

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD DE CIENCIAS AGRONÓMICAS



**Estimación de la erosión potencial del suelo en una finca
cafetalera con visión agroecológica**

POR

Xiomara Guadalupe Ramos Fernández

CIUDAD UNIVERSITARIA, ABRIL 2022

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR

FACULTAD DE CIENCIAS AGRONÓMICAS

DEPARTAMENTO DE RECURSOS NATURALES Y MEDIO AMBIENTE



**Estimación de la erosión potencial del suelo en una finca
cafetalera con visión agroecológica**

POR

Xiomara Guadalupe Ramos Fernández

Requisito para obtener el Título de:

Ingeniero Agrónomo

CIUDAD UNIVERSITARIA, ABRIL 2022

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR

RECTOR

M.Sc. ROGER ARMANDO ARIAS ALVARADO

SECRETARIO GENERAL

M.Sc. FRANCISCO ANTONIO ALARCON SANDOVAL

FACULTAD DE CIENCIAS AGRONÓMICAS

DECANO

DR. FRANCISCO LARA ASCENCIO

SECRETARIO

ING. AGR. M.Sc. BALMORE MARTINEZ SIERRA

**JEFE DEL DEPARTAMENTO DE RECURSOS NATURALES Y MEDIO
AMBIENTE**

ING. AGR. M. Sc. JOSÉ MAURICIO TEJADA ASECNCIO

ASESOR DIRECTOR

ING. M. SC. Ph. D. MIGUEL ÁNGEL HERNÁNDEZ MARTÍNEZ

TRIBUNAL CALIFICADOR

ING. M. Sc. Ph. D. MIGUEL ÁNGEL HERNÁNDEZ MARTÍNEZ

ING. M. Sc. JOSÉ MAURICIO TEJADA ASCENCIO

ING. AGR. CARLOS ALBERTO AGUIRRE CASTRO

COORDINADOR DE PROCESOS DE GRADUACIÓN

ING. AGR. NELSON BERNABÉ GRANADOS ALVARADO

Dedicatoria

Mi gratitud al ser supremo, por seguirme dándome sabiduría y fortaleza en mi vida diaria.

Dedico todo mi trabajo, esfuerzo y empeño en este trabajo a Mis padres: Silvio de Jesús Ramos Rivera que siempre se ha esforzado para que pueda culminar mis estudios y de manera en especial a mi madre Carolina del Carmen Fernández de Ramos que siempre me acompañaba en mis días de desvelos que siempre me proyecta sus energías para seguir siendo ejemplo de superación, trabajo y esfuerzo han hecho factible la culminación de otra etapa más de mi vida educacional, brindándome su apoyo para poder superar obstáculos que se me presentaran en el transcurso de mi carrera profesional.

A mis amigas y compañeras de Universidad Kriscia García y Carmen Castaneda, que siempre me dieron ánimos y ayuda en las diferentes dificultades que tuve en la carrera. A mi compañero de vida, Bruno Alexander Jiménez Martínez que con su comprensión y apoyo me supo fortalecer para culminar esta etapa de estudios.

Agradecimientos

Mi sincero agradecimiento a Dios, supremo de todas las cosas y todas las bendiciones derramadas hacia mí, a las personas que me han brindado su apoyo incondicional en toda mi carrera profesional para ser mejor cada día.

Especial agradecimiento a la Universidad de El Salvador por haberme formado y haber adquirido los mejores conocimientos que son herramientas para mi camino profesional en la actualidad y el futuro, al personal docente del departamento de Recursos Naturales y Medio Ambiente por ayudarme a culminar la carrera de Ingeniería Agronómica, en especial a la secretaria Dorita del departamento por ayudarme en todo los trámites necesarios.

Mi gratitud y consideración a mi tutor de tesina el D. Ing. M. Sc. Ph. D. Miguel Ángel Hernández Martínez, que con su gran experiencia, consejos y sugerencias supo brindarme la orientación adecuada para la culminación definitiva de mi trabajo de investigación. A mis padres, amigos y compañero de vida, gracias a ellos que con su esfuerzo desinteresado, me brindaron todo su apoyo para la presente investigación.

Índice General	Páginas
I. INTRODUCCIÓN.....	11
II. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	12
III. OBJETIVOS	13
3.1. Objetivo general.....	13
3.2. Objetivo Especifico.....	13
IV. ESTADO DEL ARTE	14
V. MARCO TEÓRICO.....	15
5.1. Antecedentes Históricos del cultivo de café en El Salvador.....	15
5.2. Erosión	15
5.3. Formas de erosión	16
5.4. Densidad Aparente DA	16
5.5. Textura de los suelos.....	18
5.6. Materia Orgánica del suelo	19
5.7. Ecuación universal de pérdida de suelos (USLE).....	19
VI. METODOLOGÍA.....	21
6.1. Ubicación del estudio.....	21
6.2. Instrumentos, herramientas y equipo de la investigación.	21
6.3. Tipo de investigación.....	22
6.4. Fase de Campo.....	22
6.4.1. Recopilacion de la información de los suelos	23
6.4.1.1. Realización de puntos a muestrear	23
6.4.1.2. Caracterización del terreno.....	23
6.5. Fase de Laboratorio	25
6.5.1. Método de análisis de suelo.	25
IV. ANALISIS DE RESULTADOS	32
7.1. Clase de suelos de la Finca la Esperanza.....	32
7.2. Morfología de los suelos.....	32
7.3. Densidad Aparente.....	35
7.4. Textura de los suelos, MO, DA y valor K de método USLE de la finca agroecológica La Esperanza.	37

7.5. Desarrollo método USLE.....	44
7.5.1. Factor de lluvia y escurrimiento (R)	44
7.5.2. Factor K (erodabilidad del suelo).....	45
7.5.3. Cobertura y uso de la tierra	48
VIII. CONCLUSIONES	54
IX. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA.....	55
X. ANEXO.....	63

Índice de Cuadros

Cuadro 1. Densidad aparente según la textura	17
Cuadro 2. Valores del factor LS para cada rango de pendiente	20
Cuadro 3. Factor de las principales practicas mecánicas.....	20
Cuadro 4. Datos de la densidad aparente de la finca agroecológica La Esperanza.....	35
Cuadro 5. Cuadro de resultados de análisis de los suelos de la Finca Agroecológica la Esperanza.....	37
Cuadro 6. Datos mensuales de lluvia en milímetros Finca Agroecológica la esperanza	44
Cuadro 7. Uso de la tierra en la Finca Agroecológica la Esperanza	48

Índice de Figura

Figura 1. Método de Bouyoucos.....	18
Figura 2. Mapa de ubicación Finca Agroecológica la Esperanza.....	21
Figura 3. Mapa puntos a muestreo Finca Agroecológica la Esperanza.....	23
Figura 4. Peso de caja vacía	25
Figura 5. Peso caja con muestra	25
Figura 6. Muestras identificadas con su código	26
Figura 7. Muestra húmeda	27
Figura 8. Muestra húmeda en bandeja.....	27
Figura 9. Muestra en estufa	27
Figura 10. Muestra seca.....	27
Figura 11. Muestra molida.....	28
Figura 12. Tamizado del suelo	28
Figura 13. Pesando 50 gr. de muestra tamizada	28
Figura 14. Midiendo hexametafosfato	28
Figura 15. Agitación por 5 minutos.....	29
Figura 16. Agitación por 10 min	29
Figura 17. Muestra de suelo en la probeta.....	29
Figura 18. Agitación antes de aforar	29

Figura 19. Aforando hasta la marca.....	30
Figura 20. Agitando 15 veces	30
Figura 21. Toma de temperatura y hidrómetro.....	30
Figura 22. Triangulo de clase textural de suelo (INTA, 2015).....	31
Figura 23. Clase agroecológica de suelos Finca Agroecológica la Esperanza	34
Figura 24. Mapa de Densidad Aparente Finca la Esperanza.....	36
Figura 25. Mapa del contenido Arcilla mas Limo Finca Agroecológica la Esperanza	38
Figura 26. Mapa del contenido de Arcilla Finca Agroecológica la Esperanza	39
Figura 27. Mapa de contenido de Limo Finca Agroecológica la Esperanza	40
Figura 28. Mapa de contenido de Arena de Finca Agroecológica la Esperanza	41
Figura 29. Mapa de Materia Orgánica Finca Agroecológica la Esperanza	42
Figura 30. Mapa de Pendiente Finca Agroecológica la Esperanza	43
Figura 31. Curva de lluvia promedio mensual de 2010-2020	45
Figura 32. Monograma para la determinación de la erodabilidad del suelo modificado por Wischmeier y Smith (1978).....	46
Figura 33. Mapa Factor K Formula USLE Finca Agroecológica la Esperanza	47
Figura 34. Mapa de Uso de los Suelos Finca Agroecológica la Esperanza.....	48
Figura 35. Mapa Factor C Formula USLE Finca Agroecológica la Esperanza	49
Figura 36. Mapa Factor LS Formula USLE Finca Agroecológica la Esperanza	50
Figura 37. Mapa Factor P Formula USLE Finca Agroecológica la Esperanza	51
Figura 38. Mapa Factor R Formula USLE Finca Agroecológica la Esperanza	52
Figura 39. Mapa USLE de Finca Agroecológica la Esperanza	53

Índice de Anexos

Anexos 1. Cronograma de Actividades	63
Anexos 2. Densidad Aparente de la Finca Agroecológica la Esperanza.....	64
Anexos 3. Peso Muestra de suelo antes de las pruebas de laboratorio.	65
Anexos 4. Cuadro de Determinación de la Textura de suelos de la Finca Agroecológica la Esperanza.....	66
Anexos 5. Cálculos mensuales de factor R	67
Anexos 6. Resultados análisis de suelo finca la Esperanza	68

Resumen

La presente tesina tuvo como objetivo estimar la erosión potencial del suelo en una finca cafetalera con visión agroecológica, ubicada en el Cantón San Juan Buena Vista Km 58.2 carretera Panamericana, departamento Santa Ana, aplicando la ecuación universal de pérdida de suelos (USLE). Como metodología de trabajo tuvo fase de campo y laboratorio, extrayendo muestras de suelo que se llevaron al laboratorio del CENTA y de la facultad de Ciencias Agronómicas de la Universidad de El Salvador, donde se realizaron análisis para determinar textura de suelo por el método de bouyoucos, densidad aparente y materia orgánica. Los resultados muestran los coeficientes consistentes del factor de: lluvia R, erodabilidad K, longitud y pérdida de ladera LS, cobertura vegetal C y prácticas de conservación de suelo P. El nivel de erosión de la finca la Esperanza fue de 0.7061 T/ha/año siendo menor a uno, siendo un valor aceptable pero se deben implementar medidas para que ese valor no siga aumentando cada año en la finca.

Abstract

The objective of this thesis was to estimate the potential soil erosion in a coffee farm with an agroecological vision, located in the Canton of San Juan Buena Vista, Km 58.2 Pan-American Highway, department of Santa Ana, applying the universal soil loss equation (USLE). As a work methodology, it had a field and laboratory phase, extracting soil samples that were taken to the CENTA laboratory and the Faculty of Agronomic Sciences of the University of El Salvador, where analyzes were carried out to determine soil texture by the bouyoucos method. , apparent density and organic matter. The results show the consistent coefficients of the factor: rainfall R, erodibility K, slope length and loss LS, vegetation cover C and soil conservation practices P. The level of erosion of the Esperanza farm was 0.7061 T/ha/ year being less than one, being an acceptable value but measures must be implemented so that this value does not continue to increase each year on the farm.

I. INTRODUCCIÓN

Durante los últimos años en el sector agrícola, la productividad ha sido prioritaria por encima de todos los otros servicios ecosistémicos. El rol de una finca de café, era solo producir café, sin entender que en esa finca también se debería producir agua limpia, mantener el suelo sano, almacenar dióxido de carbono (CO₂), proteger la biodiversidad, regularla temperatura (FAO 2017).

Las grandes áreas cafetaleras se encuentran ubicadas al sur de la Carretera Panamericana Apaneca-Ilamatepec, El Bálsamos-Quezaltepec, Chinchontepec y Tecapa Chinameca, formando tres grandes grupos, entre los que se encuentran los principales departamentos productores cafeteros del país, Santa Ana, Ahuachapán, Sonsonate y La Libertad (CONAPLAN 1974).

Las zonas cafetaleras, generalmente están ubicadas en zonas de agua subterránea, siendo claves en la recarga de las mismas, lo que las convierte un verdadero oasis en el marco de las zonas de infiltración reducida. (Asturias, D 2019).

Según PROCAFE, en el país, cada hora, el bosque cafetalero enriquece los mantos acuíferos con 715 m³ de agua, de los cuales se conserva el 70%, es decir que cada hora los cafetales aportan a los mantos acuíferos 500,5 m³ de agua. (Asturias, D 2019).

Por lo anterior la investigación tuvo como objetivo estimar la erosión de los suelos en la finca cafetalera la Esperanza y poder determinar el grado de erosión que presentan estos suelos y poder dar una recomendación apropiada para estos suelos.

II. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

La erosión es la causa principal de la degradación de los suelos y la calidad del agua en los trópicos. Asimismo, los factores climáticos, biofísicos y topográficos asociados con la presión por la tierra dado el crecimiento de la población, convierten a El Salvador, en un sitio propicio para el fenómeno de la erosión (Castillo Aguilar, VM 1992).

El suelo es un recurso natural vital, en gran medida no renovable, que está sometido a una presión de uso cada vez mayor y a procesos de degradación, entre ellos la erosión hídrica, la cual se considera a nivel mundial, el más importante que afrontar, para mantener la capacidad productiva de los suelos (Cenicafé 2010).

La falta de información sobre los servicios ambientales que ofrecen el bosque cafetalero cultivado bajo sombra y con mecanismos de protección basado en un manejo agroecológico, con énfasis en la protección del recurso suelo, produce un desinterés en la mejora de la cobertura del suelo, produce indirectamente una subvaloración de estos servicios ambientales vitales para la conservación del suelo y del agua, provocando la erosión del suelo y degradación del mismo.

Por lo anterior se necesita hacer un estudio que permita conocer la pérdida de suelo en la finca agroecológica la Esperanza, a través del método de Ecuación Universal de Pérdida de Suelo (USLE), en el sistema con visión agroecológica, con la finalidad de obtener datos que confirmen que el manejo que se realiza con el sistema contribuye a su conservación y sostenibilidad, favoreciendo así con diversos beneficios a los productores de café ante las amenazas climáticas en otras.

III. OBJETIVOS

3.1. Objetivo general

- Estimar la erosión potencial del suelo en una finca cafetalera con visión agroecológica.

3.2. Objetivo Especifico

- Caracterizar las propiedades físicas, geomorfológicas del suelo y climáticas en la finca agroecológica la Esperanza.
- Determinar contenido de materia orgánica del suelo en la finca agroecológica la Esperanza.
- Estimar la erosión potencial anual en la finca agroecológica la Esperanza.

IV. ESTADO DEL ARTE

Según Kirkby y Morgan (1984), la erosión del suelo es la remoción del material superficial por acción selectiva del viento o el agua. El criterio más amplio es compararlo con otros procesos de desgaste del paisaje, con perspectiva a un contexto mundial y una escala de tiempo geológico.

Morgan (1994), indica que la erosión es un proceso natural, pero su distribución en el tiempo y espacio es el resultado de circunstancias físicas y humanas. Desde que la tierra se cultivó por primera vez, la erosión del suelo por el agua y el viento han sido un problema constante.

Víctor Cortez (2010) dice que los cafetales con mayor diversidad mejoran las condiciones agroecológicas de la finca al incrementar la capa de materia orgánica, así como las propiedades físicas y químicas del suelo, con lo que se produce un café ecológicamente más sostenible y reconocido en los mercados internacionales y se disminuye la erosión porque forman una cobertura contra la lluvia y el viento, lo que reduce el lavado de la capa fértil del suelo, además de contribuir al control biológico de las plagas y las enfermedades.

Wischmeier y Smith (1958) indican que el Departamento de Agricultura de los EEUU (USDA), comenzó un programa en 1933, con 10 estaciones experimentales de erosión de suelos y 40 proyectos para el control de la erosión en todo el país. Las estaciones experimentales median la escorrentía y la erosión del suelo en parcelas uniformes y en pequeñas cuencas con un amplio rango de suelos y técnicas de cultivo. Todos los datos aportaron el conocimiento suficiente sobre los procesos erosivos, con el resultado de la USLE (Universal Soil Loss Equation).

Rodríguez et al. (2004), indican que la USLE es un modelo paramétrico que pretende interpretar los mecanismos erosivos por causas y efectos, de mayor aceptación y más amplia aplicación. La incorporación de los SIG a este tipo de estudios permite con técnicas modernas un mejor análisis y representación de la información georeferenciada.

V. MARCO TEÓRICO

5.1. Antecedentes Históricos del cultivo de café en El Salvador

En Centro América, se estima que el periodo de introducción fue entre 1779 a 1796. Posiblemente el café fue llevado a Cuba y Costa Rica por Francisco Javier Navarro en 1796. Aunque los Mexicanos sostienen que fueron los primeros en sembrarlo en fincas de la cercanía de Córdoba, en época anterior a la señalada. En Guatemala se dice que el cultivo se inicio en 1835 (Bolaños Portillo, FE; Cúellar Girón, CF 2019).

En El Salvador sostienen que el período de introducción fue en 1800 o 1815, un siglo después de haber ingresado su cultivo a América; se argumenta que los primeros en conocer las plantas de café fueron los señores Cirilo Guerra y Francisco Martínez en 1837 ó 1838 en Santa Ana, producto de semillas de plantas de café de los huertos de dos indios de Ahuachapán, que obtuvieron en la hacienda Soyote, propiedad de los señores Álvarez de Asturias en el departamento de Jutiapa en Guatemala. De Ahuachapán, lo trasladaron a Santa Ana y lo extendieron al resto de la Republica. (Dimas, DJ 2004)

5.2. Erosión

La consecuencia directa de la erosión del suelo es una disminución de la productividad agrícola, debido a la pérdida de nutrientes, a su deterioro físico, a la pérdida de profundidad y en casos extremos a la pérdida total del suelo. De esto se desprende la necesidad de medir o estimar la erosión potencial de los suelos para aplicar medidas que eviten la pérdida de este recurso (Honorato, R 2001)

Para la estimación de la erosión se han desarrollado modelos cualitativos y cuantitativos; entre los primeros, destaca la cartografía de unidades homogéneas en función de los parámetros principales que controlan el proceso erosivo (erosividad de la lluvia, suelo, vegetación, topografía), con otros atributos de ajuste más subjetivos. Los modelos cuantitativos permiten la estimación numérica de la erosión y pueden tener una evaluación directa o indirecta (Honorato, R 2001).

