

**Plan de manejo y conservación de suelos para
la producción de sandía y forraje en Zona 1,
Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano,
Honduras**

**Carlos Josué Esquivel Palma
Cesar Querubin Mendoza Barzola**

Zamorano, Honduras

Noviembre, 2011

ZAMORANO
CARRERA DE INGENIERÍA AGRONÓMICA

**Plan de manejo y conservación de suelos para
la producción de sandía y forraje en Zona 1,
Escuela Agrícola Panamericana, 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

**Carlos Josué Esquivel Palma
Cesar Querubin Mendoza Barzola**

Zamorano, Honduras
Noviembre, 2011

Plan de manejo y conservación de suelos para la producción de sandía y forraje en Zona 1, Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano, Honduras

Presentado por:

Carlos Josué Esquivel Palma
Cesar Querubin Mendoza Barzola

Aprobado:

Gloria Arévalo de Gauggel, M.Sc.
Asesora principal

Abel Gernat, Ph.D.
Director
Carrera de Ingeniería
Agronómica

Isidro Matamoros, Ph.D.
Asesor

Raúl Espinal, Ph.D.
Decano académico

Carlos Gauggel, Ph.D.
Asesor

RESUMEN

Esquivel Palma, C. J; Mendoza Barzola, C. Q. 2011. Plan de manejo y conservación de suelos para la producción de sandía y forraje en Zona 1, Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano, Honduras. Proyecto especial de graduación del programa de Ingeniería Agronómica, Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano, Honduras. 40 p.

La erosión del suelo es uno de los principales factores de degradación y pérdida de fertilidad edáfica. Los sistemas agrícolas convencionales eliminan la cobertura vegetal, destruyen la estructura del suelo, disminuyen las tasas de infiltración del agua, generando mayores flujos de agua de escorrentía erosiva. El objetivo de este estudio fue determinar los valores la Ecuación Universal de Pérdida de Suelo USLE, calcular la tasa de erosión en Zona 1 en la Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano, Honduras, y diseñar un plan de manejo para conservación de suelos y drenajes para la producción de sandía y forraje. El área estudiada es de 34.91 ha, dividida en ocho parcelas. Se elaboró un mapa de suelos por familias texturales. Se describieron ocho perfiles de suelo. El cálculo de suelo perdido se realizó con la ecuación (USLE por sus siglas en inglés Universal Soil Loss Equation). Los suelos identificados fueron F⁻/F⁺ suelos profundos >90 cm franco arcillosos con < 35% de arcillas; (M/g)/Gg suelos francos con grava y arena de poca profundidad efectiva; (F⁻/g) suelos franco arcillosos con < 35 % de arcilla sobre horizontes arenosos; y F⁻/(g-M) suelos franco arcillosos sobre limo. Se definió la tasa de erosividad de las lluvias R de 260 (MJ/mm de lluvia)/(ha × h × año) de la región del Valle del Yeguaré, la erodabilidad de los suelos varió según el tipo de suelo, las características de la cobertura vegetal C de 0.5487, las prácticas de conservación utilizadas P de 0.7 y el factor LS entre 0.3 a 0.44. Basado en estos valores se diseñó una red de canales de drenajes y obras de conservación de suelos, con el fin de canalizar el agua de escorrentía y reducir la erosión. Las principales limitantes edáficas fueron drenaje interno a 45 cm o más de profundidad y alta resistencia a la penetración (>4.5 kg/cm²). Bajo condiciones actuales se identificó que la erosión localizada es causada por una red incompleta de drenaje. El manejo actual de Zona 1 genera una erosión de 9.41 t/ha/año. Las prácticas recomendadas para disminuir la erosión hídrica fueron mejorar drenaje interno, con subsoleo, terrazas de base ancha de 50 m de ancho, canales de evacuación de agua de escorrentía, instalar disipadores de energía y cobertura vegetal en los canales y siembra de cultivos en contorno. Con ello disminuirá el suelo perdido a 0.43 t/ha/año. La inversión inicial requerida es de US\$ 51,762, con un VAN de US\$ 4,281 y una TIR del 14%.

Palabras clave: Control, erosión, prácticas, USLE.

CONTENIDO

	Portadilla.....	i
	Página de firmas.....	ii
	Resumen.....	iii
	Contenido.....	iv
	Índice de Cuadros, Figuras y Anexos.....	v
1	INTRODUCCIÓN.....	1
2	MATERIALES Y MÉTODOS.....	3
3	RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	13
4	CONCLUSIONES.....	35
5	RECOMENDACIONES.....	36
6	LITERATURA CITADA.....	37
7	ANEXOS.....	39

ÍNDICE DE CUADROS, FIGURAS Y ANEXOS

Cuadros	Página
1. Valores utilizados en la ecuación de erodabilidad del suelo, con base en la estructura del suelo (UNED sf).....	6
2. Valores utilizados en la ecuación de erosión del suelo, para las velocidades de infiltración del agua (UNED sf).....	7
3. Velocidades permisibles del agua no erosiva en canales sin cobertura vegetal, expresada en metros por segundo (Schwab <i>et al.</i> 1990).....	11
4. Tipos de suelo por familia textural definidos en Zona 1, Escuela Agrícola Panamericana, Honduras	13
5. Clasificación de suelos por profundidad efectiva de Zona 1, Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano, Honduras.....	14
6. Descripción morfológica y física de los suelos en Zona 1, Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano, Honduras.....	18
7. Valores de longitud en metros, pendiente (%) y LS de cada lote de Zona 1, Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano, Honduras.....	19
8. Valores de prácticas de conservación de suelos por cultivo ponderado con base en tiempo para Zona 1, Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano, Honduras.....	19
9. Valores de erodabilidad K por lote en Zona 1, Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano, Honduras.....	20
10. Valor C de cobertura por cultivo y anual, en base a la distribución de la energía R de la lluvia en el año, cobertura vegetal de los cultivos y por efecto de las malezas.....	21
11. Pérdida de suelo erosionado por lote y total, expresado como (t/ha/año) en Zona 1, Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano, Honduras	22
12. Terrazas de base ancha (de 50 m) a elaborar y valor de LS modificado al acortar la pendiente, Zona 1, Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano, Honduras	24
13. Áreas por lote y por terraza, factor LS y caudal de escorrentía, Zona 1, Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano, Honduras.....	25
14. Caudal en metros cúbicos por segundo y tamaño de los canales primarios y secundarios de drenaje en Zona 1, Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano, Honduras.....	28

15.	Largo de los canales en metros y metros cúbicos de suelo a mover para la elaboración de los drenajes primarios y secundarios en Zona 1, Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano, Honduras.....	31
16.	Largo de los canales en metros de las terrazas de base ancha, metros cúbicos de suelo a mover y área perdida de área de siembra en metros cuadrados los lotes de Zona 1, Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano, Honduras.....	31
17.	Toneladas de suelo por hectárea por año perdidas en los lotes de Zona 1, utilizando las prácticas de conservación recomendadas, Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano, Honduras.....	32
18.	Costos de elaboración de las obras de conservación en Zona 1, Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano, Honduras	33
19.	Costos de mantenimiento anual del sistema de drenajes en Zona 1, Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano, Honduras.....	34
20.	Flujo de caja generado por la fertilidad del suelo retenida bajo las prácticas de conservación de suelo y costos de elaboración del sistema de drenajes y el mantenimiento de los mismos, proyectado a 10 años (expresado en US\$).)	35
21.	Descripción de calicatas realizadas en Zona 1, Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano, Honduras.....	40

Figuras		Página
1.	Mapa de Zona 1 y distribución de calicatas descritas.....	4
2.	Esquematzación del permeámetro de cabeza hidráulica constante para medir conductividad hidráulica.....	6
3.	Nomograma para determinar el valor LS en la USLE, utilizando los valores de longitud (pies) y porcentaje de pendiente (Wischmeier y Smith 1978).....	8
4.	Vista transversal de un canal parabólico para evacuar agua de escorrentía (Schwab <i>et al.</i> 1990).....	10
5.	Mapa de Zona 1, división y nomenclatura de los lotes.....	15
6.	Mapa de suelos de Zona 1, basado en familias texturales, Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano, Honduras.....	16
7.	Mapa de curvas a nivel a cada 0.25 m de cambio de altitud, Zona 1, Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano, Honduras.....	23
8.	Diagrama del uso de bambú propuesto en los canales de las terrazas de base ancha y canales, como disipadores de energía del agua, Zona 1, Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano, Honduras.....	26
9.	Diagramación de terraza de base ancha, con su área de corte y relleno tomado de (Schwab <i>et al.</i> 1990).....	26
10.	Dirección del flujo de agua en los canales de las terrazas de base ancha.....	29

11.	Dirección del flujo de agua de los canales secundarios (S) y primarios (P), Zona 1, Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano, Honduras	30
-----	---	----

Anexos	Página
--------	--------

1.	Descripción de calicatas realizadas en Zona 1, Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano, Honduras.....	40
----	---	----

1. INTRODUCCIÓN

Los sistemas de producción agrícola hoy en día, han demandado una serie de prácticas convencionales y no convencionales, que han provocado gran impacto sobre las condiciones ambientales y edáficas en Latinoamérica y el mundo, para la generación de alimentos y disminuir el hambre que muchas personas sufren hoy en día (FAO 2010). La producción mundial de alimentos ha tenido un gran éxito al aumentar la producción por unidad de área, esto gracias a mejoras en la tecnología y al uso de recursos fósiles no renovables, de los cuales ha hecho al hombre dependiente (Gliessman *et al.* 2007).

La agricultura moderna hace uso de prácticas como control químico, monocultivo, fertilización sintética, manipulación genética y labranza convencional. El uso irracional de labranza convencional ha degradado los suelos, los cuales han sufrido erosión, pérdida de materia orgánica, disminución de la población viva edáfica así como pérdida de la estructura, en los últimos años (Schalamuk *et al.* 2003). Uno de los principales problemas a los que se enfrenta la humanidad, son los altos niveles de erosión y pérdida de suelo que son provocados al acelerar los procesos degradativos de las coberturas vegetales, mala mecanización del suelo y desertificación. Esto ha provocado deterioro en los niveles de productividad de las áreas agrícolas al perder fertilidad (Ramzi *et al.* 2008).

En América Latina, las pérdidas de suelo por factores hídricos son los de mayor significancia para la conservación del suelo. La falta de cobertura natural o artificial sobre el suelo, provoca que las gotas de lluvia destruyan los agregados del suelo al caer en forma de precipitación descargando su energía sobre el suelo. Una cobertura vegetal permanente sobre el mismo es capaz de afectar el grado de infiltración de agua al suelo, aumenta la capacidad de almacenar agua y da condiciones propicias para el desarrollo de micro y macroorganismos que favorecen las características edáficas (Sharafatmandrad *et al.* 2010).

Muchos de los indicadores físicos del suelo no tienen ninguna correlación visible con niveles de erodabilidad, pero en el caso de la materia orgánica, niveles adecuados pueden tener repercusiones significativas al mejorar la estabilidad de los agregados; además es utilizado como un buen indicador de calidad de suelo. Cuando se mide el efecto de la mecanización en la declinación de la calidad de los suelos, existe una alta correlación entre el nivel de sustentabilidad en el uso del suelo y la erodabilidad del mismo (Singh y Khera 2009).

La conservación de los suelos aptos y no aptos para la agricultura significa reducir la tasa de pérdida de suelo, aumentar fertilidad, mejorar la producción de los cultivos, evitar la pérdida de agua y mantener la productividad sostenible de los sistemas productivos en el tiempo. El uso de intercultivos es una de las mejores opciones existentes para reducir las pérdidas de

suelo, un ejemplo de ello es sembrar alfalfa asociado con maíz que reduce en un 50% la erosión hídrica contrastada con maíz en monocultivo (Singh y Khera 2009).

Otras estrategias que se han creado para disminuir los niveles de erosión en el suelo en campos agrícola y forestales, es la elaboración de terrazas y cultivos de cobertura en la época lluviosa. Hoy en día, las opciones que se observan para un manejo sustentable del suelo es utilizar sistemas de labranza mínima, siembras en contorno, mapeo y manejo de las zonas por tipos de suelo hasta alcanzar la agricultura de precisión, donde los recursos son utilizados en cantidades suficiente y lograr sostenibilidad de la producción en el tiempo (Cerdeira 1997).

El sitio llamado Zona 1 de la Escuela Agrícola Panamericana (E. A. P), Zamorano, Honduras, cuenta 34.91 ha cultivables. Se ha destinado a la producción de sandía en la época seca y sorgo o maíz para ensilaje en el período restante del año. La zona cuenta con sistemas de drenaje de aguas superficiales. El año 2010 presentó una pluviosidad fuera de lo normal, 1480 mm/año comparado a 1100 mm/año como media, lo que trajo como consecuencia intensa erosión que causó serios problemas a los cultivos y al suelo. Basado en esta experiencia, fue necesario determinar los niveles de erosión basados en el estudio de la situación edáfica, topográfica e hídrica de Zona 1, bajo los sistemas actuales de manejo del suelo y drenaje.

