Evaluación de la calidad de los suelos y desarrollo de un plan de manejo de los terrenos de San Nicolás, Terencio Reyes y Elvin Santos de Zamorano, Honduras

Pedro José Rodríguez Mata

Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano
Honduras
Noviembre, 2014

ZAMORANO
CARRERA DE INGENIERÍA AGRONÓMICA

Evaluación de la calidad de los suelos y desarrollo de un plan de manejo de los terrenos de San Nicolás, Terencio Reyes y Elvin Santos de Zamorano, Honduras

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

Presentado por

Pedro José Rodríguez Mata

Zamorano, Honduras
Noviembre, 2014

Evaluación de la calidad de los suelos y desarrollo de un plan de manejo de los terrenos de San Nicolás, Terencio Reyes y Elvin Santos de Zamorano, Honduras

Pedro José Rodríguez Mata

Resumen: El estudio consistió en la evaluación de la calidad de los terrenos de San Nicolás, Elvin Santos y Terencio Reyes con base en índices de calidad actual y potencial, y clases de aptitud de suelo. Se calculó la erosión del área mediante la ecuación USLE y se determinaron las necesidades de manejo en los lotes estudiados. Los resultados obtenidos fueron de un índice de calidad muy bajo de 14 que equivale a 43% de calidad de suelo. Los suelos pueden tener una mejora del 18% aplicando prácticas como subsoleo, enmiendas de pH y sistemas de evacuación de agua. El 64% de los lotes del área de estudio cuenta con una clase IV que equivale a suelos con fuertes limitaciones que requieren prácticas muy intensivas para su uso agrícola. El 36% restante cuenta con una aptitud clase III con moderadas limitaciones para uso agrícola. Potencialmente el área de estudio puede llegar a ser Clase II en el 51% de su extensión, lo que equivale a suelos con limitaciones leves para producción agrícola y que las prácticas para manejo de estos no representan un costo significativo. Se encontró una erosión promedio de 8.8 ton.ha^{-1}.año^{-1}, sin embargo solo el terreno de Elvin Santos necesita un sistema de evacuación de agua. Se evidenció necesidad de subsoleo para descompactar los terrenos del área de estudio, pudiendo llegar a tener una profundidad efectiva potencial de 71 cm.

Palabras claves: Aptitud de suelos actual y potencial, índices de calidad actual y potencial, USLE.

Abstract: The present study evaluated the quality of the lands of San Nicolás, Elvin Santos and Terencio Reyes areas, based on current, potential indices and soil suitability classification. Erosion was calculated by USLE equation and management needs were determined. Results showed a quality index of 14, representing a soil quality of 43%. Potential implementation of practices such as subsoiling, pH amendments and water evacuation systems suggested improvements of 18%. A 64% of the studied plots were classified into Class IV, which corresponded to soils with strong limitations requiring intensive practices for agricultural use. The remaining 36% was classified into Class III with moderate limitations for agricultural use. A 51% of the studied area can be classified into Class II, corresponding to soils with slight limitations for agricultural use and managements practices that do not represent a significant cost. Average erosion of 8.8 ha^{-1}.year^{-1} was determined, however only Elvin Santos area required a water evaluation system. Subsoiling requirements to decompact soils of the studied area were observed, with an effective depth of 71 cm.

Key words: Actual and potential soil capacity, actual and potential soil indexs, 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 16

4 CONCLUSIONES..... 42

5 RECOMENDACIONES..... 43

6 LITERATURA CITADA 44

ÍNDICE DE CUADROS Y FIGURAS

Cuadros Página

1. Áreas para la evaluación de la calidad de los suelos de la Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano, Honduras……..... 4
2. Agrupamiento de las texturas por clases texturales…….. 4
3. Rangos de textura para densidad aparente…… 5
4. Parámetros para estimar la conductividad hidráulica……... 6
5. Valores de precipitación mensual históricos desde el año 1942 hasta el 2013 de la Escuela Agrícola Panamericana, El Zamorano, Honduras. Utilizados para el cálculo de la erosividad…….. 7
6. Valores utilizados en la ecuación de erodabilidad del suelo, con base a su estructura……... 8
7. Valores utilizados en la ecuación de erosión del suelo, para las velocidades de infiltración del agua…….. 8
8. Clasificación de los suelos según su índice de calidad……. 10
9. Índices de calidad asignados por cada característica…… 11
10. Parámetros para la clasificación de suelos según su aptitud……. 12
11. Dosis de cal para ajuste de pH (Gauggel 2003)..…… 14
12. Requerimientos del cultivo de maíz para una producción de 40 toneladas de ensilaje……. 14
13. Requerimiento en kg. ha^{-1} para una producción estimada de 54,500 kg de fruto fresco de Sandía *Var. Millionaire*…….. 15
14. Familia textural y calicata para desarrollo de plan de manejo en los terrenos de San Nicolás, Terencio Reyes y Elvin Santos de la Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano, Honduras…… 16
15. Descripción de las principales características morfológicas de los suelos del área de San Nicolás, Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano, Honduras……. 19
16. Descripción de las principales características morfológicas de los suelos del área de San Nicolás, Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano, Honduras……. 20
17. Descripción de las principales características morfológicas de los suelo del área de Elvin Santos y Terencio Reyes de la Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano, Honduras……. 21
18. Valores de Conductividad Hidráulica de San Nicolás, Elvin Santos y Terencio Reyes de la escuela Agrícola Panamericana, Zamorano, Honduras……... 22
19. Valores de erodabilidad para los lotes de San Nicolás, Terencio reyes y Elvin Santos de la Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano Honduras……... 23

20. Valores LS para los lotes de San Nicolás, Elvin Santos y Terencio Reyes de la escuela Agrícola Panamericana, Zamorano, Honduras…. 24
21. Valor C de los terrenos de San Nicolás, Elvin Santos y Terencio Reyes de la Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano, Honduras.... 27
22. Calculo la pérdida de suelo por erosión según la ecuación USLE en los terrenos de San Nicolás, Elvin Santos y Terencio Reyes, Zamorano, Honduras……. 28
23. Índices de calidad actual y potencial de los terrenos de San Nicolás, Elvin Santos y Terencio Reyes……. 29
24. Clases de aptitud de suelos actual y potencial basados en su subclase limitante en los lotes de San Nicolás, Elvin Santos y Terencio Reyes de la Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano, Honduras……... 32
25. Datos de pendiente de los lotes de San Nicolás, Elvin Santos y Terencio Reyes de la Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano, Honduras……..... 36
26. Necesidades de encalamiento en los terrenos de San Nicolás, Elvin Santos y Terencio Reyes de la Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano, Honduras……. 36
27. Principales características químicas de los terrenos de San Nicolás, Terencio Reyes y Elvin Santos de la Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano, Honduras…… 37
28. Propuesta de fertilización de maíz para ensilaje con una producción estimada de 40 $t.ha^{-1}$ para los terrenos de San Nicolás, Terencio Reyes y Elvin Santos de la Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano, Honduras……. 38
29. Propuesta de fertilización de Sandía para los terrenos de San Nicolás, Terencio Reyes y Elvin Santos de la Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano, Honduras……. 39
30. Costo de la encalamiento en las áreas de San Nicolás, Terencio Reyes y Elvin Santos de la Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano, Honduras……. 40
31. Costo de subsolar en las áreas de San Nicolás, Terencio Reyes y Elvin Santos de la Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano, Honduras……..... 41

Figuras Página

1. Área de estudio para la creación del plan de manejo en los lotes San Nicolás, Terencio Reyes y Elvin Santos de la Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano, Honduras…… 3
2. Nomograma para determinar el valor LS en la USLE, utilizando los valores de longitud (metros) y porcentaje de pendiente……..... 9
3. Mapa de familias texturales en los terrenos de San Nicolás, Terencio Reyes y Elvin Santos de la Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano, Honduras……. 18

4. Mapa de los porcentajes de pendiente de las áreas de San Nicolás, Elvin Santos y Terencio Reyes de la escuela Agrícola Panamericana, Zamorano, Honduras……. 25
5. Mapa de curvas a nivel con un distanciamiento de 1 metro de los terrenos de San Nicolás, Terencio Reyes y Elvin Santos de la Escuela Agricola Panamericana, Zamorano, Honduras…… 26
6. Mapa de los índices de calidad actual de los terrenos de San Nicolás, Elvin Santos y Terencio Reyes de la Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano, Honduras……. 30
7. Mapa de los índices de calidad potencial de los terrenos de San Nicolás, Elvin Santos y Terencio Reyes de la Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano, Honduras…… 31
8. Mapa de clases de aptitud actual de los terrenos de San Nicolás, Elvin Santos y Terencio Reyes de la Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano, Honduras……. 33
9. Mapa de clases de aptitud potencial de los terrenos de San Nicolás, Elvin Santos y Terencio Reyes de la Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano, Honduras……. 34

1. INTRODUCCIÓN

En la actualidad, el recurso suelo constituye uno de los principales factores limitantes de la agricultura. Además el incremento sostenido de la tasa de crecimiento poblacional ha comenzado a ejercer una mayor presión sobre el recurso suelo, lo que ha traído como consecuencia una ampliación de fronteras agrícolas mediante la destrucción de bosques y zonas protegidas para alimentar a la población actual. Esto ha expuesto un sin número de suelos a degradación, es por esto que se deben tomar acciones que puedan disminuir y reparar el daño que están sufriendo los suelos actualmente. Una de las soluciones factibles es la implementación de planes de manejo orientados a reducir la pérdida de la calidad de los suelos y su fertilidad. Un plan de manejo no solo consiste en un estudio de suelos, sino que involucra un manejo integrado del cultivo, una adecuada mecanización, uso de fertilizantes, diseño de drenaje, entre otros (Porta *et al*. 2008).

A pesar de constituir el punto de partida para la mayoría de los cultivos en la actualidad, el recurso suelo no es considerado como tal ni recibe la importancia que se le da otros recursos, como son el recurso agua, las reservas naturales o incluso el factor clima. El suelo, al constituir el sustrato de anclaje y la principal fuente de alimentación de una planta, debe ser visualizado como un organismo vivo en lugar de como un material inerte y asimismo debe determinar el diseño de los planes de manejo integrados y sostenibles en el mediano y largo plazo (ATTRA 2004).

Los estudios de suelos son la herramienta clave para poder realizar un adecuado plan de manejo de los mismos y están basados en el análisis de sus características morfológicas, propiedades físicas, químicas y su interacción, las cuales determinarán el manejo que se le debería dar al suelo. Organizar los suelos según su aptitud e índices de calidad permitirá agruparlos en distintas clases bajo un mismo tipo de manejo (Porta *et al*. 2003).

A pesar que un estudio de suelos representa una valiosa fuente de información, ésta debe ser acompañada de un plan de manejo adecuado. El objetivo de un plan de manejo es maximizar las capacidades de usos de los suelos mediante la aplicación de fertilizantes, enmiendas y utilización de maquinaria cuando sea requerida y contemplando el incremento de la productividad de manera sostenible en el largo plazo. Para esto se deben reducir y controlar factores como erosión, acidificación o lixiviación de nutrientes (Arévalo y Castellanos 2011).

Zamorano cuenta con estudios de suelos de la mayoría de sus tierras agrícolas que han seguido la metodología para descripción y levantamiento de suelos de la FAO 2009 (Barahona Flores 2000, Calderón Quishpe 2007, Castro Vargas 2003, Fernández Díaz 2003, López Aguilar 2003, Pantoja Guamán 2005, Terrones Cano 2003, Velásquez

Méndez 2007), sin embargo son pocas las áreas agrícolas en donde se cuenta con planes de manejo específicos que controlen todos los factores que pueden degradar los suelos, asegurando su uso sostenible a largo plazo (Bustos Estévez y Chicaiza Guishcaso 2011, Esquivel Palma y Mendoza Barzola 2011, Galarza Brito 2011, Guerra Serrano y Mendieta Servellón 2011, Mendoza Aguilar 2008, Lovo Silva *et al*. 2013).

A partir de estos estudios se vio la gran importancia de complementar los resultados de los levantamientos con una calificación numérica que permita entender mejor la necesidad de enfocar el manejo de los suelos hacia unos aspectos específicos en cada caso particular. Es así como Lovo *et al.* 2013 aplican la metodología desarrollada por Gauggel *et al.* 2009 en la calificación de las condiciones de suelos a través de los índices de calidad.

Aprovechando el cambio estratégico de producción de caña de azúcar a sandía (*Citrillus Lanatus*) en el verano y maíz en el invierno en los lotes de San Nicolás, Terencio Reyes y Elvin Santos se desarrollara un plan específico para el manejo de suelos en estos lotes para así poder mantener su calidad y fertilidad a largo plazo.

Los objetivos de la investigación fueron evaluar la calidad actual y potencial de los suelos, y desarrollar un plan de manejo para asegurar su sostenibilidad y aumentar la capacidad productiva de los terrenos de San Nicolás, Terencio Reyes y Elvin Santos de Zamorano, Honduras. También se pretendió evaluar la calidad y aptitud actual y potencial de los suelos en el área de estudio, se calcularon las pérdidas por erosión, se desarrolló un plan de manejo nutricional para los cultivos que son sembrados en esta área que permita mantener la calidad del suelo y mejorar la productividad del cultivo. Además se determinó el costo relacionado a las enmiendas que se recomiendan en el plan de manejo.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

Localización de la zona de estudio. El estudio se realizó en terrenos del área agrícola de la Escuela Agrícola Panamericana, El Zamorano, localizada a 30 km. de Tegucigalpa, Honduras, a 800 msnm, con una temperatura y precipitación promedio anual de 24.5º C y de 1,200 mm respectivamente (Figura 1). El estudio se realizó en una extensión de 51.7 hectáreas conformadas por diferentes lotes (Cuadro 1). El estudio en campo se realizó durante los meses de agosto a mediados de septiembre del 2014, durante la temporada de canícula (sequía).

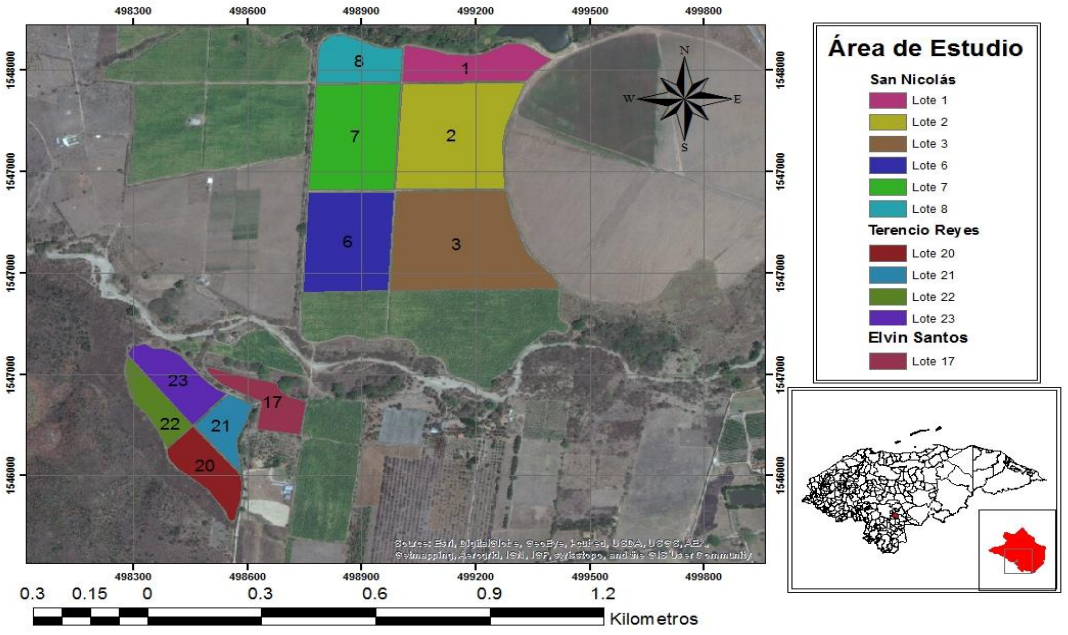

Figura 1. Área de estudio para la creación del plan de manejo en los lotes San Nicolás, Terencio Reyes y Elvin Santos de la Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano, Honduras.