El riesgo a la erosión se define como la posibilidad de que una amenaza cause un daño, en un determinado período de tiempo. El riesgo está relacionado directamente con la vulnerabilidad, la cual se refiere a la susceptibilidad de que el suelo sea afectado por un fenómeno dañino en este caso la erosión (Cenicafé 2010).

5.3. Formas de erosión

5.3.1. Erosión eólica

Generada principalmente por el viento en suelo livianos y sueltos, se encuentran localizados en regiones con variaciones altas de temperaturas, presentan pocas precipitaciones y con predominio de vientos fuertes (Jaramillo V, JJ. 2015).

5.3.2. Erosión hídrica

Se entiende por erosión hídrica al proceso de disgregación y transporte de las partículas de suelo por la acción del agua. El proceso se inicia cuando las gotas de lluvia se precipitan sobre el suelo con suficiente energía para remover sus partículas siendo liberadas y transportadas por las escorrentías superficiales hacia los flujos de drenaje. El proceso termina cuando los materiales transportados por las corrientes son acumulados en áreas de sedimentación impidiendo el flujo de las partículas de sedimentos previamente incorporadas al mismo (Jaramillo V, JJ. 2015).

5.4. Densidad Aparente DA

La densidad aparente del suelo se define como la masa de una unidad de volumen de suelo seco (105°C). Este volumen incluye tanto sólidos como los poros, por lo que la densidad aparente refleja la porosidad total del suelo. Valores de densidad aparente bajos (generalmente por debajo de 1,3 kg dm⁻³) indican generalmente una condición porosa del suelo (FAO, 2009).

La densidad aparente es un parámetro importante para la descripción de la calidad del suelo y la función del ecosistema. Los valores de densidad aparente altos indican un ambiente pobre para el crecimiento de raíces, aireación reducida, y cambios indeseables en la función hidrológica como la reducción de la infiltración del agua (FAO, 2009).

La densidad aparente es la característica que en mayor grado influye sobre la productividad de los cultivos, debido a su estrecha relación con otras propiedades del suelo. Incluso, en algunas especies ejerce un mayor efecto que el mismo uso de fertilizantes, el cual puede ser más notable cuando no se aplica estos últimos (Wild, A. 1992).

La densidad aparente afecta el grado de resistencia física que ejercen los suelos al crecimiento y funcionamiento del sistema radical. El aumento de DA, como consecuencia

de la compactación, disminuye la macroporosidad y la aireación, incrementa la resistencia mecánica a la penetración, afecta la absorción normal de nutrimentos y del agua, impide la actividad microbiana, reduce la infiltración (Salamanca J, A et al 2004).

En suelos de textura fina la DA varía entre 1 y 1,2g.cm-3 mientras que en suelos arenosos es mayor y puede variar entre 1,2 y 1,6g.cm-3. La naturaleza, las dimensiones y el arreglo de las partículas, además de otros factores relacionados con su formación, también influyen sobre los valores de DA (Dick, R.P., 2004).

Los valores bajos de densidad aparente son propios de suelos porosos, bien aireados, con buen drenaje y buena penetración de raíces, lo que permite un buen desarrollo de las raíces (Donoso, Z. 1992).

5.4.1. Factores que afectan la densidad aparente de los suelos

Según Pritchett (1990), describe los factores que afectan la densidad aparente de los suelos como:

- Estructura. La granulación en los suelos tiende a aumentar el espacio poroso y por tanto disminuye en la densidad aparente. Como las condiciones estructurales son malas en los suelos, se facilitan las condiciones de compactación de los horizontes, con la consecuente reducción del espacio poroso.
- Textura. La textura de los suelos es una de las propiedades que afectan directamente densidad aparente y está estrechamente relacionada a ella.

Cuadro 1. Densidad aparente según la textura

Textura	Densidad aparente (g/cm ³)
Arenas	1.6 a 1.7
Francos	1.3 a 1.4
Arcillas	1.0 a 1.2
Suelos orgánicos	0.7 a 1.0

Fuente: Según Pritchett, 1990

- Compactación. A medida que los suelos se compactan disminuye la porosidad y aumenta la densidad aparente.

- Materia orgánica. La materia orgánica influye al facilitar y elevar la granulación de la estructura de los suelos, aumentando la porosidad y disminuyendo la densidad aparente.

5.5. Textura de los suelos

La textura del suelo es determinada por la cantidad de arena, limo y arcilla contenidos en el suelo. Cuanto más pequeñas sean las partículas, más la textura será del tipo arcilloso y cuanto más grandes, más se aproximará al tipo arenoso (FAR et al. 1988).

5.5.1. Método de Bouyoucos

El método Bouyoucos, consiste en determinar la cantidad de sólido en suspensión de acuerdo a la Ley de Stokes, la densidad de suspensión se mide por medio de un hidrómetro calibrado. La densidad de una suspensión de suelo a una profundidad se va haciendo menor a medida que se sedimentan las partículas.

Su valor en diferentes tiempos se relaciona empíricamente con el tamaño de las partículas, de modo que seleccionando los tiempos, una lectura de la densidad puede servir de medida de limo + arcilla o de arcilla (Gavande, 1987).

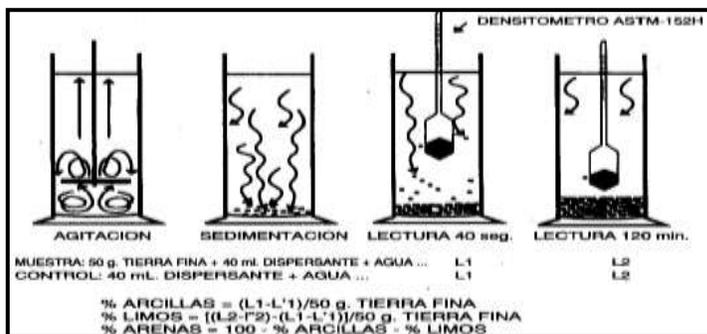


Figura 1. Método de Bouyoucos

5.6. Materia Orgánica del suelo

La calidad del suelo es uno de los factores más importantes en el sostenimiento global de la biosfera y en el desarrollo de prácticas agrícolas sustentables (Wang y Gong, 1998).

Si bien los indicadores físicos, químicos y biológicos no determinan independientemente la calidad del suelo, la mayoría de los estudios coinciden en que la materia orgánica (MO) es el principal indicador e indudablemente el que posee una influencia más significativa sobre la calidad del suelo y su productividad (Gregorich et al. 1994).

5.7. Ecuación universal de pérdida de suelos (USLE)

Esta Ecuación estima las pérdidas de suelo anuales, como valor promedio de un período representativo de años, que se producen en una parcela o superficie de terreno debido a la erosión superficial, laminar y en regueros, ante unas determinadas condiciones de clima, suelo, relieve, vegetación y usos del suelo (González, T.M, 1991).

La USLE es una ecuación empírica para determinar la pérdida media anual de suelo, resultando ser un modelo práctico y accesible que ha sido utilizado a diferentes escalas en el mundo entero.

$$A = R \cdot K \cdot S \cdot L \cdot C \cdot P$$

Factor K: el factor de erosionabilidad del suelo, es la tasa de pérdida de suelo por unidad de índice de erosión para un suelo específico medido en una parcela unitaria, que se define como una longitud (Wischmeier, W. H; D.D. Smith 1978).

Factor R: Es el factor de erosividad de las lluvias, representa los factores de lluvia y escurrimiento; corresponde a un número de unidades del índice de erosión pluvial (EI), por año o en un período de tiempo considerado (INTA; Ministerio de Agroindustria Presidencia de la Nación Argentina 2017).

Factor C: referido a la protección que ejerce la cobertura y uso de la tierra cuando intercepta las gotas de lluvia.

Se conoce también con el nombre de "factor de cobertura vegetal", es la relación entre las pérdidas del suelo en una parcela de prueba cultivada bajo unas condiciones específicas y

las pérdidas del suelo correspondientes a la misma parcela sometida a barbecho continuo. Es un factor adimensional (Wischmeier y Smith 1978).

Factor LS: está dado por la inclinación y longitud de la pendiente.

L: factor de longitud de pendiente, proporción de pérdida de suelos en longitud de pendiente específica con respecto a una longitud de pendiente estándar.

S: factor de inclinación de pendiente, proporción de pérdida de suelos de una superficie con una pendiente específica con respecto a una pendiente.

L, S: longitud e inclinación de pendiente (ZÚÑIGA 2017)

Mintegui Aguirre (1988) estableció unos determinados rangos de pendiente y asignó un valor de LS a cada uno de ellos (Cuadro 2).

Cuadro 2. Valores del factor LS para cada rango de pendiente

Pendiente %	0-3	3-12	12-18	18-24	24-30	>30
Factor LS	0.3	1.5	3.4	5.6	8.7	14.6

Factor P: referido a las prácticas de control de la erosión en la zona (se consideró un valor de uno cuando no se observan obras de conservación) (Rodríguez 2007).

Los factores de método para las tres principales prácticas mecánicas conservacionistas según las recomendaciones de Wischmeier y Smith (1978), aparece en la siguiente tabla:

Cuadro 3. Factor de las principales practicas mecánicas.

Pendiente %	Cultivo en contorno	Cultivo en franjas de contorno y surcos irrigados	Terraceo
1-2	0.6	0.3	0.12
3-8	0.5	0.25	0.1
9-12	0.6	0.3	0.12
13-16	0.7	0.35	0.14
17-20	0.8	0.4	0.16
21-25	0.9	0.45	0.18

Fuente: Wischmeier y Smith, 1978

VI. METODOLOGÍA

6.1. Ubicación del estudio.

La investigación se realizó en el periodo comprendido de mayo a septiembre del año 2021, en la finca Agroecológica la Esperanza conformada por 15 mz., está ubicada en el Cantón San Juan Buena Vista Km 58.2 carretera Panamericana, departamento Santa Ana, con una elevación de 725 metros sobre el nivel del mar, con coordenadas geográficas latitud $14^{\circ}05'24''N$, longitud $89^{\circ}30'40''O$; y una temperatura promedio anual de $23.6^{\circ}C$, humedad relativa máxima de 78.9 % y mínima de 61.1%, y una precipitación anual de 1780.5mm.

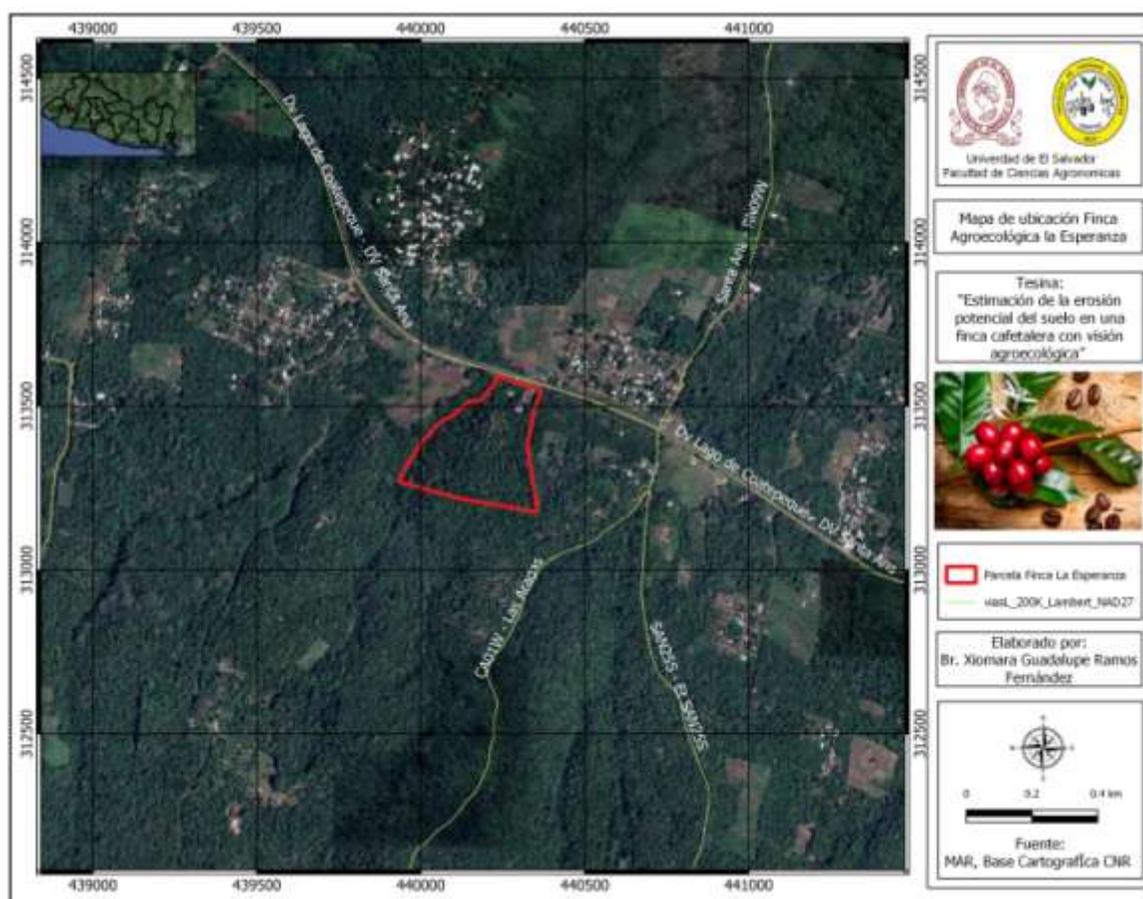


Figura 2. Mapa de ubicación Finca Agroecológica la Esperanza

6.2. Instrumentos, herramientas y equipo de la investigación.

Para la realización de la investigación se utilizaron, una computadora que tuviera instalado el programa QGIS y que ayudo a la recolección de información para la elaboración del proyecto de investigación. Se utilizará también un teléfono celular para la

toma de fotografías, GPS para toma de georreferencia de las diferentes áreas que se muestrearon.

Azadón, pala, machetes, marcadores, bolsas plásticas donde se guardón las muestras con su rotulación. Los cilindros metálicos se usaron para la medición de densidad aparente.

Todas estas muestras serán llevaron a laboratorio para poder analizar los parámetros a estudiar de la finca agroecológica la Esperanza.

6.3. Tipo de investigación

La investigación es de tipo exploratoria descriptiva y de laboratorio, se investigaran los parámetros de erosionabilidad que se tiene en la finca agroecológica la Esperanza, siendo un tema de mucha importancia porque nuestro país tiene un gran número de terreno erosionado por tener tierras descubiertas y sin ningunas obras de conservación.

Siendo temas de estudio en otros países contamos con información, que servirá como base para la elaboración de la tesina. Siendo un trabajo tipo documental y de campo, pues la información se busca en libros, artículos científicos y revistas científicas, tesis o documento que sirva para recopilar la información y datos requeridos para ver el grado de erosión que tiene los suelos de la finca la Esperanza.

6.4. Fase de Campo.

Para la realización de la investigación se utilizo los siguientes materiales: Celular con el programa MAPinr y computadora para realizar los mapas con los datos obtenidos de textura de suelo y la ecuación universal de pérdida de suelo (USLE).

En la primera visita se realizo un recorrido en toda la finca con el fin de observar los cultivos que se encuentran, también se tomo en cuenta los limites en cuanto a área de las 14 mz, para poder determinar los puntos que se muestrearon en toda la finca, en total se realizo en 17 puntos con un distanciamiento de punto entre punto de 75 metros haciendo uso del programa QGIS.

6.4.1. Recopilación de la información de los suelos

6.4.1.1. Realización de puntos a muestrear

Con el programa QGIS se realizó la intersección de los 19 puntos que luego se guardó a formato kml para ser trasladados al programa MAPinr y poder realizar el muestreo de suelos en toda la finca.

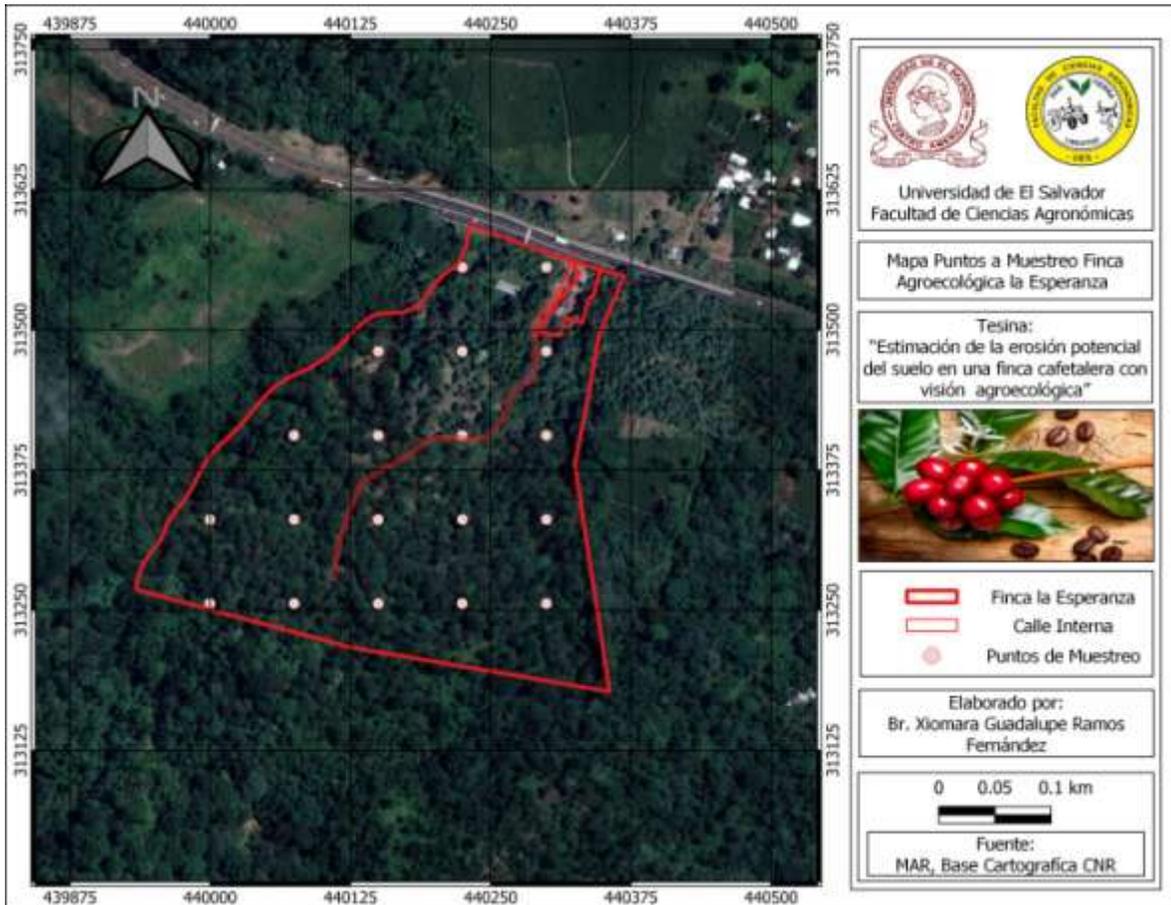


Figura 3. Mapa puntos a muestreo Finca Agroecológica la Esperanza

6.4.1.2. Caracterización del terreno

Esta se realizó mediante lo siguiente:

Pendiente

Para la toma de la pendiente se utilizó un clinómetro que se hizo en la parte cercana al punto de muestreo de forma ascendente o descendente haciendo girar el transportador o semicírculo graduado.