Dado que los suelos de Zamorano son muy propicios a degradarse debido a su textura, mineralogía y humedad a los cuales tradicionalmente han sido labrados, es indispensable elaborar un programa de conservación y rehabilitación de suelos que permita la producción sostenible de los mismos. Siendo éste el primer estudio que se elabora con estos objetivos. La implementación de este estudio tuvo como finalidad el cálculo de pérdida de suelo y diseño de obras de conservación, prácticas para manejo de suelos, drenaje y los cultivos en el área de Zona 1, para disminuir las pérdidas de suelo, basado en datos técnicos tomados de campo y literatura.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

Localización del lugar de estudio. El estudio fue realizado en el área de Zona 1, en la Escuela Agrícola Panamericana, Valle del Yeguaré, Francisco Morazán, Honduras. Esta área se ha utilizado para la producción de sandía *Citrullus vulgaris* (Schrad) de exportación, maíz *Zea mays* (L.) y sorgo *Sorghum bicolor* (L). para alimentación animal. Se encuentra entre las coordenadas UTM (16P 1548970-1549433 latitud) y (498783-500075 longitud), altura sobre el nivel del mar de 800 m, temperatura promedio de 24°C, precipitación pluvial alrededor de 1100 mm distribuidos entre los meses de mayo a octubre (Velásquez 2007). El área de Zona 1, ocupa 35 ha y se encuentra dividida en ocho parcelas, presentando una pendiente del 2% en dirección Oeste-Este.

Elaboración de mapa de suelos. Se realizaron barrenaciones para descripción de los perfiles de suelo en todos los lotes de Zona 1, a razón de cuatro barrenaciones/ha, referenciados por coordenadas “Universal Transverse Mercator” (UTM). En cada uno se determinó la textura de manera organoléptica a 0-30, 30-60 y 60-90 cm de profundidad. Las texturas fueron clasificadas con base en su familia textural siendo éstas:

- M=Texturas medias (franco, franco limoso, franco arenoso y franco).
- F⁻=Texturas con arcilla liviana (franco arcilloso, franco limoso, franco arenoso, franco arcilloso con menos de 35% de arcilla).
- F⁺=Textura con arcilla pesada (arcilloso, arcilloso limoso, arcillo arenoso, franco arcilloso con más de 35% de arcilla).
- Gg= Piedra y grava.
- g = Arena y arena gruesa y arenosa franca (Arévalo y Gauggel 2010).

Posteriormente, se clasificaron los suelos con profundidad limitante. Esta limitación fue definida como la presencia de texturas arcillosas (F⁺), arenas (g) o de gravas (Gg). Luego se agruparon los suelos en familias texturales y similares. Posteriormente se les asignó un valor en código, el cual fue utilizado en el programa ArcGIS 9[®] para la elaboración del mapa de texturas (Arévalo y Gauggel 2010).

Evaluación del suelo mediante calicatas. Las calicatas fueron descritas evaluando la profundidad de los horizontes, color medido a capacidad de campo, textura, estructura de los agregados, consistencia, porosidad, resistencia a la penetración, presencia de raíces, presencia de roca y límites de horizontes (FAO 2006). Se elaboró una calicata por cada lote en Zona 1.

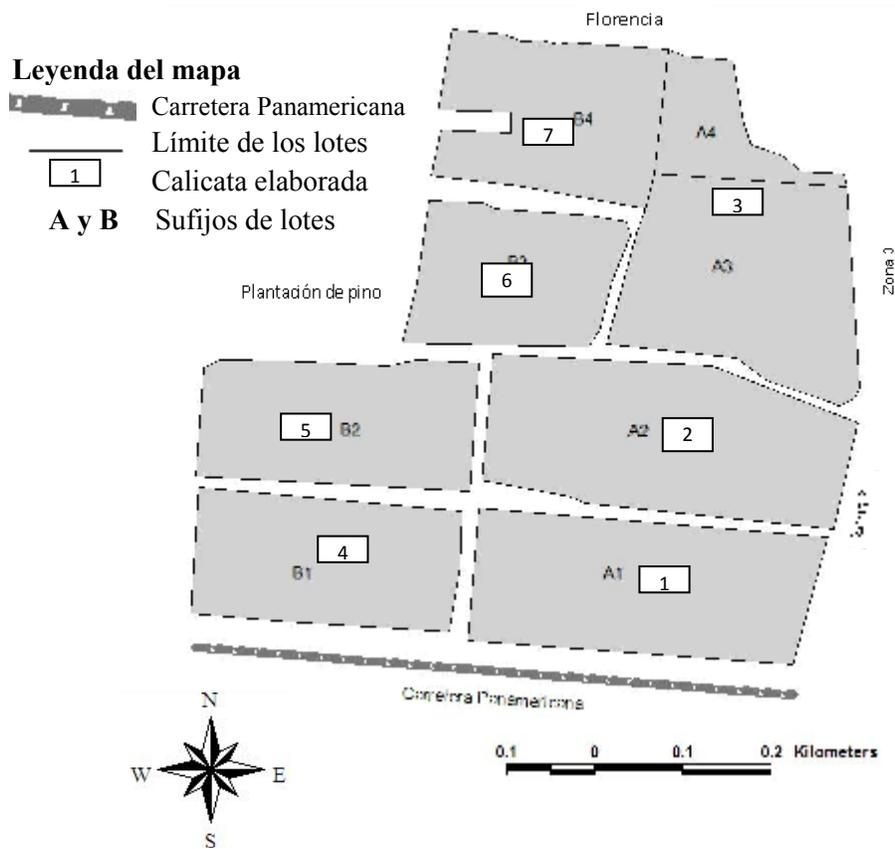


Figura 1. Mapa de Zona 1 y distribución de calicatas descritas.

CÁLCULO DE LA PÉRDIDA DE SUELO

Para calcular la pérdida de suelo por la erosión hídrica, se utilizó la Ecuación Universal de Pérdida de Suelo (Wischmeier y Smith 1978). Se basa en analizar las características edáficas-climáticas del lugar, para determinar las toneladas de suelo que se pierden por hectárea en un año [1].

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

Donde:

A= Suelo perdido (t/ha/año).

R= Erosividad de la lluvias y escorrentía (MJ/mm de lluvia)/(ha × h × año).

K= Erodabilidad del suelo o susceptibilidad a erosionarse (t de suelo/(MJ × mm de lluvia).

LS= Factores de longitud y porcentaje de pendiente del terreno.

C = Factor de cobertura vegetal.

P = Factor prácticas de conservación de suelo utilizadas.

Factor “R” de erosividad. El factor “R” de erosividad de la lluvia, es la energía que es capaz de causar erosión en el suelo. Se define como el producto de la energía de una tormenta (E) multiplicado por la intensidad de una lluvia en 30 minutos (I_{30}). Dentro de este cálculo, no se consideraron aquellas lluvias con precipitaciones menores de 13 mm, separadas de otras en más de 6 horas, pero sí aquellas lluvias con más de 13 mm precipitados en 15 minutos. Con estos valores tabulados, se utilizó la ecuación [2], para determinar la energía de cada lluvia o “EI” (Wischmeier y Smith 1978).

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

$$\sum EI = R$$

Donde:

R = Erosividad de la lluvia ($\text{MJ} \times \text{ha}^{-1} \times \text{mm}^{-1}$).

EI = Energía de cada lluvia ($\text{MJ} \times \text{ha}^{-1} \times \text{mm}^{-1}$).

I_{60} = Intensidad de cada lluvia (mm/h).

I_{30} = Intensidad de cada lluvia (mm/30 min).

La sumatoria de los valores de EI de todas las tormentas en el año, fue el valor R anual. En este caso se analizaron los datos climatológicos del año 2010, debido a que fue un año atípico lluvioso en Zamorano y que generan los problemas que justificaron este estudio.

Factor “K” de erodabilidad. El valor “K” cuantifica la susceptibilidad de un suelo a erosionarse, dadas sus propiedades físicas y químicas. Estas propiedades son presencia de arenas finas y limo, porcentaje de materia orgánica, estructura del suelo y la permeabilidad del suelo (Wischmeier y Smith 1978), simplificado en la ecuación [3].

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

Donde:

K = Erodabilidad del suelo (t/h)/(MJ/mm).

$\% M.O.$ = Porcentaje de la materia orgánica del primer horizonte.

M = Tamaño medio de partícula (% de limo + % arenas muy finas (0.05 a 0.1 mm)) \times (100 - % de arcilla).

b = Valor de estructura del suelo.

c = Valor de permeabilidad del suelo.

En el laboratorio de la Escuela Agrícola Panamericana (E.A.P.) Zamorano, se determinó la materia orgánica (% M.O.) por el método de Walkley & Black (Arévalo y Gauggel 2010). El tamaño de partícula (M) fue determinado mediante la textura por el método de Bouyoucus y tamizado de las arenas con cribas. 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 horno a 105 grados centígrados por 24 horas. Posteriormente se cuantificó la cantidad

de arenas muy finas, pesando el suelo que quedó entre las cribas Mesh 100 y Mesh 200, sacando su relación porcentual.

El valor de estructura del suelo (b) se tomó mediante la descripción de las estructuras del suelo en los perfiles de suelo. Se determinó grado (desarrollo o definición de los agregados en el suelo); tipo (formas de los agregados de suelo); y clase (tamaño de los agregados). Con las descripciones de las estructuras del primer horizonte de cada lote, se clasificaron y se les otorgó su respectivo valor del parámetro expresado en el (Cuadro 1) (Wischmeier y Smith 1978).

Cuadro 1. Valores utilizados en la ecuación de erodabilidad del suelo, con base en la estructura del suelo (UNED sf).

Estructura del suelo	Valores "b" para la ecuación
Granular muy fino	1 [£]
Granular fino	2
Granular grueso	3
Bloques, laminar, masivo	4

[£] Valor utilizado en la fórmula de erodabilidad

La permeabilidad (c) se cuantificó a través de la conductividad hidráulica, utilizando el método de cabeza hidráulica constante, fundamentada en la Ley de Darcy. Este método consta del uso de dos cilindros con dimensiones conocidas, uno con agua y otro con suelo, colocado el primero sobre el segundo. El cilindro con agua debe de mantenerse lleno a un mismo nivel de agua. La probeta debajo del embudo mide la cantidad de agua que circula en un tiempo determinado (Figura 2) (UNED sf).

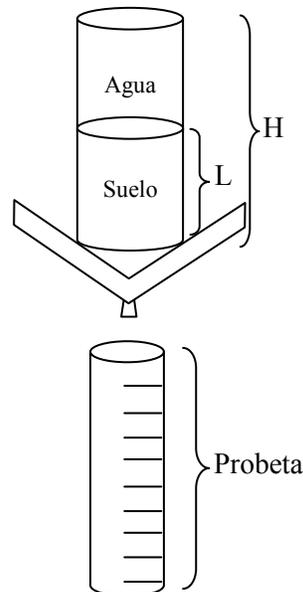


Figura 2. Esquematzación del permeámetro de cabeza hidráulica constante para medir conductividad hidráulica.

El caudal en la probeta se estuvo midiendo cada minuto por 10 minutos, cada 5 minutos por 50 minutos y cada 10 minutos por una hora. Con estos resultados se utilizó la ecuación [4] para determinar la conductividad hidráulica de ese suelo.

$$\sum K = \frac{Q \times L}{A \times (H - L)} \quad [4]$$

Donde:

$\sum K$ = Sumatoria de conductividad hidráulica (cm/min).

Q = Caudal medido en la probeta (cm³/min).

L = Altura del cilindro del suelo (cm).

H = Altura total de los dos cilindros, agua y suelo (cm).

A = Área del cilindro (cm²).

La prueba tuvo una duración total de 2 horas, por lo que el valor de $\sum K$, deben de expresarse posteriormente en (cm/hr). El valor de conductividad hidráulica obtenido se clasificó según el Cuadro 2, para ser usado en la ecuación de erodabilidad.

Cuadro 2. Valores utilizados en la ecuación de erosión del suelo, para las velocidades de infiltración del agua (UNED sf).

Velocidades de permeabilidad del suelo	Valores para la ecuación
Muy lenta (<0.12 cm/h)	6 [£]
Lenta (0.12-0.5 cm/h)	5
Moderadamente lenta (0.5-2 cm/h)	4
Mediana (2-6.2 cm/h)	3
Moderadamente rápida (6.2-12.5 cm/h)	2
Rápida (>12.5 cm/h)	1

[£] Valor utilizado en la fórmula de erodabilidad

Factor “LS”. El valor “LS” es un factor determinado con base en la longitud y porcentaje de pendiente en un terreno, que afecta la pérdida de suelo. “L” es la longitud total ininterrumpida de la pendiente y “S” el porcentaje de pendiente del terreno. Con el mapa de curvas a nivel del lugar y planos de los lotes, se definieron ambos valores. Luego se utilizó el nomograma de la USLE (Figura 3), para determinar el valor “LS” por cada lote (Wischmeier y Smith 1978).

