelo, longitud y grado de pendiente, cobertura, manejo del terreno y prácticas de conservación de suelos. Son suelos de textura franca, pendientes entre 0 y 30% y longitud de pendiente entre 37 y 506 m. Actualmente, se pierde entre 6 a 31 t·ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup>. Al cambiar la dirección de siembra, la erosión del suelo varía entre 3 y 16 t·ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup>. Bajo condiciones actuales se proponen terrazas de base ancha de ancho variable de 20, 50 y 100 m, separadas por canales de 1 m de ancho y máximo 30 cm de profundidad, que permitan el paso de maquinaria y no interrumpan las líneas de siembra o cambiar la dirección de siembra perpendicular a la pendiente y elaborar drenes colectores a distancias variables entre 50 y 575 m. También poner disipadores de energía del agua en los canales y siembra en camas y surcos cubiertos para prevenir la erosión en pendientes <5%.

**Palabras clave:** Disipadores de energía del agua, drenes colectores, terrazas de base ancha, USLE.

**Abstract.** Erosion is a process of disintegration, transport and deposition of soil materials by wind and water, resulting in the loss of about 40 billion tons per year. The objectives were: i. Calculate soil loss by erosion under current management conditions and by changing the sowing direction in Florencia and El Llano in Zamorano, Honduras, ii. Design conservation practices under current management conditions and by changing the sowing direction. The universal soil loss equation USLE was used. The precipitation pattern, soil properties, length and degree of slope, cover, land management and soil conservation practices were analyzed. These are loamy soils, slopes between 0 and 30% and length of slope between 37 and 506 m. Currently it is lost between 6 and 31 t·ha<sup>-1</sup> year<sup>-1</sup>. By changing the sowing direction, soil erosion varies between 3 and 16 t·ha<sup>-1</sup> year<sup>-1</sup>. The proposal is to construct broad-base terraces of variable widths of 20, 50 and 100 m, separated by channels 1 m wide and maximum 30 cm deep, which allows the passage of machinery and does not interrupt the sowing lines, or change the sowing direction perpendicular to the slope. Elaborate collecting drains at distances varying between 50 and 575 m. Also put water energy dissipators in the channels and sowing in beds and furrows covered to prevent erosion on slopes <5%.

**Keywords:** Broad-base terraces, collector drains, USLE, water energy dissipators.

## CONTENIDO

Portadilla .....	i
Página de firmas .....	ii
Resumen .....	iii
Contenido .....	iv
Índice de Cuadros y Figuras .....	v
<b>1. INTRODUCCIÓN.....</b>	<b>1</b>
<b>2. MATERIALES Y MÉTODOS.....</b>	<b>4</b>
<b>3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....</b>	<b>10</b>
<b>4. CONCLUSIONES .....</b>	<b>30</b>
<b>5. RECOMENDACIONES .....</b>	<b>31</b>
<b>6. LITERATURA CITADA.....</b>	<b>32</b>

## ÍNDICE DE CUADROS Y FIGURAS

Cuadros	Página
1. Ubicación de los puntos de muestreo para la estimación de la erosión en Florencia y El Llano, Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano.....	6
2. Valores utilizados en la ecuación de erodabilidad del suelo con base en la estructura del suelo. ....	7
3. Índices de permeabilidad utilizados en la ecuación de erodabilidad del suelo con base en la textura del suelo. ....	8
4. Rangos de pendientes utilizados en el mapa de pendientes de Florencia y El Llano.....	8
5. Valores de m utilizados en la longitud y gradiente de la pendiente con base en el porcentaje de la pendiente. ....	9
6. Precipitación desde el 2010 hasta el 2017, estación meteorológica campus central, Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano.....	10
7. Valores máximos de intensidad y erosividad de la lluvia R para la Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano. ....	11
8. Resultados del laboratorio de suelos de Zamorano de materia orgánica y textura de Florencia y El Llano, Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano. ....	12
9. Índice de estructura b según la textura del suelo Florencia y El Llano, Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano. ....	13
10. Índice de permeabilidad c según la textura del suelo Florencia y El Llano, Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano.....	13
11. Valores para el factor K de erodabilidad del suelo de Florencia y El Llano en la Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano.....	14
12. Rangos y área de las pendientes Florencia y El Llano en la Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano. ....	15
13. Valores del factor LS según la longitud de pendiente L mínima, media y máxima de Florencia y El Llano, Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano. ....	17
14. Valores del factor C de cobertura, precipitación promedio mensual e intensidad máxima de la lluvia en los terrenos Florencia 1 lotes 1 y 2, Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano. ....	18
15. Valores del factor C de cobertura, precipitación promedio mensual e intensidad máxima de la lluvia en los terrenos Florencia 2 lotes 1, 2 y 3 y El Llano lotes 1 y 2, Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano.....	19
16. Valores del factor C de cobertura, precipitación promedio mensual e intensidad máxima de la lluvia en los terrenos El Llano lotes 3 y 4, Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano. ....	20

17. Pérdida de suelo calculado en los terrenos Florencia y El Llano para una longitud de pendiente L mínima, media y máxima con siembra en dirección a la pendiente, Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano. ....	22
18. Pérdida de suelo calculado en los terrenos Florencia y El Llano para una longitud de pendiente L mínima, media y máxima con siembra perpendicular a la pendiente, Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano. . ....	23
19. Distanciamiento de las terrazas de base ancha con siembra en dirección a la pendiente en Florencia y El Llano, Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano. .	26
20. Pérdida de suelo calculado con siembra en dirección a la pendiente y con el uso de terrazas de base ancha de 100, 50 y 20 m de ancho en Florencia y El Llano, Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano.....	27
21. Distanciamiento de los drenes colectores con siembra perpendicular a la pendiente en Florencia y El Llano, Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano. .	28

Figuras	Página
1. Ubicación de los lotes Florencia y El Llano, Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano.....	4
2. Ubicación de los sitios de muestreo para la estimación de la erosión en Florencia y El Llano, Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano. ....	7
3. Mapa de pendientes de los lotes de Florencia y El Llano, Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano. ....	16
4. Diagrama de la terraza de base ancha.....	24
5. Diagrama de siembra en la terraza de base ancha. ....	25
6. Diagrama del uso de disipadores de energía del agua propuesto para los canales de Florencia y El Llano, Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano. . ....	29

## 1. INTRODUCCIÓN

El suelo es un recurso no renovable compuesto por minerales, materia orgánica, organismos, microorganismos aire y agua (FAO s.f). El suelo está en formación constante por la interacción de cinco factores: material parental, clima, relieve, organismos y tiempo (Jenny 1940). Sin embargo, para que se forme un centímetro de suelo se requieren años, décadas e incluso siglos (García-Chevesich 2008) y gracias la actividad humana sin visión conservacionista se pierden entre 25 a 40,000 millones de toneladas de la capa arable del suelo cada año (FAO 2015).

La erosión del suelo es definida como un proceso de desagregación, transporte y deposición de materiales del suelo por agentes erosivos como el viento y el agua (FAO 2010). Este es un proceso relativamente lento, intermitente, recurrente a lo largo de los años, progresivo que se retroalimenta y que es irreversible (Porta et al. 2014); donde se ven afectadas las características físicas, químicas y biológicas del suelo y al mismo tiempo se ve afectada la productividad del terreno, reduciendo los rendimientos y aumentando los costos de producción (FAO 2010). Las pérdidas anuales en la producción de cereales debido a la erosión se calculan en 7.6 millones de toneladas y si no se toman medidas para reducir la erosión, las proyecciones indican una reducción de producción de más de 253 millones de toneladas en 2050. Esta pérdida de rendimiento sería equivalente a eliminar 1.5 millones de kilómetros cuadrados de tierras agrícolas, o aproximadamente toda la tierra cultivable en la India (FAO 2015). El grado de erosión del suelo depende de los agentes erosivos, sin embargo, la actividad humana juega un papel muy importante en este proceso ya que altera la tasa de erosión afectando propiedades de los suelos tales como: consistencia, capacidad de infiltración y de producción de plantas (García-Chevesich 2008).