Cuadro 1. Áreas para la evaluación de la calidad de los suelos de la Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano, Honduras.

Nombre del terreno	N° Lote	Área (Ha)
San Nicolás	1	3.1
	2	8.8
	3	10.2
	6	6.5
	7	6.8
	8	2.5
Elvin Santos	17	5.5
Terencio Reyes	20	2.4
	21	1.6
	22	1.7
	Total	**51.7**

Recopilación de la información. Se procedió a realizar una barrenación cada tres hectáreas utilizando un barreno holandés, por lo que se trató de un estudio detallado de suelos. En cada barrenación se determinaron condiciones de textura, grosor de horizonte, profundidad efectiva del suelo, número de horizontes y su respectivo color. Con base en esta información se definieron las clases por familia textural (Cuadro 2) (Arévalo y Gauggel 2008).

Cuadro 2. Agrupamiento de las texturas por clases texturales.

Textura	Familia Textural	Símbolo
Fragmentos de roca, roca, gravilla	Muy Gruesa	Gg
Arenosa, Arenosa Franca	Gruesa	G
Franca, Franco Limosa ,Limosa	Media	M
Franco Arcillosa con < 35% de Ar	Fina	F-
Franco Arcillosa y Arcillosas con <35% de Arcilla	Muy Fina	F+

Fuente: (Arévalo y Gauggel 2008).

Se integró este resultado utilizando el programa ArkGIS 10.0 para el correspondiente mapa de suelos. En las familias texturales más representativa se realizaron calicatas de un metro de largo por un metro de ancho, y su profundidad dependió de la ubicación del material parental. Cada calicata representa un suelo específico.

En cada calicata se estudiaron las propiedades de cada horizonte siendo estas morfológicas físicas y químicas las cuales fueron únicamente en el primer horizonte. También se evaluó si la profundidad efectiva del suelo es adecuada, si existe algún horizonte limitante, si las

condiciones de humedad y aireación son adecuadas para la producción del cultivo y asimismo se observó el drenaje superficial. Luego se obtuvieron muestras de suelo de cada calicata, las cuales fueron enviadas al laboratorio de suelos de la Escuela Agrícola Panamericana para analizar las condiciones de textura (Método de Bouyoucus), pH (relación suelo – agua 1:1), materia orgánica (metodo de Walkley & Black), y el contenido de elementos K, Ca, Mg, Cu, Fe, Mn, Zn (solución extractora Mehlich 3, determinados por espectofometría de absorción atómica), P (solución extractora Mehlich 3 , determinado por colorimetría), B, S (solución extractora de fosfato de calcio, determinados por colorimetría) y porcentaje de Nitrógeno total (corresponderá al 5% de la materia orgánica). Métodos los describe (Arévalo y Gauggel 2008).

También se calculó la densidad aparente y real de cada muestra utilizando el set de muestras que no haya sido procesada, ya que esta destruye el espacio poroso natural. Se utilizó el método de la probeta descrito por Arévalo y Gauggel 2008 y este valor se utilizó para el primer horizonte de cada familia textural. Para calcular la densidad aparente del resto de horizontes se utilizó la textura de acuerdo a los rangos de densidad aparente establecidos por cada textura (Cuadro 3).

Cuadro 3. Rangos de textura para densidad aparente.

Textura Densidad Aparente (Mg/m³)	**Densidad Aparente (Mg/m³)**
Arena	1.8 a 1.9
Franco Arenoso Grueso	1.6 a 1.7
Franco Arenoso	1.5 a1.6
Franco	1.3 a 1.4
Franco Arcilloso	1.2 a 1.3
Arcilloso	1.1 a 1.2
Franco de Ceniza Volcánica	0.85
Materia Orgánica Descompuesta	0.1 a 0.6

Fuente: Sumner 2000

Para calcular la conductividad hidráulica de cada horizonte en todas las calicata se utilizó el método desarrollado por Landon (1991). En él se determina la conductividad hidráulica del suelo mediante su textura y estructura (Cuadro 4).

Cuadro 4. Parámetros para estimar la conductividad hidráulica.

Textura	Estructura	m/día
Arena Gruesa Grava	Granulo simple	12 o mas
Arena Media	Granulo simple	6.0 - 12.0
Arena Limosa, Arena fina	Granulo simple, migajosa media	3.0 - 6.0
Arena Limosa Fina, Arena limosa	Bloque subangular y granular grueso, migajosa fina	1.5 – 3
Arcillo limosa ligeras, Franca, franco limosas, limo arenoso bien fino, limo	Prisma medio, Bloque subangular	0.5 - 1.5
Arcilla, arcillo franco, arcillo arenoso, franco arcillo limoso, franco arcilloso, franco limoso, franco, areno arcillo limo	Prisma fino y medio bloque angular, placas	0.1 -0.5
Arcilla, limo arcilla, franco arcilloso, franco arcillo arenoso	Prisma fino y muy fino, Bloque angular, Placas	0.1 - .05
arcilla, arcilla pesada	Masivo, columnas fina y muy fina	0.05 o menos

Fuente: Landon, 1991. Traducido por el autor

Calculo de erosión. Se calcularon las pérdidas de suelo utilizando la Ecuación Universal de Pérdida de Suelo (Wischmeier y Smith 1978). Esta ecuación está basada en analizar las características edáficas-climáticas del lugar, con el fin de determinar cuántas toneladas de suelos se pierden por hectárea por año [1]. Esto sirvió de parámetro para determinar si se existían necesidades de drenaje en las áreas de estudio.

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

En donde:

A= Suelo perdido (t/ha/año).
R= Erosividad de la lluvia y escorrentía (MJ/mm) / (ha×h×año).
K= Erodabilidad del suelo o susceptibilidad a erosionarse (ton de suelo/ (MJ×mm).
LS= Factor 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" es la energía que es capaz de causar erosividad en el suelo y está dada en (MJ/mm)/ (ha/hora/año). Se calculó utilizando los datos históricos

climatológicos (Cuadro 5) de la Escuela Agrícola Panamericana, El Zamorano (Alcayaga H. *et al.* 2000) [2].

$$\text{Rmes} = 0.23 \times \text{PPmes}^{1.33} \qquad [2]$$

PPmes = precipitación promedio mensual en los meses lluviosos

El factor R entonces se calcula [3]

$$R = \frac{\sum \text{Rmes}}{\text{Número de meses con lluvia}} \qquad [3]$$

Cuadro 5. Valores de precipitación mensual históricos desde el año 1942 hasta el 2013 de la Escuela Agrícola Panamericana, El Zamorano, Honduras. Utilizados para el cálculo de la erosividad.

Precipitación promedio mensual												**Total**
En.	**Febr.**	**Mzo.**	**Abr.**	**My.**	**Jun.**	**Jul.**	**Ag.**	**Sept.**	**Oct.**	**Nov.**	**Dic.**	
12	7.5	11.8	36.1	151.9	195.1	142.2	144	197	149.2	45.4	17.4	1,098

Fuente: Unidad de maquinaria y riego de la Escuela Agrícola Panamericana, El Zamorano, Honduras.

Factor "K" de erodabilidad. El valor "K" cuantifica la susceptibilidad de un suelo a erosionarse, dependiendo de sus propiedades físicas y químicas. Estas son principalmente presencia de arenas finas y limo, porcentaje de materia orgánica, estructura del suelo y su permeabilidad. La cual se expresa en la ecuación [4] (Wischmeier y Smith 1978).

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

K= Erodabilidad del suelo (t/h)/ (MJ/mm).
% M.O.= Porcentaje de la materia orgánica del primer horizonte.
M =Tamaño medio de la partícula (% de limo + % arenas muy finas (0.05 a 0.1mm) × (100 - % de arcilla).
b = Valor de estructura del suelo. (Cuadro 6)
c = Valor de permeabilidad del suelo. (Cuadro 7)

En el laboratorio de suelos la Escuela Agrícola Panamericana, El Zamorano (LSZ) se determinó el tamaño de partículas mediante el método de Bouyoucus (Arévalo y Gauggel 2008) y tamizado de arenas con cribas. Para determinar el porcentaje de arenas muy finas (0.05 a 0.1 mm), el suelo sedimentado a los 40 seg. en la prueba de Bouyoucus fue secado en horno a 105° C por 24 horas. Posteriormente se tamizaron las arenas, mediante este proceso se determinó la cantidad porcentual de arenas muy finas en cada muestra.

El valor de la estructura del suelo (b) fue tomado de las descripciones de los perfiles de las calicatas. En las cuales se determinó el grado, tipo y clase de los agregados en el suelo, para así poder determinar el valor respectivo del parámetro expresado en el Cuadro 6 (Wischmeier y Smith 1978).

Cuadro 6. Valores utilizados en la ecuación de erodabilidad del suelo, con base a su estructura.

Estructura del suelo	Valores "b" para la ecuación
Granular muy fino	1
Granular fino	2
Granular grueso	3
Bloques angulares, bloques sub angulares, laminar y masivo	4

Fuente: Wischmeier y Smith 1978

El valor de la permeabilidad del suelo se utilizó estimando la conductividad hidráulica, utilizando los valores del cuadro 4. Posteriormente se le asignó el valor para la ecuación dependiendo de la velocidad de la permeabilidad del suelo (Cuadro 7).

Cuadro 7. Valores utilizados en la ecuación de erosión del suelo, para las velocidades de infiltración del agua

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

Fuente: Wischmeier y Smith 1978

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. Utilizando el programa ArcGIS 10.0 se creó un mapa de porcentajes de pendiente para así determinar ambos valores. Luego se utilizó el nomograma de la USLE (Figura 3), para determinar el valor "LS" por cada lote (Wischmeier y Smith 1978). También se realizó un mapa de curvas a nivel para determinar las direcciones de las pendientes.

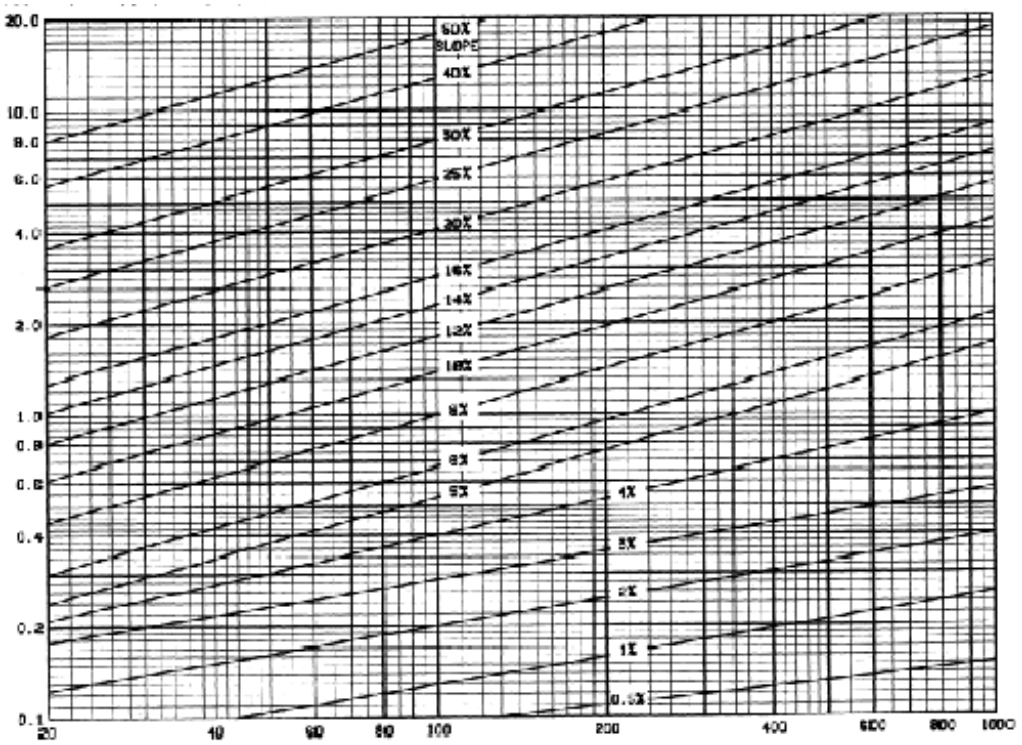

Figura 2. Nomograma para determinar el valor LS en la USLE, utilizando los valores de longitud (metros) y porcentaje de pendiente
(Wischmeier y Smith 1978).

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 tiempo que iban a tomar las prácticas de mecanización, siembra, desarrollo y cosecha. Con base en los estadíos vegetativos de los cultivos se estimó el tiempo que iban tomar en cubrir el terreno (a 0-50%, 50-75%, 75-100% de cobertura del cultivo y al momento de cosecha). Tomando en cuenta que en el cultivo de sandía se produce con camas emplásticas se tomó un 90% de cobertura luego que esta actividad haya sido realizada.

Con los datos pluviométricos históricos de la Escuela Agrícola Panamericana, El Zamorano, se calcularon la energía total de la lluvia en base a porcentaje que impacta el suelo en cada etapa que se encuentre el cultivo dependiendo de los días que dure cada una de estas etapas.

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. Para terminar se sumó los valores de cada estadio del cultivo y también el valor C que tendrían los terrenos a lo largo del año. (Wischmeier y Smith 1978).

Determinación del factor "P". El valor P se define con base en las prácticas que se van a realizar para disminuir la pérdida por erosión en un terreno, mediante la disminución de la velocidad con la que corre el agua y de la cantidad de suelo que esta puede cargar. Esta será

diferente dependiendo del cultivo y de las prácticas que se requieran. Para definir los valores del cultivo se tomaron los valores P estipulados para los cultivos de maíz y sandía de Wischmeier y Smith 1978. Luego de definir el respectivo P para cada cultivo este se ponderó con base al ciclo de cada cultivo.