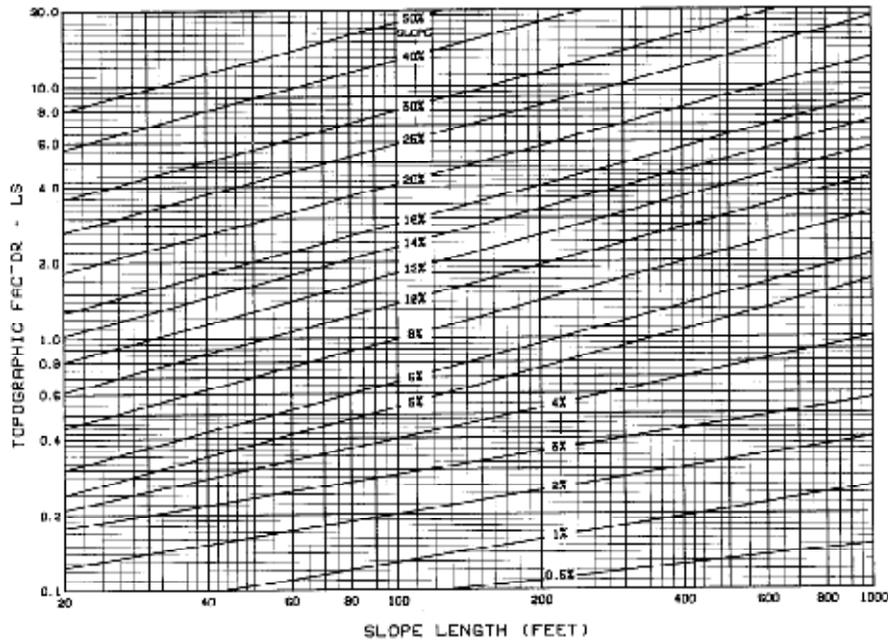


Figura 3. Nomograma para determinar el valor LS en la USLE, utilizando los valores de longitud (pies) y porcentaje de pendiente, tomado de (Wischmeier y Smith 1978).

Factor “C” de cobertura. El valor “C” se refiere a la proporción de suelo desprotegido por cobertura vegetal. Para establecer el valor C, se analizaron los cultivos sembrados en un año. Para cada uno de ellos se definió el nivel de productividad del cultivo, prácticas de mecanización así como también se describieron las fechas en que suceden cuatro estadios vegetativos de los cultivos (a 0-50%, 50-75%, 75-100% de cobertura del cultivo y al momento de cosecha). Basado en datos pluviométricos, se definió qué proporción de la energía total de la lluvia impacta el suelo. Por cada estado vegetativo se definió la proporción del suelo con ausencia de cobertura por el cultivo y malezas. Posteriormente se multiplicaron los valores de energía de la lluvia, proporción de suelo en cobertura del cultivo y por malezas, obteniendo el valor C por cada período. Finalmente se sumaron todos los valores de cada estado fisiológico y se obtuvo así el valor C para un año (Wischmeier y Smith 1978).

Determinación del factor “P”. El valor “P” es el valor correspondiente a las prácticas de conservación de suelo utilizadas. Para determinar su valor para Zona 1, se analizaron las prácticas de conservación realizadas en el cultivo del maíz y sandía (Wischmeier y Smith 1978). Luego de definir el respectivo P, el valor final se ponderó con base en tiempo que ocupa cada cultivo.

DISEÑO DE LAS OBRAS DE CONSERVACIÓN

Las obras de conservación de suelo consisten en elaborar estructuras para evacuar agua de escorrentía. Estos son canales y terrazas de base ancha, los cuales consisten en canales parabólicos para evacuar agua de escorrentía y disminuir la erosión del suelo en Zona 1. Basado en una pérdida de suelo meta de 7 t/ha/año¹, utilizando la fórmula de USLE [1], se definieron las distancias a las que se deben de elaborarse las obras de conservación de suelo en los lotes.

Agua de escorrentía en cada lote. Se utilizó el método racional descrito por López-Sánchez (1969) el cual, calcula la cantidad total de agua en forma de escorrentía superficial producida en el terreno, considerando el área del lugar, la cobertura del suelo, pendiente, textura del suelo y la intensidad horaria máxima de la lluvia en un período de retorno de 10 años bajo la ecuación [5].

$$Q = \frac{1}{360} \times C \times i \times A \quad [5]$$

Donde:

Q = Caudal máximo que se obtiene en el punto de salida del agua de escorrentía (m³/s).

C = Coeficiente del cultivo y escorrentía (valor C en la USLE).

i = Intensidad máxima de la lluvia en 10 años (mm/h)

A = Área del lugar a determinarle la escorrentía (ha).

Elaboración de canales abiertos para evacuación de agua de escorrentía. Estas son aberturas en el suelo, con forma parabólica los cuales constan de un área transversal, un perímetro de mojado y radio hidráulico (relación entre área y perímetro de mojado) definidos en las ecuaciones [6], [7] y [8] (Figura 4)

$$\text{Área transversal} = \frac{2}{3} t \times d \quad [6]$$

$$\text{Perímetro de mojado} = t + \frac{8d^2}{3t} \quad [7]$$

$$\text{Radio hidráulico} = \frac{t^2 d}{1.5t^2 + 4d^2} \quad [8]$$

¹ Gauggel, C. 2011. Prácticas de conservación de suelos en el trópico. Profesor Adjunto, Ph.D., Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano, Honduras. Comunicación personal.

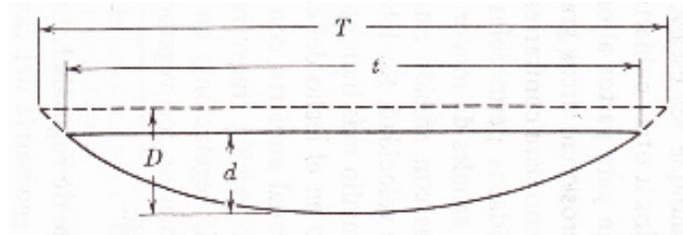


Figura 4. Vista transversal de un canal parabólico para evacuar agua de escorrentía (Schwab *et al.* 1990).

Aunque la forma parabólica de los canales no es la más simétrica, tiende a ser la más estable ante factores erosivos, son los que menos sedimentos generan y se elaboran utilizando arados de vertedera². Esta forma de los canales fue la definida para elaborar los canales que definieron las terrazas de base ancha y conducirán el agua de los lotes hacia fuera de ellos; luego hacia los canales primarios y secundarios que conducirán el agua fuera de Zona 1.

Tamaño de canales para evacuar agua de escorrentía. El tamaño de los canales, depende de la cantidad de agua de escorrentía que necesitan evacuar. Para que sean funcionales, los canales deben cumplir con las siguientes características:

- Tener un flujo de agua que no sea capaz de provocar erosión ni sedimentación en los canales.
- Tener la capacidad de evacuar el total de agua de escorrentía.
- De bajo costo en su elaboración.
- Tener un margen o borda libre ($D-d$, Figura 4) que no es cubierta por el agua al evacuar la escorrentía. Esta debe de ser entre un 30 a 35% más alta que el espejo de agua (Schwab *et al.* 1990).

Bajo las premisas mencionadas anteriormente y utilizando la fórmula de caudal [9], se determinó el tamaño de los canales.

$$A = \frac{Q}{V} \quad [9]$$

Donde:

A = Área transversal del canal (m^2).

Q = Caudal de agua de escorrentía a evacuar en el canal (m^3/s).

V = Velocidad no erosiva permisible del agua (m/s).

La velocidad permisible no erosionable del agua en los canales, fue definida basada en la textura del suelo (Cuadro 3).

² Gauggel, C. 2011. Prácticas de conservación de suelos en el trópico. Profesor Adjunto, Ph.D., Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano, Honduras. Comunicación personal.

Cuadro 3. Velocidades permisibles del agua no erosiva en canales sin cobertura vegetal, expresada en metros por segundo (Schwab *et al.* 1990).

Material edáfico	Velocidad (m/s)
Suelos calizos coloidales	1.06
Limo aluvial coloidal	1.52
Arcilla muy dura coloidal	1.52
Grava final	1.52

De los valores de velocidad anteriores, se seleccionó la de suelos calizos coloidales, debido es el más semejante a los tipos de suelo de Zona 1.

Cálculos de nutrientes perdidos por erosión. El cálculo de la pérdida de nutrientes en Zona 1 se realizó basado en la cantidad de nitrógeno y fósforo reportado por Cedeño y Vargas (2011) al realizar mediciones del suelo erosionado y su contenido nutricional, utilizado simulador de lluvia con una intensidad de 75 mm/h en diferentes puntos de Zona 1.

Análisis económico. El análisis económico se realizó a través de un flujo de caja donde se consideró como ingresos:

- La cantidad de nitrógeno y fósforo que se logra retener al disminuir la pérdida de suelo implementando las prácticas de conservación. Estos elementos se expresaron como Urea a un precio de US\$ 0.67/kg y (0-46-0) a US\$ 0.79/kg (FHIS 2011).
- El incremento del 30% en producción de maíz, obtenido por efecto del subsolado (Galarza 2011). La producción actual de materia fresca de maíz en Zona 1 es de 90 t/ha/año, en dos ciclos de corte/año. El precio del ensilado es de \$38.42/t⁽³⁾.
- Suelo retenido por efecto de las prácticas de conservación, con un precio de US\$ 26.3/m³ (4).
- No se toma en cuenta si habrá mejoramiento de la producción por mejoramiento del drenaje, ya que no se tienen datos al respecto.

Los costos considerados fueron:

- Elaboración de canales los canales de las terrazas de base ancha anualmente.
- Elaboración de canales primarios y secundarios cada 10 años.
- Utilización del subsolado cada 5 años (costo por hectárea de US\$ 650⁴).
- Compra, transporte y corte del bambú para la elaboración de disipadores de energía.

³Matamoras, I. 2011. Producción (t/ha/año) y precio (\$/t) de ensilado en Zona 1, Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano, Honduras. Ph.D. Profesor de Producción Animal, Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano, Honduras. Comunicación personal

⁴Arévalo, G. 2011. Precio de una tonelada de suelo vendida a la Escuela Agrícola Panamericana y costo del subsolado, Zamorano, Honduras. M.Sc. Profesor Asociado, Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano, Honduras. Comunicación personal.

- Compra de la semilla y siembra de (*Paspalum notatum*).
- Mantenimiento anual de los canales y disipadores de energía.

La vida útil de los canales primarios y secundarios se definió a 10 años, por lo que se realizará anualmente una depreciación lineal de los mismos con un valor cero de rescate. De la misma forma, se realizó la depreciación para el valor del subsolado, pero a 5 años. Finalmente utilizando el flujo neto efectivo, se determinó el VAN (valor actual neto), utilizando una tasa del 12% y la TIR (tasa interna de retorno).

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Mapa de suelos de Zona 1. Se realizaron 139 barrenaciones en Zona 1. Con los resultados se elaboró el mapa de suelos y se definieron cuatro tipos de suelos por familia textural (Cuadro 4).

Cuadro 4. Tipos de suelo por familia textural definidos en Zona 1, Escuela Agrícola Panamericana, Honduras.

Familia textural	Hectáreas
F- ^β /F+ [‡]	13.84
(M ^{&} /g ^μ)/Gg [‡]	2.68
F-/g	15.18
F-/(g-M)	3.24

^βF-: texturas con arcillas livianas (menos del 35% de arcilla);

[‡]F+: texturas con arcillas pesadas (más del 35% de arcilla).

[&]M: texturas medias.

[‡]Gg: piedra y grava.

^μg: arenas, arenas gruesas y arenas francas.