La consistencia del suelo se debe a las fuerzas de cohesión entre partículas y de adhesividad entre las partículas y el agua. Estas fuerzas hacen que las partículas se mantengan unidas y generan un control en la resistencia del suelo a la deformación, ruptura o a fluir bajo la acción de fuerzas mecánicas (Porta et al. 2014). En general, la susceptibilidad de las partículas al desprendimiento aumenta a medida que se incrementa el tamaño de la misma y la facilidad para ser transportada aumenta cuando disminuye su tamaño (Schwab et al. 1990). Con el tiempo la erosión remueve el primer horizonte del suelo dejando expuesto el segundo horizonte, el cual tiene diferentes propiedades de consistencia y con ello distintas capacidades para resistir la erosión (García-Chevesich 2008).

La capacidad de infiltración es un factor determinante en la erosión ya que se define como el proceso por el cual el agua penetra en el suelo a través de su superficie. Cuando la tasa de precipitación excede la capacidad de infiltración del suelo, el agua comienza a fluir sobre la superficie transportando sedimentos que contaminan las fuentes de agua. Por otro lado,

el fósforo del suelo es transportado con las partículas sólidas, lo que provoca eutrofización de las aguas superficiales (Porta et al. 2014).

La capacidad de retención del agua por parte del suelo influye fuertemente en el establecimiento y el crecimiento de las plantas. Esta depende de la textura del suelo, por ende cuando las partículas más finas del suelo son removidas por procesos erosivos, la capacidad de almacenamiento de agua y nutrientes disminuye, lo cual impacta negativamente al cultivo. Así mismo, la erosión disminuye el espesor del suelo generando menos volumen del suelo para ser explorado por las raíces, lo que limita su crecimiento y al mismo tiempo la absorción de nutrientes (Porta et al. 2014).

Con el fin de conocer la erosión del suelo se formuló la ecuación universal de pérdida del suelo por sus siglas en inglés “Universal Soil Loss Equation” (USLE), la cual permite predecir la tasa promedio de erosión del suelo bajo diferentes condiciones de manejo. Dicha ecuación toma en consideración diferentes factores tales como: el cultivo, las prácticas de manejo, el tipo de suelo, el patrón de precipitación y la topografía del terreno (Wischmeier y Smith 1978).

Cada año se pierden en el mundo 10 millones de hectáreas cultivables como consecuencia de la erosión (Martínez Ménez 2005). A raíz de dicha situación surge la necesidad de generar prácticas de conservación de suelos para preservar sus características físicas, químicas y biológicas y mantener su capacidad productiva. Con las técnicas de conservación de suelos se reduce o elimina el arrastre y pérdida del mismo por acción de la lluvia y el viento, se mantiene o se aumenta su fertilidad y con esto, se mejoran los rendimientos de los cultivos (FHIA 2011).

La literatura existente de erosión del suelo data desde 1978 gracias al planteamiento de la USLE de Wischmeier y Smith. sin embargo, para Honduras han sido pocos los estudios relacionados con el tema de erosión del suelo. En 1995 Mikhailava recopiló datos de las diferentes estaciones climatológicas en Honduras con el fin de estimar los valores del factor R (erosividad de la lluvia) y producir un mapa isoerodante para el país. A través de su estudio Mikhailava determinó que el factor R en Honduras puede variar entre 0-20000 (MJ.mm)/(ha<sup>-1</sup> h<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup>) (Mikhailava 1995). Por otro lado, la literatura existente de conservación de suelos en Honduras es variada; entre ella se encuentra el “Manual de conservación de suelos” de Zamorano, en el cual se exponen las prácticas de conservación de suelos que se pueden adoptar según las condiciones del terreno (Raudes y Sagastume 2009). En Zamorano se han realizado estudios de conservación de suelos, entre los cuales se puede destacar el estudio de Esquivel Palma y Mendoza Barzola en el 2011. En dicho estudio, los autores calcularon la pérdida de suelo anual estimada basada en la USLE y posteriormente propusieron prácticas de conservación como terrazas de base ancha, canales de evacuación de agua de escorrentía, siembra en contorno y subsolado con el fin de disminuir la pérdida de suelo (Esquivel Palma y Mendoza Barzola 2011). En otras localidades como la costa Atlántica de Honduras, García Ramírez en el 2008 determinó que haciendo uso de cobertura en las primeras etapas del cultivo se puede disminuir drásticamente la pérdida de suelo por efecto de la lluvia a <14 t·ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup>, comparado con el testigo de 78 t·ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup> (García Ramírez 2008).

Los terrenos de Florencia y El Llano cuentan con aproximadamente 100 ha cultivadas en maíz y sorgo en rotación con sandía. El sistema de riego y drenaje fue diseñado para la siembra de sandía con cobertura plástica en la época seca. Dicho sistema se diseñó de tal manera que la siembra es a favor de la pendiente y no se contempló el efecto que tendría en el suelo al sembrar otro cultivo sin cobertura en la época de lluvia. Dada la condición erosiva del diseño siembra y riego se realizó el presente estudio cuyos objetivos fueron:

- Calcular la pérdida de suelo por erosión bajo las condiciones actuales de manejo y al cambiar la dirección de siembra de Florencia y El Llano en Zamorano, Honduras.
- Diseñar obras de conservación de los suelos bajo las condiciones actuales de manejo y al cambiar la dirección de siembra en los terrenos.

## 2. MATERIALES Y MÉTODOS

### Ubicación del estudio.

El estudio se realizó en los terrenos de Florencia y El Llano de la Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano (Figura 1). Ubicada a 30 km vía Tegucigalpa a Danlí, Francisco Morazán, Honduras. Zamorano cuenta con una precipitación anual de 1100 mm. Los terrenos están ubicados entre 735 – 800 msnm y cuentan con aproximadamente 100 ha sembradas en sorgo y maíz en rotación con sandía.



Figura 1. Ubicación de los lotes Florencia y El Llano, Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano.

### Cálculo de la pérdida de suelo.

Para calcular la pérdida de suelo se utilizó la ecuación universal de pérdida del suelo conocida por sus siglas en inglés como USLE (Wischmeier y Smith 1978). La ecuación [1] permite predecir la erosión del suelo en toneladas por hectárea al año tomando en cuenta el cultivo, las prácticas de manejo, el tipo de suelo, el patrón de precipitación y la topografía del terreno.

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

Donde:

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

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

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).** El factor R es una medida numérica del potencial erosivo de la precipitación de la zona en un periodo dado. Se define como el producto de la energía total de la tormenta (E) multiplicado por su máxima intensidad en 30 minutos ( $I_{30}$ ). Para calcularlo, se tabularon los datos de intensidad de lluvia en Zamorano de la estación de campus central proporcionados por la unidad de maquinaria y riego, desde el 13 marzo del 2010 hasta 19 de julio del 2017 con el fin de seleccionar la tormenta con la mayor intensidad registrada en cada año. Posteriormente se utilizó la ecuación [2] para determinar el factor de erosividad (Wischmeier y Smith 1978).

$$R = (0.119 + 0.0873 \times \log_{10} I_{60}) \times I_{30} \quad [2]$$

Donde:

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

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

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

**Factor K (erodabilidad del suelo).** El factor K cuantifica la susceptibilidad de un suelo a erosionarse debido a sus propiedades físicas y químicas tales como: presencia de arenas muy finas, limo y arcilla, porcentaje de materia orgánica, estructura y permeabilidad del suelo. Para establecer el factor K se utilizó la ecuación [3] (Wischmeier y Smith 1978).

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

Donde:

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

% M.O. = Porcentaje materia orgánica del primer horizonte

M = Índice de tamaño de partícula (ecuación [4])

b = Índice de estructura del suelo (Cuadro 2)

c = Índice de permeabilidad del suelo (Cuadro 3)

Para conocer los valores del factor K se tomó una muestra de suelo del primer horizonte en cada lote a 20 cm de profundidad (Cuadro 1) y posteriormente fueron analizadas en el Laboratorio de Suelos de Zamorano, donde se determinó el porcentaje materia orgánica a través del método Walkley y Black (Walkley y Black 1934) y el tamaño de partícula M (Ecuación [4]) (Wischmeier y Smith 1978) mediante la textura por el método Bouyoucus. Para determinar el porcentaje de arenas muy finas (0.05 a 0.1 mm), el suelo sedimentado en la prueba de Bouyoucus fue secado en el horno a 105 °C por 24 horas. Posteriormente se pesó el suelo sedimentado y se tamizó con las cribas 100 y 200 Mesh (la criba de 100 Mesh se ubicó 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 del suelo sedimentado de Bouyoucus, para así obtener el porcentaje de arena muy fina.

$$M = (\%L + \%AMF) \times (100 - \%Ar) \quad [4]$$

Donde:

M = Índice de tamaño de partícula

%L = Porcentaje de limo (0.05 – 0.002 mm)

%AMF = Porcentaje de arena muy fina (0.05 a 0.1 mm)

%Ar = Porcentaje de arcilla (< 0.002 mm)

Cuadro 1. Ubicación de los puntos de muestreo para la estimación de la erosión en Florencia y El Llano, Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano.