Coordenadas GPS

Con la utilización del GPS tomamos las coordenadas en cada 19 puntos de muestreo, que tenía que estar despejado para tener una mejor recepción de los satélites y ser más exacta las coordenadas.

Clase de suelo de la finca

Con el programa QGIS se obtuvo las clases de suelo a que pertenece la finca agroecológica la Esperanza, para conocer el tipo de uso que se le dio o sigue dando a esos suelos.

Densidad aparente

En los 19 puntos que se tomaron las muestras de suelo para la prueba de textura también se tomo las muestras de densidad aparente con el método del cilindro que se utilizaron bolsas plásticas, estufa, bascula semi analítica, latas que fueron proporcionadas en el laboratorio de suelos para su proceso.

Ecuación universal de pérdida de suelo (USLE)

El método USLE nos permitió conocer la pérdida de suelo anual en toneladas, que se da en la finca agroecológica la Esperanza, con los datos de:

Las precipitaciones anuales: obtenidas de la página de global climate monitor y para obtener el valor de R mensual se realizaron cálculos.

Erodabilidad del suelo: utilizando el monograma de Wischmeier y Smith (1978) y los datos obtenido de porcentaje de arena, materia orgánica, limo-arena, estructura y permeabilidad del suelo de la finca.

Longitud de la ladera y pérdida de la ladera: Obtenido de Mintigui (1988) que se modifico en la fórmula del programa QGIS.

Uso del suelo: Datos obtenidos de diferentes autores que le dieron un valor a los cultivos y estructura que se tiene en la finca la Esperanza (Cuadro 7).

Practicar de conservación: Obtenido de las principales practicas y conservación y pendiente según recomendado por Wichmeier y Smith (1978) y Rodriguez (2007).

6.5. Fase de Laboratorio

6.5.1. Método de análisis de suelo.

Se realizó muestreo de suelos en 17 puntos para determinar densidad aparente, materia orgánica y textura de suelos por el método de bouyoucos, estas muestras se colocaron en bolsas ziploc un promedio de 1lbs de suelos por punto, que a su vez se rotularon con el nombre de la finca, número de muestra, número de punto y fecha que se realizó ese muestreo. Estas pruebas se realizaron en el laboratorio de suelos, en la Facultad de Ciencias Agronómica, Universidad de El Salvador.

Los materiales que se utilizaron de laboratorio y proporcionados por el Ing. Gerardo Marroquín fueron: un tamiz de N°5, balanza semi analítica, estufa, beaker, agitador, termómetro, hidrómetro, vaso agitador, hexametáfosfato de Na al 5%.

Densidad aparente

1. Se pesó la caja vacía luego se taró para conocer el peso del suelo sin la lata.



Figura 4. Peso de caja vacía



Figura 5. Peso caja con muestra

2. Se rotularon cada muestra con un código para identificarlas.



Figura 6. Muestras identificadas con su código

3. Se llevo a la estufa 105° C por 24 horas.

4. Tomar peso del suelo seco más la cápsula.

5. Se realizaron los cálculos para determinar la densidad aparente.

Volumen del cilindro= $\pi \cdot r^2 \cdot h$.

$$DA = \frac{\text{peso de suelo seco } 105^{\circ}\text{C}}{\text{Volumen del cilindro}}$$

Textura de suelo por el método de Bouyoucos

Procedimiento:

1. Teniendo las 17 muestras de suelo húmedo se pesaron y colocaron en las bandejas desechables.



Figura 7. Muestra húmeda



Figura 8. Muestra húmeda en bandeja

2. para luego meterlas a la estufa por 24 horas, enfriarlas y pesarlas.



Figura 9. Muestra en estufa



Figura 10. Muestra seca

3. Se molió los trozos más grandes de tierra para facilitar el tamizado y obtener más muestra fina.



Figura 11. Muestra molida



Figura 12. Tamizado del suelo

4. Se peso 50 gr. de suelo en un beaker y se le agrego 100 ml de Hexametáfosfato de Na 5%.



Figura 13. Pesando 50 gr. de muestra tamizada



Figura 14. Midiendo hexametáfosfato

5. luego se agito por 5min para disolver las partículas, dejándolas después 15 min en reposo para luego llevarlo al agitador por 10 min.



Figura 15. Agitación por 5 minutos



Figura 16. Agitación por 10 min

6. Colocar la muestra de suelo ya agitada en la probeta de sedimentación arrastrando las partículas del suelo con agua destilada, agitar 7 a 10 veces antes de aforar.



Figura 17. Muestra de suelo en la probeta



Figura 18. Agitación antes de aforar

7. Con alcohol etílico al 70% quitar las burbujas, aforar la probeta hasta 1000 ml y agitar 15 veces desde la base hasta arriba sin que se derrame.



Figura 19. Aforando hasta la marca



Figura 20. Agitando 15 veces

8. Tomar el dato después de agitar a los 40seg con el hidrómetro y el termómetro, tomamos la segunda lectura a las dos horas.



Figura 21. Toma de temperatura y hidrómetro



Figura 22. Toma de temperatura y hidrómetro a las 2 horas

10. Por últimos realizamos los cálculos para determinar el porcentaje de: arena, limo, arcilla, y determinar la textura de suelo.

$$\%Arena = 100 - \frac{\text{lectura corregida a los 40 segundos.}}{\text{peso de la muestra (g) a los } 105^{\circ}C}$$

$$\%Arcilla = \frac{\text{lectura corregida a las 2 horas} * 100.}{\text{peso de la muestra (g) a los } 105^{\circ}C}$$

$$\%limo = 100 - (\%arcilla + \% Arena)$$

Determinación de las clases texturales con el triángulo textural

Los términos texturales se definen de una manera gráfica en el diagrama triangular que representa los valores de las tres fracciones. Hay varios modelos utilizados en los distintos sistemas de clasificación de suelos pero el más universalmente aceptado es el siguiente:

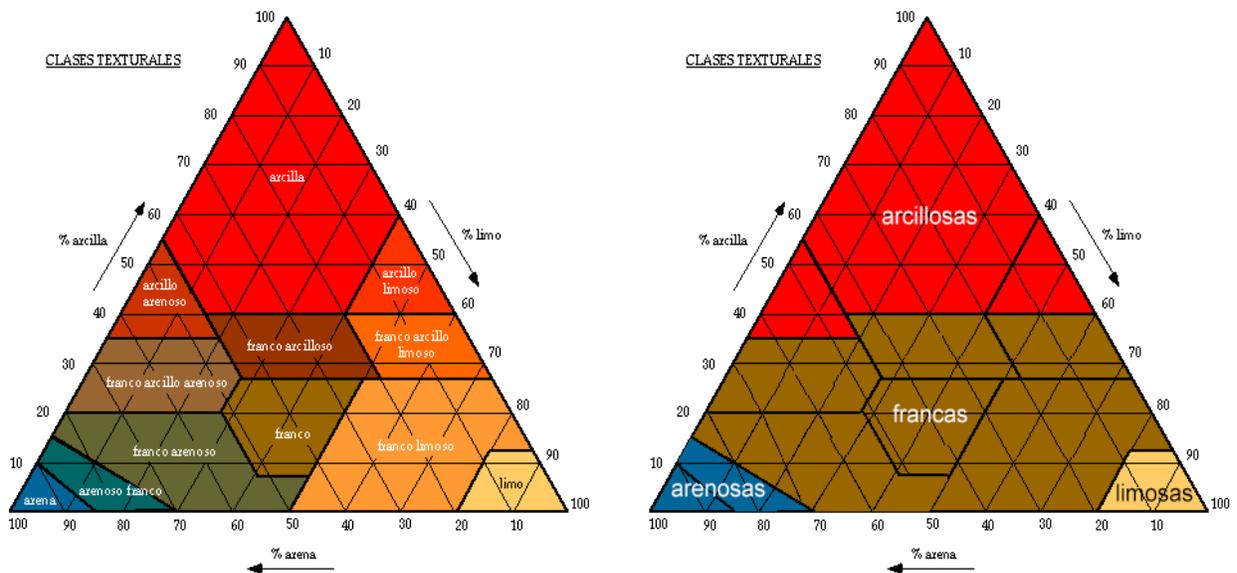


Figura 22. Triángulo de clase textural de suelo (INTA, 2015)

IV. ANALISIS DE RESULTADOS

7.1. Clase de suelos de la Finca la Esperanza

Serie de suelo que pertenece la Finca Esperanza es Azacualpa

La unidad cartográfica AZA (Azacualpa alomado en planicies) estos son suelos de planicies antiguas moderadamente diseccionadas de topografía alomada. Las pendientes fluctúan de 6 a 25%. Las capas inferiores están compuestas de pómez y polvos volcánicos, algunas veces cementados y algunos tobas (DENYS, JR. s.f.).

Los suelos Azacualpa pertenece al gran grupo Latosol Arcillo Rojizo, Las capas superficiales son de textura franca a franco arcillosa de color café muy oscuro y de estructura granular. Los subsuelos son arcillosos, con estructura en bloques fuertes y con películas de arcilla, de color café oscuro a café rojizo oscuro, bastante desarrollados y profundos (DENYS, JR. s.f.).

Las capas inferiores están constituidas por pómez medianamente grueso de textura arenosa. Existen pequeñas áreas de suelos francos, friables, café oscuro, pero sin presentar el subsuelo arcilloso. La capacidad de producción varía de moderada a alta. Responden a los fertilizantes a base de nitrógeno y fósforo (DENYS, JR. s.f.).

Su drenaje es externo e interno son moderados, aunque el suelo es de lenta permeabilidad, Mantiene cierta humedad en la época seca. El uso anterior de estos suelos era para Café, pastos, maíz y maicillo, aunque en la actualidad se sigue usando para estos cultivos (DENYS, JR. s.f.).

7.2. Morfología de los suelos

Descripción de cada horizonte de suelos de la finca la Esperanza

Serie de suelo Azacualpa

Fisiografía: Planicies, lomas y cerros antiguos, con variable disección.

Categorías según la clasificación genética Gran Grupo Latosol Arcillo Rojizo y orden Alfisol, gran grupo Haplustalf en el Soil Taxonomy: Serie Azacualpa, con clases agrológica de suelo: IV y VI

Topografía: Según la clase de suelos IV y VI, su pendiente oscila 4% a % 45. Tiene una profundidad efectiva de 80-150 sobre tobas fundidas.

Material Parental: Polvo y gravilla pomicíticos, bastante meteorizados. Más abajo se encuentran tobas fundidas.

Drenaje interno y externo: Son suelos profundos y fuertemente desarrollados.

Pedregosidad y o Rocosidad: Son suelos sin piedras.

Uso Actual de la zona: Cafetal y granos básicos a su alrededor.

Características De los suelos: Horizontes, Profundidad, Textura, Estructura, Consistencia, Estabilidad de Agregados, los suelos de la serie tienen horizonte A, B, C y R. Son suelos profundos, textura Latosol arcillo rojizo de la orden Alfisol, con una estructura de bloques finos en la parte de arriba y parte medio de prismática de bloques gruesos.

Limitantes: Como tiene pendiente hasta de 45% no se puede meter maquinaria, también requiere de un buen manejo para evitar o controlar la erosión de los suelos.

Aptitud de los suelos observados: Su potencial es moderadamente a muy alto, existen áreas adecuadas para los cultivos anuales y los dependientes más fuertes para cultivos permanentes. Debe considerarse una fertilización adecuada para obtener buenos rendimientos de las cosechas.

Mapa clase agroecológico

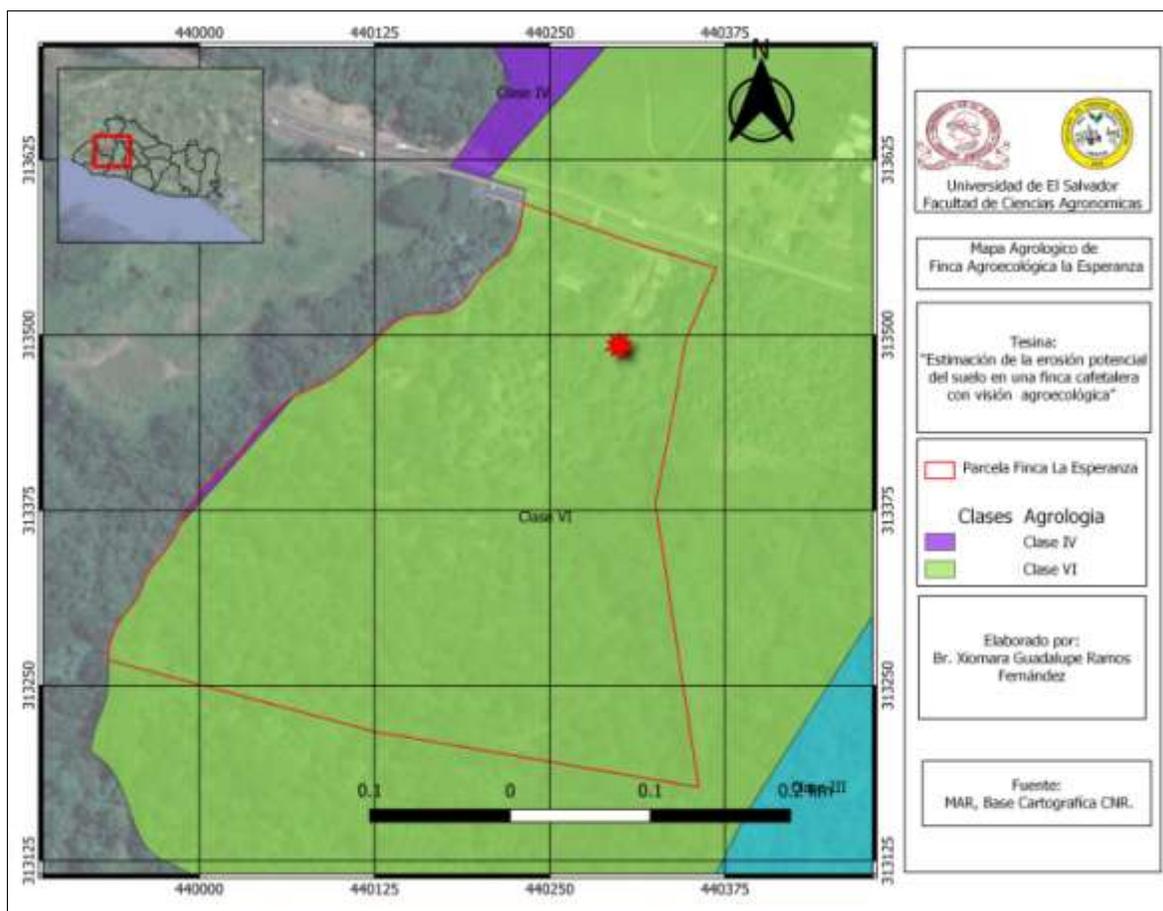


Figura 23. Clase agroecológica de suelos Finca Agroecológica la Esperanza

Según Valarezo et al. (1996) la clase de suelo agrológica IV y IV son aptos para cultivos permanentes, cultivos de ciclo corto y bosque, cultivos que se encuentran en la finca La Esperanza como hortalizas, frutales y café que es su principal cultivo e ingreso económico.

7.3. Densidad Aparente.

La densidad aparente de los suelos de la finca agroecológica La Esperanza sus rangos oscilan en 0.85 g/cc y 1.34g/cc considerándolo en un nivel muy bajo a medio. Donoso (1992), hace mención que los valores bajos de densidad aparente son propios de suelos porosos, bien aireados, con drenaje y buena penetración de raíces, lo que permite un buen desarrollo de las raíces.