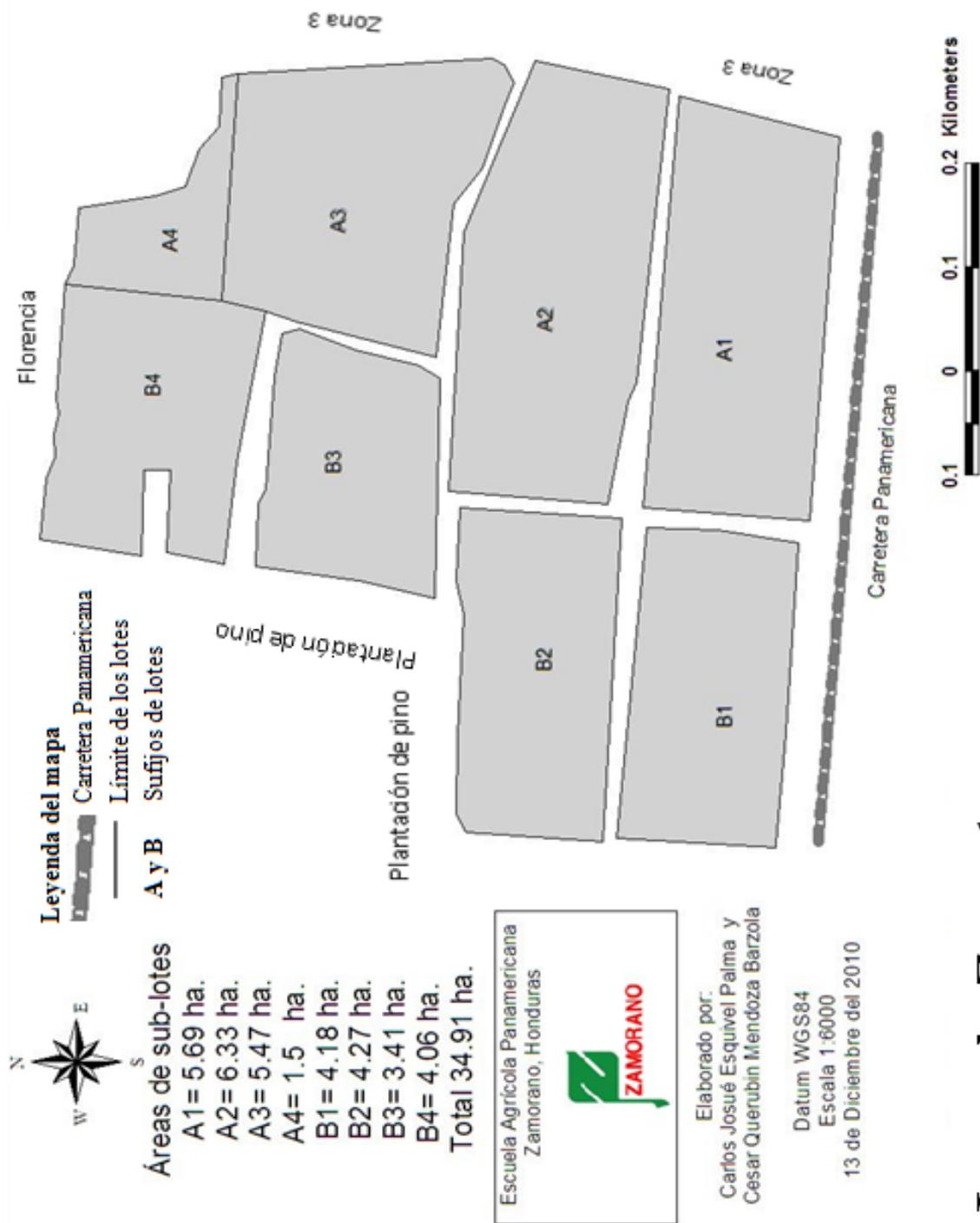
El suelo F⁻/F⁺, presentó predominancia de arcillas a una profundidad de 60 cm. El suelo (M/g)/Gg presenta suelos francos y limosos en los primeros 60 cm de profundidad y horizontes más profundos, se encontró presencia de roca entre 30% hasta 100% por volumen. El suelo F/g cuenta con horizontes superficiales del texturas franco arcillo limosas y grava con 30% por volumen, en horizontes más profundos. Por último, el suelo F/(g-M) ocurren texturas franco arcillosas, con menos de 35% de arcillas en horizontes más superficiales, horizontes intermedios arenas y los más profundos ocurren texturas limosas.

Además, se determinó la distribución de los suelos basados en profundidad efectiva. Según los resultados de las barrenaciones, el 40% del área cuenta con suelos moderadamente profundos y 13% del área presenta suelos muy superficiales (Cuadro 5).

Cuadro 5. Clasificación de suelos por profundidad efectiva de Zona 1, Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano, Honduras.

Profundidad efectiva (cm)	Hectáreas	Porcentaje del área total
Muy superficiales (<30 cm)	4.55	13
Superficiales (30-60 cm)	7.70	22
Moderados (60-90 cm)	14.00	40
Profundos (>90 cm)	8.75	25

Con los resultados anteriores, se diseñó el mapa de suelos de Zona 1 (Figura 6), en el cual se muestra la distribución de suelos en dicha área.



Lotes de Zona 1

Figura 5. Mapa de Zona 1, división y nomenclatura de los lotes.

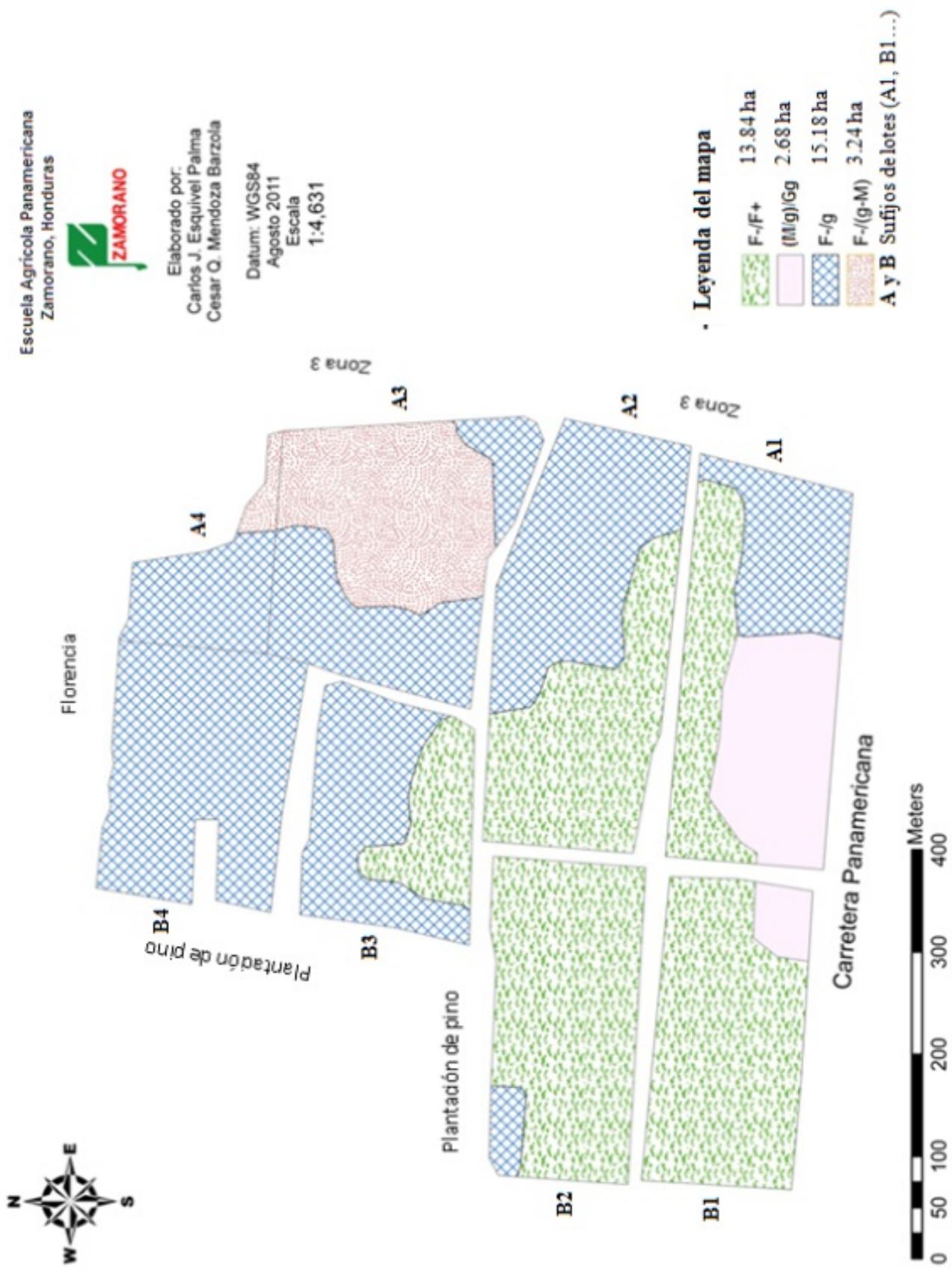


Figura 6. Mapa de suelos de Zona 1, basado en familias texturales, Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano, Honduras.

CARACTERÍSTICAS DE LOS SUELOS EN ZONA 1

Las principales limitantes en los suelos de Zona 1 fueron: drenaje interno lento, compactación del suelo, estructuras en bloques angulares no adecuadas para el desarrollo radicular, resistencia a la penetración “RP” alta $>4.5 \text{ kg/cm}^2$ y presencia de roca desde los 60 cm (Cuadro 6).

Los lotes con mayor problema de drenaje interno son el A2 y B2, ocurriendo motas pardorajizas y amarillentas, desde un 10% hasta un 27% en horizontes sub superficiales. Esto ha ocurrido por la presencia de horizontes arcillosos y compactación. Para la recuperación de estos lotes se necesita la implementación de mecanización profunda a más de 30 cm, permitiendo el movimiento del aire en el perfil y mejorando substancialmente su drenaje interno.

Las estructuras predominantes son bloques sub angulares (bsa) y bloques angulares (ba), de clase medianos y gruesos. En los (ba) y agregados gruesos, las raíces de las plantas tienden a desviarse, siguiendo los espacios inter-pedales, no favoreciendo crecimiento radicular, el flujo del xilema y floema y de igual manera el flujo de agua en el suelo se hace lenta. Los lotes B3 y B4 únicamente presentaron agregados en bsa, con clases finas y medias, siendo los más adecuados para el desarrollo de plantas y facilitando el drenaje interno.

La alta resistencia a la penetración, $>4.5 \text{ kg/cm}^2$, denota generalmente compactación del suelo en todos los lotes, excepto B3 y B4 los cuales tienen valores 2.5 kg/cm^2 (Cuadro 6). La mejor condición de suelo en estos dos lotes se debe posiblemente a la mayor cantidad de materia orgánica, 2.7% en B3 y 3.2% en B4, adecuadas para formación de estructura (Cuadro 9).

Se observó presencia de grava en el lote A1 a los 74 cm de profundidad y 100% de roca a los 87 cm. Estos suelos, 38% o 2.2 ha del lote A1 son los más superficiales y susceptibles a la pérdida de su capacidad productiva por pérdida de suelo. Además en el lote B3 la presencia de material grueso (5 cm o más de diámetro), fue en un 30% por volumen a los 64 cm de profundidad, con rocas de 5 cm.

Cuadro 6. Descripción morfológica y física de los suelos en Zona 1, Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano, Honduras.

Calicata	Coordenada	Lote	Horizonte	Profundidad (cm)	Textura ^Ω	Estructura ^v		Resistencia a la penetración (kg/cm ²)		Piedra/roca	
						Tipo	Grado	Clase	Tamaño	Cantidad	
1	x 500218 y 1548914	A1	1	0-23	FArA	bsa	m	m	3.37	---	---
			2	23.1-50	FArA	ba	m	m, g	4.5	---	---
			3	50.1-74	FA	du	m, g	3.87	---	---	
			4	74.1-87	A	d	f, m, g	>4.5	---	---	
			5	87.1-x	Roca	---	---	>4.5	Todo tamaño	100%	
2	x 500303 y 1549128	A2	1	0-28.5	F	bsa, ba	d	g	>4.5	---	
			2	28.6-43	FA	ba	d	m, g	>4.5	---	
			3	43.1-58	AF	bsa, ba	d	m	>4.5	---	
			4	58.1-x	ArA	ba	f	mg	>4.5	---	
3	x 500409 y 1549400	A3 y A4	1	0-27	F	m	f	---	>4.5	---	
			2	27.1-46	FL	bsa, ba	f	f, m, g	3.37	---	
			3	46.1-59	FL	bsa, ba	m	mf, m, g	>4.5	---	
			4	58.1-x	AF	ba	f	g	4.12	---	
4	x 499945 y 1548989	B1	1	0-36	F	ba	f	m, g	3.2	---	
			2	36.1-49	FA	bsa	m	f, m, g	4.25	---	
			3	49.1-62	FArA	bsa, ba	m	m, g	>4.5	---	
			4	62.1-x	Ar	m	d	g, mg	>4.5	---	
5	x 499948 y 1549143	B2	1	0-24	F	bsa	m	f, m	>4.5	---	
			2	24.1-44	FArL	bsa	d	m, g	>4.5	---	
			3	44.1-63	ArA	bsa	d	m, g	>4.5	---	
			4	63.1-x	ArA	bsa, ba	f	m, g	>4.5	---	
6	x 500128 y 1549317	B3	1	0-18	F	bsa	f	m, g	2.5	---	
			2	18.1-35	FArA	bsa, ba	f	m, g, f	3	---	
			3	35.1-64	FArA	bsa	f	m, f	1.93	---	
			4	64.1-x	AF	bsa	d	mf, f, g	2.43	5 cm	
7	x 500183 y 1549492	B4	1	0-37	F	bsa	d	f, m, g	3.2	---	
			2	37.1-56	FA	bsa	d	f, m	3.2	---	
			3	56.1-85	FL	bsa	m	f, m, g	1.9	---	
			4	85.1-x	FL	bsa	m	mf, f, m	1.9	---	

^ΩTextura= F: franco; Ar: arcilloso; A: arenoso; L: limoso.

^vEstructura= **Tipo**: bsa: bloques sub angulares; m: masificado ba: bloques angulares. **Grado**: m: moderado; d: débil; f: fuerte. **Clase**: m: medianos; g: gruesos; f: finos; mg: muy gruesos; mf: muy finos.

--- = Ausencia de roca.

PÉRDIDA DE SUELO EN ZONA 1

El valor de erosividad de la lluvia R, obtenido con las condiciones climáticas de Zamorano, fue de 270 (MJ/mm)/(ha × h × año). Los datos de lluvia fueron tabulados basados en la metodología de la USLE (Wischmeier y Smith 1978).