Terreno	Lote	Punto <sup>§</sup>	Coordenadas UTM	
			X	Y
Florencia 1	1	1	499305	1549668
	2	2	499470	1550009
Florencia 2	1	3	499819	1550122
	2	4	500003	1550055
	3	5	500315	1549906
El Llano	1	6	500885	1550235
	2	7	501365	1550249
	3	8	501659	1550401
	4	9	501883	1550401
	5	10	501986	1550712

<sup>§</sup> Puntos ubicados en la figura 2



Figura 2. Ubicación de los sitios de muestreo para la estimación de la erosión en Florencia y El Llano, Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano.

El valor de estructura del suelo se obtuvo a través de la estructura descrita en el primer horizonte de cada lote (Cuadro 2) (Wischmeier y Smith 1978).

Cuadro 2. Valores utilizados en la ecuación de erodabilidad del suelo con base en la estructura del suelo.

<b>Estructura del suelo</b>	<b>Índice de estructura b</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 la textura determinada por el método Bouyoucus (Cuadro 3) (Wischmeier y Smith 1978).

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 <sup>-1</sup> )	Categoría	
Arenoso	> 20	Muy rápida	1
Franco arenoso	8 a 1	Moderadamente rápida	2
Franco	2 a 0.1	Moderadamente lenta	4
Limoso	1.5 a 0.2	Moderadamente lenta	4
Arcillo limoso	0.5 a 0.03	Lenta	5
Arcilloso	0.8 a < 0.1	Muy lenta	6

Fuente: (Arévalo y Gauggel 2014)

**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 es la longitud total ininterrumpida de la pendiente y S el porcentaje de pendiente del terreno (Wischmeier y Smith 1978). Para obtener S se realizó el mapa de pendiente del terreno con el programa ArcMap 10.5<sup>®</sup> haciendo uso del mapa de curvas a nivel, posteriormente se estandarizó un valor S por lote según el porcentaje de pendiente predominante en el terreno. Para realizar el mapa se dividió la pendiente en clases según lo estipulado en la literatura (FAO 2009) (Cuadro 4).

Cuadro 4. Rangos de pendientes utilizados en el mapa de pendientes de Florencia y El Llano.

Clase	Descripción	Pendiente (%)
1	Plano	0 – 0.2
2	Nivel	0.2 – 0.5
3	Cercano a nivel	0.5 – 1
4	Muy ligeramente inclinado	1 – 2
5	Ligeramente inclinado	2 – 5
6	Inclinado	5 – 10
7	Fuertemente inclinado	10 – 15
8	Moderadamente escarpado	15 – 30

Fuente: (FAO 2009)

El valor L se determinó trazando líneas en el terreno y midiendo la longitud de estas con la herramienta de regla de Google Earth<sup>®</sup>. Posteriormente, se determinó el factor LS a través de la ecuación [5] (Wischmeier y Smith 1978). Se obtuvieron tres factores LS por lote según L mínima, L media y L máxima del terreno.

$$LS = (L \div 22.1)^m \times (0.065 + 0.045 + 0.0065S^2) \quad [5]$$

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 5)

S = porcentaje de la pendiente

Cuadro 5. Valores de m utilizados en la longitud y gradiente de la pendiente con base en el porcentaje de la pendiente.

S (%)	m (valor dado al porcentaje de 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 a la proporción del mismo que permanece desprotegido. Para determinar el factor C se recopiló información de los cultivos sembrados en el terreno en un año y las prácticas de manejo del cultivo relacionadas con la conservación de suelos. Posteriormente se asignó un valor por mes según la literatura (Wischmeier y Smith 1978). El factor C por año se obtuvo de promediar el factor C mensual.

**Factor P (prácticas de conservación de suelos).** El factor P corresponde a las prácticas de conservación del suelo presentes en el terreno. Para determinar su valor se analizaron las prácticas de conservación realizadas en el cultivo del maíz, sandía y sorgo y se les asignó un valor según la literatura (Wischmeier y Smith 1978).

#### **Obras de conservación del suelo.**

Las obras de conservación de suelos son estructuras diseñadas para el control de la erosión en un terreno específico. Dadas las características del terreno se tomó en consideración modificar la longitud de la pendiente L para disminuir la tasa de erosión a  $7 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$  dado la poca profundidad efectiva del suelo. A través de la USLE, ecuación [1], se calculó el distanciamiento de las estructuras de conservación para alcanzar la pérdida de suelo máxima tolerable.

### 3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

#### Factor R (erosividad de la lluvia).

La precipitación en Zamorano tiene un comportamiento bimodal, lo que significa que tiene una época seca y una época lluviosa bien definida. Los meses de mayo a octubre se caracterizan por ser los meses más lluviosos (Cuadro 6) y por tener lluvias de alta intensidad y corta duración, haciéndolas altamente erosivas.

Cuadro 6. Precipitación desde el 2010 hasta el 2017, estación meteorológica campus central, Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano.

Mes	Precipitación (mm)								
	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	Promedio
Enero	nd <sup>§</sup>	7	6	18	24	12	2	15	12
Febrero	nd	12	8	0	9	1	1	1	5
Marzo	11	2	7	18	11	8	6	6	9
Abril	206	12	44	1	2	29	71	25	49
Mayo	244	187	365	185	55	56	61	180	167
Junio	198	146	170	154	159	76	119	438	183
Julio	178	313	93	73	77	42	71	81	116
Agosto	382	115	132	105	163	18	189	nd	158
Septiembre	250	162	52	301	162	134	132	nd	170
Octubre	50	182	172	175	215	116	151	nd	152
Noviembre	16	29	24	29	36	46	5	nd	26
Diciembre	4	11	16	26	6	3	42	nd	15
Total	nd	1178	1089	1086	920	540	850	nd	944

<sup>§</sup>nd: Datos no referidos

Mikhailava en 1995 encontró el factor R para Honduras y realizó el mapa isoerodante para el país, dentro del cual se destaca Zamorano por estar en una de las zonas del país con lluvias menos erosivas, por lo tanto el factor R se encuentra entre 200 – 600 ( $\text{MJ} \cdot \text{mm}^{-1} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{h}^{-1} \cdot \text{año}^{-1}$ ). Al aplicar la ecuación [2], el valor de erosividad de la lluvia R obtenido para las condiciones climáticas de Zamorano es 329 ( $\text{MJ} \cdot \text{mm}^{-1} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{h}^{-1} \cdot \text{año}^{-1}$ ) (Cuadro 7). Se decide utilizar el R de 329 ( $\text{MJ} \cdot \text{mm}^{-1} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{h}^{-1} \cdot \text{año}^{-1}$ ) puesto que corresponde a las lluvias de mayor

intensidad y más erosivas que ocurren en la época de fin del verano, representa la mayor intensidad de lluvia registrada en los últimos ocho años y tiene una probabilidad de ocurrencia de 1:2 años, por lo tanto cualquier diseño de estructura de conservación debe diseñarse con base en el evento más severo.

Cuadro 7. Valores máximos de intensidad y erosividad de la lluvia R para la Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano.