Cuadro 4. Datos de la densidad aparente de la finca agroecológica La Esperanza

# de muestra	Peso de Caja Vacía (gr)	Peso de Caja + MxS(gr)	Volumen del Cilindro (cc)	Densidad Aparente(g/cc)
Ra-mx1	90.4	193.8	96	1.068
Ra-mx2	90.4	193.7	96	1.068
Ra-mx3	90.4	193.8	96	1.068
Ra-mx4	34.2	120.5	96	0.89
Ra-mx5	34.2	145.6	96	1.16
Ra-mx6	67.6	154.4	96	0.90
Ra-mx7	34.1	122.9	96	0.92
Ra-mx8	33.6	162.3	96	1.34
Ra-mx9	34.6	138.5	96	1.08
Ra-mx10	34.2	135.6	96	1.05
Ra-mx11	38.1	141.8	96	1.08
Ra-mx12	69.2	172.9	96	1.08
Ra-mx13	38.4	139.2	96	1.05
Ra-mx14	39.3	157.7	96	1.23
Ra-mx15	26.7	121.0	96	0.98
Ra-mx16	34.0	135.7	96	1.05
Ra-mx17	34.5	187.4	96	1.14
Ra-mx18	34.5	117.8	96	0.86
Ra-mx19	88.7	171.0	96	0.85

Mapa de Densidad aparente

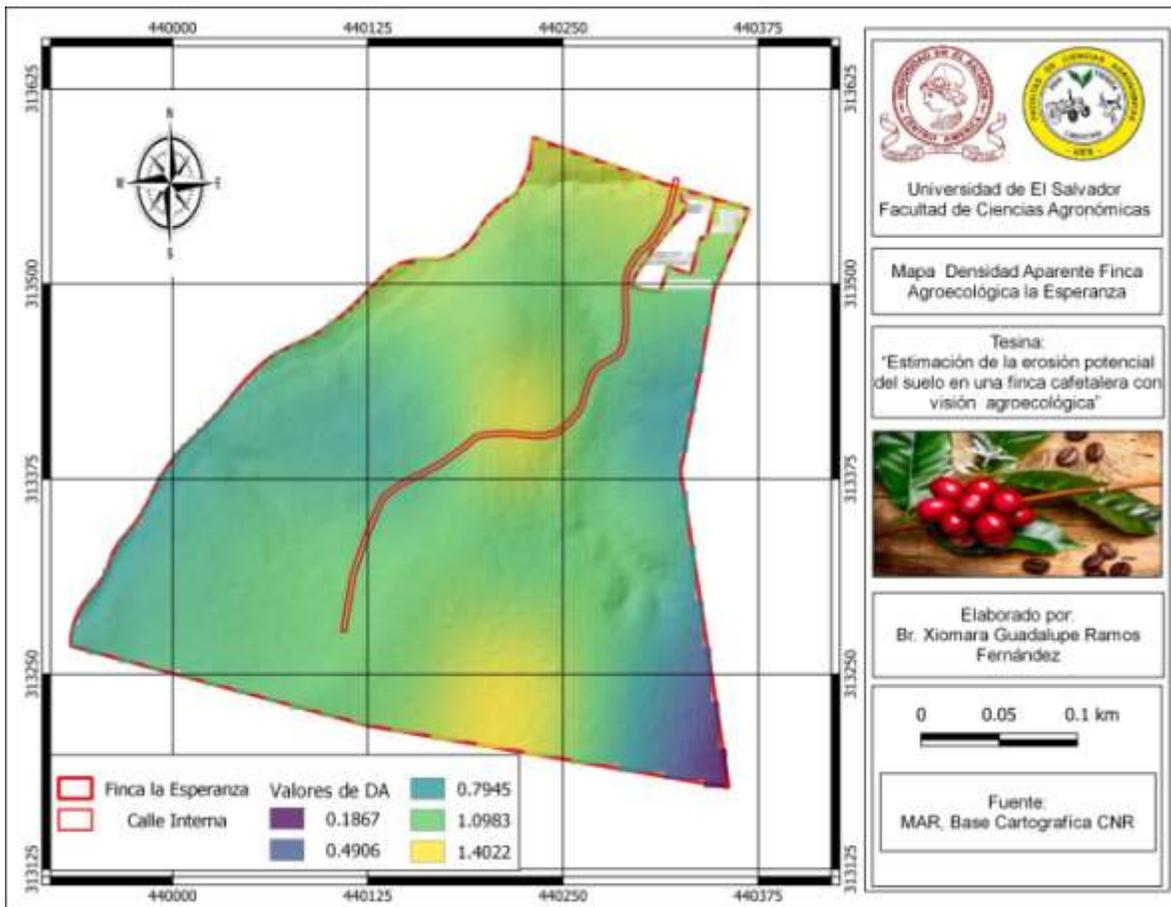


Figura 24. Mapa de Densidad Aparente Finca la Esperanza

En el mapa se observan en que los colores verdes y amarillos predominan en su mayoría siendo los valores más altos en la densidad (ver cuadro 3) según Wild, A. (1992) La densidad aparente es la característica que en mayor grado influye sobre la productividad de los cultivos, debido a su estrecha relación con otras propiedades del suelo como la porosidad, aireación, retención de humedad y drenaje.

Dick, R.P (2004) menciona que suelos de textura fina la DA varía entre 1 y 1,2g.cm⁻³ mientras que en suelos arenosos es mayor y puede variar entre 1,2 y 1,6g.cm⁻³. Siendo suelos francos arcillosos en su mayoría esto permite la penetración de raíces, entre mayor materia orgánica presente el suelo mayor será la infiltración del agua.

7.4. Textura de los suelos, MO, DA y valor K de método USLE de la finca agroecológica La Esperanza.

El siguiente cuadro muestra los valores de las partículas de suelo y los análisis de laboratorio y de campo que se hicieron con las muestras de suelo de la finca la Esperanza.

Cuadro 5. Cuadro de resultados de análisis de los suelos de la Finca Agroecológica la Esperanza

Mx	Este	Norte	Arcilla + Limo	Arcilla	Limo	Arena	Textura	Materia Orgánica	Densidad aparente	Valor K
XI-01	440299.78	313481.32	60.0	31.0	29.0	40.0	Franco arcilloso	5.52	1.068	0.36
XI-02	440224.78	313481.32	60.0	31.0	29.0	40.0	Franco arcilloso arenoso	5.30	1.068	0.31
XI-03	440299.78	313481.32	60.0	31.0	29.0	40.0	Franco arcilloso	6.06	1.068	0.36
XI-04	440224.78	313481.32	48.0	20.0	28.0	52.0	Franco arcilloso arenoso	5.30	1.14	0.31
XI-05	440149.78	313481.32	61.0	39.0	22.0	39.0	Franco arcilloso	6.73	1.16	0.35
XI-06	440074.78	313406.32	45.0	22.0	23.0	55.0	Franco arcilloso arenoso	5.71	0.90	0.34
XI-07	440149.78	313406.32	72.0	44.0	28.0	28.0	Arcilloso	3.50	0.92	0.36
XI-08	440224.78	313406.32	65.0	35.0	30.0	35.0	Franco arcilloso	5.27	1.34	0.33
XI-09	440299.78	313406.32	61.0	33.0	28.0	39.0	Franco arcilloso	5.92	0.85	0.35
XI-10	440299.78	313331.32	49.0	29.0	20.0	51.0	Franco arcilloso	4.80	1.05	0.38
XI-11	440224.78	313331.32	55.0	41.0	14.0	45.0	Arcilloso	5.79	1.08	0.32
XI-12	440149.78	313331.32	51.0	34.0	17.0	49.0	Franco arcilloso arenoso	5.73	1.08	0.29
XI-13	440074.78	313331.32	41.0	29.0	12.0	59.0	Franco arcilloso arenoso	4.71	1.05	0.33
XI-14	439999.78	313331.32	50.0	44.0	6.0	50.0	Arcilloso arenoso	5.34	0.90	0.38
XI-15	439999.78	313256.32	45.0	32.0	13.0	55.0	Franco arcilloso arenoso	5.65	0.98	0.34
XI-16	440074.78	313256.32	52.0	36.0	16.0	48.0	Arcilloso arenoso	5.42	1.07	0.38
XI-17	440149.78	313256.32	69.0	53.0	16.0	31.0	Arcilloso	4.04	1.14	0.38
XI-18	440224.78	313256.32	27.0	21.0	6.0	73.0	Franco arcilloso arenoso	5.14	1.34	0.50
XI-19	440299.78	313256.32	61.0	39.0	22.0	39.0	Franco arcilloso	4.05	0.85	0.42

Fuente: Elaboración propia.

Mapa de contenido de Arcilla + Limo

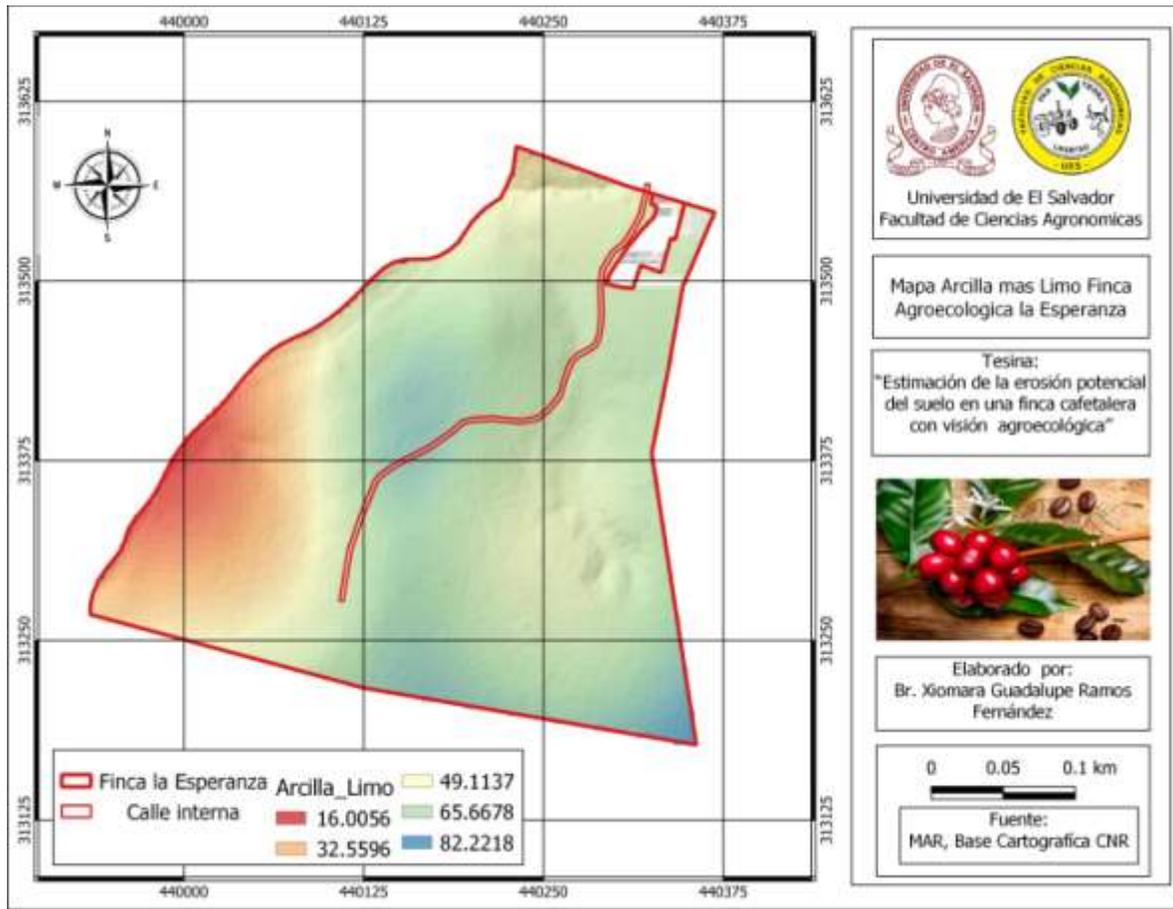


Figura 25. Mapa del contenido Arcilla mas Limo Finca Agroecológica la Esperanza

Según Rhoades et al. (1989) los suelos con mayor porcentaje de partículas finas (Ac+Li) tienen un importante contacto partícula-partícula y mayor número de poros pequeños que retienen agua por más tiempo.

En el mapa de arcilla + limo mayor de 65% es los colores verde y azul claro, que está desde la parte baja a la zona alta del terreno y los sitios de coloración roja con tonalidades anaranjada y amarillo claro son las zonas de la finca que poseen menos cantidad de arcilla + limo estando entre 16 y 49%.

Mapa del contenido de Arcilla

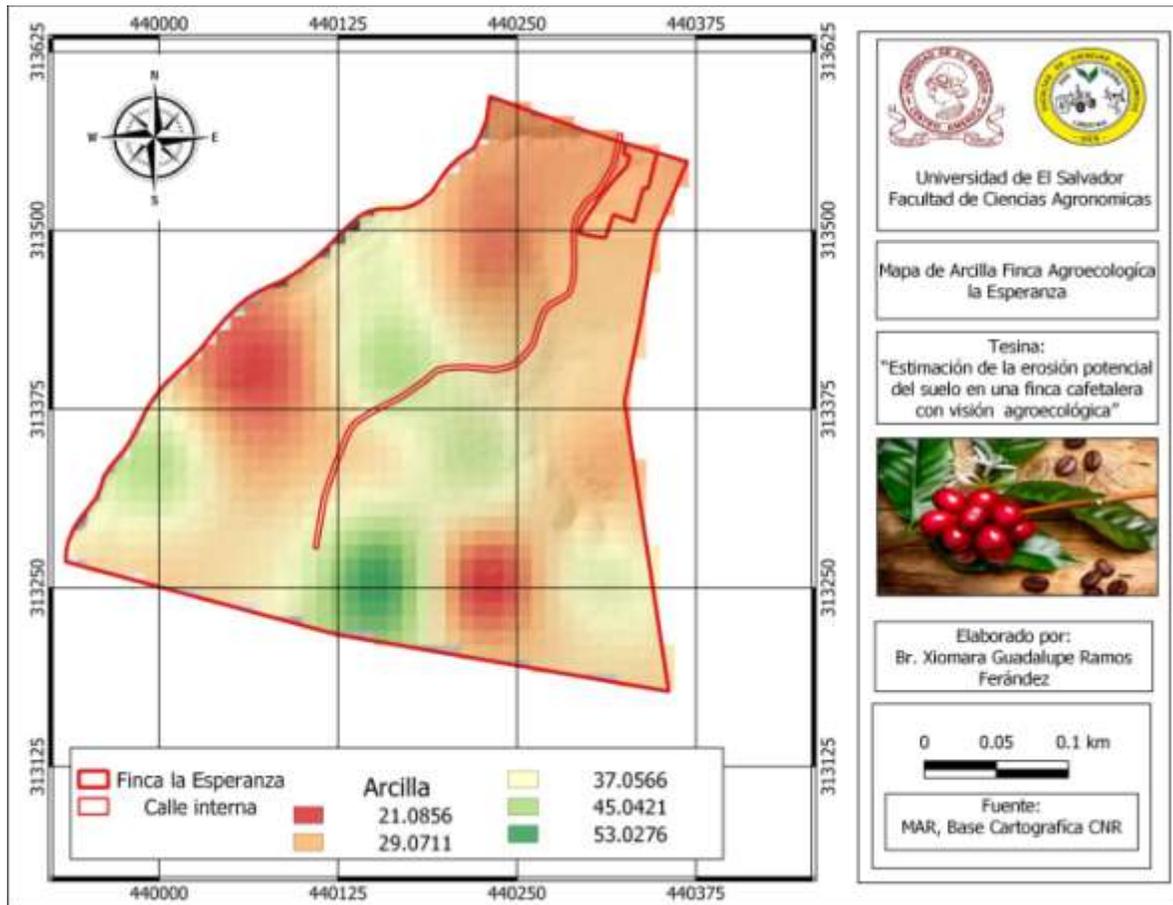


Figura 26. Mapa del contenido de Arcilla Finca Agroecológica la Esperanza

Como se observa en el mapa los sitios de tonalidad rojo, salmón, amarillo y verde claro son los que están por debajo del 50% de arcilla, Según INTAGRI (2017) el bajo contenido de arcilla provoca que se pierda más fácilmente agua y nutrientes, especialmente nitrógeno. Debido a la escorrentía que se da en época lluviosa.

Owen (1995) dice que al incrementarse las arcillas se aumentan el área superficial, el almacenamiento de agua, el calor de humedecimiento, la plasticidad, la dilatación y encogimiento y la capacidad de intercambio catiónico. Como se observa en el mapa hay mayor presencia de arcilla en la parte más alta que se ve color verde oscuro arriba del 50% de arcilla favoreciendo la infiltración de agua en los.

Mapa de contenido de Limo

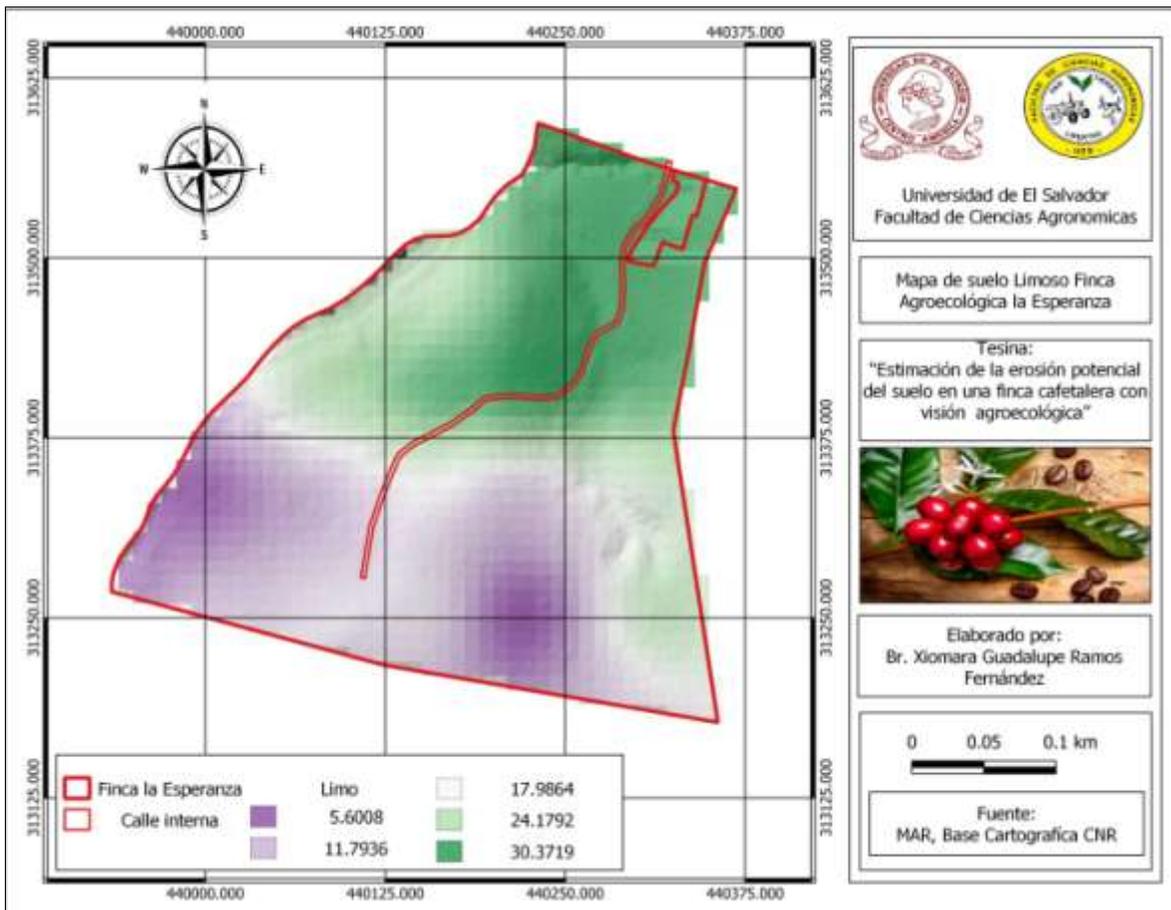


Figura 27. Mapa de contenido de Limo Finca Agroecológica la Esperanza

Según FAO (2005) por su tamaño es capaz de rellenar los poros grandes dejados por la fracción arena, limitando a veces la permeabilidad e infiltración, problema serio en zonas de riego.³

Se observa en el mapa que la zona de color verde oscuro es la que presenta mayor partículas de limo y que está en la zona baja y intermedia de la finca, esto no genera mayor problema de infiltración ya que está por debajo del 35% de partículas limo.