El valor de erodabilidad K fue determinado considerando las características edáficas de los suelos en Zona 1. Para ello se definió la materia orgánica, la textura y tamaño de partícula del primer horizonte, así como la estructura y conductividad hidráulica por cada horizonte. Los valores de K por lote se encuentran definidos en Cuadro 9.

Con los valores de las longitudes y pendientes de los lotes así como el nomograma (Figura 3) se determinaron los valores de LS respectivos (Cuadro 7).

Cuadro 7. Valores de longitud en metros, pendiente (%) y LS de cada lote de Zona 1, Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano, Honduras.

Lote	Longitud del lote (m)	Pendiente (%)	Valor LS ^ψ
A1	387.5	2.32	0.44
A2	406.1	1.96	0.38
A3	246.8	2.41	0.44
A4	100.0	2.69	0.36
B1	300.7	2.32	0.43
B2	311.5	2.31	0.44
B3	219.0	1.82	0.32
B4	255.3	1.56	0.30

^ψLS= valor de longitud y pendiente según nomograma (Wischmeier y Smith 1978).

El valor C de cobertura vegetal, fue determinado analizando la distribución de las lluvias y la cobertura vegetal del terreno para los diferentes estadios vegetativos de los cultivos. Los resultados obtenidos se muestran en el Cuadro 10, donde se observa que el valor anual de C es de 0.5483.

Los valores P definidos por las prácticas de conservación de suelo en los cultivos de maíz y sandía en Zona 1, fueron utilizados para determinar el valor ponderado de P (Cuadro 8).

Cuadro 8. Valores de prácticas de conservación de suelos por cultivo ponderado con base en tiempo para Zona 1, Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano, Honduras.

Cultivo	Valor de P para el cultivo ^β	Tiempo (meses)	Valor P ponderado
Maíz	0.4	6	0.7
Sandía	1.0	6	

^βTomado de (Wischmeier y Smith 1978).

Cuadro 9. Valores de erodabilidad K por lote en Zona 1, Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano, Honduras.

Lote	H ^{&}	%MO ^v	Limo (%)	Arcilla (%)	Arena (%)	AMF ^z (%)	Tamaño de partícula		Estructura ^y	CH ^e (cm/h)	Valor "b"		Valor K por lote
							"M" ^Ω	"c"			de estructura	Permeabilidad "c"	
A1	1	2.4	30	18	52	7.4	2466.1	bsa m	1.1	4	4		
	2						2466.1	ba m, g	1.0	4	4		
	3						2466.1	bsa m, g	0.8	4	4	0.24	
A2	1	2.6	26	18	56	7.0	2137.7	bsa, ba, g	2.5	4	3		
	2						2137.7	ba, m, g	0.3	4	5		
	3						2137.7	bsa, m	2.1	4	3	0.21	
A3	1	3.7	28	18	54	7.8	2302.4	masificado	0.9	4	4		
	2						2302.4	bsa, ba, f, m, g	0.4	4	5		
	3						2302.4	bsa, ba, mf, m, g	0.3	4	5	0.23	
A4	1	3.5	26	18	56	7.8	2138.4	masificado	1.5	4	4		
	2						2138.4	bsa, ba, f, m, g	0.1	4	6		
	3						2138.4	bsa, ba, mf, m, g	0.1	4	6	0.24	
B1	1	2.2	30	20	50	8.0	2406.4	ba, m, g	1.2	4	4		
	2						2406.4	bsa, f, m, g	1.1	4	4		
	3						2406.4	bsa, ba, m, g	0.3	4	5	0.25	
B2	1	2.0	28	20	52	7.2	2245.8	bsa, f, m	2.3	4	3		
	2						2245.8	bsa, m, g	1.2	4	4		
	3						2245.8	bsa, m, g	0.8	4	4	0.22	
B3	1	3.2	30	20	50	11.4	2409.1	bsa, m, g	0.6	4	4		
	2						2409.1	bsa, ba, f, m, g	0.9	4	4		
	3						2409.1	bsa, m, f	0.3	4	4	0.22	
B4	1	2.7	32	18	50	8.6	2631.1	bsa, f, m, g	0.2	4	5		
	2						2631.1	bsa, m, f	0.1	4	6		
	3						2631.1	bsa, f, m, g	0.1	4	6	0.29	

[&]H= horizonte; ^v%MO= porcentaje de materia orgánica; ^zAMF= arenas muy finas; ^ΩM= tamaño de partícula adimensional;

^eCH= conductividad hidráulica. ^yEstructura: bsa= bloques sub angulares; m= medios; ba= bloques angulares; g= gruesos; f= finos; mf= muy finos.

Cuadro 10. Valor C de cobertura por cultivo y anual, con base en la energía R de la lluvia en el año 2010 y cobertura vegetal de los cultivos y malezas en Zona 1, Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano, Honduras.

Cultivo y evento	Fecha	R ^v en el periodo (%)	Factor proporción de suelo sin cobertura		Valor de C	
			Cultivo	Malezas	Por estadio	Por cultivo y total
Maíz						
Mecanización	01-05 al 15-05	10.8	100	100	0.108	
Siembra	15-05 al 15-06	5.1	90	80	0.036	
Establecimiento (hasta 50% de cobertura)	15-06 al 30-06	17.2	50	90	0.077	
Desarrollo (50-75% de cobertura)	30-06 al 15-07	9.3	30	90	0.025	
Maduración (75-100% de cobertura)	15-07 al 15-08	9.3	30	95	0.026	0.2726
Maíz-Sorgo						
Siembra	15-08 al 23-08	11.9	90	80	0.086	
Establecimiento (hasta 50% de cobertura)	23-08 al 07-09	5.5	50	90	0.025	
Desarrollo (50-75% de cobertura)	07-09 al 22-09	10.4	30	90	0.028	
Maduración (75-100% de cobertura)	22-09 al 30-10	8.6	30	95	0.025	0.1634
Sandía						
Mecanización	30-10 al 05-12	10.6	100	100	0.106	
Emplastado	05-12 al 10-12	0.2	90	80	0.001	
Siembra	10-12 al 10-01	0.3	90	80	0.002	
Establecimiento (hasta 50% de cobertura)	10-01 al 01-02	0.0	50	90	0.000	
Desarrollo (50-75% de cobertura)	01-02 al 01-03	0.0	30	90	0.000	
Maduración (75-100% de cobertura)	01-03 al 20-03	0.0	30	95	0.000	
Residuos de cosecha	20-03 al 01-05	1.0	30	95	0.003	0.1123
					Valor C total	0.5483

^vR= energía de la lluvia, expresado como porcentaje por cada periodo.

La cantidad calculada de suelo perdido en Zona 1 fue de 9.4 t/ha/año y considerando el total de área productiva del lugar un total de 332.3 t/año (Cuadro 11).

Cuadro 11. Pérdida de suelo erosionado por lote y total, expresado como (t/ha/año) en Zona 1, Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano, Honduras.

Lote	Factores ecuación USLE ^Ω					Área por lote (ha)	Pérdida de suelo	
	R	K	LS	C	P		t/ha/año	t/lote/año
A1	270	0.24	0.44	0.54	0.70	5.7	10.9	61.8
A2	270	0.21	0.38	0.54	0.70	6.3	8.1	51.1
A3	270	0.23	0.44	0.54	0.70	5.5	10.3	56.2
A4	270	0.24	0.36	0.54	0.70	1.5	8.8	13.2
B1	270	0.25	0.43	0.54	0.70	4.2	10.9	45.7
B2	270	0.22	0.44	0.54	0.70	4.3	10.1	42.9
B3	270	0.22	0.32	0.54	0.70	3.4	7.4	25.2
B4	270	0.29	0.30	0.54	0.70	4.1	8.9	36.2
Total						34.9		332.3

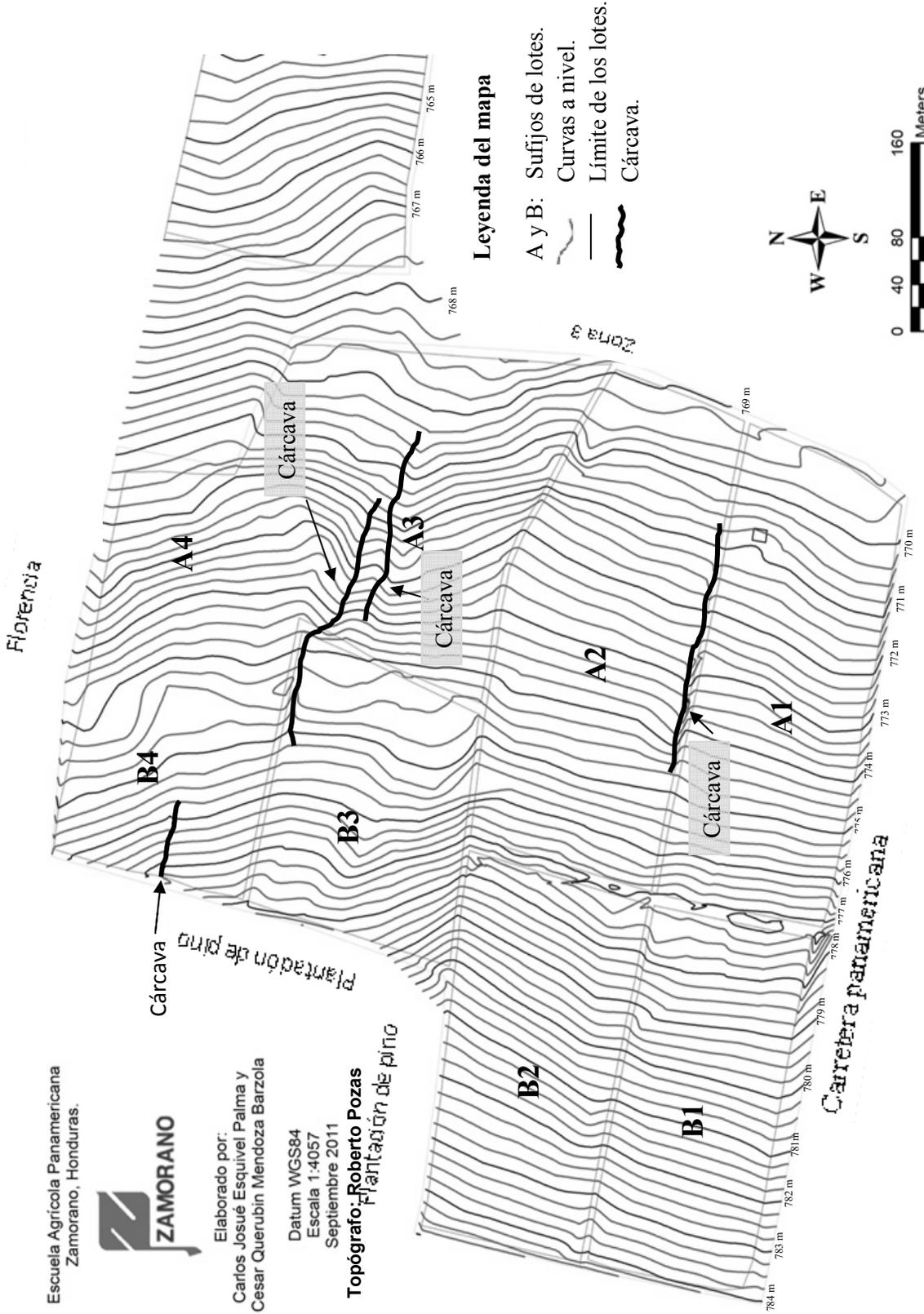
^ΩUSLE= Ecuación universal de pérdida de suelo.

En el trópico y subtrópico centroamericano se considera una pérdida máxima de 7 t/ha/año⁵. Esto indica que los niveles de erosión están en un 34.4% mayor, que el nivel permitido. Bajo este manejo, los niveles de intemperización natural no son capaces de generar la capa arable que se erosiona.

Los lotes A1, A3, B1 y B2 son los de más alta pérdida de suelo, debido a que tienen pendientes y longitudes mayores que el resto de los lotes. En el lote A1 la pérdida de suelo es 10.9 t/ha/año, y además tiene un 38.7% de suelo muy superficial (<30 cm), por lo que es el lote con mayor susceptibilidad a erosión.

La topografía del lugar denota la formación incipiente de cuatro cárcavas, donde el flujo del agua converge y fluye (Figura 7). Para evitar que estas sigan creciendo, se diseñó la evacuación del agua de escorrentía para disminuir la tasa de erosión de suelo en Zona 1.

⁵ Gauggel, C. 2011. Prácticas de conservación de suelos en el trópico. Profesor Adjunto, Ph.D., Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano, Honduras. Comunicación personal.



PRÁCTICAS DE CONSERVACIÓN DE SUELO

Las prácticas de conservación de suelo recomendadas para Zona 1 son: siembra en contorno a las curvas a nivel, elaboración de terrazas de base ancha, elaboración y recava de canales primarios y secundarios, uso de disipadores de energía del agua en los canales, y cobertura vegetal de los canales primarios.

Terrazas de base ancha. Debido a la longitud y porcentaje de pendiente en cada lote, se propone construir terrazas de base ancha para disminuir la longitud de la pendiente, distanciadas 50 m entre cada una (ecuación [1]) de manera perpendicular a la pendiente con canales a 0.3% de desnivel para drenar el agua (Figura 10) y con ello cortar la longitud de los lotes (Cuadro 12).