Año	$I_{60}^{\dagger}$ (mm h <sup>-1</sup> )	$I_{30}^{\dagger}$ (mm 30 min <sup>-1</sup> )	$R^{\circ}$ (MJ·mm <sup>-1</sup> )(ha <sup>-1</sup> h <sup>-1</sup> año <sup>-1</sup> )
2010	1646	823	329
2011	549	274	98
2012	501	250	89
2013	189	94	30
2014	245	123	40
2015	154	77	24
2016	1646	823	329
2017	1646	823	329

<sup>†</sup> I: Intensidad de cada lluvia

<sup>°</sup> R: Erosividad de la lluvia

#### **Factor K (erodabilidad del suelo).**

El área de estudio está ubicada entre dos riachuelos estacionales que hacen que el contenido de fragmentos gruesos del suelo y la textura varíe abruptamente, sin embargo la textura franca predomina en todos los lotes. El limo es conocido como la partícula más erodable (Wischmeier y Smith 1978), por lo tanto es un factor determinante en la erodabilidad del suelo. El limo tiene un tamaño que varía entre 0.05 – 0.002 mm y contrario a la arcilla, no posee de fuerzas de adhesión ni cohesión, por ende, la facilidad para ser transportado es extremadamente grande (Schwab et al. 1990). El limo predomina en Florencia 2 lotes 2 y 3 y en El Llano lote 1. Por otro lado, la materia orgánica interviene en la formación y estabilización de agregados, lo que disminuye el riesgo de sellado y encostramiento superficial y al mismo tiempo aumenta la tasa de infiltración, con lo que disminuye el riesgo de erosión (Porta et al. 2014). En los terrenos se encuentra en un nivel medio excepto en El Llano lotes 3 y 5, lo que los hace más propensos a la erosión (Cuadro 8).

Cuadro 8. Resultados del laboratorio de suelos de Zamorano de materia orgánica y textura de Florencia y El Llano, Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano.

Terreno	Lote	Materia orgánica	Arena	Limo	Arcilla	Arena muy fina	Textura <sup>¥</sup>
Florencia 1	1	3.36	46	30	24	12	F
	2	2.81	58	22	20	14	FA
Florencia 2	1	3.29	56	22	22	16	FArA
	2	3.87	24	40	36	20	FAr
	3	2.83	28	42	30	19	FAr
El Llano	1	2.06	20	46	34	18	FArL
	2	2.19	46	28	26	14	F
	3	1.73	48	28	24	14	F
	4	2.84	56	22	22	10	FArA
	5	0.76	76	14	10	20	FA

<sup>¥</sup>Textura: F – Franco, FA – Franco arenoso, FArA – Franco arcillo arenoso, FAr – Franco arcilloso, FArL – Franco arcillo limoso

La estructura del suelo hace referencia a la organización de las partículas individuales de un horizonte del suelo separadas por planos. La importancia de la estructura radica en que modifica las características básicas del suelo debidas a la textura, en especial la proporción y el tamaño de los poros, los cuales permiten el movimiento del agua en el perfil del suelo (Porta et al. 2014). La estructura granular predomina en la zona de estudio, esta se caracteriza por tener una gran cantidad de planos y poros por ende, facilita el movimiento del agua en el perfil del suelo y disminuye la erodabilidad del mismo (Cuadro 9).

El índice de permeabilidad de la ecuación [3] depende de la textura y la tasa de infiltración del suelo (Arévalo y Gauggel 2014). La categoría de infiltración que predomina en el área de estudio es moderadamente lenta (Cuadro 10) lo cual genera un problema potencial, ya que la posibilidad que ocurra escorrentía en una tormenta es extremadamente grande.

Cuadro 9. Índice de estructura b según la textura del suelo Florencia y El Llano, Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano.

Terreno	Lote	Estructura	Índice de estructura b
Florencia 1	1	Granular muy fina	1
	2	Granular gruesa	3
Florencia 2	1	Bloques subangulares	4
	2	Granular muy fina	1
	3	Granular fina	2
El Llano	1	Granular fina	2
	2	Bloques angulares	4
	3	Bloques subangulares	4
	4	Bloques subangulares	4
	5	Granular fina	2

Cuadro 10. Índice de permeabilidad c según la textura del suelo Florencia y El Llano, Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano.

Terreno	Lote	Textura <sup>o</sup>	Infiltración		Índice de permeabilidad c
			Tasa (cm h <sup>-1</sup> )	Categoría	
Florencia 1	1	F	2 a 0.1	Moderadamente lenta	4
	2	FA	8 a 1	Moderadamente rápida	2
Florencia 2	1	FArA	1.5 a 0.2	Moderadamente lenta	4
	2	FAr	1.5 a 0.2	Moderadamente lenta	4
	3	FAr	1.5 a 0.2	Moderadamente lenta	4
El Llano	1	FArL	1.5 a 0.2	Moderadamente lenta	4
	2	F	2 a 0.1	Moderadamente lenta	4
	3	F	2 a 0.1	Moderadamente lenta	4
	4	FArA	1.5 a 0.2	Moderadamente lenta	4
	5	FA	8 a 1	Moderadamente rápida	2

<sup>o</sup>Textura: A – Arena, L – Limo, Ar – Arcilla, AMF – Arena muy fina, F – Franco, FA – Franco arenoso, FArA – Franco arcillo arenoso

Entre mayor sea el factor K, mayor es la erodabilidad del suelo al presentarse una lluvia (Wischmeier y Smith 1978). El valor del factor K para el área de estudio es variable puesto que las condiciones del suelo son heterogéneas (Cuadro 11).

Cuadro 11. Valores para el factor K de erodabilidad del suelo de Florencia y El Llano en la Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano.

Terreno	Lote	Arena	Limo	Arcilla	Arena muy fina	M <sup>μ</sup>	Textura <sup>ρ</sup>	c <sup>†</sup>	Materia orgánica	Estructura <sup>¶</sup>	b	K <sup>§</sup> (t·MJ <sup>-1</sup> mm <sup>-1</sup> )
		Arenas (%)							(%)			
Florencia 1	1	46	30	24	12	3,222	F	4	3.36	gmf	1	0.17
	2	58	22	20	14	2,933	FA	2	2.81	gg	3	0.19
Florencia 2	1	56	22	22	16	2,948	FArA	4	3.29	bsa	4	0.26
	2	24	40	36	20	3,827	FAr	4	3.87	gmf	1	0.20
	3	28	42	30	19	4,298	FAr	4	2.83	gf	2	0.29
El Llano	1	20	46	34	18	4,237	FArL	4	2.06	gf	2	0.31
	2	46	28	26	14	3,138	F	4	2.19	ba	4	0.29
	3	48	28	24	14	3,177	F	4	1.73	bsa	4	0.30
	4	56	22	22	10	2,512	FArA	4	2.84	bsa	4	0.23
	5	76	14	10	20	3,024	FA	2	0.76	gf	2	0.19

<sup>μ</sup> M: Índice de tamaño de partícula

<sup>ρ</sup> Textura: F – Franco, FA – Franco arenoso, FArA – Franco arcillo arenoso, FAr – Franco arcilloso, FArL – Franco arcillo limoso

<sup>†</sup> c: Índice de permeabilidad del suelo

<sup>¶</sup> Estructura: gmf – Granular muy fina, gg – Granular gruesa, bsa – Bloques subangulares, ba – bloques angulares, gf – Granular fina

<sup>¥</sup> b: Índice de estructura del suelo

<sup>§</sup> K: Erodabilidad del suelo.

**Factor LS (longitud y gradiente de la pendiente).**

Las pendientes predominantes de la zona de estudio tienen un gradiente del 1 – 5%. Aproximadamente 30.40 ha del terreno tienen pendientes del 1 – 2% y 58.22 ha del terreno tienen pendientes del 2 – 5%. Sin embargo, hay zonas en el terreno con pendientes que varían del 5 – 30% (Cuadro 12 y Figura 3). La combinación de la pendiente con la limitada capacidad de infiltración del terreno y la alta intensidad de la lluvia son factores potenciales causar altas tasas de pérdida de suelo.

Cuadro 12. Rangos y área de las pendientes Florencia y El Llano en la Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano.

<b>Clase</b>	<b>Descripción</b>	<b>Pendiente (%)</b>	<b>Área (ha)</b>
1	Plano	0 – 0.2	0.22
2	Nivel	0.2 – 0.5	0.96
3	Cercano a nivel	0.5 – 1	4.02
4	Muy ligeramente inclinado	1 – 2	30.40
5	Ligeramente inclinado	2 – 5	58.22
6	Inclinado	5 – 10	4.66
7	Fuertemente inclinado	10 – 15	1.09
8	Moderadamente escarpado	15 – 30	0.78

Los terrenos Florencia 1 lote 2, Florencia 2 lote 2 y El Llano lote 1 y 2 tienen la mayor longitud de la pendiente (434 – 506 m) sin embargo, los valores LS para los lotes de Florencia 2 lote 2 y el Llano son relativamente bajos con respecto a Florencia 1 y Florencia 2 lote 1 (Cuadro 13); lo que indica que el factor determinante en el cálculo de LS es el gradiente de la pendiente (4% en Florencia 1 y Florencia 2 lote 1 y 3% en los lotes restantes). Wischmeier y Smith (1978) reportaron que un aumento en el gradiente tiene mayor efecto en el factor LS que un aumento en la longitud de la pendiente.