En las zonas más elevadas y que esta la otra parte del cultivo de café las partículas de limo es menor de 18%.

Mapa de contenido de Arena

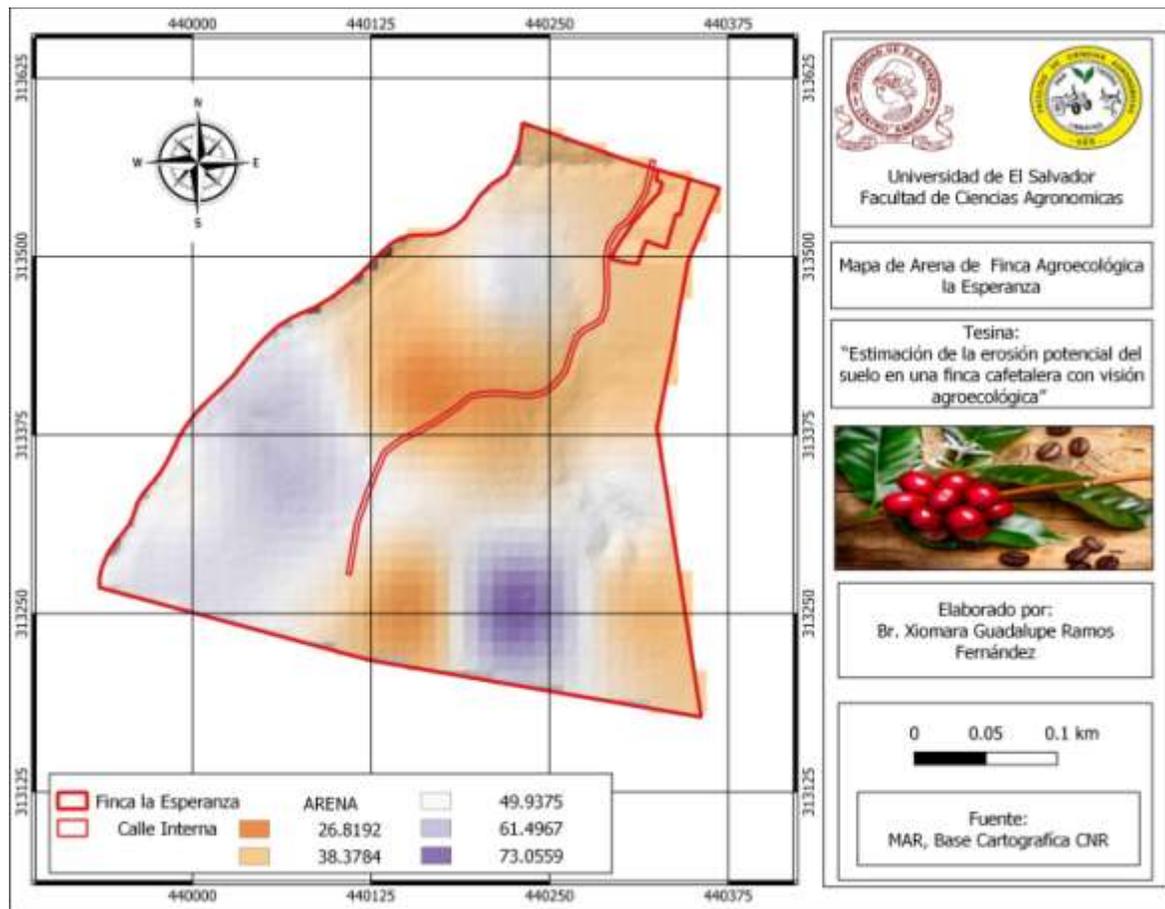


Figura 28. Mapa de contenido de Arena de Finca Agroecológica la Esperanza

Huiza y Quispe (2017) señala que un suelo a partir de 44 % de arena, se caracteriza por presentar una elevada infiltración de agua; por ende, una escasa capacidad de retención hídrica.

Como se observa en el mapa de arena, los colores violeta y morado están por encima del 50% pero no predominan en el terreno a comparación de los tonos anaranjados que están por debajo del 40%, están en la zona baja, media y alta de la finca.

Materia de Materia Orgánica

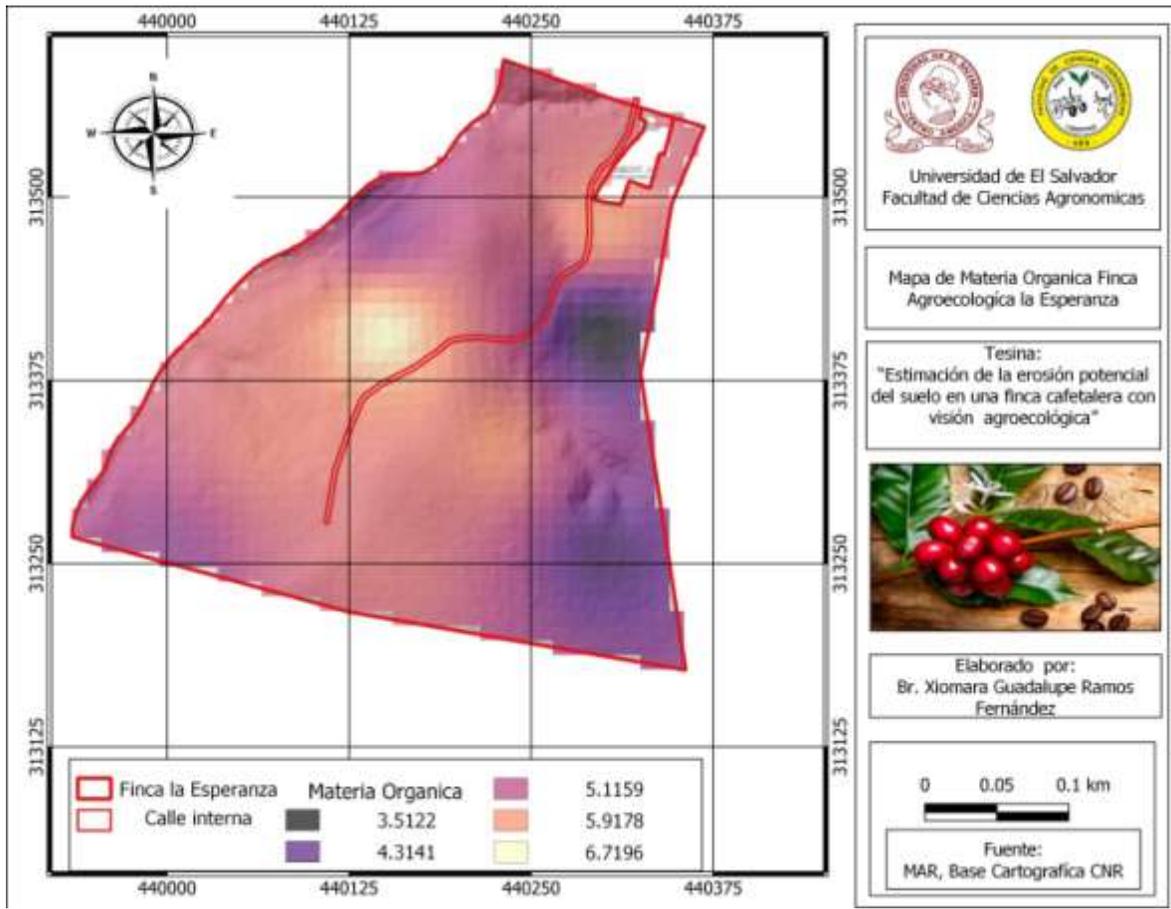


Figura 29. Mapa de Materia Orgánica Finca Agroecológica la Esperanza

Vankeirsbilck, (2014) dice que si el valor de MO es menor a cinco, prueban la existencia de problemas en el manejo de suelo debido a que señalan existencia de bajo contenido de MO, en este caso los puntos de color negro y morado son menor a cinco requiere un mejor manejo de los rastrojos y escorrentías.

Mapa de Pendiente

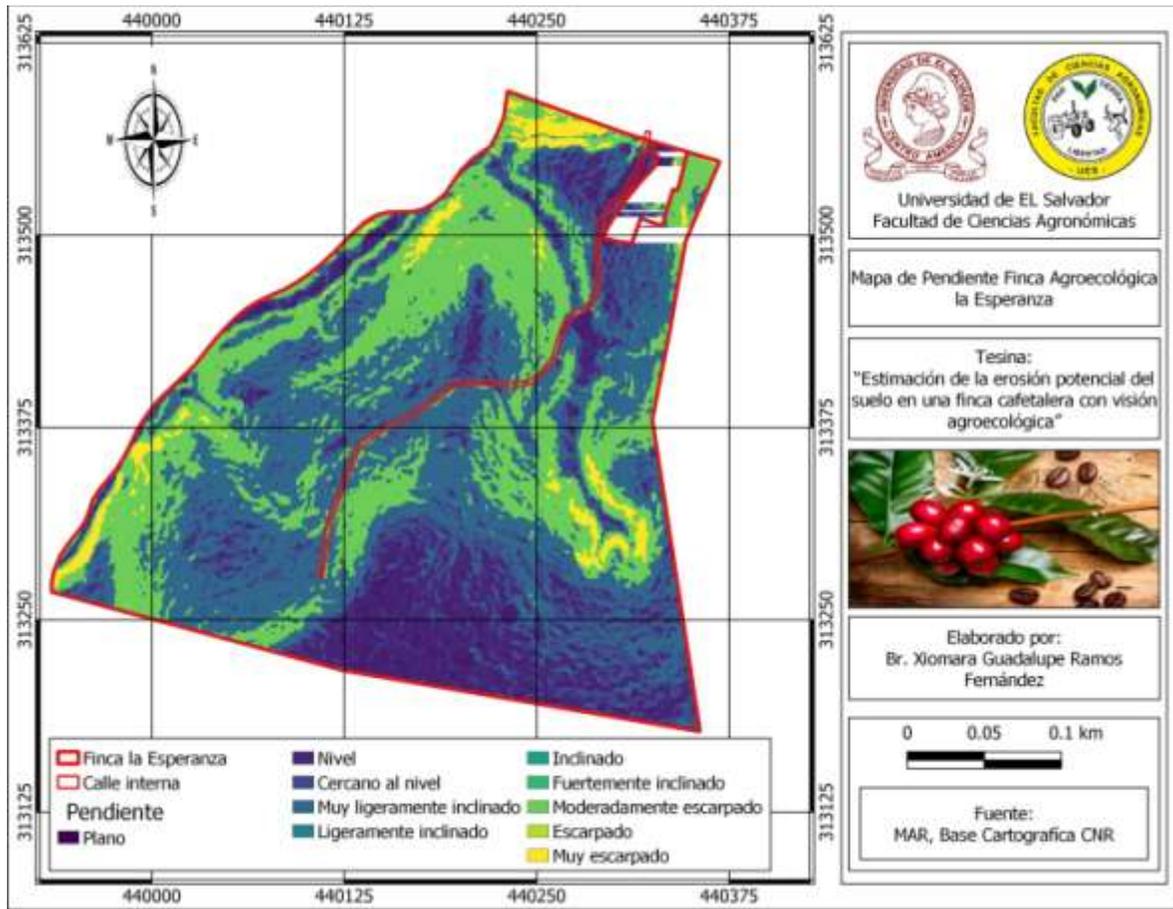


Figura 30. Mapa de Pendiente Finca Agroecológica la Esperanza

Las pendientes que menos predomina en la finca la Esperanza, son los suelos planos y muy escarpados que son la pendiente MENOS DEL 2% y mayor de 60% según FAO (2009).

Según Cenicafé (2010) la longitud de inclinación de la pendiente está directamente relacionada en la vulnerabilidad de los suelos a la erosión, a medida que se incremente la inclinación y longitud de la pendiente mayor es la cantidad de agua que influye por escorrentía, para esto se puede implementar obras de conservación de suelo según la pendiente, para evitar que se sigan lavando y perdiendo los nutrientes que se les incorporan al cultivo.

7.5. Desarrollo método USLE

Para la estimación de la pérdida de suelo por erosión hídrica, se utilizó el modelo USLE, descrito por Wischmeier y Smith (1978), el cual basa sus pronósticos de pérdida de suelo en función de seis parámetros. Donde A: pérdida de suelo; R: erosividad de las precipitaciones; K: erodabilidad del suelo; L: longitud de la ladera (m); S: pendiente de la ladera (%); C: cultivo y manejo del suelo y P: prácticas de conservación.

$$A = R K L S C P$$

Los parámetros de este modelo fueron estimados a partir de información registrada en el país y en su ausencia fueron utilizados los antecedentes que aparecen en la literatura.

7.5.1. Factor de lluvia y escurrimiento (R)

El factor R fue estimado usando los datos de precipitaciones mensuales y anuales, de los meses Abril a Noviembre del año 2010 a 2020, disponibles en Global Climate Monitor.

Cuadro 6. Datos mensuales de lluvia en milímetros Finca Agroecológica la esperanza

Años	Abril	Mayo	Junio	Julio	Ago.	Sep.	Oct.	Nov.
2020	17.8	196.9	235.9	257.1	370.3	394.7	258.3	225.5
2019	15.9	214.2	201.1	207.1	227.2	449.8	360.6	47.3
2018	135.2	236.1	207.1	163.5	316.5	308.7	222.1	74
2017	28.8	258.4	291.6	412.2	286.4	316.3	198.6	12.8
2016	46.5	152.7	295.3	235.8	284.9	380.4	235.8	28.5
2015	56.4	175.5	250.8	212	231.6	452.5	231.7	140.5
2014	29.4	321.1	344.5	142.5	329.7	363.2	320.8	24.4
2013	28.6	249	265.4	263.9	380.2	273.5	344.1	82.1
2012	97.6	250.8	222.5	124	482.2	203	319.5	14.1
2011	111	203.9	368.2	352	350.1	248.7	470.2	23.8
2010	115.5	360.1	365.4	422.6	442.7	552.1	77.3	30.3
Promedio	62.06	238.06	277.07	253.88	336.53	358.45	276.27	63.94

Fuente: Data source: @climatic research Unit, University of EAST Angli: CRU TS 3.21@NOAA:GHCN@DWD:GPCC made available under the ODL.

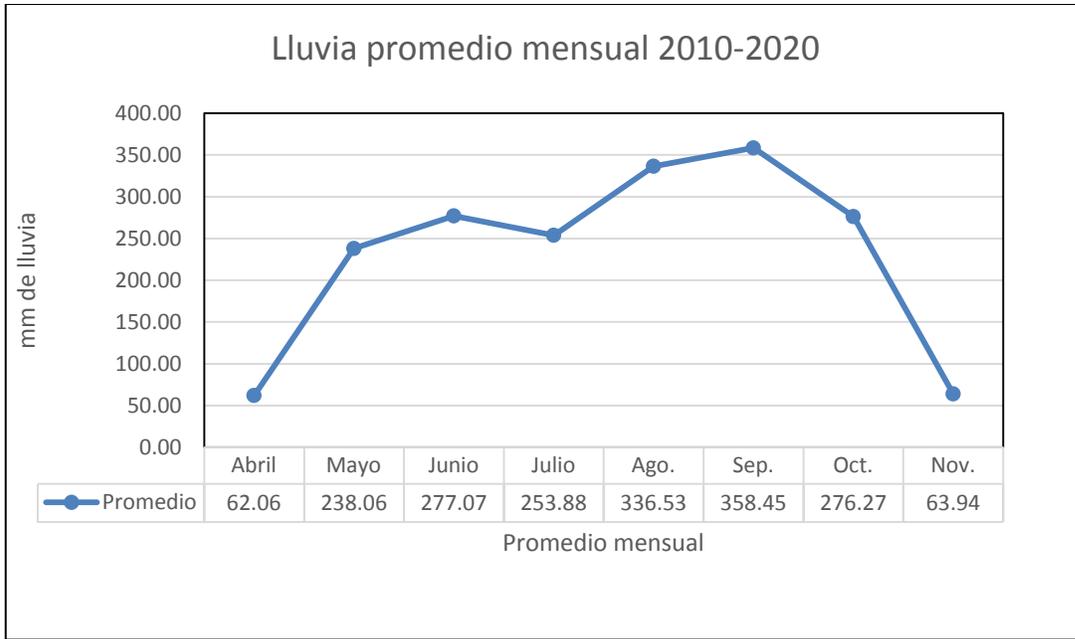


Figura 31. Curva de lluvia promedio mensual de 2010-2020

Calculo mensual de R

Según Rodríguez (2017) para obtenidos los valores de precipitación media anual se procedió a calcular el valor del factor R sustituyendo los valores de precipitación de cada una de las estaciones en la ecuación

$$R = 3.4880 * P - 0.00088 * P^2$$

Calculo mensual de R	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov
	213.09	780.49	898.87	828.82	1074.15	1137.20	896.46	219.42

7.5.2. Factor K (erodabilidad del suelo)

El valor K fue obtenido a partir de la propuesta de Wischmeier y Smith (1978) y los datos analíticos requeridos se obtuvieron de la recolección de muestras de tierra de los 19 puntos de la finca la Esperanza.

Llevados a laboratorio para obtener los porcentajes de arena, limo y arcilla, al igual que la materia orgánica que se llevo al laboratorio del CENTA para su análisis, dicho datos sirvieron para determinar el valor K mediante el monograma para la determinación de la erosionabilidad del suelo, los datos restantes fueron otorgados por el compañero Rafael Rosales.