Calificación de los lotes según su índice de calidad de suelo. Los índices de calidad permiten evaluar la condición de los suelos e identificar las condiciones que se pueden mejorar. Con base en esta evaluación se diseñaron los planes de manejo. Una vez obtenida la información de los lotes del área de estudio, el análisis de los índices de calidad de los suelos (Gauggel *et al.* 2009) proporcionó valiosa información para conocer el estado actual de los suelos en estudio. Barahona Flores 2000 calificó algunos suelos de este sector usando esta metodología, la cual permitió establecer si ha habido cambios en la calidad de suelo desde esa época.

Así mismo, ésta herramienta permitió determinar el estado potencial en el cual podrían estar los suelos con la aplicación óptima de enmiendas como encalamiento, sub-soleo, aplicaciones de materia orgánica, y mejora de drenaje. Esta metodología permitió cuantificar el límite productivo del suelo para realizar las prácticas de adecuación.

Las características en evaluación para la obtención del índice de calidad actual y potencial fueron: textura, estructura, resistencia a la penetración, profundidad efectiva, conductividad hidráulica, fragmentos gruesos, densidad aparente, y erosión. Éstos serán calculados a través de la asignación de un valor ponderado a cada uno de los horizontes del perfil. Posteriormente a cada una de las características del horizonte se le otorgará un valor asignado por método de evaluación, el cual será multiplicado por el valor ponderado del horizonte, obteniendo así un valor representativo en cada horizonte relativo a su espesor y la profundidad del perfil de suelo.

Cuadro 8. Clasificación de los suelos según su índice de calidad.

Índice de calidad de suelos	**Calidad de suelos**
>30	Alta
25-30	media
15-25	baja
<15	muy baja

Fuente: Guaggel *et al* 2009

La sumatoria de éstos representó el valor de índice de calidad actual del suelo. El mismo procedimiento se realizará utilizando los valores que se obtendrían si se realizaran las prácticas de adecuación que necesitara el suelo, generando así el índice de calidad potencial.

Para estimar los valores potenciales se utilizaron datos de un estudio previo realizado en lotes lotes de Zorrales, Zona II y San Nicolás de la Escuela Agrícola Panamericana la cual muestra que mediante el subsoleo se pueden obtener mejoras significativas en la estructura,

profundidad efectiva, y el drenaje interno, también se vio una reducción en la densidad aparente del suelo y una mayor penetración de raíces (Pantoja Guamán 2005).

Cuadro 9. Índices de calidad asignados por cada característica.

Índice	Textura	Estructura	RP (kg/cm²)	Prof. Efectiva cm	Frag. Gruesos (%)	Conductividad Hidráulica (m.dia⁻¹)	Densidad Aparente (Mg/cm³)	Erosión (Valor K)
10	F	G	0-1.75	>120	<0.1	0.5-1.5		<0.09
9	FL	bsmf			0.1-1	6.1-12	1.1-1.3	
8	FArL	bamf,baf,bsf	1.75-2.3	90-119		1.5-3	>1	0.1-0.19
7	Amf, Af, FAr<35%	baf				3.1-6	1.3-1.4	0.2-0.29
6	FA	bam, bsm, prmf		60-89	1.1-3			
5	Am	bsg, bsmg			3.1-15		1.41-1.5	0.3-0.39
4	Ag, FAr>35%	prf, prmf, bag, bamg	2.3-3.25	30-59			1.51-1.6	
3	ArL, ArA	prm			15-50	0.1-0.05		
2	Ar, L, AF	prm	3.25		50-80		>1.61	0.40-0.59
1	Ag, Amg	l, ma, prg, prmg	>4.5	<30	>80	>12,<0.5		0.6

Textura: AF: Arena franca, Af: Arena fina, Ag: Arena gruesa, Am: Arena media, Amf: Arena muy fina, Amg: Arena muy gruesa. FAr <35%: F: Franco, FL: Franco limoso, FArL: Franco arcillo limoso, Franco arcilloso, FA: Franco arenoso. FAr >35%: Franco arcilloso, ArL: Arcillo limoso, ArA: Arcillo arenoso, Ar: Arcilloso, L: Limo. **Estructura:** g: Granular, bsmf: Bloques sub-angulares muy finos, bamf: Bloques angulares muy finos, baf: Bloques angulares finos, bsf: Bloques sub angulares finos, bam: Bloques angulare medios, bsm: Bloques sub angulares medios, prmf: Prismas muy finos, bsg: Bloques sub angulares gruesos, bsmg: Bloques sub angulares muy gruesos, prm: Prismas medios, l: Laminar, prg: Prismas gruesos, prmg: Prismas muy gruesos, ma: Masivo, RP: Resistencia a la penetración.

Clasificación de los lotes según su aptitud de suelo. Los lotes que involucran el estudio serán clasificados según la aptitud de los suelos. El sistema de clasificación a utilizar será el desarrollado por la USDA 1978, que establece ocho categorías según las limitantes de cada suelo. Las limitantes que se usaron en este caso son: profundidad efectiva, pedregosidad, textura, drenaje y erosión (Cuadro 10). Las categorías que tiene el sistema según sus limitantes son:

Cuadro 10. Parámetros para la clasificación de suelos según su aptitud.

Clases por aptitud	Parámetro evaluado				
	pe	p	t	d	e
I	Muy profundo (mayor a 120 cm)	Sin pedregosidad (0 - 5%)	F,FL,L,Faf	Bueno	Nula
II	Profundo (90 - 120 cm)	Ligeramente pedregoso (5 - 10 %)	Aff, FAm, FAg, Far, FArL, FArA	Moderadamente excesivo	Ligera
III	Moderadamente profundo (60 - 90 cm)	Moderadamente pedegroso (10 - 15%)	A, AFm, Afg, Farmf	moderadamente lento	Moderada
IV	Poco profundo (30 - 60 cm)	Pedregoso (15 - 25%)	Ar, ArA, ArL	Excesivo	Severa
V	Superficial (0 - 30 cm)	Muy pedregoso (25 - 50%)		Muy lento	Muy severa

Símbolos: **pe**: Profundidad efectiva**, p:** pedregosidad, **t:** textura: Ar: arcillosa (<60% y >60% arcilla) ArA: arcillo arenosa, ALr: arcillo limo AFf: arena franca fina, AFm: arenosa franco media, AFg: arenosa franco gruesa, F: franco FL: franco limoso, FAf: franco arenosa fina , FAm: franco arenosa media, FAg: franco arenosa gruesa, FAr: franco arcillosa, FArL: franco arcillo limoso, FArA: franco arcillo arenoso, L: Limoso, A: arenosa, , FArmf: franco arcillosa muy fina (>35% arcilla), **d:** drenaje, **e:** Erosión. Fuente: USDA 1978

Las clases están definidas del I al VIII según su grado de restricción para la producción agrícola:

Clase I: Dentro de esta clase se incluyen tierras con pocas limitantes o sin ellas para el desarrollo de actividades agrícolas, pecuarias o forestales, adaptadas ecológicamente a la zona.

Clase II: Las tierras de esta clase presentan leves limitaciones que, solas o combinadas, reducen la posibilidad de elección de actividades o se incrementan los costos de producción debido a la necesidad de usar prácticas de manejo y conservación de suelos.

Clase III: Las tierras de esta clase presentan limitaciones moderadas, solas o combinadas, que restringen la elección de cultivos. Para desarrollar los cultivos anuales se requieren prácticas intensivas de manejo y conservación de suelos y agua.

Clase IV: Las tierras de esta clase presentan fuertes limitaciones, solas o combinadas, que restringen su uso a vegetación semipermanente y permanente. Los cultivos anuales se pueden desarrollar únicamente en forma ocasional y con prácticas muy intensivas de manejo y conservación de suelos y aguas.

Clase V: Las tierras de esta clase presentan severas limitaciones para el desarrollo de cultivos anuales, semi permanentes, permanentes, o bosque, por lo cual, su uso se restringe al pastoreo o manejo de bosque natural.

Clase VI: Las tierras ubicadas dentro de esta clase son utilizadas para la producción forestal, así como cultivos permanentes tales como frutales y café, aunque estos últimos requieren prácticas intensivas de manejo y conservación de suelos y aguas.

Clase VII: Las tierras de esta clase tiene severas limitaciones por lo cual solo se permite el manejo forestal en caso de cobertura boscosa. En aquellos casos que el uso forestal sea diferente al bosque, se procurará la restauración forestal por medio de la regeneración forestal natural.

Clase VIII: Estas tierras no reúnen las condiciones mínimas para actividades de producción agropecuaria o forestal alguna. Las tierras de esta clase tienen utilidad solo como zonas de preservación de flora y fauna, protección de áreas de recarga acuífera, reserva genética y belleza escénica.

Formulación del plan de manejo. Con la información obtenida del estudio de suelos se hicieron recomendaciones para el manejo de suelo las cuales fueron dirigidas a mejorar las condiciones específicas encontradas. Ellas fueron:

Necesidad de mejoramiento de la relación suelo-agua-planta mediante la mecanización.

Se realizaron recomendaciones de mecanización dependiendo del estado en el que se encuentre el suelo. Los parámetros observados fueron:

- Estructura
- Resistencia a la penetración
- Profundidad efectiva
- Fragmentos gruesos

Necesidad de evacuación de agua mediante la creación de creación de sistemas de drenaje

Se determinó si existe o no la necesidad de realizar un sistema de drenajes que ayude a mejorar la producción del cultivo en el área. Sin embargo el diseño del sistema de drenaje no se realizara en este estudio.

Adecuación del pH mediante el encalamiento

Las necesidades de encalamiento dependerán del pH y la textura determinada por el estudio de suelos. Se utilizó la propuesta formulada en el cuadro 3. Para igualar 100 kg de cal agrícola se utilizó su equivalente en CaCO3 puro en porcentaje el cual es equivalente a 86 kg de cal dolomítica.

Cuadro 11. Dosis de cal para ajuste de pH (Gauggel 2003) [1]

Cambio deseado de pH en la capa arable	Cal Agrícola (t. ha $^{-1}$)					
	Arena	Franco arenoso	Franco o Franco limosos	Franco arcillo limoso	Franco arcilloso	Orgánico
4.0 - 6.5	2.9	5.6	7.8	9.4	11.2	21.3
4.5 - 6.5	2.5	4.7	6.5	7.8	9.4	18.1
5.0 - 6.5	2	3.8	5.1	6.3	7.4	14.1
5.5 - 6.5	1.3	2.9	3.8	4.5	5.2	9.6
6.0 - 6.5	0.7	1.6	2	2.5	2.7	4.9

ϕGauggel propone ajuste en función de la mineralogía y el porcentaje de materia orgánica.

Necesidades nutricionales mediante la fertilización

Acorde a los requerimientos del cultivo durante cada una de sus etapas y el estado químico del suelo se realizaron las recomendaciones de fertilización pertinentes así como un plan de aplicación de fertilizantes. En caso los casos en que el nutrimento se encontró en estado bajo, medio o alto en el suelo se aplicaron 120%, 100 o 60% del requerimiento del cultivo respectivamente.

Fertilización de maíz.

Los requerimientos para maíz para la producción de ensilaje son mayores a los de la producción de grano. Para formular el plan nutricional del cultivo de maíz tomaremos los requerimientos (Bertsch 2003) para una producción de ensilaje de 40 toneladas de ensilaje por hectárea.

Cuadro 12. Requerimientos del cultivo de maíz para una producción de 40 toneladas de ensilaje.

Producción estimada	kg. ha $^{-1}$				
	N	P	K	Ca	Mg
40 ton/ha ensilaje	263	101	207	32	52

Fuente: (Bertsch 2003)

[1] Gauggel C. Dosis de cal agrícola requerida en los suelos. Clase de manejo de suelos y nutrición vegetal (Arévalo, 2013). Escuela Agrícola Panamericana. Zamorano, Honduras.[1]

El Fraccionamiento se realizó con base en las etapas más críticas de absorción de cada nutriente Se recomendó aplicar los fertilizantes a la siembra a las 4 semanas después de siembra y a las 8 semanas después de siembra de forma convencional. (Bertsch 2003)

Fertilización de sandía

La fertilización en sandia se calculó con base en los requisitos de nutricionales la *var. Millionaire* utilizada para exportación, con una una producción de estimada de 54,500 kg por hectárea utilizando como fuente de información el manual de producción de sandía de USAID-RED 2007. El fraccionamiento de las aplicaciones se hizo con base en las curva del cultivo y estos fraccionamientos fueron realizados semanalmente (Vega Villalobos y Salas Camacho 2012).

Cuadro 13. Requerimiento en kg. ha^{-1} para una producción estimada de 54,500 kg de fruto fresco de Sandía *Var. Millionaire*

Tipo de elemento	**kg. ha^{-1}**					
Macro elemento	N	P	K	Ca	Mg	S
	184	35	259	133	32	26
Micro elemento	B	Fe	Mn	Zn	Cu	
	1.42	4.7	0.648	0.324	0.12	

Fuente: Manual de producción de sandía USAID-RED 2007.

Análisis de costos. Se determinó cual es la inversión necesaria para llevar a los terrenos a su nivel óptimo de producción. Se tomó en cuenta los insumos que se necesitarán en cada lote del área de estudio. El costo de subsoleo por hectárea y de la cal dolomítica se tomó de Lovo Silva *et al.* 2013.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Principales características de los suelos del área de estudio. El área de estudio estará destinada para producción de maíz para ensilaje durante los meses de Junio a Octubre, y para producción de sandía durante los meses de Noviembre a mayo.

Finalizado el estudio de campo se encontraron seis familias texturales que fueron las más representativas para el área de estudio. Debido a que en ciertos lotes había dos o más familias texturales, las recomendaciones para estos lotes se realizaron con base en a la familia textural más representativa. (Cuadro 14).

Cuadro 14. Familia textural y calicata para desarrollo de plan de manejo en los terrenos de San Nicolás, Terencio Reyes y Elvin Santos de la Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano, Honduras.

Terreno	Familia textural[ᵚ]	Calicata	N° de lote	Área (ha)
San Nicolás	(M/F+)/F-[ϕ]	1	3	10.2
	(M/g)/G	2	7	6.8
			2	8.8
	(M/g)/F-	3	1	3.1
			8	2.5
	(M/F-)/F+	4	6	6.5
Elvin Santos	(M/F+)/F+	5	17	5.0
Terencio Reyes	(F-/F+)/F-	6	20	2.4
			21	1.6
			22	1.7
			23	2.6

[ᵚ] **Familias texturales:** M: texturas medias (franco, franco limoso, franco arenoso y franco), F-: texturas finas (franco arcilloso, franco arcillo limoso, franco arcillo arenoso, franco arcilloso con menos de 35% de arcilla), F+: texturas muy finas (arcilloso, arcillo limoso, arcillo arenoso, franco arcilloso con más de 35% de arcilla), G: piedra y grava, g: arena y arena gruesa y arenosa franca. [ϕ] Se expresa la profundidad en centímetros [(0-30)/ (30-60)]/[(60-90)/(90-120)].

La distribución de las familias texturales indica que el horizonte superficial tiene texturas medias en San Nicolás y Elvin Santos, con horizontes sub superficiales de textura fina (F- ó F+) o gruesa (g) en posiciones variables (Figura 3). En Terencio Reyes dominan las texturas finas.