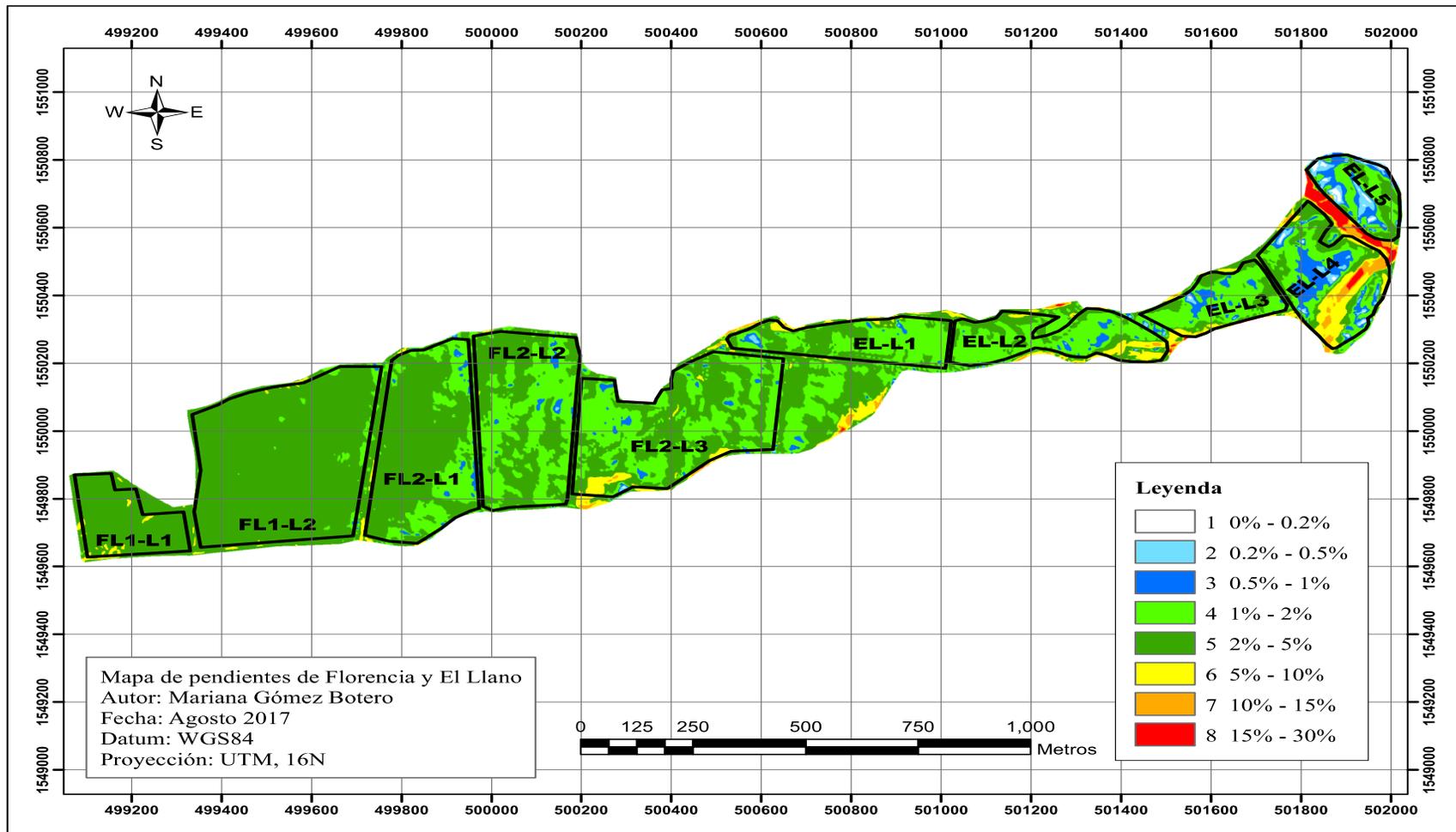


Figura 3. Mapa de pendientes de los lotes de Florencia y El Llano, Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano.

FL1: Florencia 1, FL2: Florencia 2, EL: El Llano

L1: Lote 1, L2: Lote 2, L3: Lote 3, L4: Lote 4, L5: Lote 5

Cuadro 13. Valores del factor LS según la longitud de pendiente L mínima, media y máxima de Florencia y El Llano, Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano.

<b>Terreno</b>	<b>Lote</b>	<b>Condición de longitud de la pendiente</b>	<b>L<sup>μ</sup></b> (m)	<b>S<sup>¥</sup></b> (%)	<b>LS<sup>†</sup></b>	
Florencia 1	1	Mínima	77	4	0.57	
		Media	130	4	0.71	
		Máxima	225	4	0.88	
	2	Mínima	438	4	1.15	
		Media	454	4	1.17	
		Máxima	506	4	1.22	
Florencia 2	1	Mínima	186	4	0.82	
		Media	217	4	0.87	
		Máxima	234	4	0.90	
	2	Mínima	79	3	0.38	
		Media	221	3	0.52	
		Máxima	434	3	0.63	
	3	Mínima	64	3	0.36	
		Media	184	3	0.49	
		Máxima	237	3	0.53	
	El Llano	1	Mínima	115	3	0.42
			Media	308	3	0.59
			Máxima	489	3	0.65
2		Mínima	61	3	0.35	
		Media	169	3	0.48	
		Máxima	474	3	0.65	
3		Mínima	44	3	0.32	
		Media	246	3	0.53	
		Máxima	308	3	0.57	
4		Mínima	110	3	0.42	
		Media	203	3	0.50	
		Máxima	266	3	0.55	
5		Mínima	37	3	0.30	
		Media	212	3	0.51	
		Máxima	283	3	0.56	

<sup>μ</sup> L: Longitud de la pendiente

<sup>¥</sup> S: Porcentaje de la pendiente

<sup>†</sup> LS: Longitud y gradiente de la pendiente

**Factor C (cobertura y manejo del cultivo).**

El factor C corresponde a la cobertura del terreno y a la proporción del mismo que permanece desprotegido. Entre mayor sea el valor del factor C, mayor es la probabilidad del suelo a sufrir erosión (Wischmeier y Smith 1978). Los mayores valores del factor C se registran en los meses que corresponden a la mecanización del terreno ya que el terreno queda descubierto para la siembra de maíz y sorgo y la cosecha de maíz y sandía (Cuadros 14, 15 y 16). Esto se debe a que la cobertura vegetal es reducida o nula por lo tanto, no mitiga la fuerza de la lluvia antes de que impacte a la superficie del suelo haciéndolo más propenso a erosionarse. La mayor intensidad de la lluvia se registra en los meses correspondientes a la cosecha y remoción del plástico, cultivo (Cuadros 14, 15 y 16), mecanización (Cuadro 15) y siembra (Cuadros 15 y 16), cabe destacar que los valores del factor C para estas actividades son elevados por lo tanto, al presentarse una lluvia no se mitiga la fuerza de la gota y su potencial erosivo aumenta, lo que aumenta la probabilidad de sufrir erosión.

Cuadro 14. Valores del factor C de cobertura, precipitación promedio mensual e intensidad máxima de la lluvia en los terrenos Florencia 1 lotes 1 y 2, Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano.

Mes	Cultivo	Actividad	C <sup>μ</sup>	Precipitación	
				promedio mensual (mm)	I <sub>60</sub> <sup>†</sup> (mm h <sup>-1</sup> )
Enero	Sandía	Cultivo	0.18	12	1646
Febrero		Cultivo	0.17	5	47
Marzo		Cultivo	0.15	9	49
Abril		Cosecha y remoción del plástico	0.70	49	1646
Mayo	Sorgo	Siembra	0.63	167	549
Junio		Cultivo	0.50	183	1646
Julio		Cultivo	0.26	116	1646
Agosto		Cosecha del cultivo	0.30	158	501
Septiembre		Cultivo de rebrote	0.50	170	189
Octubre		Cultivo de rebrote	0.26	152	218
Noviembre		Cosecha del rebrote	0.30	26	148
Diciembre	Sandía	Siembra y emplastado	0.20	15	34
Factor C promedio			0.35		

<sup>μ</sup> C: Factor de cobertura y manejo del terreno

<sup>†</sup> I<sub>60</sub>: Intensidad de la lluvia

Cuadro 15. Valores del factor C de cobertura, precipitación promedio mensual e intensidad máxima de la lluvia en los terrenos Florencia 2 lotes 1, 2 y 3 y El Llano lotes 1 y 2, Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano.