Cuadro 12. Terrazas de base ancha (de 50 m) a elaborar y valor de LS modificado al acortar la pendiente, Zona 1, Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano, Honduras.

Lote	LS ^ψ (modificado)
A1	0.262
A2	0.227
A3	0.271
A4	0.299
B1	0.262
B2	0.261
B3	0.216
B4	0.195

^ψLS= valor de longitud y pendiente según nomograma.

Elaborando las terrazas de base ancha, la cantidad de agua de escorrentía evacuada por cada sección de terreno, disminuye en comparación a no utilizarlas (Cuadro 13).

Cuadro 13. Áreas por lote y por terraza, factor LS y caudal de escorrentía, Zona 1, Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano, Honduras.

Lote	Actual			Terrazas			
	Área (ha)	LS ^ψ	Caudal agua de escorrentía (m ³ /s)	Área (ha)	Número de terrazas	LS	Caudal agua de escorrentía (m ³ /s)
A1	5.69	0.44	0.52	0.71	8	0.26	0.07
A2	6.33	0.38	0.58	0.79	8	0.23	0.07
A3	5.47	0.44	0.50	0.91	6	0.27	0.08
A4	1.50	0.36	0.14	0.75	2	0.30	0.07
B1	4.18	0.43	0.38	0.70	6	0.26	0.06
B2	4.27	0.44	0.39	0.71	6	0.26	0.07
B3	3.41	0.32	0.31	0.68	5	0.22	0.06
B4	4.06	0.30	0.37	0.81	5	0.20	0.07
Promedio			0.40				0.07

^ψLS= valor de longitud y pendiente según nomograma

Los valores utilizados de C e intensidad de lluvia fueron 0.548 y 60 mm/ha respectivamente. La intensidad de lluvia tiene un período de retorno de 10 años, basado en datos históricos del Fondo Hondureño de Inversión Social (FHIS 2011). En un estudio anterior realizado en Zona 1, se midió la cantidad de agua de escorrentía utilizando simuladores de lluvia en campo. Cedeño y Vargas (2011) reportan que aplicando láminas de agua por 15 minutos a una intensidad de 75 mm/h, generan escorrentías iguales al 19 al 59% del agua total aplicada (relativo al valor C), siendo menor en aquellos suelos más profundos y mayor en suelos más superficiales.

Elaboración de terrazas de base ancha y canales de evacuación de agua de escorrentía. Se diseñaron tres tipos de estructuras para evacuar agua de escorrentía: las terrazas de base ancha que conducen el agua desde los lotes hacia los canales que cortan las terrazas, los canales secundarios que reciben el agua de las terrazas y los canales primarios que recogen el agua de los secundarios, hasta conducir el agua fuera de Zona 1 (Figura 10)

Los canales de las terrazas de base ancha deben contar con un desnivel entre 0.1 al 0.5% permisible en suelos arcillosos, para permitir el drenaje del agua de escorrentía hacia los canales secundarios fuera de los lotes. Sobre las terrazas de base ancha y canales secundarios se colocarán estructuras de bambú, cada cinco metros en los canales⁶, para disminuir la energía cinética del agua. Estas serán dispuestas de tal forma, que no represen el agua sino que solo reduzcan la velocidad de la misma (Figura 8).

⁶ Gauggel, C. 2011. Prácticas de conservación de suelos en el trópico. Profesor Adjunto, Ph.D., Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano, Honduras. Comunicación personal.

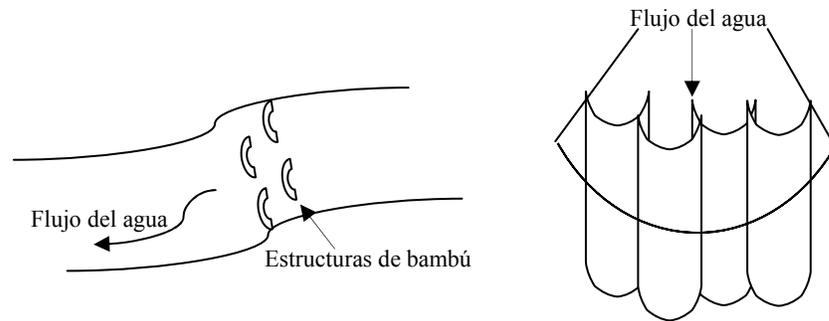


Figura 8. Diagrama del uso de bambú propuesto en los canales de las terrazas de base ancha y canales, como disipadores de energía del agua, Zona 1, Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano, Honduras.

La finalidad de tener un desnivel entre 0.1 a 0.5% en las terrazas de base ancha, es porque al utilizar maquinaria como surcadores para elaborarlas, la uniformidad en el fondo pueda ser irregular y podría provocarse que detenga el flujo del agua con pendientes menores.

Siembra en contorno. Para la siembra de maíz y sandía se recomienda realizar los surcos, contrario a la dirección de la pendiente y en dirección Norte a Sur, para disminuir la velocidad de agua de escorrentía en los lotes. En Zona 1, la longitud de los lotes a favor de la pendiente, es uno de los factores que mayor erosión genera (Cuadro 7).

Dimensiones de las terrazas de base ancha. Para determinar el tamaño de las terrazas de base ancha, se utilizó el valor promedio del caudal por parcela $0.069 \text{ m}^3/\text{s}$, 1.06 m/s como velocidad permisible del agua para los suelos arcillosos de Zona 1 (Schwab *et al.* 1990) y una profundidad $D= 0.3 \text{ m}$ de canal, obteniendo las siguientes dimensiones para los canales que cortan las terrazas (Figura 9).

- $T= 0.60 \text{ m}$
- $D=0.30 \text{ m}$.
- $t= 0.46 \text{ m}$ (nivel del agua).
- $d= 0.21 \text{ m}$ (nivel del agua), conocido como tirante.

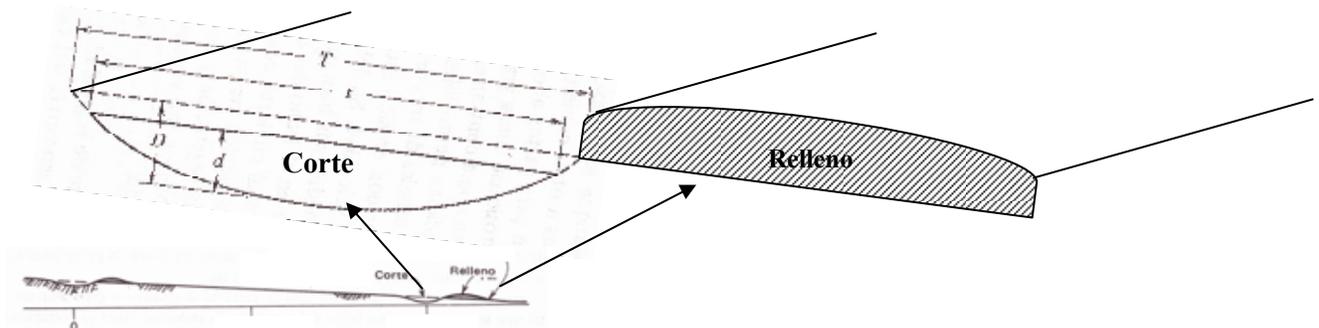


Figura 9. Diagramación de terraza de base ancha, con su área de corte y relleno tomado de (Schwab *et al.* 1990).

El relleno de las terrazas será colocado en la parte baja de las mismas, compactándose para que represen y direccionen el agua de escorrentía de los lotes.

Uso de mecanización profunda. Se recomienda el uso de subsolador para roturar los horizontes compactados, que impiden un adecuado desarrollo radicular a los cultivos y drenaje interno. El primer pase de subsolador debe realizarse a 45° en dirección de la pendiente principal y el segundo pase paralelo a la pendiente principal. Con esto se facilita el flujo de agua de escorrentía, mejora la permeabilidad de los suelos, disminuye erosión, mejora las condiciones físicas del suelo e incrementa la producción de maíz en un 30% (Galarza 2011).

DIMENSIONES DE LOS CANALES SECUNDARIOS Y PRIMARIOS DE DRENAJE

Los lotes A1, A2, A3, B1, B2, y B3 presentan un drenaje natural en dirección Sur-Este y los lotes A4 y B4 lo hacen en dirección Noreste. El agua debe ser conducida de las terrazas a los canales secundarios, para ser dirigida fuera de Zona 1, a través de los canales primarios (Figuras 10 y 11).

De igual forma que los canales que forman las terrazas de base ancha, los canales primarios y secundarios tendrán barreras de bambú a cada 5 metros (Figura 8). Además tendrán cobertura vegetal, utilizando pasto bahía (*Paspalum notatum*)⁷, el cual debe de ser sembrado en todo el cauce de los canales, para disminuir el efecto erosivo del agua al fluir en los canales. El caudal y tamaño de los canales secundarios y primarios (Figura 4) calculados para drenaje son (Cuadro 14).

⁷ Gauggel, C. 2011. Prácticas de conservación de suelos en el trópico. Profesor Adjunto, Ph.D., Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano, Honduras. Comunicación personal.

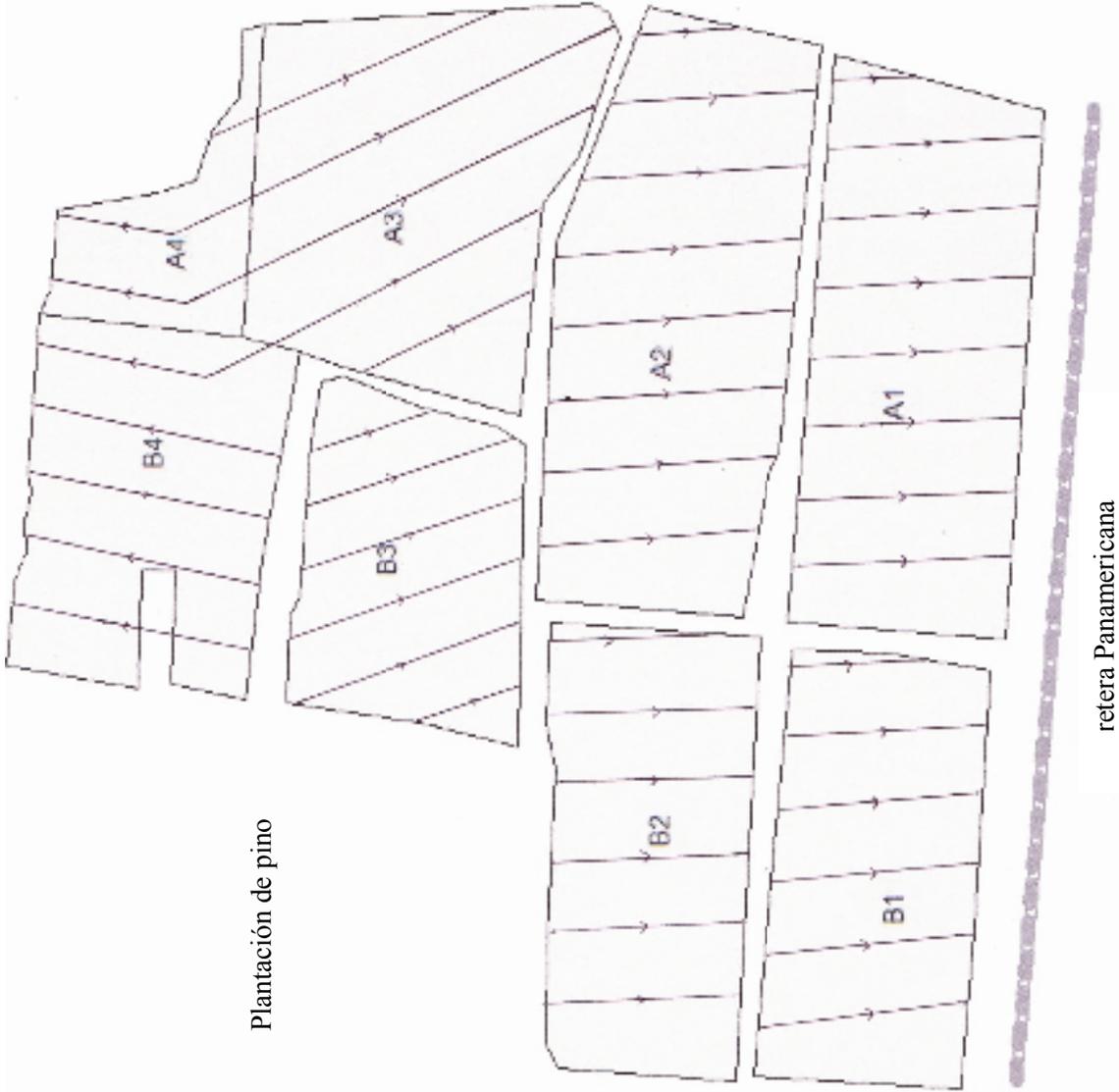
Cuadro 14. Caudal en metros cúbicos por segundo y tamaño de los canales primarios y secundarios de drenaje en Zona 1, Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano, Honduras.