Las principales limitantes del área de estudio fueron la baja profundidad efectiva del suelo y la alta resistencia a la penetración. Se encontraron suelos sin estructura en los últimos horizontes que no permite el desarrollo de las raíces. En el área de San Nicolás los lotes con mayor problema fueron los lotes 7 y 2 ya que cuentan con una profundidad efectiva de 24 cm, lo que corresponde a suelos muy superficiales. En cuanto a la estructura se presentaron bloques angulares, los cuales no son favorables para desarrollo radicular (Cuadro 15).

Toda el área de estudio presenta texturas con presencia de arcillas a partir de los 40 cm. Se encontró presencia de moteaduras en los horizontes con alto contenido de arcilla, lo que refleja que estos suelos presentan un pobre drenaje interno. También hubo presencia de grava en todos los lotes de estudio a partir de una profundidad de 50 cm, sin embargo la mayor cantidad de grava se encontró en los lotes de Elvin Santos que correspondía a 15% con base en volumen (Cuadro 16).

Hubo alta resistencia a la penetración en el 100% de los lotes de estudio, el lote con la resistencia a la penetración alta más superficial se encontró en los lotes 7 y 2 de los terrenos de San Nicolás. Los lotes de Terencio Reyes cuentan con la mayor profundidad efectiva potencial de 81 cm (Cuadro 17).

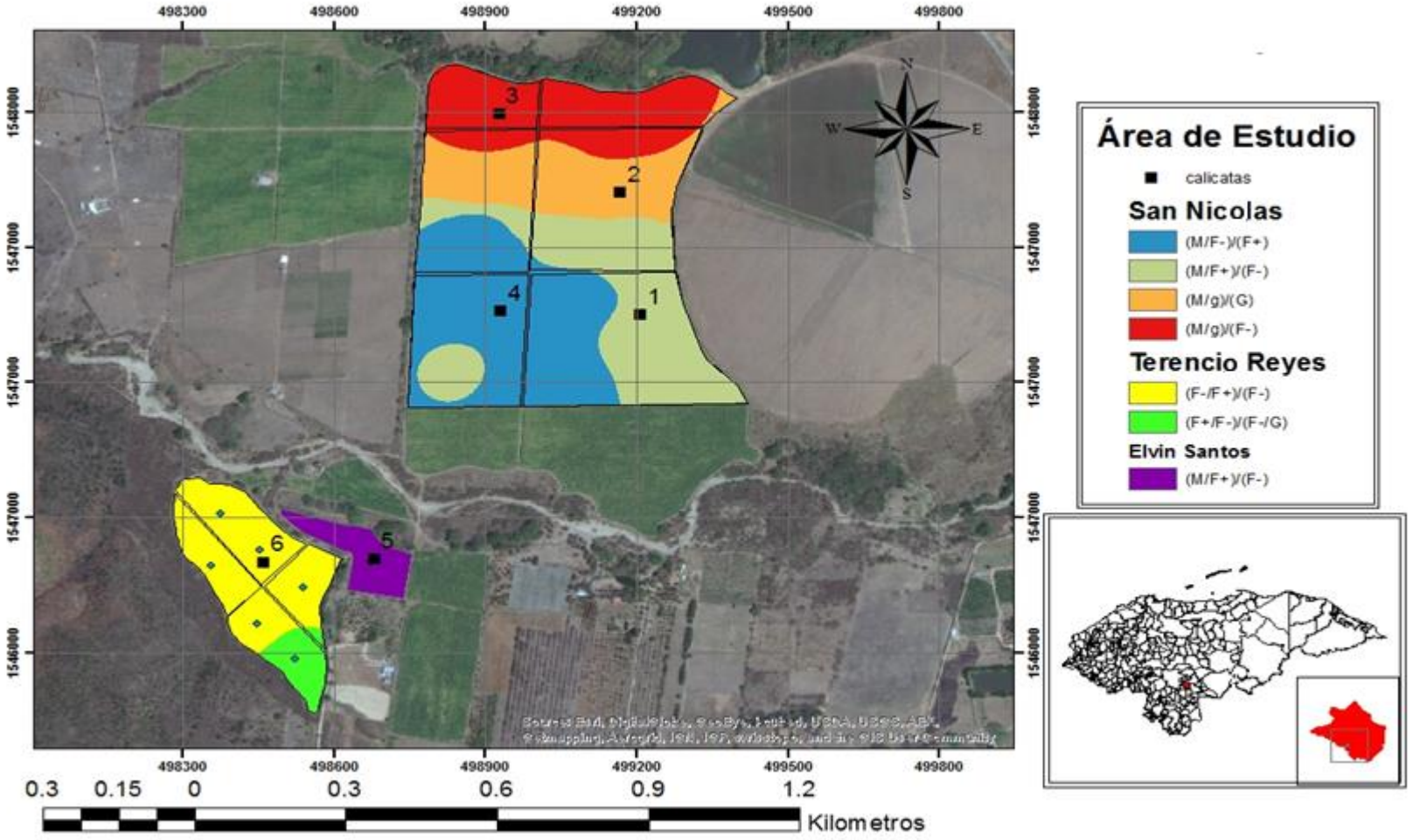

Figura 3. Mapa de familias texturales en los terrenos de San Nicolás, Terencio Reyes y Elvin Santos de la Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano, Honduras.

Cuadro 15. Descripción de las principales características morfológicas de los suelos del área de San Nicolás, Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano, Honduras.

Calic.	Hte.	Pr.	Color	Tx.	Estructura			Consistencia			RP (Kg/cm²)	Poros			Raíces		Piedra/roca		Limite	
					t	g	c	s	h	m		t	fo	fr	t	c	t	c	top	niti
1	Ap	0-40	10YR 3/2	FA	Bsa	d	f y md	b	F	npg	2.1	md y f	tu	f	tt	f	-	-	p	a
	C1	41-54	7.5YR 4/3	FArA	Ba	m	md y gr	ld	Fi	lpg	> 4.5	f	v	p	a	-	f	10%	p	a
	C2	55-81x	5 YR 4/4	ArL	MA	f	md	ed	mfi	pg	> 4.5	f	pl	mf	a	-	m	15%	o	df
2	Ap	0-24	10 YR 2/1	FA	Bsa	d	md	b	F	npg	2.2	f	tu	f	tt	F	-	-	p	a
	Ad	25-53x	10 YR 3/3	AF	Bsa	m	f	ld	s	npg	> 4.5	mf	tu	p	a	-	m	25%	p	a

Calicata: Calic. **Horizonte**: Hte. **Profundidad**: Pr. **Textura**: Tx (Ar: Arcilloso, ArL: Arcillo Limoso, ArA: Arcillo arenoso, Far: Franco arcilloso, FArA: Franco arcillo arenoso, F: Franco, FArL: Franco arcillo limoso, FL: Franco Limoso, FA: Franco arenoso, L: Limo, AF: Arena Franca, FA: Franco arenoso, A: Arenoso). **Estructura:** Tipo: t (Gr: granular, Ba: bloque angular, Bsa: bloque subangular, Pr: prisma, L: laminar, MA: masivo). Grado: g (d: débil, m; moderado, f: fuerte). Clase: cl (f: finos, md: medianos, gr: grandes). **Consistencia:** Seco: s (s: suelto, b: blando, ld: ligeramente duro, d: duro, md: muy duro, ed: extremadamente duro), Húmedo: h (s: suelto, mf: muy friable, f: friable, fi: firme, mfi: muy firme). Mojado: m (npg: no pegajoso, lpg: ligeramente pegajoso, pg: pegajoso, mpg: muy pegajoso). **Resistencia a la penetración**: RP. **Poros:** Tamaño: t (tt: todos los tamaños, mg: muy grueso, g: grueso, m: mediano, f: finos, mf: muy finos, a: ausentes). Forma: fo (tu: tubular, v: vesicular, pl: planares). Frecuencia: fr (p: pocos, f: frecuentes, m: muchos). **Raíces:** Tamaño: t (tt: todos los tamaños, mg: muy gruesa, g: gruesa, m: mediana, f: fina, mf: muy fina, a: ausentes) Cantidad: c (p: pocos, f: frecuentes, m: muchos). **Piedra:** Tamaño: t (tt: todos los tamaños, mg: muy gruesa, g: gruesa, m: mediana, f: fina). **Límite:** top: topografía (o: ondulado, p: plano, i; irregular) niti: nitidez (a: abrupto, c: claro, gd: gradual, df: difuso).

Cuadro 16. Descripción de las principales características morfológicas de los suelos del área de San Nicolás, Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano, Honduras.

Calic.	Hte.	Pr.	Color	Tx.	Estructura			Consistencia			RP (Kg/cm^2)	Poros			Raíces		Piedra/roca		Limite	
					t	g	c	s	h	m		t	fo	fr	t	c	t	c	top	niti
3	Ap	0-25	10YR 2/1	FA	Bsa	d	md	ld	f	lgp	2.4	md y f	t	f	tt	f	-	-	p	a
	Bw	26-51	7.5YR 3/3	AF	Bsa	m	f	s	f	npg	3.5	f	t	f	a	-	f	5%	p	gd
	C	52-70x	5 YR 4/4	ArA	MA	f	md	ed	mfi	mpg	> 4.5	f	pl	mf	a	-	-	10%	o	df
4	Ap	0-18	10YR 3/2	FA	Bsa	d	md	ld	f	lgp	2.3	md y f	t	f	tt	f	-	-	o	a
	C	19-34	7.5YR 4/3	FarA	Bsa	m	md	ld	f	npg	3.5	f	t	p	mf	p	-	-	o	gd
	2Ab	35-53	7.5 YR 3/3	ArL	MA	f	md	ed	mfi	mpg	> 4.5	mf	v	mp	a	-	m	15%	p	a
	C	54-80x	5 YR 4/4	Ar	MA	f	md	ed	mfi	mpg	> 4.5	a	a	a	a	-	m	15%	p	a

Calicata: Calic. **Horizonte**: Hte. **Profundidad**: Pr. **Textura**: Tx (Ar: Arcilloso, ArL: Arcillo Limoso, ArA: Arcillo arenoso, Far: Franco arcilloso, FArA: Franco arcillo arenoso, F: Franco, FArL: Franco arcillo limoso, FL: Franco Limoso, FA: Franco arenoso, L: Limo, AF: Arena Franca, FA: Franco arenoso, A: Arenoso). **Estructura:** Tipo: t (Gr: granular, Ba: bloque angular, Bsa: bloque subangular, Pr: prisma, L: laminar, MA: masivo). Grado: g (d: débil, m; moderado, f: fuerte). Clase: cl (f: finos, md: medianos, gr: grandes). **Consistencia:** Seco: s (s: suelto, b: blando, ld: ligeramente duro, d: duro, md: muy duro, ed: extremadamente duro), Húmedo: h (s: suelto, mf: muy friable, f: friable, fi: firme, mfi: muy firme). Mojado: m (npg: no pegajoso, lpg: ligeramente pegajoso, pg: pegajoso, mpg: muy pegajoso). **Resistencia a la penetración**: RP. **Poros:** Tamaño: t (tt: todos los tamaños, mg: muy grueso, g: grueso, m: mediano, f: finos, mf: muy finos, a: ausentes). Forma: fo (tu: tubular, v: vesicular, pl: planares). Frecuencia: fr (p: pocos, f: frecuentes, m: muchos). **Raíces:** Tamaño: t (tt: todos los tamaños, mg: muy gruesa, g: gruesa, m: mediana, f: fina, mf: muy fina, a: ausentes) Cantidad: c (p: pocos, f: frecuentes, m: muchos). **Piedra:** Tamaño: t (tt: todos los tamaños, mg: muy gruesa, g: gruesa, m: mediana, f: fina). **Límite:** top: topografía (o: ondulado, p: plano, i; irregular) niti: nitidez (a: abrupto, c: claro, gd: gradual, df: difuso).

Cuadro 17. Descripción de las principales características morfológicas de los suelo del área de Elvin Santos y Terencio Reyes de la Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano, Honduras.

Calic.	Hte.	Pr.	Color	Tx.	Estructura			Consistencia			RP (Kg/cm^2)	Poros			Raíces		Piedra/roca		Limite	
					t	g	c	s	h	m		t	fo	fr	t	c	t	c	top	niti
5	Ap	0-22	10 YR 2/2	F	Bsa	d	f y md	b	f	lpg	1.4	tt	t	f	tt	f	-	-	p	a
	C1	22-35	10 YR 4/2	Far	Ba	m	f y md	b	f	lpg	2.3	f	t	p	mf	p	-	-	i	df
	2C	35-58	2.5 YR 3/3	Ar	Pr	m	gr	ld	fi	pg	3.7	mf	r	p	mf	p	m	10%	i	gd
	$2C_2$	58-83x	2.5 YR 4/3	Ar	MA	f	mf	ed	mfi	pg	> 4.5	a	a	a	a	-	m	15%	p	gd
6	Ap	0-21	7.5 YR 2.5/1	Far	Bsa	d	f y md	ld	f	lpg	1.8	md y f	t	f	tt	f	-	-	p	a
	Bw	22-39	10 YR 3/2	Ar	Bsa	m	f y md	ld	fi	lpg	2.3	md	v	p	f	p	-	-	p	a
	C	40-58	2.5 YR 2.5/3	ArL	Ba	m	md	ed	mfi	pg	2.9	f	pl	p	mf	p	-	-	i	df
	2Ab	59-89x	5 YR 3/2	Ar	MA	f	gr	ed	mfi	mpg	> 4.5	a	a	a	a	-	m	10%	i	df

Calicata: Calic. **Horizonte**: Hte. **Profundidad**: Pr. **Textura**: Tx (Ar: Arcilloso, ArL: Arcillo Limoso, ArA: Arcillo arenoso, Far: Franco arcilloso, FArA: Franco arcillo arenoso, F: Franco, FArL: Franco arcillo limoso, FL: Franco Limoso, FA: Franco arenoso, L: Limo, AF: Arena Franca, FA: Franco arenoso, A: Arenoso). **Estructura:** Tipo: t (Gr: granular, Ba: bloque angular, Bsa: bloque subangular, Pr: prisma, L: laminar, MA: masivo). Grado: g (d: débil, m; moderado, f: fuerte). Clase: cl (f: finos, md: medianos, gr: grandes). **Consistencia:** Seco: s (s: suelto, b: blando, ld: ligeramente duro, d: duro, md: muy duro, ed: extremadamente duro), Húmedo: h (s: suelto, mf: muy friable, f: friable, fi: firme, mfi: muy firme). Mojado: m (npg: no pegajoso, lpg: ligeramente pegajoso, pg: pegajoso, mpg: muy pegajoso). **Resistencia a la penetración**: RP. **Poros:** Tamaño: t (tt: todos los tamaños, mg: muy grueso, g: grueso, m: mediano, f: finos, mf: muy finos, a: ausentes). Forma: fo (tu: tubular, v: vesicular, pl: planares). Frecuencia: fr (p: pocos, f: frecuentes, m: muchos). **Raíces:** Tamaño: t (tt: todos los tamaños, mg: muy gruesa, g: gruesa, m: mediana, f: fina, mf: muy fina, a: ausentes) Cantidad: c (p: pocos, f: frecuentes, m: muchos). **Piedra:** Tamaño: t (tt: todos los tamaños, mg: muy gruesa, g: gruesa, m: mediana, f: fina). **Límite:** top: topografía (o: ondulado, p: plano, i; irregular) niti: nitidez (a: abrupto, c: claro, gd: gradual, df: difuso).