Mes	Cultivo	Actividad	C <sup>μ</sup>	Precipitación	
				promedio mensual (mm)	I <sub>60</sub> <sup>†</sup> (mm h <sup>-1</sup> )
Enero	Sandía	Cultivo	0.18	12	1646
Febrero		Cultivo	0.17	5	47
Marzo		Cultivo	0.15	9	49
Abril		Cosecha y remoción del plástico	0.70	49	1646
Mayo	Maíz	Maleza	0.50	167	549
Junio		Mecanización	0.90	183	1646
Julio		Siembra	0.51	116	1646
Agosto		Cultivo	0.41	158	501
Septiembre		Cosecha del macho	0.41	170	189
Octubre		Cultivo	0.26	152	218
Noviembre		Cosecha de la hembra	0.51	26	148
Diciembre	Sandía	Siembra y emplastado	0.20	15	34
Factor C promedio			0.41		

<sup>μ</sup> C: Factor de cobertura y manejo del terreno

<sup>†</sup> I<sub>60</sub>: Intensidad de la lluvia

Cuadro 16. Valores del factor C de cobertura, precipitación promedio mensual e intensidad máxima de la lluvia en los terrenos El Llano lotes 3 y 4, Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano.

Mes	Cultivo	Actividad	C <sup>μ</sup>	Precipitación	
				promedio mensual (mm)	I <sub>60</sub> <sup>†</sup> (mm h <sup>-1</sup> )
Enero	Sandía	Cultivo	0.18	12	1646
Febrero		Cultivo	0.17	5	47
Marzo		Cultivo	0.15	9	49
Abril		Cosecha y remoción del plástico	0.70	49	1646
Mayo	Maíz	Mecanización	0.90	167	549
Junio		Siembra	0.51	183	1646
Julio		Cultivo	0.41	116	1646
Agosto		Cosecha del macho	0.41	158	501
Septiembre		Cultivo	0.26	170	189
Octubre		Cosecha de la hembra	0.51	152	218
Noviembre		Terreno descubierto	0.90	26	148
Diciembre	Sandía	Siembra y emplasticado	0.20	15	34
Factor C promedio			0.44		

<sup>μ</sup> C: Factor de cobertura y manejo del terreno

<sup>†</sup> I<sub>60</sub>: Intensidad de la lluvia

El terreno El Llano lote 5 no se sembró en el 2017 por problemas de inundación en años anteriores, motivo por el cual permanece con maleza y se le asigna un factor C de 0.30 (Wischmeier y Smith 1978).

#### **Factor P (prácticas de conservación de suelos).**

En los terrenos estudiados, excepto en Florencia 1 lote 2, la dirección de siembra es en dirección a la pendiente por lo tanto el valor del factor P es 1 (Wischmeier y Smith 1978). En Florencia 1 lote 2 la dirección de siembra es perpendicular a la pendiente por lo tanto el valor del factor P es 0.5 (Gauggel 2008).

#### **Pérdida de suelo.**

En el trópico y subtrópico centroamericano se considera una pérdida máxima de suelo de 7 t·ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup> (Gauggel 2008). Actualmente, solo El Llano lote 5 con la longitud mínima de la pendiente cumple con dicha condición debido a que permanece cubierto con maleza a través del año, la cual mitiga la fuerza de la lluvia antes de que impacte con la superficie del suelo y disminuye su potencial erosivo. Así mismo, el terreno Florencia 2 lote uno presenta la mayor tasa de erosión del estudio con 31 t·ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup> de pérdida de suelo, debido a la pendiente entre 1 y 5% y las largas líneas de siembra de los cultivos (Cuadro 17).

Al cambiar la dirección de siembra perpendicular a la pendiente se disminuye notablemente la erosión del suelo, lo que genera que Florencia 1 lote 1, Florencia 2 lotes 2 y 3 y el Llano lotes 2, 3, 4 y 5 con la longitud mínima de la pendiente cumplan con la condición máxima permitida de pérdida de suelo de  $7 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{año}^{-1}$  (Cuadro 18). Sin embargo, se debe tomar en consideración que el cambio de la dirección de siembra y del sistema de riego cuesta aproximadamente  $500 \text{ \$ ha}^{-1}$  (Información proporcionada por David Moreira, Ing. en comunicación personal) por lo tanto, se proponen obras y estructuras para evitar la pérdida de suelo.

Cuadro 17. Pérdida de suelo calculado en los terrenos Florencia y El Llano para una longitud de pendiente L mínima, media y máxima con siembra en dirección a la pendiente, Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano.

Terreno	Lote	Condición de longitud de la pendiente	Factores de la ecuación USLE			A Erosión (t·ha <sup>-1</sup> año <sup>-1</sup> )
			LS	C	K	
Florencia 1	1	Mínima	0.57	0.35	0.17	11
		Media	0.71	0.35	0.17	14
		Máxima	0.88	0.35	0.17	17
	2	Mínima	1.15	0.35	0.19	13
		Media	1.17	0.35	0.19	13
		Máxima	1.22	0.35	0.19	13
Florencia 2	1	Mínima	0.82	0.41	0.26	29
		Media	0.87	0.41	0.26	31
		Máxima	0.90	0.41	0.26	31
	2	Mínima	0.38	0.41	0.20	10
		Media	0.52	0.41	0.20	14
		Máxima	0.63	0.41	0.20	17
	3	Mínima	0.36	0.41	0.29	14
		Media	0.49	0.41	0.29	19
		Máxima	0.53	0.41	0.29	21
El Llano	1	Mínima	0.42	0.41	0.31	18
		Media	0.57	0.41	0.31	24
		Máxima	0.65	0.41	0.31	27
	2	Mínima	0.35	0.41	0.29	14
		Media	0.48	0.41	0.29	19
		Máxima	0.65	0.41	0.29	25
	3	Mínima	0.32	0.44	0.30	14
		Media	0.53	0.44	0.30	23
		Máxima	0.57	0.44	0.30	25
	4	Mínima	0.42	0.44	0.23	14
		Media	0.50	0.44	0.23	17
		Máxima	0.55	0.44	0.23	18
	5	Mínima	0.30	0.30	0.19	6
		Media	0.51	0.30	0.19	10
		Máxima	0.56	0.30	0.19	10

El factor R es 329 (MJ·mm<sup>-1</sup>)(ha<sup>-1</sup> h<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup>) para todos los sitios de estudio y el factor P es 0.5 para Florencia 1 lote 2 y 1 para los demás sitios de estudio.

Cuadro 18. Pérdida de suelo calculado en los terrenos Florencia y El Llano para una longitud de pendiente L mínima, media y máxima con siembra perpendicular a la pendiente, Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano.

Terreno	Lote	Condición de longitud de la pendiente	Factores de la ecuación USLE			A Erosión (t·ha <sup>-1</sup> año <sup>-1</sup> )
			LS	C	K	
Florencia 1	1	Mínima	0.57	0.35	0.17	6
		Media	0.71	0.35	0.17	7
		Máxima	0.88	0.35	0.17	9
	2	Mínima	1.15	0.35	0.19	13
		Media	1.17	0.35	0.19	13
		Máxima	1.22	0.35	0.19	13
Florencia 2	1	Mínima	0.82	0.41	0.26	14
		Media	0.87	0.41	0.26	15
		Máxima	0.90	0.41	0.26	16
	2	Mínima	0.38	0.41	0.20	5
		Media	0.52	0.41	0.20	7
		Máxima	0.63	0.41	0.20	9
	3	Mínima	0.36	0.41	0.29	7
		Media	0.49	0.41	0.29	10
		Máxima	0.53	0.41	0.29	10
El Llano	1	Mínima	0.42	0.41	0.31	9
		Media	0.57	0.41	0.31	12
		Máxima	0.65	0.41	0.31	14
	2	Mínima	0.35	0.41	0.29	7
		Media	0.48	0.41	0.29	9
		Máxima	0.65	0.41	0.29	13
	3	Mínima	0.32	0.44	0.30	7
		Media	0.53	0.44	0.30	12
		Máxima	0.57	0.44	0.30	12
	4	Mínima	0.42	0.44	0.23	7
		Media	0.50	0.44	0.23	8
		Máxima	0.55	0.44	0.23	9
	5	Mínima	0.30	0.30	0.19	3
		Media	0.51	0.30	0.19	5
		Máxima	0.56	0.30	0.19	5

El factor R es 329 (MJ·mm<sup>-1</sup>)(ha<sup>-1</sup> h<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup>) y el factor P es 0.5 para todos los sitios de estudio.