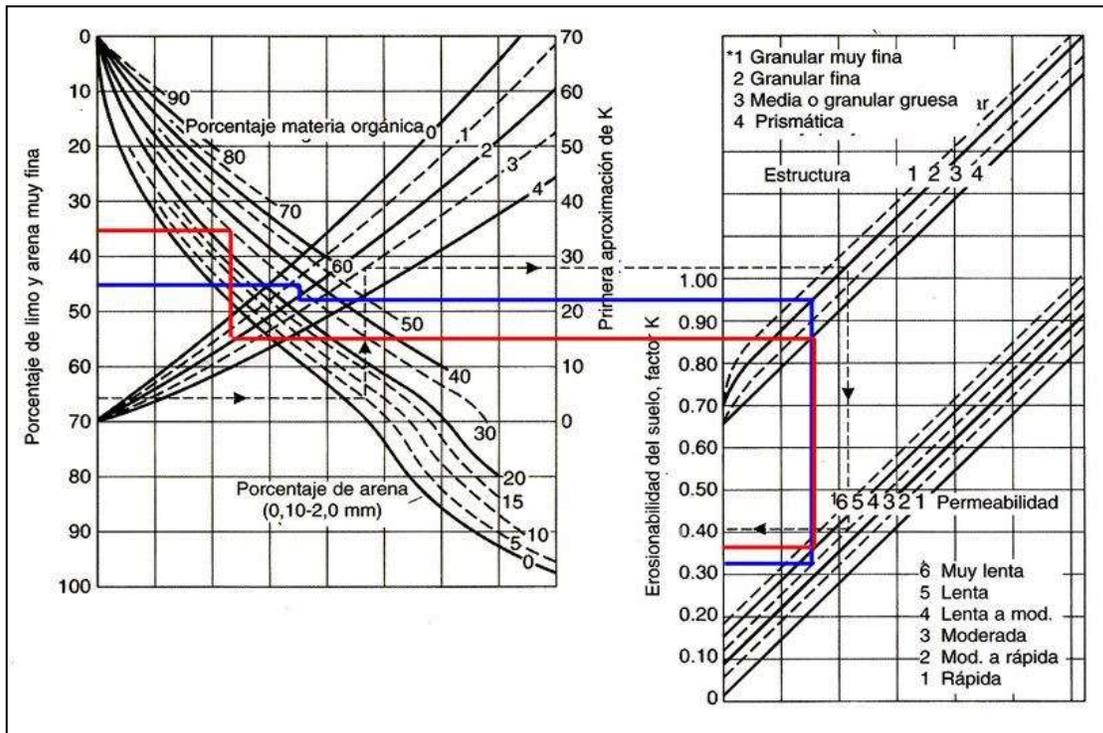


Figura 32. Monograma para la determinación de la erodabilidad del suelo modificado por Wischmeier y Smith (1978)

Para el cálculo del factor K se puede utilizar este gráfico. En la gráfica de la izquierda se utilizó el % de limo+arena y de materia orgánica para obtener un valor aproximado de K, el cual se afina pasando al gráfico de la derecha en el que se manejan valores de estructura y de permeabilidad.

Mapa de factor K

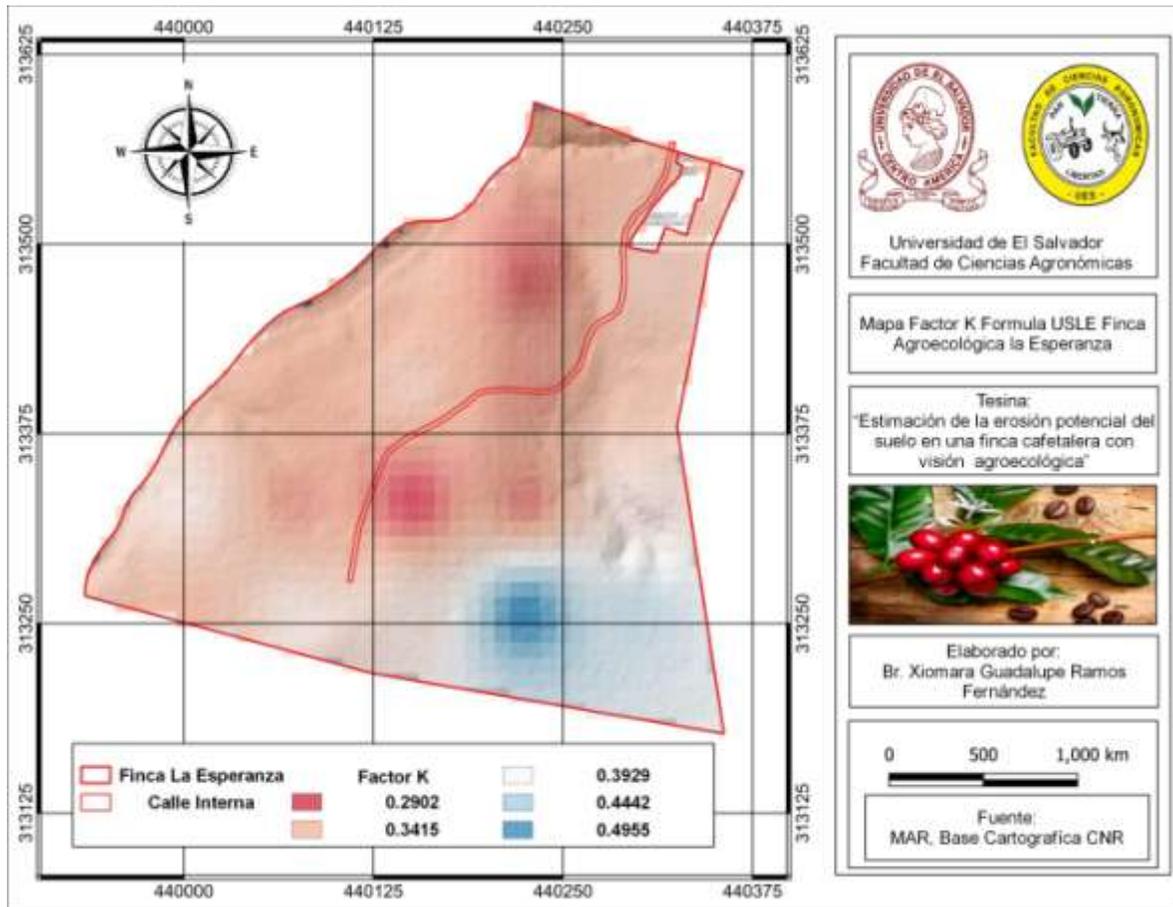


Figura 33. Mapa Factor K Formula USLE Finca Agroecológica la Esperanza

Las tendencias que muestran las relaciones de textura con K responden bien a principios teóricos Wischmeier et al. (1971) cuando mayor incremento en contenidos de arcilla muestra valores más bajos de K, mientras que con incrementos en arenas totales el valor de K aumenta.

7.5.3. Cobertura y uso de la tierra

El valor de estimación para el parámetro C es diferente según el uso de la tierra.

Cuadro 7. Uso de la tierra en la Finca Agroecológica la Esperanza

Uso de la tierra	Factor USLE "C"
Café	0.01
Árboles frutales	0.030
Hortalizas	0.040
Potrero	0.42
Tejido urbano continuo	1.0

Fuente: Pérez Nieto, J, et. al. (2012), Wischmeier y Smith, (1978), SELPER, (2014).

Mapa de uso de suelo

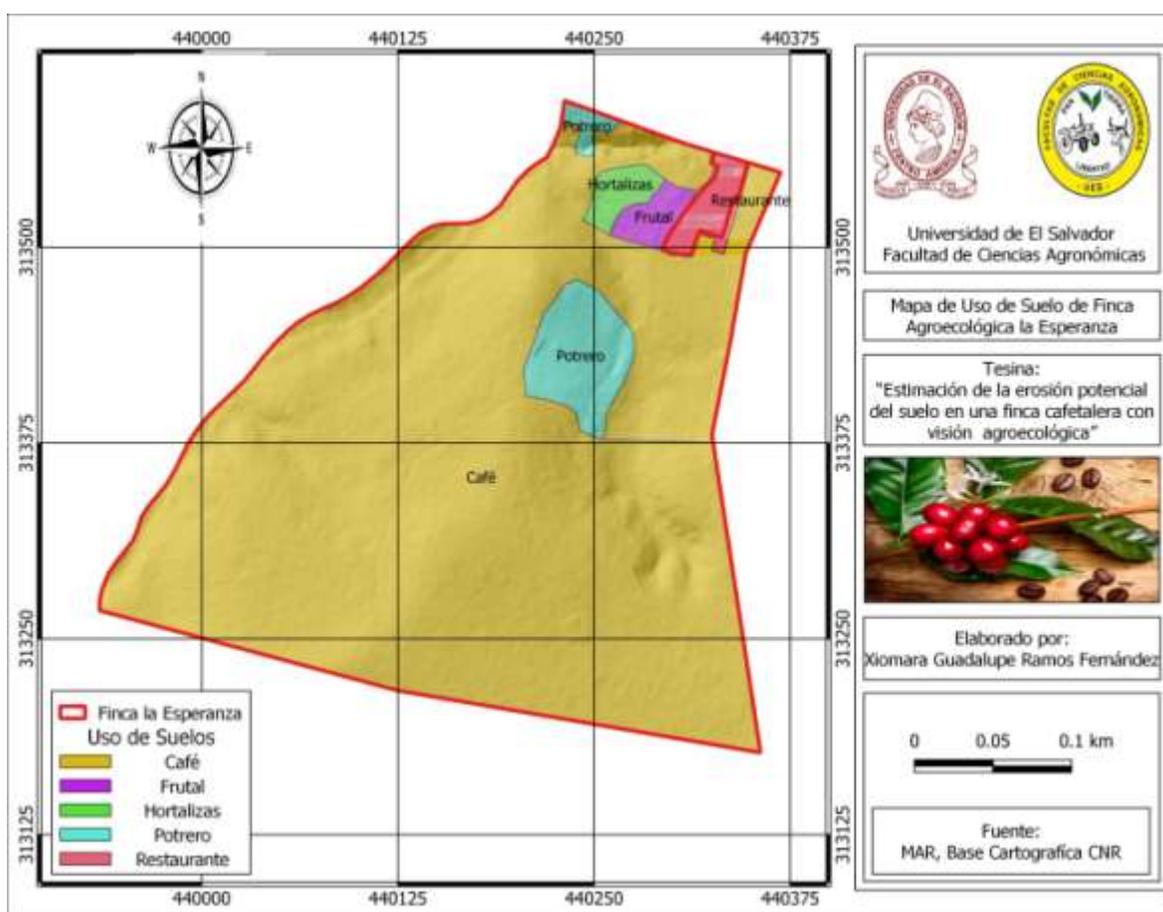


Figura 34. Mapa de Uso de los Suelos Finca Agroecológica la Esperanza

Como se observa en el mapa los suelos de la finca son en su mayoría utilizados para cultivo de Café, por ser el rubro de mayor importancia para el propietario, porque a demás de la

producción es un lugar de turismo para las personas que visitan Finca Agroecológica la Esperanza.

Mapa de factor C

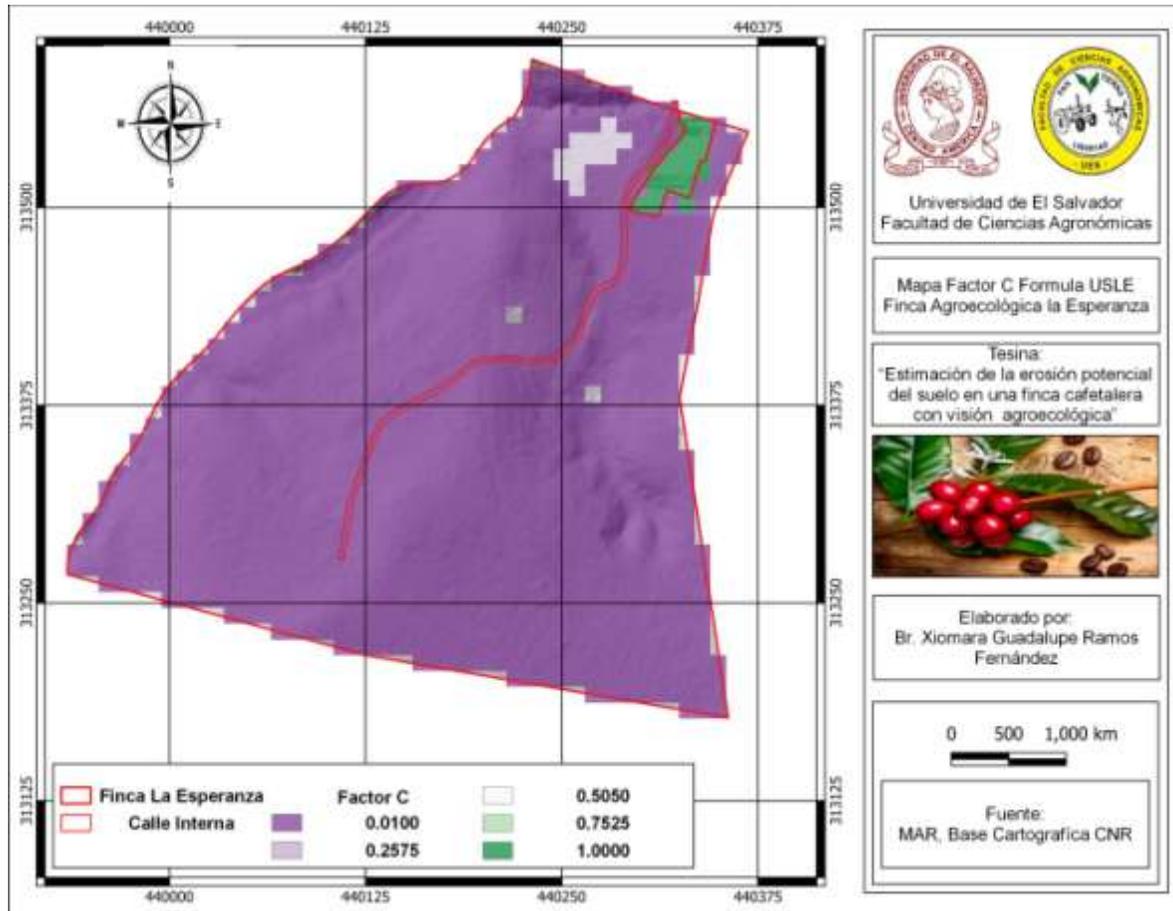


Figura 35. Mapa Factor C Formula USLE Finca Agroecológica la Esperanza

Con los valores obtenidos de Pérez Nieto (2012), Wischmeier y Smith (1978), SELPER (2014). Siempre con mayor presencia el valor 0.01 que es el cultivo de café.

Mapa de factor LS

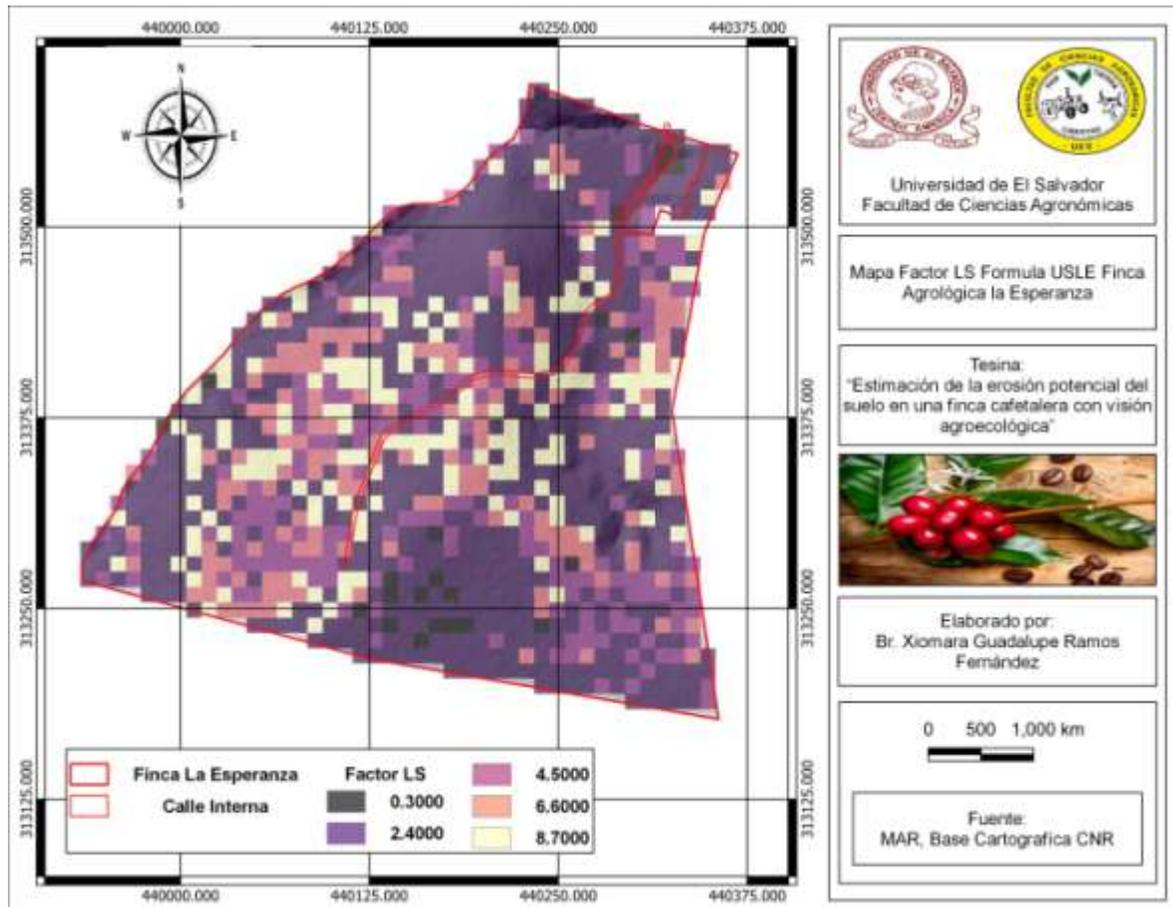


Figura 36. Mapa Factor LS Formula USLE Finca Agroecológica la Esperanza

En el caso de los factores topográficos L y S, se utilizó el largo y porcentaje de pendiente ajustaron al diseño propuesto por Mintegui (1988).