Pérdida de suelo en el área de estudio. El valor de erosividad de la lluvia R, obtenido con las condiciones climáticas de Zamorano, fue de 210.5 (MJ/mm)/ (ha × h × año) durante condiciones normales de precipitación.

La conductividad hidráulica fue variable en los lotes de estudio desde moderadamente lenta hasta moderadamente rápida. La más baja se encontró en Elvin Santos debido a que estos lotes tienen texturas más arcillosas y horizontes masivos. La más alta estuvo en los lotes 7 y 2 de San Nicolás, debido a que en estos lotes presenta un horizonte con textura de arena franca (Cuadro 18).

Cuadro 18. Valores de Conductividad Hidráulica de San Nicolás, Elvin Santos y Terencio Reyes de la escuela Agrícola Panamericana, Zamorano, Honduras.

Terreno	Lotes	Área (ha)	Conductividad hidráulica ($cm.h^{-1}$)	Interpretación
San Nicolás	3	10.2	1.1	Moderadamente lenta
	7 y 2	15.6	12.3	Moderadamente rápida
	1 y 8	5.6	4.8	mediana
	6	6.5	0.7	Moderadamente lenta
Elvin Santos	17	5.5	1	Moderadamente lenta
Terencio Reyes	20,21,22,23	8.3	1.3	Moderadamente lenta

El valor de erodabilidad (K) varía muy poco en el área de estudio (0.21 a 0.27), debido a que las texturas superficiales son similares en todos los lotes. El valor más alto se presenta en los lotes de Terencio Reyes debido a que estos lotes presentan las mayores cantidades de arcillas y arenas muy finas. Se encontró los valores más bajos de erodabilidad en los lotes 7 y 2 de San Nicolás, ya que estos lotes presentan una mayor conductividad hidráulica en comparación al resto de lotes (Cuadro 19).

Cuadro 19. Valores de erodabilidad para los lotes de San Nicolás, Terencio reyes y Elvin Santos de la Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano Honduras.

Área	Lotes	Horizonte	Profundidad (cm)	%					Tamaño de partícula "M"	Estructura$^{\phi}$	C.H. m.dia^{-1}	Valor "b"	Permeabilidad "c"	Valor "K"
				MO	Arcilla	Limo	Arena	Arenas muy finas$^{\theta}$						
San Nicolás	3	Ap	0-40	2.8	14	24	62	10	2924	Bsa	1.3	4	4	0.26
		C1	41-54							Ba	1.3	4	4	
		C2	54-81x							MA	0.8	4	4	
	7 y 2	Ap	0-24	2.8	18	26	56	7.6	2755.2	Bsa	2.1	4	3	0.21
		Ad	24-53x							Bsa	20.8	4	1	
	1 y 8	Ap	0-25	2.2	14	26	60	7.3	2863.8	Bsa	2.1	4	3	0.24
		Bw	25-51							Bsa	12.5	4	2	
		C	51-70x							MA	0.4	4	5	
	6	Ap	0-18	2.2	12	20	68	10.7	2701.6	Bsa	2.1	4	3	0.27
		C	18-34							Bsa	0.8	4	4	
		2Ab	34-53							MA	0.4	4	5	
		C	53-80x							MA	0	4	6	
Elvin Santos	17	Ap	0-22	3.3	26	34	40	18.7	3899.8	Bsa	2.1	4	3	0.26
		C1	22-35							Ba	1.7	4	3	
		2C	35-58							Pr	0.2	4	5	
		$2C_2$	58-83x							MA	0.2	4	5	
Terencio Reyes	20,21,22 y 23	Ap	0-21	3.5	28	38	34	16.8	3945.6	Bsa	2.1	4	3	0.27
		Bw	21-39							Bsa	0.4	4	5	
		C	39-58							Ba	0.2	4	5	
		2Ab	58-89x							MA	0.2	4	5	

M.O= Materia organica, "**M**"= Tamaño de particula adimensional, **C.H**.= Conductividad Hidraulica. $^{\phi}$ **Estructura**: Bsa: bloques sub angulares, Ba: bloques angulares, MA: masivo, Pr: primatica.. $^{\theta}$ Porcentaje de arenas muy finas en base al porcentaje de arenas

Los valores “LS” variaron en cada terreno, siendo mayor donde se presentan los mayores porcentajes y longitudes de pendiente (Figura 4). El valor más alto se presentó en el lote de Terencio Reyes. El valor “LS” en los terrenos de San Nicolás y Elvin Santos varía muy poco, ya que estos lotes cuentan con una pendiente menor al 2% (Cuadro 20).

Cuadro 20. Valores LS para los lotes de San Nicolás, Elvin Santos y Terencio Reyes de la escuela Agrícola Panamericana, Zamorano, Honduras.

Terreno	Lotes	Área (ha)	Pendiente (%)	Longitud de pendiente (m)	Valor LS
San Nicolás	3	10.2	1.5	117.1	0.26
	7 y 2	15.6	1.8	129	0.29
	1 y 8	5.6	1.8	159.4	0.32
	6	6.5	1.2	108.1	0.22
Elvin Santos	17	5.5	1.9	134.7	0.31
Terencio Reyes	20,21,22,23	8.3	8.3	97.9	1.41

La alta pendiente denota necesidad de establecer prácticas de control de erosión en las zonas donde las curvas a nivel son muy cercanas, especialmente en el sector suroeste de Terencio Reyes, el resto de los lotes de estudio presentan curvas a nivel con un espaciamiento adecuado (Figura 5).

El valor C es de 0.52 durante todo el año, ya que el suelo pasa con cobertura a causa de los cultivos que son sembrados en las áreas de estudio. El cultivo de sandía presento el menor valor para C, ya que este cultivo tiene camas con cobertura plástica durante todo su ciclo (Cuadro 21).

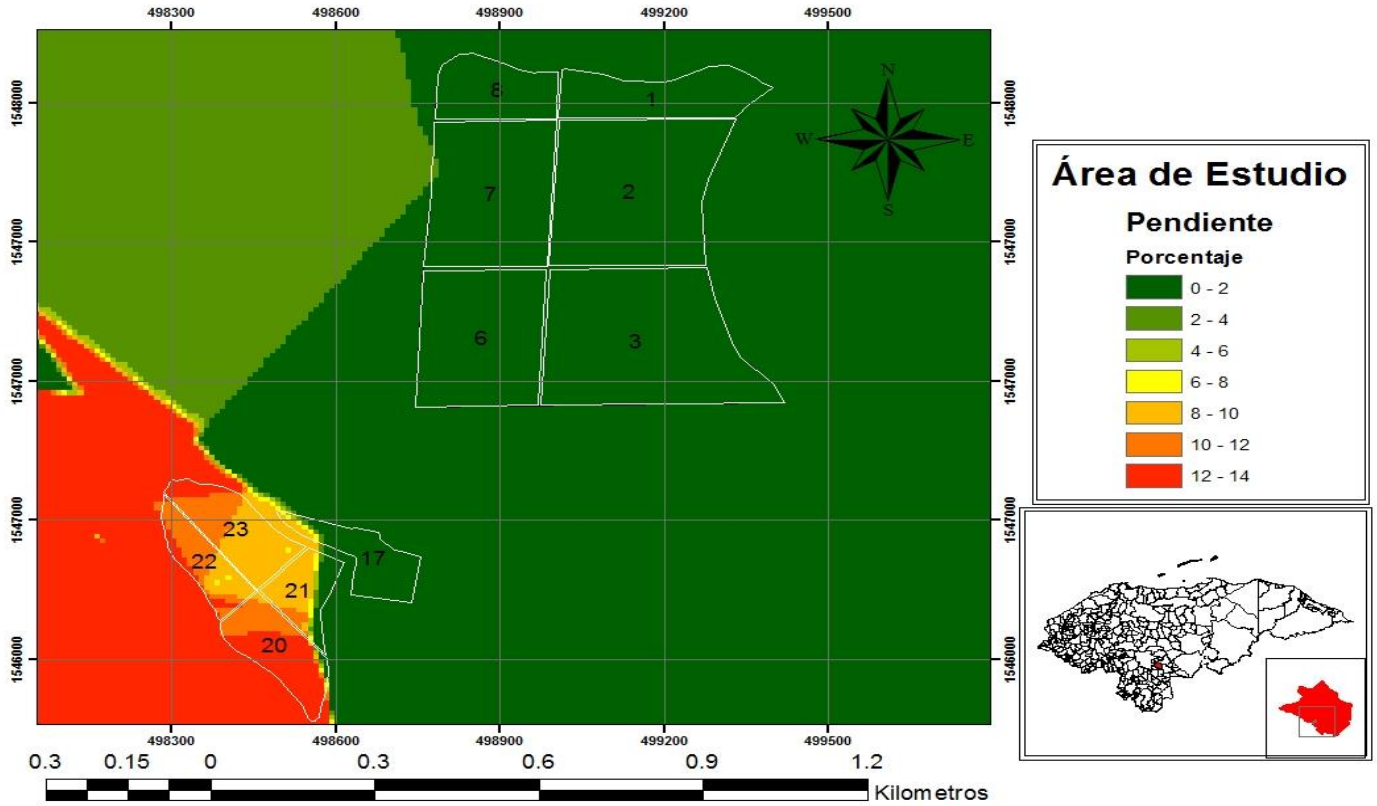

Figura 4. Mapa de los porcentajes de pendiente de las áreas de San Nicolás, Elvin Santos y Terencio Reyes de la escuela Agrícola Panamericana, Zamorano, Honduras.

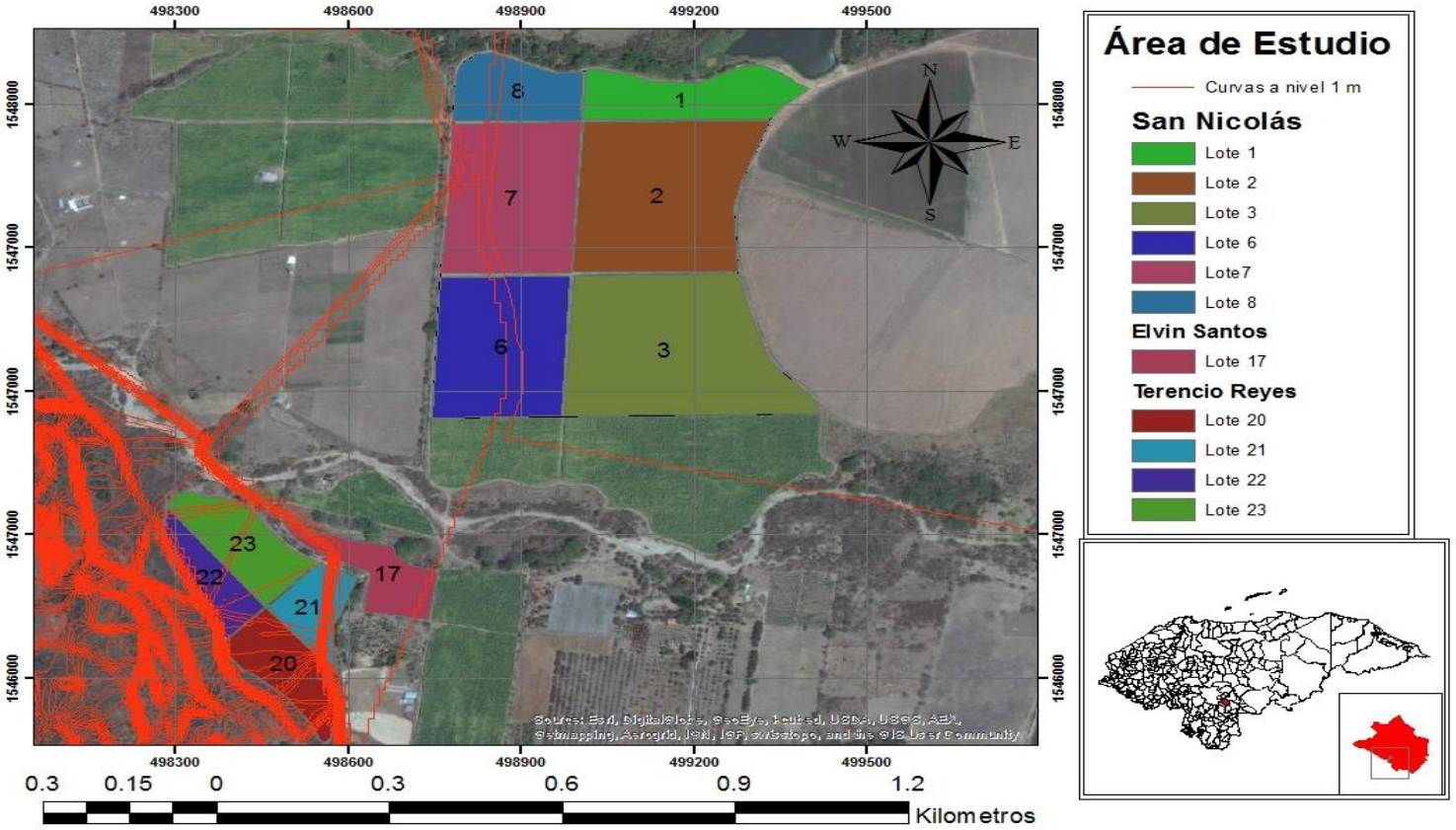

Figura 5. Mapa de curvas a nivel con un distanciamiento de 1 metro de los terrenos de San Nicolás, Terencio Reyes y Elvin Santos de la Escuela Agricola Panamericana, Zamorano, Honduras.

Cuadro 21. Valor C de los terrenos de San Nicolás, Elvin Santos y Terencio Reyes de la Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano, Honduras.

Cultivo y evento	Duración de la actividad		R en el periodo %	Factor proporción de suelo sin cobertura		Valor de C	
	Días	Fecha		Cultivo	Malezas	Por estadio	Ciclo cultivo
Maíz para ensilaje							
Mecanización	5	01-05 al 5-05	2.21	100	100	0.02	
Siembra	8	6-05 al 8-05	1.32	95	95	0.01	
Establecimiento (hasta 50% de cobertura)	33	9-05 al 2-06	11.33	60	95	0.06	
Desarrollo (50%-75% de cobertura)	53	3-06 al 22-06	11.72	50	90	0.05	
Maduración (75%-100% de cobertura)	88	23-06 al 27-07	15.85	35	95	0.05	
Cosecha	92	28-07 al 31-07	1.65	80	95	0.01	0.22
Maíz para ensilaje							
Mecanización	97	1-08 al 5-08	2.09	100	100	0.02	
Siembra	100	6-08 al 8-08	1.26	95	95	0.01	
Establecimiento (hasta 50% de cobertura)	125	9-08 al 2-09	10.81	60	95	0.06	
Desarrollo (50%-75% de cobertura)	145	3-09 al 22-09	11.84	50	90	0.05	
Maduración (75%-100% de cobertura)	180	23-09 al 27-10	16.45	35	95	0.05	
Cosecha	184	28-10 al 31-10	1.74	80	95	0.01	0.22
Sandía							
Mecanización	204	1-11 al 20-11	2.73	100	100	0.03	
Cobertura con plástico	219	21-11 al 5-12	1.62	90	90	0.01	
Establecimiento (hasta 50% de cobertura	254	6-12 al 7-01	1.63	90	90	0.01	
Desarrollo (50%-75% de cobertura)	294	8-01 al 16-02	1.20	90	95	0.01	
Maduración (75%-100% de cobertura)	339	17-02 al 4-04	1.74	100	95	0.02	
Residuos de cosecha	365	5-04 al 30-04	2.82	40	70	0.01	0.09
					Valor C total		0.52

El valor P fue de 0.6 para maíz y de 0.8 para sandia con una duración de seis meses cada uno, por lo que el promedio ponderado es de 0.7 (Wischmeier y Smith 1978).