### Obras de conservación de suelo.

Con el fin de disminuir la erosión a un nivel tolerable, se propone la elaboración de terrazas de base ancha o drenes colectores, de camas y surcos cubiertos con un material que prevenga la erosión y el uso de disipadores de la energía del agua en los canales.

**Terrazas de base ancha.** La terraza de base ancha es un canal de superficie ancha construido transversalmente a la pendiente del terreno, que elimina o retiene el agua (Figura 4). Dicha estructura no interfiere con la mecanización del terreno ya que su corte debe ser en forma de parábola para permitir el paso de maquinaria (Schwab et al. 1990).

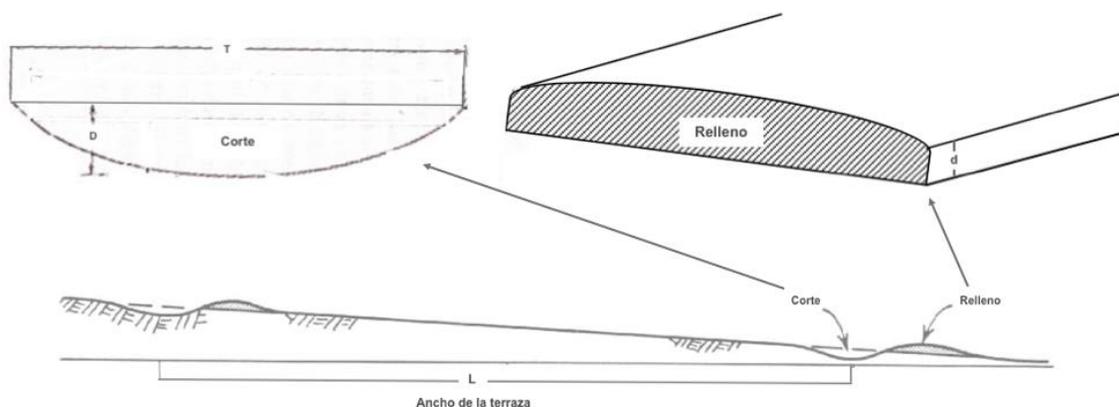


Figura 4. Diagrama de la terraza de base ancha. Fuente: Schwab et al. 1990.

**Construcción de las terrazas de base ancha y drenes colectores.** Las terrazas de base ancha no requieren remoción de suelo o nivelación. Son denominadas así porque se acorta la longitud de la pendiente a una distancia equivalente a la base de la terraza (Figura 5). El corte de la longitud de la pendiente se hace con una acequia o canal, el cual se puede hacer con un arado de vertedera y es equivalente a un canal terciario de drenaje. El relleno y la uniformización se puede hacer con pala y paleadores.

Dimensiones de la terraza de base ancha y de las estructuras de corte y relleno bajo las condiciones actuales de manejo del terreno (Figura 4):

- $L = 100, 50$  y  $20$  m (Cuadros 19 y 20)
- $T = 1.00$  m
- $D = 0.30$  m
- $d = 0.15$  m (Gauggel 2008).

Al cambiar la dirección de siembra perpendicular a la pendiente el concepto de terraza de base ancha cambia y se introduce el drenaje colector con estructuras de corte y relleno y cuyas dimensiones son (Figura 4):

- $L =$  entre  $50$  y  $575$  m (Cuadro 21)
- $T = 1.00$  m
- $D = 0.30$  m
- $d = 0.15$  m (Gauggel 2008).

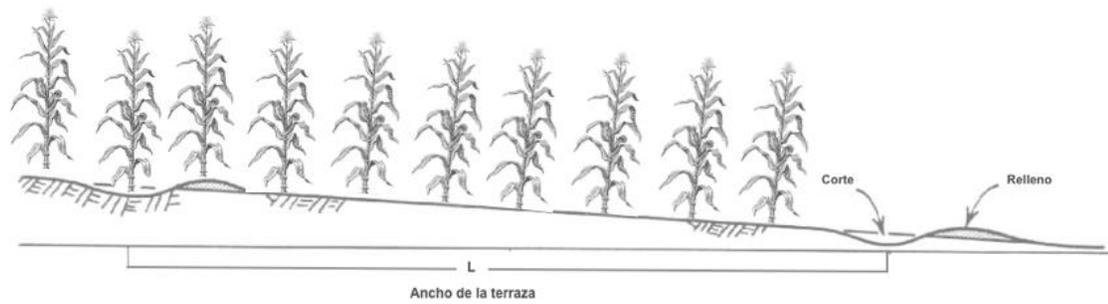


Figura 5. Diagrama de siembra en la terraza de base ancha. Fuente: Schwab et al. 1990. Adaptado por el autor.

El cálculo de ancho de la terraza  $L$ , para una meta de erosión de  $7 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$  bajo las condiciones actuales de manejo de Florencia 1 lote 2 y El Llano lote 5 arrojó 50 y 100 m respectivamente (Cuadro 19). Sin embargo, los demás distanciamientos obtenidos son poco prácticos al momento de aplicarlos en campo por lo tanto, se realizó una comparación de la pérdida de suelo con la situación actual y con el uso de terrazas de base ancha cada 100, 50 y 20 m (Cuadro 20).

Cuadro 19. Distanciamiento de las terrazas de base ancha con siembra en dirección a la pendiente en Florencia y El Llano, Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano.

Terreno	Lote	$K^{\epsilon}$ ( $t \cdot MJ^{-1} mm^{-1}$ )	$C^{\Omega}$	$LS^{\xi}$	$L^{\mu}$ (m)
Florencia 1	1	0.17	0.35	0.36	18
	2	0.19	0.35	0.91	50
Florencia 2	1	0.26	0.41	0.20	10
	2	0.20	0.41	0.26	17
	3	0.29	0.41	0.18	12
El Llano	1	0.31	0.41	0.17	11
	2	0.29	0.41	0.18	12
	3	0.30	0.44	0.16	11
	4	0.23	0.44	0.21	14
	5	0.19	0.33	0.34	100

El factor P es 0.5 para Florencia 1 lote 2 y 1 para Florencia 1 lote 1, Florencia 2 y El Llano, la pérdida de suelo calculada A es  $7 t \cdot ha^{-1} año^{-1}$  y el factor R es 329 para todos los sitios de estudio.

$\epsilon$  K: Erodabilidad del suelo

$\Omega$  C: Factor de cobertura y manejo del terreno

$\xi$  LS: Longitud y gradiente de la pendiente

$\mu$  L: Ancho de la terraza

Para los terrenos Florencia 1 lote 1, Florencia 2 y El Llano lotes 1, 2, 3 y 4 se recomienda establecer las terrazas de base ancha con un ancho de 20 m ya que dicha distancia representa la menor tasa de pérdida de suelo (Cuadro 20). Los terrenos Florencia 2 y El Llano presentan pendientes irregulares, por lo tanto la construcción de las terrazas debe ser hecha con el uso de un nivel (Información proporcionada por Carlos Gauggel, Ph.D. en comunicación personal).

Cuadro 20. Pérdida de suelo calculado con siembra en dirección a la pendiente y con el uso de terrazas de base ancha de 100, 50 y 20 m de ancho en Florencia y El Llano, Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano.

Terreno	Lote	Erosión actual (t·ha <sup>-1</sup> año <sup>-1</sup> )	Erosión con terrazas (t·ha <sup>-1</sup> año <sup>-1</sup> )		
			100 m	50 m	20 m
Florencia 1	1	17	13	10	7
Florencia 2	1	31	22	17	12
	2	17	11	9	7
	3	21	16	13	10
El Llano	1	27	17	14	10
	2	25	16	13	10
	3	25	18	14	11
	4	18	14	11	8

Al cambiar la dirección de siembra perpendicular a la pendiente, los distanciamientos de los drenes colectores aumentan considerablemente (Cuadro 21). Por lo tanto, se recalca la importancia de analizar la pendiente del terreno y su dirección al momento de tomar la decisión del diseño de siembra, riego y drenaje en un terreno.