Mapa de factor P

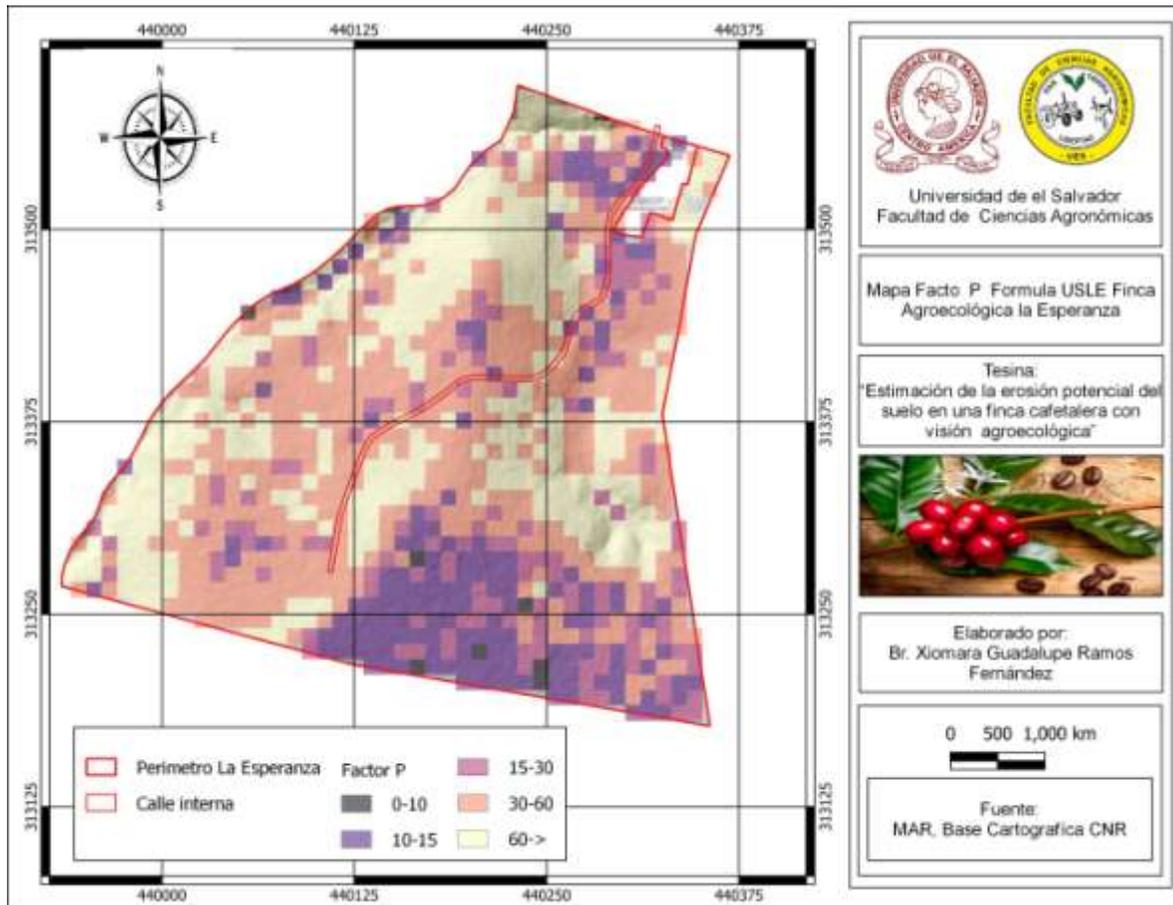


Figura 37. Mapa Factor P Formula USLE Finca Agroecológica la Esperanza

El factor P fue obtenido del método para las tres principales prácticas mecánicas conservacionistas y pendientes de suelo según las recomendaciones de Wischmeier y Smith (1978) y Rodríguez (2007).

Mapa de factor R

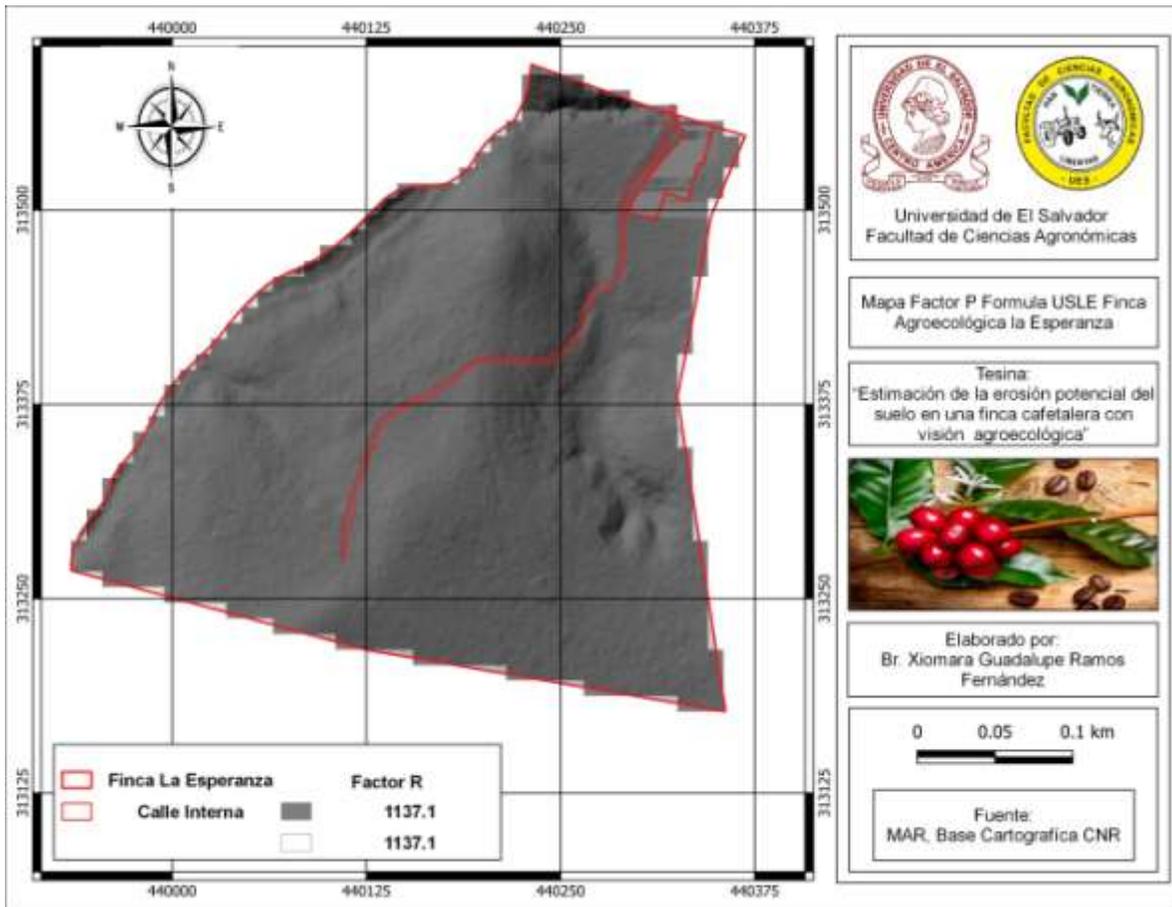


Figura 38. Mapa Factor R Formula USLE Finca Agroecológica la Esperanza

Presenta el mismo dato de lluvia porque es similar en toda la zona ya que no es de grandes extensión la finca.

Mapa USLE

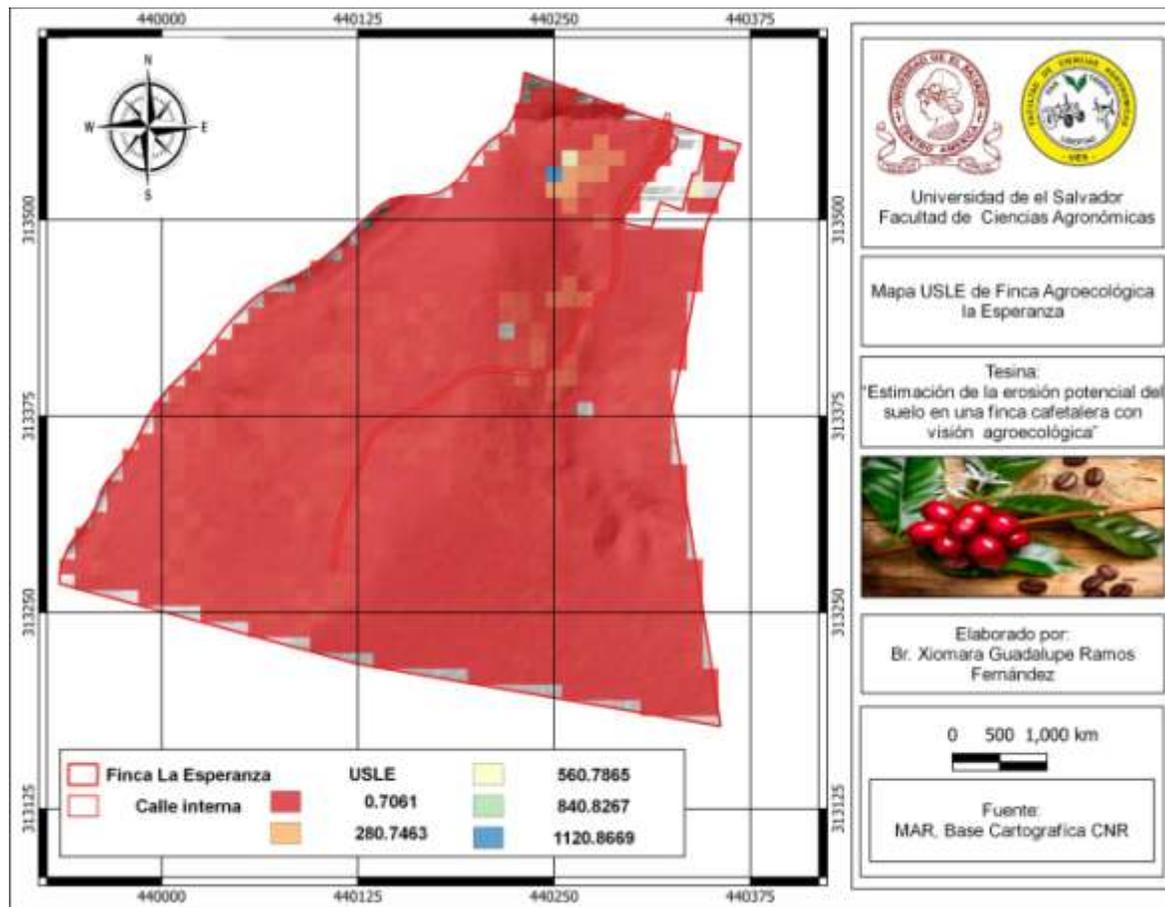


Figura 39. Mapa USLE de Finca Agroecológica la Esperanza

El monto de 0.7061 ton/año de suelo es bastante menor a uno, que según la literatura si pasa de este valor se deben de mejorar las condiciones del suelo para reducir los niveles de erosión, en la finca la Esperanza deben de implementarse medidas para evitar que este valor siga en aumento cada año.

Por ello deberías de realizarse obras de conservación de suelo que al productor no le genere mayor trabajo y costo de mano de obra y que sean de utilidad también para la finca.

Los valores de color anaranjado y azul seda un valor muy elevado de erosión, que son las zonas planas y que tiene menor vegetación, ahí se debería de implementar mayor cobertura al suelo.

VIII. CONCLUSIONES

Los datos de densidad aparente de los suelos de la finca son muy cercanos al valor de uno, indicando que estos suelos poseen un gran contenido de partículas de arcilla, que contribuyen a que el valor de erodabilidad del suelo (K) sea menor.

Siendo suelos con textura en su mayoría franco arcillo arenoso son muy adecuados para el cultivo existente y para la reducción de la pérdida de suelo por la erosión, esto comprueba los valores bajos obtenidos a través de la USLE. Sin embargo se requiere la implementación de mayor cobertura de suelo, este que permita mejorar las condiciones sin generar un mayor costo en la mano de obra para el productor de la finca la Esperanza.

Los análisis de suelo en Materia Orgánica revela que su porcentaje esta de medio a alto, eso es una buena señal de que al dejar los rastrojos y la utilización de productor orgánicos ha ido mejorando las condiciones de suelo.

El estudio coincide con otros autores en que se debe proteger el suelo con restos vegetales (cobertura), principalmente en aquellas épocas coincidentes con las máximas precipitaciones para evitar el desprendimiento de las partículas de suelo. Para conservar los recursos naturales, especialmente suelo y agua.

Los valores obtenidos a través del modelo USLE son relativamente bajos, consecuentes del manejo de esta unidad productiva, además, comparativamente con aquellas porciones de la finca con baja cobertura. Con esto se señala la importancia del bosque cafetalero con especial énfasis en sistemas agroecológicos.

IX. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

Morgan, R., Quinton, J. y Rickson, R.1994. Modelling methodology for soil erosion assessment and soil conservation design: the EUROSEM approach.Outlook in Agriculture (en línea). Vol. 23. 9 p. Consultado 17 abr. 2021. Disponible en <https://doi.org/10.1177%2F003072709402300103>

Asturias, D; Zepeda, M. 2019. El Café de El Salvador. Forumcafé (en línea).2696-3043.N81.6-10p. Consultado 28 may. 2021. Disponible en <https://www.revistaforumcafe.com/cafedeelsalvador#:~:text=El%20caf%C3%A9%20se%20introdujo%20en,de%20dos%20campesinos%20de%20Ahuachap%C3%A1n.&text=A%20partir%20de%201857%20y,por%20todo%20el%20territorio%20salvadore%C3%B1o>.

Bolaños Portillo, FE; Cúellar Girón, CF. 2019. CRISIS DE LOS PRECIOS DEL CAFÉ Y SUS EFECTOS ECONÓMICOS Y SOCIALES EN EL SALVADOR, PERÍODO 1992-2016. ESTUDIO DE CASOS: RESPUESTA DE LOS PRODUCTORES (en línea). Tesis Licenciado en economía. San Salvador, El Salvador, UES. 206 p. Consultado 10 abr. 2021. Disponible en <http://ri.ues.edu.sv/id/eprint/19743/1/TESIS%20DE%20CAF%C3%89.pdf>

Castillo Aguilar, VM. 1992. Estimación de la erosión del suelo a nivel de cuenca, utilizando análisis espacial y percepción Remota en El Salvador (en línea). Tesis M .S. Turrialba, Costa Rica. Centro Agronómico tropical de investigación y enseñanza. Pág.84. Consultado 11 may. 2021. Disponible en <http://orton.catie.ac.cr/repdoc/A1354e/A1354e.pdf>

Cenicafé (Centro Nacional de Investigación de Café “Pedro Urribe Mejía”). 2010. RIESGO A LA EROSION EN SUELOS DE LADERA DE LA ZONA CAFETERA. AVANCES TÉCNICOS. Cenicafé (en línea). Chinchiná, Caldas, Colombia. ISSN-0120-0178. 8 p. Consultado 15 sep. 2021. Disponible en <https://biblioteca.cenicafe.org/bitstream/10778/404/1/avt0400.pdf>

CENTA (Centro Nacional de Tecnología Agropecuaria y Forestal "Enrique Álvarez Córdova"), Alianza mundial por el suelo. 2018. Tercer Taller de Alianza Regional para Centro América, México y El Caribe. La situación actual de los suelos en El Salvador, y el

rol de la Alianza Mundial por el Suelo. Ciudad de Panamá. (en línea, sitio web). Consultado 11 may. 2021. Disponible en <https://es.slideshare.net/ExternalEvents/la-situacion-actual-de-los-suelos-en-el-salvador-y-el-rol-de-la-alianza-mundial-por-el-suelo>

Chávez, JA. 2017. Estudio de denudación en piroclastos Tierra Blanca joven dentro El Área Metropolitana de San Salvador. Universidad de Costa Rica (en línea). Revista Geológica de América Central, núm.57 120 p. Consultado 15 sep. 2021. Disponible en <https://www.redalyc.org/journal/454/45466324006/html/>

CONAPLAN (Estudio realizado por el Departamento de Desarrollo Regional con la colaboración del Consejo Nacional de Planificación y Coordinación Económica del Gobierno de El Salvador). 1974. EL SALVADOR. Zonificación Agrícola, Fase I (en línea). SECRETARIA GENERAL, ORGANIZACIÓN DE LOS ESTADOS AMERICANOS WASHINGTON. D. C. 576 p. Consultado 28 may. 2021. Disponible en <http://www.oas.org/dsd/publications/unit/oea34s/begin.htm#Contents>

Denys, JR. s. f. RESUMEN DE LAS CARACTERÍSTICAS DISTINTIVAS DE LAS PRINCIPALES SERIES DE SUELOS DE EL SALVADOR. Departamento de Recursos Naturales y Medio Ambiente, Facultad de Ciencias Agronómicas, Universidad de El Salvador. San Salvador, El Salvador. Consultado 15 abr. 2021.

Dick, R.P. 2004. Soil Biological, chemical, and physical dynamics during transition to nonthermal residue management grass seed systems (en línea). Oregon, GSCSSA. Progress reports FY00. Consultado 30 oct. 2021. 381-397 p. Disponible en: <http://gscssa.wsu.edu/progress/00/100.htm>.