Las pérdidas por erosión para las cuales se usaron todas las variables de la ecuación USLE se muestran en el Cuadro 22.

En el área de San Nicolás y Elvin Santos todos los lotes la erosión del suelo se encuentra dentro del límite permitido de pérdida de suelos para terrenos agrícolas en el trópico y subtrópico, que es menor a 7 $t.ha^{-1}.ano^{-1}$. Sin embargo todos los lotes de Terencio Reyes presentan una pérdida de erosión mayor a la permitida esto se debe principalmente a que estos lotes se presentan pendientes mayores al resto del área de estudio y que llegan a tener hasta un 12 a 14% de pendiente. Se debe evaluar la creación de un sistema de evacuación de agua para este terreno (Cuadro 22).

Cuadro 22. Calculo la pérdida de suelo por erosión según la ecuación USLE en los terrenos de San Nicolás, Elvin Santos y Terencio Reyes, Zamorano, Honduras.

Área	Lotes	Factores de ecuación USLE					Pérdida de suelo ($t.ha^{-1}.año^{-1}$)
		R	K	LS	C	P	
San Nicolás	3	210.5	0.26	0.26	0.52	0.7	5.21
	7 y 2	210.5	0.21	0.29	0.52	0.7	4.70
	1 y 8	210.5	0.24	0.32	0.52	0.7	6.00
	6	210.5	0.27	0.22	0.52	0.7	4.62
Elvin Santos	17	210.5	0.26	0.31	0.52	0.7	6.21
Terencio Reyes	20, 21, 22 y 23	210.5	0.27	1.31	0.52	0.7	27.49

Índices de calidad de los suelos. Para mejorar la calidad potencial de los suelos se consideraron las labores de subsoleo, encalamiento y diseño de drenajes. Esto revirtió en el incremento de los índices de calidad del suelo, ya que se esperan mejoras de estructura, profundidad efectiva, resistencia a la penetración y mejora en el drenaje interno.

Toda el área de estudio presentó índices de calidad que corresponden a la categoría de bajas o muy bajas. El índice de calidad actual corresponde a los lotes 2 y 7 de los terrenos de San Nicolás con un área de 15.6 ha. El índice de calidad actual más bajo se encontró en el lote 6 del área de San Nicolás, su distribución se muestra en la Figura 6.

En cuanto a los índices de calidad potencial el incremento más alto estuvo en los lotes de Elvin Santos que pasarían con un porcentaje de mejora en su calidad de 21%. Con las

mejoras potenciales el 61.5% del área de estudio pasaría a ser de la categoría de suelos media. En comparación a la actual en la que el 70% de los suelos corresponde a una categoría de suelos muy baja con un índice menor a 15, la distribución de los índices potenciales se muestra en la figura 7.

Cuadro 23. Índices de calidad actual y potencial de los terrenos de San Nicolás, Elvin Santos y Terencio Reyes.

Terreno	Lotes	Área (ha)	ICA	ICP	Incremento	
					Índice	%
San Nicolás	3	10.2	14.22	20.39	6.17	19
	7 y 2	15.6	15.65	21.61	5.96	18
	1 y 8	5.6	12.09	17.42	5.33	16
	6	6.5	11.46	18.20	6.75	20
Elvin Santos	17	5.5	13.09	20.05	6.96	21
Terencio Reyes	20, 21, 22 y 23	8.3	14.27	19.06	4.79	14

ICA= Índice de calidad actual, ICP=Índice de calidad potencial

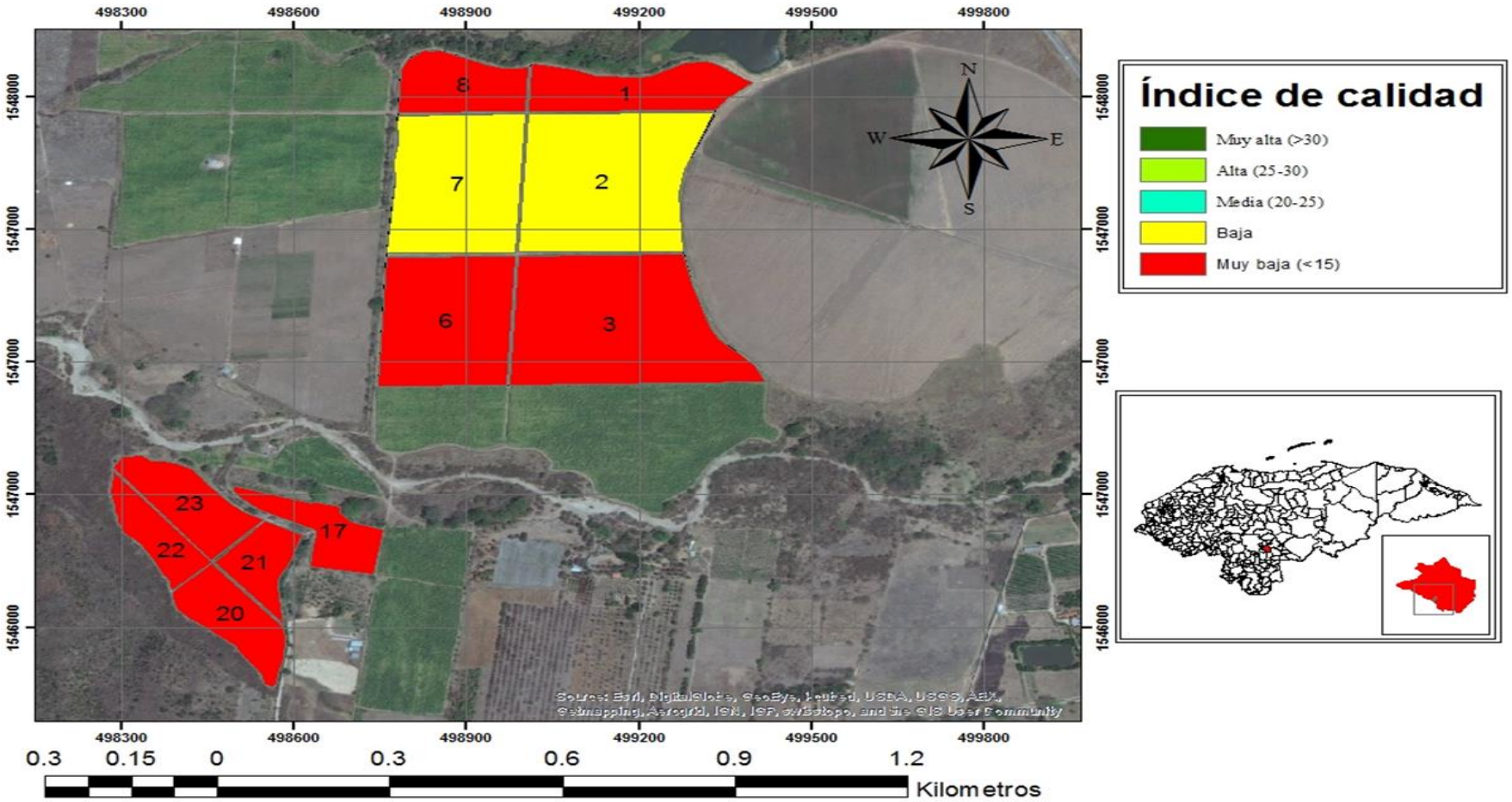

Figura 6. Mapa de los índices de calidad actual de los terrenos de San Nicolás, Elvin Santos y Terencio Reyes de la Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano, Honduras.

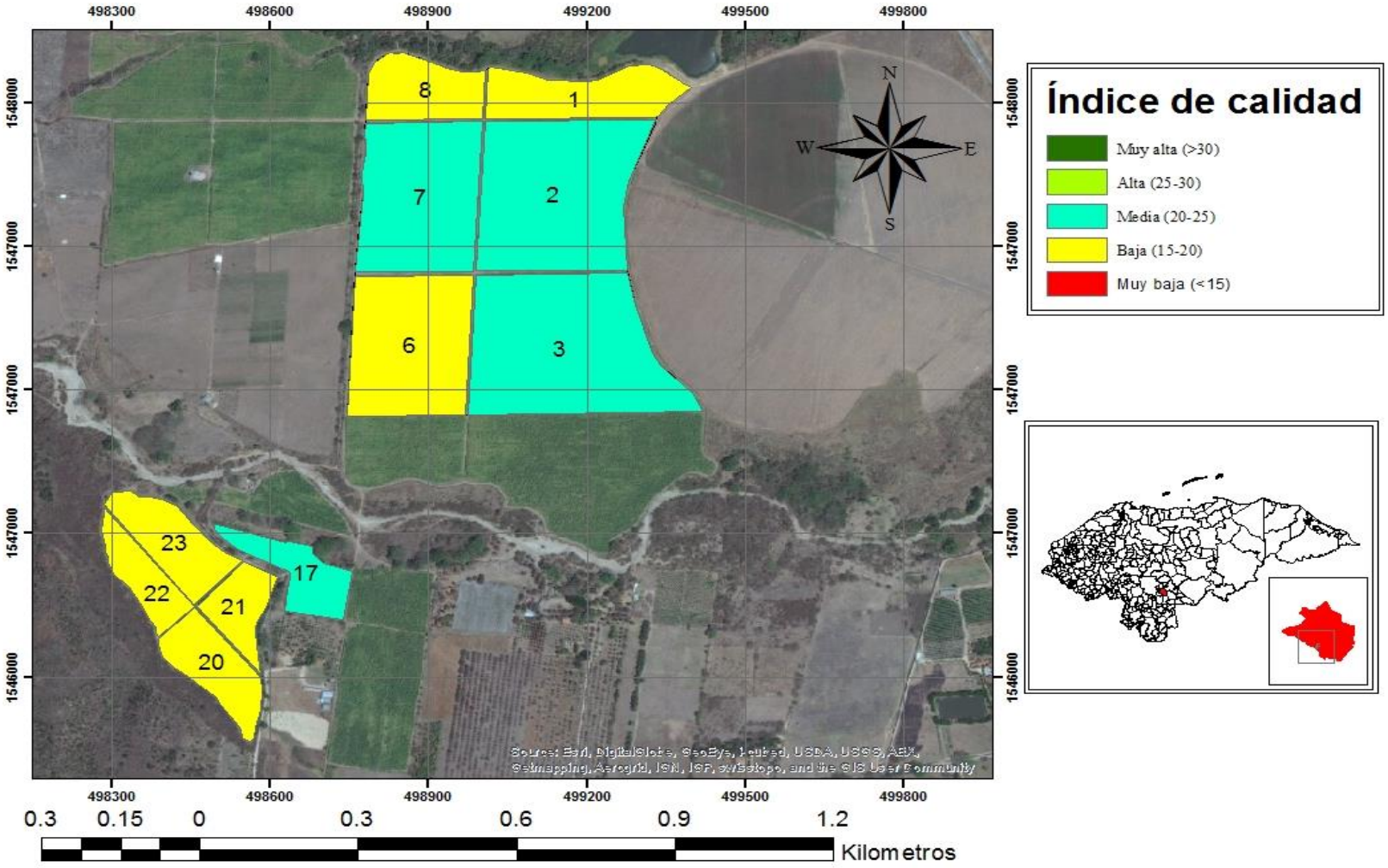

Figura 7. Mapa de los índices de calidad potencial de los terrenos de San Nicolás, Elvin Santos y Terencio Reyes de la Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano, Honduras

Aptitud de suelos. El 64% del área de estudio corresponden a una Clase IV, tierras con fuertes limitaciones para desarrollo agrícola en donde se deben hacer prácticas de manejo de suelos y agua muy intensivas. El 36% restante tiene una clasificación como Clase III la cual corresponde a tierras con limitaciones moderadas para uso agrícola.

Potencialmente el 59% de los lotes del área de estudio podrían llegar a ser Clase II, solo presentan limitaciones leves para fines agrícolas. Sin embargo a pesar de las mejoras solo el 41% del área aun seguiría perteneciendo a la Clase III.

Cuadro 24. Clases de aptitud de suelos actual y potencial basados en su subclase limitante en los lotes de San Nicolás, Elvin Santos y Terencio Reyes de la Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano, Honduras.

Área	Lotes	Área (ha)	Condición actual		Condición potencial	
			Clase	Sub clase	Clase	Sub clase
San Nicolás	3	10.2	III	b2, c2, cr4, p4	II	b2
	7 y 2	15.6	IV	t3, b3, cr4, g2, p3	III	g2, p3
	1 y 8	5.6	IV	t3, b2, cr4	III	t3
	6	6.5	IV	b2,c2, cr4, p4, g2	II	g2
Elvin santos	17	5.5	IV	b2, c3, cr4, g2, p4	II	g2
Terencio Reyes	20, 21, 22 y 23	8.3	III	b2, c2, cr4, p3	II	b2

Clases de suelo: I: Sin limitantes morfológicas y físicas a una profundidad mayor de 80 cm, II: Con limitantes morfológicas y físicas entre 60 y 80 cm, III: Con limitantes morfológicas y físicas a entre 40 y 60 cm, IV: Con limitantes morfológicas y físicas a menos de 40 cm; **Subclases:** Textura: t2: franca arenosa media, t3: arena franca y franca arenosa gruesa; estructura: b2: bloques subangulares gruesos, b3: bloques subangulares muy gruesos; consistencia: c2: firme, c3: muy firme; resistencia a la penetración: cr2: 2 ± 2.9 kg/cm2 , cr3: 3 ± 3.9 kg/cm2 , cr4: >4 kg/cm2 ; grava: g2: 15 ± 30%, g4: estrato rocoso; profundidad efectiva: p3: 40 ± 60 cm, p4: 0 ± 40 cm.

Para la distribución de las clases de aptitud de suelos actuales se observó que todos los lotes del área de Terencio Reyes cuentan con una aptitud actual clase III, esto se debe a que la profundidad efectiva en estos lotes es mayor en comparación al resto de área de estudio. Los lotes se encuentran ubicados al suroeste del área (Figura 8).

En las clases de aptitud potencial se observó que los mejores lotes se encuentran en el área suroeste, en la parte norte se encuentran los suelos con menor potencial (Figura 9) , debido a la presencia de fragmentos gruesos a partir de los 50 cm.