Drenaje	Lote del que colecta agua	Caudal de agua en el canal primario (m ³ /s)	Dimensiones del canal			
			d (m)	t (m)	D (m)	T (m)
S1 [‡]	B1	0.382	0.45	1.20	0.64	1.72
S2	B2	0.390	0.45	1.23	0.64	1.75
S3	A1	0.520	0.45	1.63	0.64	2.34
S4	A2	0.578	0.45	1.82	0.64	2.60
S5	A1	0.520	0.45	1.63	0.64	2.34
S6	A2	0.578	0.45	1.82	0.64	2.60
S7	Área con Pinos	0.382	0.45	1.20	0.64	1.72
S8	B3/2	0.156	0.45	0.49	0.64	0.70
S9	B3/2	0.156	0.45	0.49	0.64	0.70
S10	B4 y A4	0.508	0.50	1.44	0.71	2.05
S11	A3 y B3	0.811	0.70	1.64	1.00	2.34
P1	B1, B2	0.772	0.60	1.82	0.86	2.60
P2	B1, B2	0.772	0.60	1.82	0.86	2.60
P3	B1, B2	0.772	0.60	1.82	0.86	2.60
P4	A2, A3, B3	1.390	1.00	1.97	1.43	2.81

[‡] P= canales primarios; S= canales secundarios (Figura 11).

Florencia

Plantación de pino



Leyenda del mapa

- ┘ Canal de la terraza de base ancha.
- Límite del los lotes.
- A y B: Sufijos de los lotes

Figura 10. Dirección del flujo de agua en los canales de las terrazas de base ancha.



Leyenda del mapa

-  Canal primario.
-  Canal secundario.
-  Límite del lote.
- A y B: Sufijos de los lotes
- S: Canales secundarios.
- P: Canales primarios.

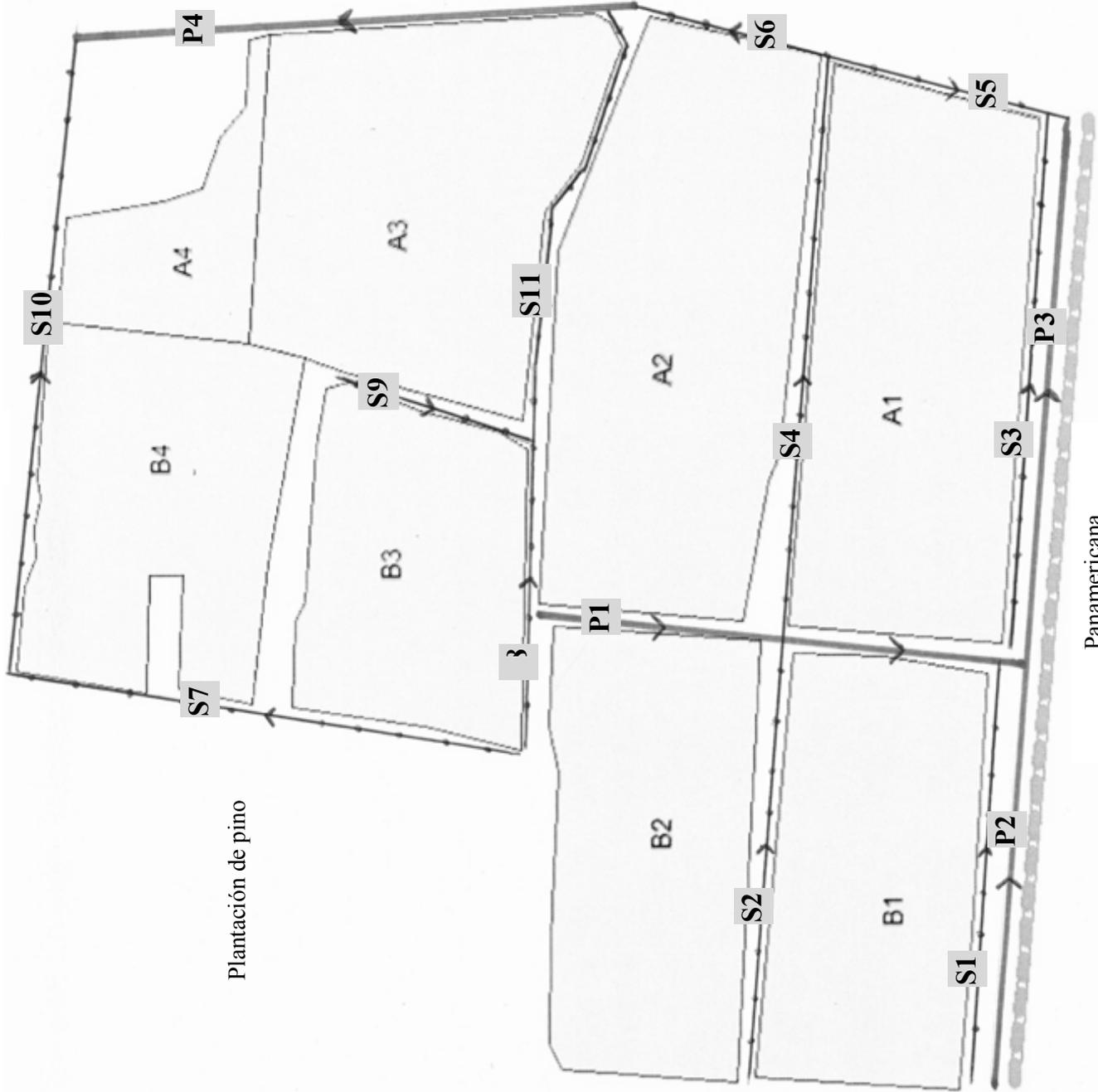


Figura 11. Dirección del flujo de agua de los canales secundarios (S) y primarios (P), Zona 1, Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano, Honduras.

Movimiento de suelo. El movimiento de suelo fue considerado basado en los tamaños de los canales primarios, secundarios y los canales de las terrazas de base ancha (Cuadros 15 y 16). Los canales S2, P1, P2 y P3 ya existen en Zona 1. Además, se determinó la cantidad de área perdida al construir los canales de las terrazas de base ancha.

Cuadro 15. Largo de los canales en metros y metros cúbicos de suelo a mover para la construcción de los drenajes primarios y secundarios en Zona 1, Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano, Honduras.

Drenaje	Condición	Largo (m)	Área transversal del canal (m ²)	Volumen de suelo (m ³)
S1	A construir	303.6	0.4	109.4
S2	Existente	315.5	0.4	0.0
S3	A construir	375.4	0.5	184.1
S4	A construir	403.4	0.5	220.1
S5	A construir	175.7	0.5	86.2
S6	A construir	127.8	0.5	69.7
S7	A construir	355.5	0.4	128.1
S8	A construir	219.7	0.1	32.3
S9	A construir	147.8	0.1	21.7
S10	A construir	447.3	0.5	214.4
S11	A construir	319.5	0.8	244.6
P1	Existente	335.5	0.7	0.0
P2	Existente	303.6	0.7	0.0
P3	Existente	381.4	0.7	0.0
P4	A construir	403.4	1.3	528.9
Total		4615.2		1839.4

Cuadro 16. Largo de los canales en metros de las terrazas de base ancha, metros cúbicos de suelo a mover y área perdida de área de siembra en metros cuadrados los lotes de Zona 1, Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano, Honduras.

Lote	Largo del canal (m)	Volumen de suelo (m ³)	Área perdida por canales de las terrazas (m ²)
A1	1126.3	69.1	675.8
A2	1495.8	91.7	897.5
A3 y A4	1453.9	89.1	872.3
B1	994.5	61.0	596.7
B2	1000.5	61.3	600.3
B3	667.0	40.9	400.2
B4	738.9	45.3	443.3
Total	7,477.0	458.4	4,486.2

Para la construcción de los canales primarios y secundarios se utilizará una retroexcavadora CAT 320D, de una potencia de 138 HP, con una autonomía de trabajo de 20.5 horas y con una capacidad de balde igual a 0.46 m³. Para la elaboración de los canales de las terrazas, se utilizará un tractor Massey Ferguson 283, de 95 HP y un surcador integral de vertedera.

Plan de mantenimiento de los drenajes. Para tener un adecuado funcionamiento de drenajes secundarios y primarios, se debe de realizar dos actividades cada año antes de la época lluviosa, las cuales son chapeado del pasto bahía y extracción de los sedimentos de suelo en el fondo de los canales. Al momento de remover los sedimentos, únicamente se deben extraer los que se encuentran en el fondo de los canales y no excavar las paredes para darles forma parabólica. El sedimento extraído de los canales, debe distribuirse en los lotes, realizando un análisis químico, para evaluar el contenido nutricional del mismo y definir donde se deben extender.

Para los canales primarios y secundarios, se debe de inspeccionar las barreras de bambú. Estas deben de ser desazolvadas con pala y restablecer aquellas quebradas por la maquinaria o que hayan sido degradadas.

Los canales S2, P2 y P3 cuentan con estructuras amortiguadoras de pendiente y no cuentan con disipadores de energía, los cuales deben implementarse, con piedras grandes distribuidas de la misma manera que los disipadores de energía construidos con bambú.

Pérdida de suelo en Zona 1, utilizando las prácticas de conservación recomendadas.

El promedio de suelo perdido por hectárea será de 0.43 t/ha/año y el total en Zona 1 será de 14.76 t/año. Comparado con la pérdida de suelo bajo el uso actual de Zona 1, se reducirán las pérdidas de suelo hasta en un 95.5% si se ejecutan todas las prácticas recomendadas de conservación de suelos (Cuadro 17).

Cuadro 17. Toneladas de suelo por hectárea por año perdidas en los lotes de Zona 1, utilizando las prácticas de conservación recomendadas, Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano, Honduras.

Lote	Factores ecuación USLE ^Ω				Área por lote (ha)	Pérdida de suelo	
	R	K	P	LS		t/ha/año	t/lote/año
A1	270	0.24	0.05	0.26	5.69	0.46	2.63
A2	270	0.21	0.05	0.23	6.33	0.34	2.18
A3	270	0.23	0.05	0.27	5.47	0.45	2.47
A4	270	0.24	0.05	0.30	1.50	0.52	0.78
B1	270	0.25	0.05	0.26	4.18	0.48	1.99
B2	270	0.22	0.05	0.26	4.27	0.43	1.82
B3	270	0.22	0.05	0.22	3.41	0.35	1.21
B4	270	0.29	0.05	0.19	4.06	0.41	1.68
Total					34.91		14.76

^ΩUSLE= Ecuación universal de pérdida de suelo.

En estudios realizados por Cedeño y Vargas (2011) en Zona 1, se determinó el nivel de erosión utilizando simulador de lluvia a intensidades de 75 mm/h, cuantificando niveles de erosión de 185.8 kg/ha de suelo y pérdidas de fosfatos y nitrógeno equivalente a 0.144 kg/ha P₂O₅ y 0.318 kg/ha N. Basado en los datos anteriores y considerando la reducción del 95.5% de erosión al utilizar las prácticas de conservación, la fertilidad del suelo rescatable es de 247 kg de P₂O₅ y 544 kg de N por año, equivalente a 11.8 quintales de DAP (18-46-0) y 21.3 quintales de Urea.

Costos de elaboración y mantenimiento del sistema de drenaje. El costo de realizar el sistema de drenajes en Zona 1 incurre en: alquiler de maquinaria para el movimiento de tierras, compra de bambú para elaborar los disipadores de energía, transporte del bambú, compra de semilla de la cobertura vegetal (*Paspalum notatum*) y mano de obra necesaria para realizar las actividades (Cuadro 18). Después de elaborado todo el sistema se realizarán prácticas de mantenimiento anualmente. Para ello se realizará desazolado de los canales primarios y secundarios, restauración de disipadores dañados, chapeado de la cobertura vegetal y elaboración de los canales de las terrazas de base ancha (Cuadro 19).

La vida útil de los canales de drenaje se consideró a 10 años, por lo que el costo de la depreciación de los mismos será distribuido en ese tiempo de manera lineal. El precio de la mano de obra se expresa como US\$ 8.06/Jornal de 8 horas (oficial al mes de enero 2011), el precio de fertilizantes según FHIA (Fondo Hondureño de Investigación Agrícola) a octubre del 2011 son US\$ 0.79/kg (0-46-0) y US\$ 0.67/kg Urea.

Cuadro 18. Costos de elaboración de las obras de conservación en Zona 1, Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano, Honduras.

Actividad	Unidad	Unidades necesarias	Costo (\$)/unidad	Total (\$)
Elaboración canales terraza de base ancha	Hora	7.5	34.7	260.6
Elaboración canales primarios	Hora	8.3	62.5	519.2
Elaboración canales secundarios	Hora	42.5	62.5	2651.7
Subsolado de Zona 1	Hectárea	69.8	650.0	45383.0
Bambú	Metro	1692.9	0.2	267.3
Corte de bambú	Jornal	10.0	8.1	80.7
Transporte de bambú	Hora	10.0	34.7	347.5
Establecimiento de bambú	Jornal	10.0	8.1	80.7
Semilla (<i>Paspalum notatum</i>)	kg	270.8	7.7	2091.0
Siembra de cobertura vegetal	Jornal	10.0	8.1	80.7
Total				51762.4

Los costos de mantenimiento del sistema de drenajes en Zona 1 y elaboración de canales de las terrazas, será anualmente. Estos costos incluyen además recuperación de disipadores de energía de bambú y de roca y chapeado de la cobertura vegetal de canales (Cuadro 19).