Cuadro 21. Distanciamiento de los drenes colectores con siembra perpendicular a la pendiente en Florencia y El Llano, Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano.

Terreno	Lote	$K^{\epsilon}$ ( $t \cdot MJ^{-1} mm^{-1}$ )	$C^{\omega}$	$LS^{\xi}$	$L^{\mu}$ (m)
Florencia 1	1	0.17	0.35	1.02	243
	2	0.19	0.35	0.91	50
Florencia 2	1	0.26	0.41	0.57	75
	2	0.20	0.41	0.74	440
	3	0.29	0.41	0.51	205
El Llano	1	0.31	0.41	0.48	156
	2	0.29	0.41	0.51	205
	3	0.30	0.44	0.46	150
	4	0.23	0.44	0.60	356
	5	0.19	0.33	0.97	575

El factor R es 329, el factor P es 0.5 y la pérdida de suelo calculada A es  $7 t \cdot ha^{-1} año^{-1}$  para todos los sitios de estudio.

$\epsilon$  K: Erodabilidad del suelo

$\omega$  C: Factor de cobertura y manejo del terreno

$\xi$  LS: Longitud y gradiente de la pendiente

$\mu$  L: Ancho de la terraza

**Camas y surcos con cobertura.** Los terrenos Florencia 2 lote 3 y El Llano lotes 2, 3 y 4 tienen zonas con pendientes del 5 al 10%, en las cuales se propone la elaboración de camas y surcos cubiertos con plástico o con otro material que prevenga la erosión.

**Disipadores de la energía del agua.** Para todos los terrenos se propone el uso de disipadores de la energía del agua en los canales tales como rocas o estacas (Figura 6).

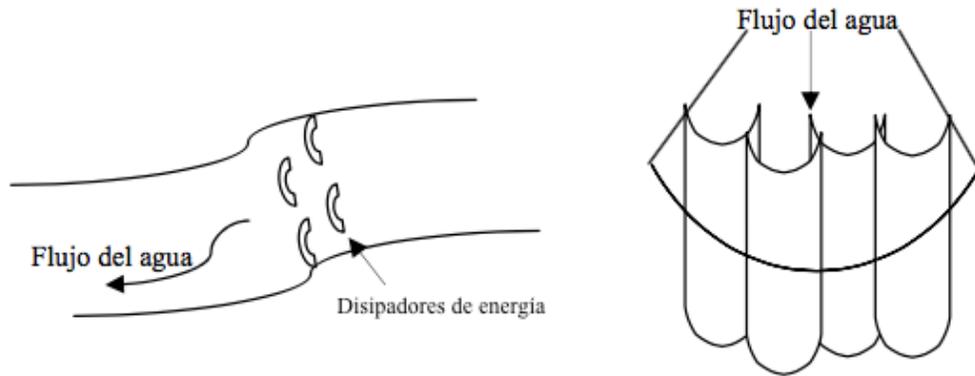


Figura 6. Diagrama del uso de disipadores de energía del agua propuesto para los canales de Florencia y El Llano, Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano. Fuente: Esquivel Palma y Mendoza Barzola 2011.

#### 4. CONCLUSIONES

- Bajo las condiciones actuales de manejo de los terrenos de Florencia y El Llano la pérdida de suelo fluctúa entre 6 y 31 t·ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup>, lo que indica que el área de estudio se encuentra por encima del límite de la máxima pérdida de suelo permitida de 7 t·ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup>, al cambiar la dirección de siembra perpendicular a la pendiente, la erosión se reduciría entre 3 y 16 t·ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup>, lo que disminuye la pérdida de suelo por erosión en 15 t·ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup>.
- Bajo las condiciones actuales de manejo de los terrenos, es necesario implementar las obras de conservación del suelo que se ajustan a las condiciones del área de estudio como la construcción de terrazas de base ancha con un ancho de 100 m en El Llano lote 5, 50 m en Florencia 1 lote 2 y 20 m para los demás lotes. Elaborar camas y surcos con cobertura, para los terrenos de Florencia 2 lote 3 y El Llano lotes 2, 3 y 4 en las zonas con pendientes del 5 al 10% y el uso de disipadores de la energía del agua en los canales de todos los terrenos. Si se logra cambiar la dirección de siembra perpendicular a la pendiente, implementar drenes colectores a distancias entre 50 y 575 m.

## **5. RECOMENDACIONES**

- Labrar el suelo de acuerdo a las condiciones que presente después de finalizado el ciclo del cultivo para evitar la labranza excesiva y hacer uso de la labranza racional.
- Mantener el mayor tiempo posible el suelo con cobertura a través del año y sembrar lo más pronto posible después de la preparación.
- Realizar un estudio posterior a la implementación de las obras de conservación para medir la eficiencia de las mismas en el control de la pérdida de suelo por la erosión.
- Realizar el estudio para todas las áreas de producción de la Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano e implementar los resultados.

## 6. LITERATURA CITADA

- Arévalo GE, Gauggel CA. 2014. Manual de laboratorio de ciencia de suelos. 3a ed. Tegucigalpa (Honduras): Lithocom. 118 p.
- Esquivel Palma CJ, Mendoza Barzola CQ. 2011. Plan de manejo y conservación de suelos para la producción de sandía y forraje en Zona 1, Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano, Honduras [Tesis]. Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano-Honduras. 37 p.
- FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura). s.f. El suelo. Roma: Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación; [Consultado 2016 nov 06]. <http://www.fao.org/docrep/006/w1309s/w1309s04.htm>
- 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. 99 p.
- FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura). 2010. Erosión y pérdida de fertilidad del suelo. Roma: Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación; [Consultado 2016 nov 06]. <http://www.fao.org/docrep/t2351s/T2351S07.htm#LAEROSIONYELRENDIMIENOTODELOSCULTIVOS>
- FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura). 2015. Los suelos están en peligro, pero la degradación puede revertirse. Roma: Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación; [Consultado 2017 ag 28]. <http://www.fao.org/news/story/es/item/357165/icode/>
- FHIA (Fundación Hondureña de Investigación Agrícola). 2011. Guía sobre prácticas de conservación de suelos. 1a ed. La Lima (Honduras): Centro de Comunicación Agrícola de la FHIA. 18 p.
- Gauggel CA. 2008. Manual de conservación de suelos en áreas bajo el cultivo de piña, finca el muelle, zona de San Carlos, Costa Rica. 1a ed. San Carlos (Costa Rica): Departamento de investigación de Dole. 23 p.
- García-Chevesich PA. 2008. Procesos y control de la erosión. 1a ed. Denver (EE.UU): Outskirts press. 289 p

- García Ramírez RF. 2008. Evaluación de siete coberturas para el control de erosión de suelo en el cultivo de piña, bajo las condiciones de Montecristo, Departamento de Atlántida, Honduras [Tesis]. Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano-Honduras. 11 p.
- Jenny H. 1940. Factors of Soil Formation. 1a ed. New York (EE.UU): McGraw-Hill. 191 p.
- Martínez Ménez M. 2005. Estimación de la Erosión del Suelo. Ciudad de México: SAGARPA; [Consultado 2016 nov 06]. <http://www.sagarpa.gob.mx/desarrolloRural/Publicaciones/Lists/CursoTaller%20Desarrollo%20de%20capacidades%20orientadas%20a/Attachments/6/04estim-eros-sue.pdf>
- Mikhailava EA. 1995. Predicting Rainfall Erosivity in Honduras [Tesis]. Universidad de Cornell-Estados Unidos. 36 p.
- Porta J, López-Acevedo M, Poch MR. 2014. Edafología uso y protección de suelos. 3a ed. Madrid (España): Mundi-Prensa. 579 p.
- Raudes M, Sagastume N. 2009. Manual de conservación de suelos. 1a ed. Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano (Honduras): Carrera de Ciencia y Producción Agropecuaria. 75 p.
- Schwab GO, Frevert RK, Edminster TW, Barnes KK. 1990. Ingeniería de conservación de suelos y agua. 1a ed. Ciudad de México (México): Limusa. 570 p.
- 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, Smith DD. 1978. Predicting rainfall erosion losses – a guide to conservation planning. 1a ed. Washington D.C (EE.UU): U.S. Department of Agriculture. 51p.