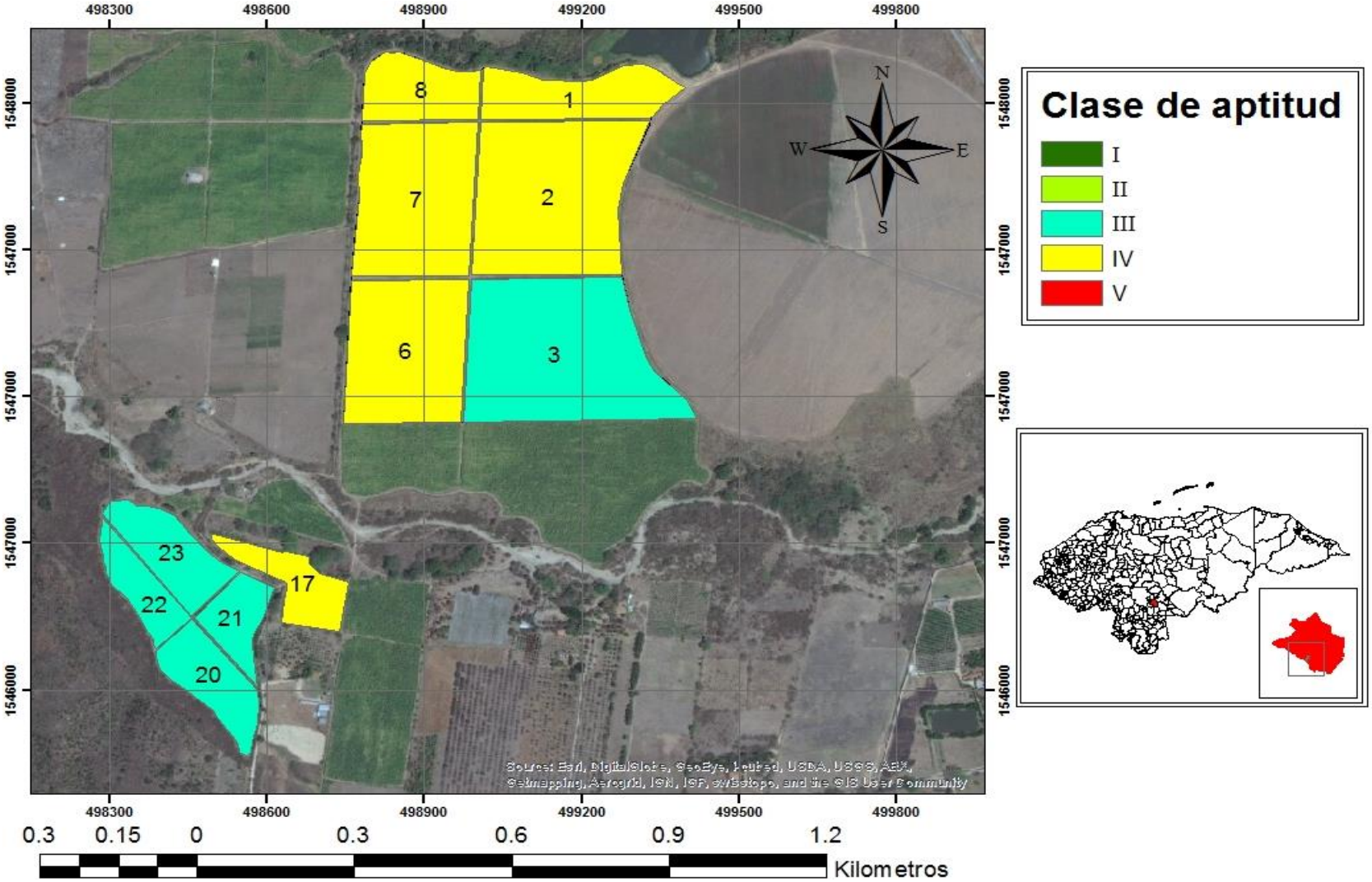

Figura 8. Mapa de clases de aptitud actual de los terrenos de San Nicolás, Elvin Santos y Terencio Reyes de la Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano, Honduras.

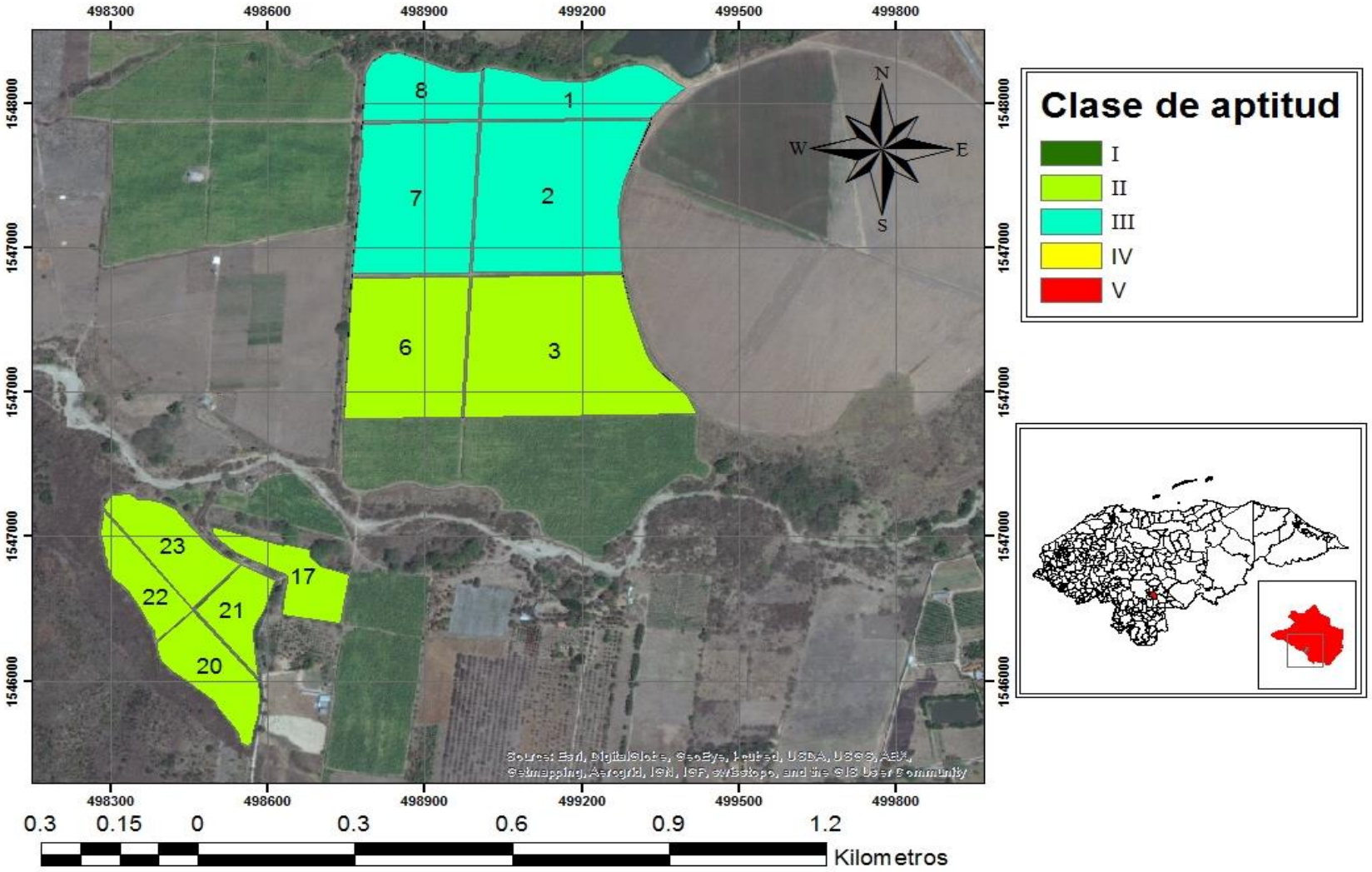

Figura 9. Mapa de clases de aptitud potencial de los terrenos de San Nicolás, Elvin Santos y Terencio Reyes de la Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano, Honduras.

Necesidad de mejoramiento de la relación suelo-agua-planta mediante la mecanización. Subsolar en todos los lotes del área de estudio debido a que todos los lotes presentan como principal limitante la profundidad efectiva. Esto permitirá mejorar la estructura, resistencia a la penetración, disminución de la densidad aparente y mejorar el drenaje interno del suelo.

Se debe subsolar hasta 80 cm de profundidad o hasta donde se encuentre el material parental, con el fin de eliminar el pie de arado o estructuras muy gruesas que limiten el desarrollo de las raíces del cultivo. En caso de no tener un tractor con suficiente potencia utilizar subsoladores de brazos curvos que disminuyan el requisito de potencia en 25% en comparación a brazos rectos. La potencia requerida por cada brazo es de 30 a 40 KW (Alvarado 2004).

El trabajo debe realizarse cuando el suelo se encuentre a 1/3 de su punto de marchitez permanente ya que en suelos húmedos el subsolador simplemente tiene un efecto de corte y no se crea fractura. Se debe realizar dos pases o tres pases del subsolador. El primer pase se debe hacer a favor de la pendiente para evitar dañar el drenaje natural del suelo. Los siguientes deben hacerse 45° transversales al primer pase y se debe esperar a que el suelo haya perdido la humedad nuevamente, con el fin de evitar que queden camellones en el terreno.

Abrir calicatas luego de subsolar para verificar que los brazos estén trabajando adecuadamente y determinar el número de pases necesarios, así también para evaluar la eficiencia de penetración, de fractura y neta. Los pases se deben realizar a una velocidad de 6 a 9 km/h. (Alvarado 2004).

Ya que el subsoleo incrementa el tamaño de los agregados del suelo se debe realizar pases de rastra antes de sembrar el cultivo para que este se pueda desarrollar adecuadamente. En el cuadro 27 se muestran la dirección en que se debe realizar el pase del primer subsoleo en los lotes de estudio. Se debe asegurar que exista un drenaje colector al Este y otro al Norte del lote que recoja el agua drenada.

Cuadro 25. Datos de pendiente de los lotes de San Nicolás, Elvin Santos y Terencio Reyes de la Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano, Honduras.

Terreno	Lotes	Área (ha)	Dirección de pendiente	Dirección de subsolado	
				Primer pase	Segundo pase
San Nicolás	1, 2, 3, 6, 7, 8	37.9	Oeste- Este	Oeste- Este	Suroeste - Noreste
Elvin Santos	17	5.5	Oeste- Este	Oeste- Este	Suroeste - Noreste
Terencio Reyes	20 y 21	4	Sur-Norte	Sur-Norte	Sureste- Noroeste
	22 y 23	4.3	Oeste- Este	Oeste- Este	Suroeste - Noreste

Adecuación del pH mediante encalado. Las cantidades de cal dolomítica requerida por cada lote se encuentran entre 2.89 y 4.59 ton.ha^{-1}. La aplicación se debe hacer durante el invierno y por lo menos un mes antes de sembrar el cultivo para permitir a la cal reaccionar con el suelo. Se debe hacer un seguimiento al estado químico del suelo luego de la aplicación.

Cuadro 26. Necesidades de encalamiento en los terrenos de San Nicolás, Elvin Santos y Terencio Reyes de la Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano, Honduras.

Terreno	Lote	pH[0]	Textura	Cal dolomítica (ton.ha^{-1})	Aporte al suelo (ton.ha^{-1})	
					CaO	MgO
San Nicolás	3	5.36	FA	2.89	0.81	0.29
	7 y 2	5.21	FA	3.27	0.92	0.33
	1 y 8	4.99	FA	4.53	1.27	0.45
	6	5.23	FA	3.22	0.90	4.83
Elvin Santos	17	5.15	F	4.59	1.29	0.46
Terencio Reyes	20, 21, 22, 23	5.85	FAr	3.38	0.95	0.34

[0] Los requerimientos son para llevar el pH a 6.5.**Textura:** (F: Franco, FA: Franco arenoso, FAr: Franco arcilloso).

Necesidades nutricionales mediante la fertilización. El área de estudio cuenta con un porcentaje de materia orgánica medio, un porcentaje de saturación de potasio alto en todas las áreas de estudio, esta condición cambiara al realizar el encalado de lo contrario pueden

existir potenciales problemas en la absorción de calcio y magnesio. La capacidad de intercambio catiónico más alta se encontró en los lotes de Terencio Reyes, esto se debe a que en estos lotes hay un mayor contenido de arcilla lo que aumenta la capacidad de intercambio catiónico. El porcentaje de sodio intercambiable se encuentra dentro de lo normal en toda el área de estudio (Cuadro 27).

Cuadro 27. Principales características químicas de los terrenos de San Nicolás, Terencio Reyes y Elvin Santos de la Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano, Honduras.

Terreno	Lotes	%		mg/kg	%SK	%SCa	%SMg	%PSI	CIC
		MO	N total	P					
San Nicolás	3	2.87	0.14	30	23	57	15	4	8
	7 y 2	2.88	0.14	14	7	76	12	6	8
	1 y 8	2.29	0.11	29	16	63	13	7	5
	6	2.28	0.11	65	11	67	16	6	6
Elvin Santos	17	3.3	0.17	73	12	71	14	3	11
Terencio Reyes	20, 21, 22, 23	3.55	0.18	32	18	66	15	1	11

CIC: capacidad de intercambio catiónico, %SK: porcentaje de saturación de bases, %SCa: porcentaje de saturación de calcio, %SMg: porcentaje de saturación de magnesio, %PSI: porcentaje de sodio intercambiable.

Propuesta de fertilización para maíz y sandía. La propuesta de fertilización de maíz requiere de altos valores de fósforo en los lotes de San Nicolás debido a que estos presentaron un rango bajo en los análisis químicos de suelo (Cuadro 28).

Cuadro 28. Propuesta de fertilización de maíz para ensilaje con una producción estimada de 40 t.ha^{-1} para los terrenos de San Nicolás, Terencio Reyes y Elvin Santos de la Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano, Honduras.

Terreno	Lotes	Área (ha)	Requerimiento de fertilizante (kg. ha^{-1})		
			DAP	KCl	UREA
San Nicolás	1, 2, 3, 7 y 8	31.4	503	386	489
San Nicolás, Elvin Santos y Terencio Reyes	6, 17, 20, 21 ,22 y 23	20.3	302	232	568

Para la fertilización en Sandía se consideraron fertilizantes solubles que pueden ser aplicados a través de fertiriego se consideró fertilizantes para macro y microlementos. (Cuadro 29).

Cuadro 29. Propuesta de fertilización de Sandía para los terrenos de San Nicolás, Terencio Reyes y Elvin Santos de la Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano, Honduras.