Cuadro 19. Costos de mantenimiento anual del sistema de drenajes en Zona 1, Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano, Honduras.

Actividad	Unidad	Unidades necesarias	Costo (\$)/unidad	Total (\$)
Mantenimiento canales primarios	Jornal	3.0	8.1	24.2
Mantenimiento canales secundarios	Jornal	7.0	8.1	56.5
Mantenimiento disipadores de bambú	Jornal	3.0	8.1	24.2
Bambú para disipadores dañados	Metro	169.3	0.2	26.7
Transporte de bambú	Hora	2.0	34.7	69.5
Desazolvado de disipadores de roca	Jornal	2.0	8.1	16.1
Elaboración canales terraza de base ancha	Hora	7.5	34.7	260.6
Chapeado del pasto bahía	Hora	7.0	8.1	56.5
Total				534.4

Al utilizar las prácticas de conservación de suelo en Zona 1 se evita la pérdida de 247 kg de P_2O_5 y 544 kg de N por año, equivalente a 537 kg de (0-46-0) y 1183 kg de Urea (Cedeño y Vargas 2011). Considerando estas cantidades de fertilizante como ingresos anuales, se generó un flujo de caja a 10 años, siendo los costos, la depreciación de los canales primarios y secundarios y el mantenimiento anual (Cuadro 20).

Considerando los resultados del flujo de caja, se observa que únicamente para el año cero se percibe un valor negativo en el flujo neto efectivo por efecto de la inversión inicial. A partir de este tiempo, los ingresos generados por la retención de fertilidad en Zona 1 se vuelven positivos. El VAN (valor actual neto) presentó un valor de US\$4,281.6 y una TIR (tasa interna de retorno) de 14%, lo que indica que el proyecto es económicamente factible realizarlo ya que existe incremento monetarios en Zona 1, así como también se promueve la sostenibilidad de los suelos a través del tiempo.

Cuadro 20. Flujo de caja generado por la fertilidad del suelo retenida bajo las prácticas de conservación de suelo y costos de elaboración del sistema de drenajes y el mantenimiento de los mismos, proyectado a 10 años (expresado en US\$).

Actividad	Años											
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
Inversión inicial elaboración de canales	-51762.4											
Capital de trabajo	-534.4											534.4
<i>Ingresos</i>												
Fósforo retenido como (0-46-0)		424.2	424.2	424.2	424.2	424.2	424.2	424.2	424.2	424.2	424.2	424.2
Nitrógeno retenido como Urea (46-0-0)		792.6	792.6	792.6	792.6	792.6	792.6	792.6	792.6	792.6	792.6	792.6
30% incremento en producción de maíz		1037.3	1037.3	1037.3	1037.3	1037.3	1037.3	1037.3	1037.3	1037.3	1037.3	1037.3
Suelo retenido por prácticas de conservación		8263.2	8263.2	8263.2	8263.2	8263.2	8263.2	8263.2	8263.2	8263.2	8263.2	8263.2
Total ingresos		10517.4	10517.4	10517.4	10517.4	10517.4	10517.4	10517.4	10517.4	10517.4	10517.4	10517.4
<i>Egresos</i>												
Depreciación canales primarios		51.9	51.9	51.9	51.9	51.9	51.9	51.9	51.9	51.9	51.9	51.9
Depreciación canales secundarios		265.2	265.2	265.2	265.2	265.2	265.2	265.2	265.2	265.2	265.2	265.2
Depreciación de subsolado		4538.5	4538.5	4538.5	4538.5	4538.5	4538.5	4538.5	4538.5	4538.5	4538.5	4538.5
Mantenimiento canales primarios		24.2	24.2	24.2	24.2	24.2	24.2	24.2	24.2	24.2	24.2	24.2
Mantenimiento canales secundarios		56.5	56.5	56.5	56.5	56.5	56.5	56.5	56.5	56.5	56.5	56.5
Mantenimiento disipadores de bambú		24.2	24.2	24.2	24.2	24.2	24.2	24.2	24.2	24.2	24.2	24.2
Bambú para disipadores dañados		26.7	26.7	26.7	26.7	26.7	26.7	26.7	26.7	26.7	26.7	26.7
Transporte de bambú		69.5	69.5	69.5	69.5	69.5	69.5	69.5	69.5	69.5	69.5	69.5
Desazolvado de disipadores de roca		16.1	16.1	16.1	16.1	16.1	16.1	16.1	16.1	16.1	16.1	16.1
Elaboración canales terraza de base ancha		260.6	260.6	260.6	260.6	260.6	260.6	260.6	260.6	260.6	260.6	260.6
Chapeado del pasto bahía		56.5	56.5	56.5	56.5	56.5	56.5	56.5	56.5	56.5	56.5	56.5
Egresos totales		5389.9	5389.9	5389.9	5389.9	5389.9	5389.9	5389.9	5389.9	5389.9	5389.9	5389.9
Utilidad neta		5127.4	5127.4	5127.4	5127.4	5127.4	5127.4	5127.4	5127.4	5127.4	5127.4	5127.4
Depreciación		4855.6	4855.6	4855.6	4855.6	4855.6	4855.6	4855.6	4855.6	4855.6	4855.6	4855.6
Flujo Neto Efectivo		-52296.8	9983.0	9983.0	9983.0	9983.0	9983.0	9983.0	9983.0	9983.0	9983.0	10517.4
VAN		\$4,281.6										
TIR		14%										

Tasa utilizada para VAN: 12%

4. CONCLUSIONES

- Bajo las condiciones actuales de manejo de Zona 1, el promedio calculado de erosión por hectárea es de 9.41 t/ha/año, lo que indica que Zona 1 se encuentra por arriba del nivel de erosión permisible (7 t/ha/año), haciendo insostenible a largo plazo la producción agrícola de dicho terreno.
- Como obras de conservación de suelos y corrección del drenaje superficial, se seleccionó diseñar terrazas de base ancha de 50 m, cortadas por canales terciarios con forma parabólica, 0.21 m de tirante, 0.3 m de profundidad y con una capacidad de evacuación de escorrentía igual a 0.069 m³/s calculados por métodos hidráulicos.
- Los valores de los factores erosivos fueron $R=270$ (MJ/mm de lluvia)/(ha × h × año), $C=0.5483$, $P=0.7$ y los factores LS y K, fueron específicas con respecto al lote estudiado.
- El costo de implementar las obras de conservación son de US\$51,762.4, con un VAN de US\$4,281.6 y una TIR de 14%.

5. RECOMENDACIONES

- Implementar las prácticas de conservación de suelo como elaboración de terrazas de base ancha, canales para la conducción del agua de escorrentía, uso de cobertura vegetal en los canales y disipadores de energía en los mismos y siembra en contorno.
- Para evacuar el agua de drenaje debe mejorarse el sistema actual de canales de 860 m y complementarse con la construcción de 1840 m de canales primarios y secundarios, utilizando estructuras de bambú para disipar la energía del agua erosiva en ellos.
- Dado el drenaje pobre del suelo como consecuencia de la masificación y la escasez de poros activos para el crecimiento de raíces y otras reacciones que se dan en el suelo, es también esencial implementar un subsoleo con profundidad efectiva de 70 cm en las 34.91 ha, lo cual mejoraría el drenaje interno del suelo al disminuir seis veces a escorrentía⁸ que se presenta bajo las condiciones del estudio.
- Se debe subsolar en toda el área de Zona 1, utilizando para ello dos pases: el primero a 45° de la dirección de la pendiente principal y el segundo paralelo a la pendiente principal, facilitando el flujo de agua de escorrentía.
- Medir el efecto del mejoramiento de drenajes, en la producción de materia fresca en el cultivo de maíz en Zona 1.
- Evaluar el mejoramiento en la producción de sandía por implementación de obras de mejoramiento y conservación de suelos y obras de drenaje.
- Incluir en el análisis económico el mejoramiento en la producción de sandía.
- Redefinir términos de contratación de arrendamiento de la tierra, para realizar estas obras o después de realizarlas.
- Con la implementación de las recomendaciones de drenaje y prácticas de conservación de suelo, la pérdida por erosión disminuirá a 0.43 t/ha/año, es decir, debajo de los niveles permisibles de erosión, promoviendo la sostenibilidad edáfica del lugar. Es indispensable que la evaluación hecha en este estudio, se haga en todas las áreas de producción en Zamorano.

⁸Gauggel, C. 2011. Prácticas de conservación de suelos en el trópico. Profesor Adjunto, Ph.D., Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano, Honduras. Comunicación personal.

6. LITERATURA CITADA

Arévalo, G; Gauggel, C. 2010. Curso de manejo de suelos y nutrición vegetal: manual de prácticas 2010. 5 ed. Tegucigalpa, Honduras, Zamorano. 75 p.

Cedeño Delgado, I. F; Vargas López, I. A. 2011. Caracterización hidrológica, de erosión y arrastre de nutrientes en suelos agrícolas bajo condiciones de simulación de lluvia, Zona 1, Zamorano, Honduras. Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano, Honduras. Proyecto especial de graduación del programa de Desarrollo Socioeconómico y Ambiente, Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano. Honduras. 34 p.

Cerda, A. 1997. Soil erosion after land abandonment in a semiarid environment of Southeastern Spain. Taylor & Francis Group 11 (2):163-176.

FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations). 2010. Centro de prensa sobre el hambre mundial (en línea). Roma, Italia, FAO. Consultado 25 de sept. 2010. Disponible en <http://www.fao.org/news/story/es/item/45291/icode/>.

FAO. 2006. Guidelines for soil description. 4th. ed. Roma, Italia, FAO. 109 p.

FHIA (Fondo Hondureño de Investigación Agrícola). 2011. Reporte semanal de precios de insumos agrícolas de honduras (en línea). Tegucigalpa, Honduras, SIMPAH. Consultado 21 de oct. 2011. Disponible en http://www.fhia.org.hn/downloads/simpah_pdfs/3._Reporte_semanal_de_precios_de_insumos_agricolas_de_Honduras.pdf.

FHIS (Fondo Hondureño de Inversión Social). 2011. Manual de referencias hidrológicas, para el diseño de obras de drenaje menor. Tegucigalpa, Honduras, INTEMAS. 136 p.

Galarza Brito, P. J. 2011. Efecto del subsoleo y cultivo de cobertura (*Dolichos lablab*) en las propiedades físicas del suelo y producción de maíz cv. 30F32WHR, Zamorano, Honduras, Tesis Lic. Ing. Agr. Honduras, Universidad Zamorano. 23 p.

Gliessman, S. R; Rosado-May, F. J; Guadarrama, C; Jedlicka, J; Cohn, A; Mendez, V. E; Cohen, R; Trujillo, L; Bacon, C; Jaffe, R. 2007. Agroecología: promoviendo una transición hacia la sostenibilidad. Revista científica y técnica de ecología y medio ambiente 16(1):13-23.

Lopez-Sánchez, J. L. 1969. Drenaje agrícola: teoría y bases de cálculo. Madrid, España, Multi Prensa. 213 p.

Ramzi K; Sharaiha, K; Ziabat, FM. 2008. Alternative Cropping Systems to Control Soil Erosion in the Arid to Semi-Arid Areas of Jordan. Taylor & Francis Group 22(1):16-28.

Schalamuk, S; Velázquez, S; Chidichimo, H; Cabello, M. 2003. Efecto de la siembra directa labranza convencional sobre la colonización micorrizica y esporulación en trigo. Boletín microbiológico Comisión de Investigaciones Científicas de la provincia de Buenos Aires 18(1):15-19.

Schwab, O, G; Frevert, R, K; Edminster, T, W; Barnes, K, K. 1990. Ingeniería de conservación de suelos y aguas. Trad. A, G. Montemayor. México, Editorial Limusa. 571 p.p

Sharafatmandrad, M; Mesdaghi, M; Bahreman, A; Barani, H. 2010. The Role of Litter in Rainfall Interception and Maintenance of superficial Soil Water Content in an Arid Rangeland in Khabr National Park in South-Eastern Iran. Taylor & Francis Group 24(1) 213.

Singh, M; Khera, K. 2009. Physical Indicators of Soil Quality in Relation to Soil Erodibility Under Different Land Uses. Taylor & Francis Group 23(2)152–167.

UNED. sf. Serie Análisis de Suelos. Costa Rica. 1 disco compacto, 8 mm.

USDA-Purdue. 1978. Predicting rainfall erosion losses: a guide of conservation planning. United States of America, USDA and Purdue. 69 p.

Velásquez Méndez, D. E. 2007. Estudio semidetallado de suelos de la parte plana de la Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano, Honduras. Tesis Lic. Ing. Agr. Honduras, Universidad Zamorano. 78 p.

Wischmeier, W. H; Smith D. D. 1978. Predicting rainfall erosion losses; a guide to conservation planning. Washington, USA, U.S. Department of Agriculture. 69 p.