Fertilizantes	Semana del ciclo del cultivo													**Total**
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	
	kg. ha^{-1}													
Sulfato de Cobre Pentahidratado	0.00	0.01	0.01	0.02	0.03	0.03	0.03	0.04	0.05	0.08	0.08	0.10	0.10	0.58
Sulfato de Zinc Heptahidratado	0.01	0.04	0.04	0.04	0.10	0.10	0.18	0.21	0.21	0.21	0.21	0.21	0.21	1.77
sulfato de manganeso monohidratado	0.01	0.05	0.05	0.07	0.15	0.15	0.31	0.31	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	2.36
Sulfato Ferroso	0.10	0.42	0.42	0.42	0.42	0.82	0.82	1.21	1.55	2.26	2.26	1.69	1.71	14.10
Solubor	0.17	0.24	0.36	0.40	0.47	0.57	0.63	0.77	0.80	0.83	0.86	0.89	1.17	8.16
Sulfato de Magnesio anhidro	0.55	2.40	2.41	5.74	5.66	4.65	4.50	13.32	13.21	15.12	15.12	14.33	14.32	111.32
Nitrato de Magnesio	5.41	1.56	6.90	7.48	6.26	16.21	16.53	9.57	13.23	18.41	4.82	6.47	6.48	119.33
Nitrato de calcio	13.44	13.44	24.40	39.82	36.97	53.09	53.09	76.41	83.42	102.19	74.32	74.32	74.32	719.23
Urea	5.85	6.77	9.32	5.33	10.28	24.91	24.84	34.24	30.80	6.43	6.72	6.33	6.33	178.15
Cloruro de potasio solubre	5.83	5.83	10.59	17.27	16.04	23.03	23.03	33.15	36.19	44.33	32.24	32.24	32.24	312.00
MAP fosfato monoamónico	3.38	3.38	5.74	7.24	7.75	13.51	13.51	15.58	15.92	15.92	11.58	11.58	11.58	136.67

Costos de las actividades de subsoleo y adecuación de pH. El costo de encalado para toda el área de estudio tiene un total de $16,208 (Cuadro 30), el lote que presenta el costo más alto por hectárea corresponde a los lotes 1 y 8 de los terrenos de San Nicolás debido a que son los que presentan el pH más bajo de todas las áreas de estudio. El costo de subsolado tiene un total de $40,843 para toda el área de estudio (Cuadro 31). Los costos de actividades de enmienda tienen un total de $57,051.

Debe de tomarse en cuenta que estas actividades tienen un efecto a mediano plazo, por lo cual no se debe de absorber como costo de producción, sino como inversión, y que se provee que habrá un incremento en la producción de forraje, en un 50% más de la producción media que es de 45 t. ha^{-1}.

Cuadro 30. Costo de la encalamiento en las áreas de San Nicolás, Terencio Reyes y Elvin Santos de la Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano, Honduras.

Terreno	Lotes	Área (ha)	pH	t.ha $^{-1}$	t/terreno	Costos $/t	Total ($)
						Cal Dolomítica	
San Nicolás	3	10.2	5.36 a 6.5	2.89	29.48	90	2653
	7 y 2	15.6	5.21 a 6.5	3.27	51.01	90	4591
	1 y 8	5.6	4.99 a 6.5	4.53	25.37	90	2283
	6	6.5	5.23 a 6.5	3.22	20.93	90	1884
Elvin Santos	17	5.5	5.15 a 6.5	4.59	25.25	90	2272
Terencio Reyes	20,21,22,23	8.3	5.85 a 6.5	3.38	28.05	90	2525
Total		**51.7**					**16,208**

Cuadro 31. Costo de subsolar en las áreas de San Nicolás, Terencio Reyes y Elvin Santos de la Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano, Honduras.

Terreno	**Lotes**	**Área (ha)**	**Costos $/ha**	**Total ($)**
San Nicolás	3	10.2	790	8,058
	7 y 2	15.6	790	12,324
	1 y 8	5.6	790	4,424
	6	6.5	790	5,135
Elvin Santos	17	5.5	790	4,345
Terencio Reyes	20,21,22,23	8.3	790	6,557
Total		**51.7**		**40,843**

4. CONCLUSIONES

- La calidad actual de los suelos del área de estudio es baja, teniendo un valor promedio de 13.96 de índice de calidad, equivalente a 43% de calidad de suelo.
- Los suelos pueden tener una mejora potencial de 17.91%, llegando a tener un índice de calidad potencial de 20.02 promedio, que corresponde a una calidad media.
- El 64% de los lotes de estudio cuenta con una aptitud actual clase IV. El 36% restante cuenta con una aptitud clase III.
- Potencialmente el 51% del área de estudio puede llegar a ser Clase II y el 41% Clase III.
- Los lotes del área de estudio cuentan con una erosión promedio de 8.8 t. ha^{-1}.$año^{-1}$, sin embargo solo los lotes de Terencio Reyes se encuentran sobre el límite permitido.
- El área de estudio cuenta actualmente con una profundidad efectiva promedio de 32 cm, correspondiente a suelos superficiales.
- De realizarse subsoleo en el área de estudio, los suelos podrían llegar a tener un profundidad efectiva de 76 cm, lo cual representa una mejora de 42%.
- La totalidad del área de estudio necesita enmiendas de pH para lograr un valor ideal de 6.5.
- Los niveles de potasio se encuentra alto en el área de estudio, lo que representa potenciales problemas de absorción de calcio y magnesio.
- El costo de subsolar y realizar la enmienda de pH es de $57,051 en las 51.7 ha.

5. RECOMENDACIONES

- De realizarse el subsoleo, elaborar calicatas para evaluar la eficiencia de fractura y eficiencia neta una vez realizada la labor.
- Evaluar las características físicas y morfológicas para tener mayor información del impacto del subsoleo en terrenos de Zamorano.
- Realizar un análisis químico del suelo luego del encalamiento para determinar su estado actual.
- Realizar un análisis de retorno sobre la inversión de la implementación de las prácticas sugeridas en este estudio.
- Mantener los terrenos del área de estudio con la mayor cobertura posible durante el año para disminuir las perdidas por erosión.
- Crear un sistema de evacuación de agua en los lotes de Terencio Reyes y asegurar un sistema de evacuación de los lotes una vez que se realice el subsoleo.

6. LITERATURA CITADA

Alcayaga H., P.D. 2000. Uso de datos de precipitación diaria, mensual y anual para la estimación de la erosividad de la lluvia, factor del modelo (R) USLE. Chile.

Alvarado Chaves, Armando Eliécer. Maquinaria y mecanización agrícola. San Jose, Costa Rica. EUNED. 2004. 612p.

Arévalo, G. E., Gauggel, C. A. 2008. Manual de prácticas. Curso de manejo de suelos y nutrición vegetal. Zamorano, Honduras. 3 ª Edición. p 60.

Arévalo, G.E., Gauggel, C.A. 2014. Manual de laboratorio de manejo de ciencia de suelos y aguas. EAP el Zamorano, Honduras. p 79.

Arévalo, G.; M. Castellanos (2011). Módulo 6, Fertilizantes y Enmiendas. Programa para la Agricultura Sostenible en Laderas de América Central. Carrera de Ciencia y Producción Agropecuaria. Escuela Agrícola Panamericana, El Zamorano, Honduras. 59 p.

ATTRA. El Servicio Nacional de Información de la Agricultura Sostenible. (2004). El Manejo Sostenible de Suelos. Obtenido desde: http://www.larioja.org/upload/documents/516768_ATTRA_ManejoSostenibleSuelos.pdf

Barahona Flores, R. 2000. Caracterización detallada de los suelos de San Nicolás y prácticas recomendadas para su uso sostenible, El Zamorano, Honduras. Proyecto especial de graduación presentado como requisito para la obtención del título de Ingeniero Agrónomo. El Zamorano, Honduras, Escuela Agrícola Panamericana. 46 p.

Bertsch Hernández, Floria. Absorcion de nutrimentos por los cultivos. 1 ª Edicion. San jose, Costa Rica. 307 p.

Bustos Estévez C. y Chicaiza Guishcaso C. 2011. Evaluación del efecto del subsoleo del suelo en la producción de frijol Amadeus 77 y DEORHO en Zamorano, Honduras. Tesis Ing. Agr. El Zamorano, Honduras, Escuela Agrícola Panamericana. 33 p.

Calderón Quizhpe A. 2007. Efecto del subsoleo y tres niveles de fertilización en la producción de pasto estrella (cynodon nlemfuensis) en Monteredondo, Zamorano, Honduras. Proyecto especial de graduación presentado como requisito para la obtención del título de Ingeniero Agrónomo. El Zamorano, Honduras, Escuela Agrícola Panamericana.

Castro Vargas R. 2003. Caracterización detallada de los suelos de los sectores de Ganado Lechero y Monte Redondo 1, 2 y 3 del Zamorano, Honduras para el establecimiento y

renovación de pasturas. Proyecto especial de graduación presentado como requisito para la obtención del título de Ingeniero Agrónomo. El Zamorano, Honduras, Escuela Agrícola Panamericana. 43 p.

Cubero Fernandez, D. 2001. Clave de bolsillo para determinar la capacidad de uso de las tierras. Araucaria, Costa Rica. 2001

Esquivel Palma C. y Mendoza Barzola C. 2011. Plan de manejo y conservación de suelos para la producción de sandía y forraje en Zona 1, Escuela Agricola Panamericana, Zamorano, Honduras. Proyecto especial de graduación presentado como requisito para la obtención del título de Ingeniero Agrónomo. El Zamorano, Honduras, Escuela Agrícola Panamericana. 49 p.

FAO. 2009. Guía para la descripción de suelos. Trad. Vargas, R. Cuarta Ed. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. Roma, Italia. 111 p.

Fernández Díaz J. 2003. Caracterización detallada de los suelos de los sectores de Zorrales y Monte Redondo de El Zamorano, Honduras para el establecimiento y renovación de pasturas. Proyecto especial de graduación presentado como requisito para la obtención del título de Ingeniero Agrónomo. El Zamorano, Honduras, Escuela Agrícola Panamericana. 58 p.

Galarza Brito P. 2011. Efecto del subsoleo y cultivo de cobertura (Dolichos lablab) en las propiedades físicas del suelo y producción de maíz cv. 30F32WHR, Zamorano, Honduras. Proyecto especial de graduación presentado como requisito para la obtención del título de Ingeniero Agrónomo. El Zamorano, Honduras, Escuela Agrícola Panamericana. 32p.

Gauggel, C., Arévalo, G. y Barahona, R. 2009. Índices de calidad de suelos para las propiedades morfológicas, físicas y químicas. Publicado en: Memorias del XVIII congreso Latinoamericano de la Ciencia del Suelo y VI Congreso Nacional de Suelos. Asociación Costarricense de la Ciencia del Suelo. 52 p.

Guerra Serrano A. y Mendieta Servellón J. 2011. Subsoleo en suelos arcillosos masivos y fertilización con magnesio en el cultivo de pasto Tobiatá (Panicum maximum). Proyecto especial de graduación presentado como requisito para la obtención del título de Ingeniero Agrónomo. El Zamorano, Honduras, Escuela Agrícola Panamericana. 27 p.

Landon, J.R. 1991. Booker Tropical Soil Manual: a handbook for soil survey and agricultural land evaluation in the tropics and subtropics. 4 ª Edición. New York, Estados Unidos. 446 p.

Lopez Aguilar J. 2003. Caracterización de suelos de la Zamoempreza de Cultivos Extensivos en el Valle de El Zamorano, Honduras. Proyecto especial de graduación presentado como requisito para la obtención del título de Ingeniero Agrónomo. El Zamorano, Honduras, Escuela Agrícola Panamericana. 29 p.

Lovo Silva, J., Saavedra Alvarado, J., Saravia Chávez. 2013. Calidad de los suelos y plan de adecuación para los terrenos de uso agrícola y pecuario de Zamorano, Honduras. Proyecto especial de graduación presentado como requisito para la obtención del título de Ingeniero Agrónomo. El Zamorano, Honduras, Escuela Agrícola Panamericana. 60 p.

Mendoza Aguilar, E. J. 2008. Diseño y cálculo de un sistema de drenaje para la finca San Nicolás, El Zamorano, Honduras. Proyecto especial de graduación presentado como requisito para la obtención del título de Ingeniero Agrónomo. El Zamorano, Honduras, Escuela Agrícola Panamericana. 45 p.

Ochoa Burgos, J.P. 2004. Evaluación de Índices de Calidad de suelos cultivados con banano en fincas comerciales típicas del valle de Sula, Honduras. Proyecto especial de graduación presentado como requisito para la obtención del título de Ingeniero Agrónomo. El Zamorano, Honduras, Escuela Agrícola Panamericana. 31 p.

Pantoja Guamán, J. L. 2005. Efecto del subsoleo en las propiedades físicas y químicas del suelo y en el rendimiento de cuatro cultivos en Zamorano, Honduras. . Proyecto especial de graduación presentado como requisito para la obtención del título de Ingeniero Agrónomo. El Zamorano, Honduras, Escuela Agrícola Panamericana. 97 p.

Perdomo, R., H.E. Hampton. 1970. Ciencia y tecnología del suelo. p 113-115.

Porta, J., Lopez-Acevedo. M y Poch, Rosa M. 2008. Introducción a la edafología: uso y protección del suelo. Ediciones Mundi-Prensa, 451 p. Madrid, España.

Porta, J., Lopez-Acevedo. M y Roquero, C. 2003. Edafología para la agricultura y el medio ambiente. 3. ª Edición. Ediciones Mundi-Prensa, 960 p. Madrid, España.

Raudes, M., Sagastume, N. 2009. Módulo 3, Manual de Conservación de Suelos. Programa para la Agricultura Sostenible en Laderas de América Central. Carrera de Ciencia y Producción Agropecuaria. Escuela Agrícola Panamericana, El Zamorano, Honduras. 75 p.

Sumner M. E. 1999. Handbook of Soil Science. 2 ª edición. CRC Press. Boca Raton, Estados Unidos. 1498 p.

Terrones Cano C. 2003. Caracterización edáfica de las áreas cultivadas con frutales en Zamorano. Proyecto especial de graduación presentado como requisito para la obtención del título de Ingeniero Agrónomo. El Zamorano, Honduras, Escuela Agrícola Panamericana. 65 p.

USAID-RED. Manual para la producción de sandía. 2007. Oficinas de la FHIA. La Lima, Cortez, Honduras. Obtenido desde: www.usaid-red.org

USDA: Soil Potential Ratings. National Soils Handbook Notice N. °31. Washington, 1978. Obtenido desde: http://www.nrcs.usda.gov/Internet/FSE_DOCUMENTS/stelprdb1047455.pdf.

Van Horne, J. 1998 .Administración financiera. 7 ª edición. Prentice-Hall Hispanoamericana S.A., 915 p. México.

Vega Villalobos, Edgar V.; Salas Camacho, Rafael E. 2012. Curvas de absorción de nutrientes bajo dos métodos de fertilización en sandía, en Guanacaste, Costa Rica. 44 p. Obtenido desde: http://www.intersedes.ucr.ac.cr/ojs/index.php/intersedes/article/view/339

Velásquez Méndez, D. 2007. Estudio semi-detallado de suelos de la parte plana de la Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano, Honduras. Proyecto especial de graduación presentado como requisito para la obtención del título de Ingeniero Agrónomo. El Zamorano, Honduras, Escuela Agrícola Panamericana. 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