Dimas, DJ; Méndez, RE; Figueroa, KL. 2004. Identificación de territorios de café (Coffea arabica) de calidad en el Salvador (en línea). Tesis Ingeniero Agrónomo. San Salvador, El Salvador. Universidad de El Salvador. 99 p. Consultado 26 abr. 2021. Disponible en <http://ri.ues.edu.sv/id/eprint/1511/>

Donoso Z, C. 1992. Ecología forestal. El bosque y su medio ambiente (en línea). Universidad Austral de Chile. Facultad de Ingeniería Forestal. Chile. 369 p. Consultado 30 oct. 2021. Disponible en línea: <https://bibliotecadigital.infor.cl/handle/20.500.12220/1038>

FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura Roma). 2005. Optimización de la humedad del suelo para la producción vegetal. El significado de la porosidad del suelo (en línea). Shaxson, F; Barber, R. (con.). Consultado 18 nov. 2021. Disponible en línea: <https://www.fao.org/3/y4690s/y4690s00.htm#Contents>

FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura Roma). 2009. GUIA PARA LA DESCRIPCIÓN DE SUELOS (en línea). 4º Edición. Italia, Roma. 111 p. Consultado 01 oct. 2021. Disponible en línea: <https://www.fao.org/publications/card/en/c/0f070cdd-1b6d-53fa-add1-5c972fb299d2/>

FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura Panamá). 2017. Memorias de los Talleres de Agroecología y Roya del Café en Mesoamérica y República Dominicana (en línea). Panamá. 76 p. Consultado 1 abr. 2021. Disponible en <http://www.fao.org/3/i7697s/i7697s.pdf>

FAR (Foundation for Agronomic Research), PPIC (Potash & Phosphate Institute of Canada), Programa de Diversificación Occidental (Canadá), PPI (Potash & Phosphate Institute). 1988. Manual de fertilidad de los suelos (en línea). Consultado 30 oct. 2021. Disponible en línea: <http://bibliotecadigital.agronet.gov.co/bitstream/11348/4910/1/110.pdf>

Gavande A. S. 1987. Física de Suelos, principios y aplicaciones (en línea). Editorial LIMUSA, S.A. de C.V., Balderas 95, primer piso,

González, T. M. 1991. LA ECUACION UNIVERSAL DE PERDIDAS DE SUELO. PASADO, PRESENTE Y FUTURO (en línea). Icona, Madrid. Ecología N° 5. 38 p. Consultado 3 oct. 2021. Disponible en línea: https://www.miteco.gob.es/es/parques-nacionales-oapn/publicaciones/ecologia_05_02_tcm30-100846.pdf

Gregorich E., M. Carter, D. Angers, C. Monreal y B. Ellert. 1994. Towards a minimum data set to assess soil organic matter quality in agricultural soils (en línea). Can. J. Soil Sci. 74:367-385. Consultado 30 oct. 2021. Disponible en línea: <https://cdnsiencepub.com/doi/abs/10.4141/cjss94-051>

Honorato, R; Barrales, L; Peña, I; Barrera, F. 2001. Evaluación del modelo USLE en la estimación de la erosión en seis localidades entre la IV y IX región de Chile. Santiago, Chile (en línea). Cien. Inv. Agr. 28(1): 7-14. 8p. Consultado 26 abr. 2021. Disponible en <https://webcache.googleusercontent.com/search?q=cache:enuSTasMRPEJ:https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/2193181.pdf+&cd=1&hl=es&ct=clnk&gl=sv>

Huiza M, W; Quispe T, JC. 2017. EVALUACION DE LAS PROPIEDADES FÍSICAS Y QUÍMICAS DEL SUELO DE LOS TIPOS DE PASTIZAL DEL CENTRO DE INVESTIGACIÓN DE CAMÉLIDOS SUDAMERICANOS – LACHOCC (en línea). TESIS ING. ZOOTECNISTA. HUANCAVELICA, PERÚ. UNIVERSIDAD NACIONAL DE HUANCAVELICA. 126 P. Consultado 15 abr. 2021. Disponible en: <http://repositorio.unh.edu.pe/bitstream/handle/UNH/1171/TP%20%20UNH%20ZOOT.%200131.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

IICA (Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura, Republica Dominicana).2019. Manual de producción sostenible de café (en línea). Romero, JM; Camilo, J.(ed.). Santo Domingo, República Dominicana. 105p. Consultado 17 jun. 2021. Disponible en <https://repositorio.iica.int/bitstream/handle/11324/8726/BVE20037756e.pdf?sequence=1>

INTA (Instituto Nacional De Tecnología Agropecuaria). 2015. Guía para la determinación de textura de suelos por método organoléptico (en línea). Argentina.10p. Consultado 28 mar. 2022. Disponible en http://www.prosap.gov.ar/Docs/INSTRUCTIVO%20_R001_Gu%C3%ADa%20para%20la%20determinaci%C3%B3n%20de%20textura%20de%20suelos%20por%20m%C3%A9todo%20organol%C3%A9ptico.pdf

INTA (Instituto Nacional de Tecnología Agropecuarias); Ministerio de Agroindustria Presidencia de la Nación Argentina. 2017. Estimación de la pérdida de suelo por erosión hídrica en la República Argentina (en línea). Gaitán, J; Navarro, MF; Vuegen Tenti, L; Pizarro, MJ; Carfagno, P; Rigo, S (ed.). 1ª. ed. Buenos Aires, Argentina. Ediciones INTA. 72 p. Consultado 15 sep. 2021. Disponible en https://inta.gob.ar/sites/default/files/libro_erosion_hidrica_rep_argentina.pdf

INTAGRI. 2017. Propiedades Físicas del Suelo y el Crecimiento de las Plantas (en línea). Serie Suelos. Núm. 29. Artículos Técnicos de INTAGRI. México. 5 p. Consultado 30 oct. 2021. Disponible en: <https://www.intagri.com/articulos/suelos/propiedades-fisicas-del-suelo-y-el-crecimiento-de-las-plantas>

Jaramillo V, JJ. 2015. ESTUDIO DEL RIESGO POR EROSION HIDRICA DEL SUELO UTILIZANDO EL MODELO U.S.L.E, MEDIANTE HERRAMIENTAS S.I.G, APLICADO EN LA SUBCUENCA RÍO PORTOVIEJO, PROVINCIA DE MANABÍ (en línea). MAGISTER EN SISTEMAS DE INFORMACION GEOGRÁFICA, APLICADA A LA CONSERVACIÓN Y EL DESARROLLO SOSTENIBLE. Quito, Ecuador. Consultado 29 sep. 2021. Disponible en <http://www.dspace.uce.edu.ec/handle/25000/4235>

Kirkby, M; Morgan, R. 1984. Erosión de suelos. Comp. Por Kirkby y Morgan (en línea). 1ª. Ed. México, D. F. LIMUSA.375 p. Consultado 26 abr. 2021.

López Guevara, JM. 2017. Erosión hídrica en suelos de laderas cultivadas con café sin sombra, en Copán Honduras (en línea). Revista Ciencia y Tecnología N° 21. Consultado 15 sep. 2021. Disponible en <https://www.lamjol.info/index.php/RCT/issue/view/821>

Owen B, EJ. 1995. Características físico-químicas del suelo y su incidencia en la absorción de nutrimentos, con énfasis en el cultivo de la palma de aceite (en línea). Palmas, Volumen 16, N° 1. Bogotá, Colombia. 9 p. Consultado 02 nov. 2021. Disponible en: <file:///C:/Users/Xiomara/Downloads/461-Texto-461-1-10-20120719.pdf>

Pérez Nieto, J; Valdés Velardo, E; Ordaz Chaparro, VM. 2012. Cobertura vegetal y erosión del suelo en sistemas agroforestales de café bajo sombra (en línea). Chapingo Estado de México. Consultado 9 ago. 2021. Disponible en http://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S018757792012000300249&script=sci_arttext#B25

Mintegui Aguirre, J. (1988) "Análisis de la influencia del relieve en la erosión hídrica. Hipótesis de estudio para correlacionar la pendiente con la longitud del declive en un terreno." V Asamblea Nacional de Geodesia y Geofísica. Madrid. p. 2229-2245.

Pérez, N; Castillo Ramos, RM; Carballo Abreu, LR; Veliz Gutiérrez, JA. s.f. Impacto ambiental en el cultivo y procesamiento del café y su repercusión social (en línea). Universidad de Pinar del Río; Departamento de Química. Pinar del Rio, Cuba. 22 p. Consultado 16 abr. 2021. Disponible en <http://infocafes.com/portal/biblioteca/impacto-ambiental-en-el-cultivo-y-procesamiento-del-cafe-y-su-repercusion-social/>

Rhoades, JD; NA Manteghi; PJ Shouse & WJ Alves. 1989. Soil electrical conductivity and soil salinity: New formulations and calibrations Soil Sci. Soc. Am. J. 53: 433-439. Consultado 02 nov. 2021. Disponible en: <https://acsess.onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.2136/sssaj1989.03615995005300020020x>

Rodríguez, M; Florentino, A; Gallardo J y García, R. 2004. Sistemas de información geográfica en la evaluación de la erosión hídrica en Badajoz – España, aplicando la metodología USLE (en línea). Centro Nacional de Investigaciones Agropecuarias (CENIAP). Laboratorio de Sistemas en Agroecológicos. Maracay, Venezuela. Consultado 17 abr. 2021. Disponible en http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0002-192X2004000400003

Rodríguez, KR. 2017. CARACTERIZACIÓN BIOFÍSICA Y ESTIMACIÓN DE LA ROSIÓN HÍDRICA DE LA MICROCUENCA DE ARROLLO PRIETO, GUANAJUATO (en línea). Tesis optar el título Ingeniero Forestal. Chapingo, México. 97 p. consultado 02 dic. 2021. Disponible en http://dicifo.chapingo.mx/pdf/tesislic/2017/Rodr%C3%ADguez_Dom%C3%ADnguez_Kar enRebeca.pdf

Salamanca J, A; Sadeghian K, S; Amézquita C, E. 2004. DENSIDAD APARENTE DE DOS SUELOS DE LA ZONA CAFETERA Y EFECTO SOBRE EL CRECIMIENTO DEL CAFETO (en línea). Cenicafé 55(4): 330-340. Consultado 27 sep. 2021. Disponible en <https://biblioteca.cenicafe.org/bitstream/10778/245/1/arc055%2804%29330-340.pdf>

SELPER (Sociedad Latinoamericana en Percepción Espacial Capítulo Colombia). 2014. Memorias. XVI SIMPOSIO INTERNACIONAL SELPER 2014. La Geoinformación al Servicio de la Sociedad (en línea).Medellín, Colombia. 20 p. Consultado 16 abr. 2021.

Disponible en <https://selper.org.co/papers-XVI-Simposio/Cartografia-Digital/CD5-Factor-C-de-la-USLE.pdf>

Valarezo C, O; Motato A, N; Carrillo A, R. 1996. Caracterización Agroecológica y Diagnósticos Agrosocioeconómicos en el Cultivo de Café en los Cantones Jipijapa y Paján (en línea). Consultado 02 nov. 2021. Disponible en línea: https://books.google.es/books?hl=es&lr=&id=SHkzAQAAMAAJ&oi=fnd&pg=PA11&dq=suelos+limosos+EN+CULTIVO+DE+CAFE&ots=vcf_uDnRUM&sig=r3cnd3Zoeudfh3UaD7ruwDT50Yk#v=onepage&q&f=false

Vankeirsbilck, M., Barraco, M. y Maekawa, M. 2014. Materia orgánica y textura en suelos de sistemas lecheros de la cuenca oeste de la provincia de Buenos Aires (en línea). Memoria técnica. EEA General Villegas. Buenos Aires, Argentina. 3 p. Consultado 30 oct. 2021. Disponible en: https://inta.gob.ar/sites/default/files/inta_mt2015_vankeirsbilck_mo_textura.pdf

Víctor Ml. Cortez Aguilar. 2010. Agroecología del agroecosistema café (coffea arabiga) y su relación con la erodabilidad de laderas en el valle de Orosi, Cartago, Costa Rica (en línea). Anuario de Estudios Centroamericanos, Universidad de Costa Rica, 37: 271-305, 2011. 36p. Consultado 17 jun. 2021. Disponible en <https://revistas.ucr.ac.cr/index.php/anuario/article/view/1130>

Wang X. y Z. Gong. 1998. Assessment and analysis of soil quality changes after eleven years of reclamation in subtropical China. Geoderma (en línea). Institute of Soil Science, Chinese Academy of Sciences. Nanjing, China. 81:339-355. Consultado 3 oct. 2021. Disponible en línea: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0016706197001092>

Wild, A. 1992. CONDICIONES DEL SUELO Y DESARROLLO DE LAS PLANTAS SEGÚN RUSSELL (en línea). Madrid, España. Ediciones Mundi- prensa, 1045 p. consultado 20 sep. 2021.

Wischmeier, W.H.; C. B.Johnson, & B.V. Cross. 1971. A soil erodibility nomograph for farmland and construction sites. Journal of Soil and Water Conservation. Oct/71:189-191. Consultado 17 mar. 2022.

Wischmeier, W. H. y D.D. Smith, 1978. PREDICTING RAINFALL EROSION LOSSES. A GUIDE TO CONSERVATION PLANNING (en línea). Supersedes Agriculture Handbook n°282. 158 p. consultado 15 sep. 2021. Disponible en: <https://books.google.es/books?hl=es&lr=&id=rRAUAAAAYAAJ&oi=fnd&pg=PA5&dq=+Predicting+rainfall+erosion+losses.+USDA&ots=cvnpoSsrXT&sig=Z3I5sf7ybwiW9He11UOp8bB9kKw#v=onepage&q=Predicting%20rainfall%20erosion%20losses.%20USDA&f=false>

Wischmeier, W. y Smith, D. 1958. Rainfall energy and its relationship to soil loss. Transactions of the American geophysical Union (en línea). 39: pp 258-291. Consultado 30 abr. 2021. Disponible en <https://agupubs.onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1029/TR039i002p00285>

ZÚÑIGA H, JE. 2017. DETERMINACIÓN DE LA PÉRDIDA DE SUELOS EN LA CUENCA APORTANTE DEL EMBALSE AGUADA BLANCA-AREQUIPA, APLICANDO USLE Y TECNICAS GEOESPACIALES (en línea). Tesis optar el Grado de Magister Scientiae. Lima, Perú. UNALM. 150 p. Consultado 17 abr. 2021. Disponible en <https://1library.co/document/q0exeo3y-determinacion-perdida-aportante-embalse-arequipa-aplicando-tecnicas-geoespaciales.htm>

X. ANEXO

Anexos 1. Cronograma de Actividades

ACTIVIDADES	MES	ABRIL			MAYO				JUNIO				JULIO				AGOSTO				SEPTIEMBRE				
		SEMANA	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
Asignación de tutor																									
Revisión de literatura																									
Elaboración de Tema, Objetivos, Planteamiento del problema.																									
Presentación de avance Tesina																									
Elaboración de metodología y cronograma																									
Visita a la finca agroecológica la Esperanza																									
Fase de laboratorio																									
Procesamiento de datos																									
Finalización proyecto																									

Fuente: Elaboración propia.

Anexos 2. Densidad Aparente de la Finca Agroecológica la Esperanza

# de muestra	Peso de Caja Vacía (gr)	Peso de Caja + MxS(gr)	Volumen del Cilindro (cc)	Densidad Aparente(g/cc)
Ra-mx1	90.4	193.8	96	1.068
Ra-mx2	90.4	193.8	96	1.068
Ra-mx3	90.4	193.8	96	1.068
Ra-mx4	34.2	120.5	96	0.89
Ra-mx5	34.2	145.6	96	1.16
Ra-mx6	67.6	154.4	96	0.90
Ra-mx7	34.1	122.9	96	0.92
Ra-mx8	33.6	162.3	96	1.34
Ra-mx9	34.6	138.5	96	1.08
Ra-mx10	34.2	135.6	96	1.05
Ra-mx11	38.1	141.8	96	1.08
Ra-mx12	69.2	172.9	96	1.08
Ra-mx13	38.4	139.2	96	1.05
Ra-mx14	39.3	157.7	96	1.23
Ra-mx15	26.7	121.0	96	0.98
Ra-mx16	34.0	135.7	96	1.05
Ra-mx17	34.5	187.4	96	1.14
Ra-mx18	34.5	117.8	96	0.86
Ra-mx19	88.7	171.0	96	0.85

Fuente: Elaboración propia

Anexos 3. Peso Muestra de suelo antes de las pruebas de laboratorio.

Muestras	Peso caja vacía	Peso muestra húmeda en bolsa	Peso de bolsa vacía promedio	Peso caja + muestra húmeda	Peso caja + muestra seca
XI-1	17.7	706.0	5.9	717.7	523.2
XI-2	17.9	532.1	5.9	542.8	391.4
XI-3	17.8	565.2	5.9	575.0	423.2
XI-4	17.7	474.8	5.9	485.2	359.0
XI-5	17.7	667.7	5.9	677.6	495.0
XI-6	17.6	552.2	5.9	562.6	402.4
XI-7	17.5	1216.0	5.9	1223.7	888.5
XI-8	17.7	1141.6	5.9	1150.7	885.4
XI-9	17.8	1185.5	5.9	1192.3	845.3
XI-10	18.2	1002.8	5.9	1007.4	703.5
XI-11	17.9	1068.1	5.9	1077.4	799.5
XI-12	17.9	1054.4	5.9	1063.2	774.0
XI-13	15.2	700.3	5.9	716.8	499.2
XI-14	18.4	1065.0	5.9	1072.8	807.2
XI-15	18.4	903.3	5.9	913.7	659.8
XI-16	19.8	971.0	5.9	983.1	749.8
XI-17	18.1	971.2	5.9	981.3	657.3

Fuente: Elaboración propia.

Anexos 4. Cuadro de Determinación de la Textura de suelos de la Finca Agroecológica la Esperanza

Tipo de muestra		Lectura hidrómetro				Corrección T°		Correc. blanco		Porcentaje de Partículas				Textura
Mx	PSS	40 seg	T° (°C)	2 hr	T° (°C)	40 seg	2 hr	40 seg	2 hr	Arcilla + Limo	Arcilla	Limo	Arena	
XI-01	50.0	30	26	15	27	33.0	18.5	30.0	15.5	60.0	31.0	29.0	40.0	Franco arcilloso
XI-02	50.0	24	26	10	26	27.0	13.0	24.0	10.0	48.0	20.0	28.0	52.0	Franco arcilloso arenoso
XI-03	50.0	30	27	19	27	33.5	22.5	30.5	19.5	61.0	39.0	22.0	39.0	Franco arcilloso
XI-04	50.0	22	27	10	28	25.5	14.0	22.5	11.0	45.0	22.0	23.0	55.0	Franco arcilloso arenoso
XI-05	50.0	36	26	22	26	39.0	25.0	36.0	22.0	72.0	44.0	28.0	28.0	Arcilloso
XI-06	50.0	32	27	17	27	35.5	20.5	32.5	17.5	65.0	35.0	30.0	35.0	Franco arcilloso
XI-07	50.0	30	27	16	27	33.5	19.5	30.5	16.5	61.0	33.0	28.0	39.0	Franco arcilloso
XI-08	50.0	24	27	14	27	27.5	17.5	24.5	14.5	49.0	29.0	20.0	51.0	Franco arcilloso
XI-09	50.0	27	27	20	27	30.5	23.5	27.5	20.5	55.0	41.0	14.0	45.0	Arcilloso
XI-10	50.0	25	27	16	28	28.5	20.0	25.5	17.0	51.0	34.0	17.0	49.0	Franco arcilloso arenoso
XI-11	50.0	20	27	14	27	23.5	17.5	20.5	14.5	41.0	29.0	12.0	59.0	Franco arcilloso arenoso
XI-12	50.0	24	28	21	28	28.0	25.0	25.0	22.0	50.0	44.0	6.0	50.0	Arcilloso arenoso
XI-13	50.0	22	27	15	28	25.5	19.0	22.5	16.0	45.0	32.0	13.0	55.0	Franco arcilloso arenoso
XI-14	50.0	25	28	17	28	29.0	21.0	26.0	18.0	52.0	36.0	16.0	48.0	Arcilloso arenoso
XI-15	50.0	34	27	26	27	37.5	29.5	34.5	26.5	69.0	53.0	16.0	31.0	Arcilloso
XI-16	50.0	13	27	10	27	16.5	13.5	13.5	10.5	27.0	21.0	6.0	73.0	Franco arcilloso arenoso
XI-17	50.0	30	27	19	27	33.5	22.5	30.5	19.5	61.0	39.0	22.0	39.0	Franco arcilloso

Fuente: Elaboración propia

Anexos 5. Cálculos mensuales de factor R

Mes de abril= $(3.488*62.06)-(0.00088*62.06^2)= 213.09$
Mes de mayo= $(3.488*238.06)-(0.00088*238.06^2)= 780.49$
Mes de junio= $(3.488*277.07)-(0.00088*277.07^2)= 898.82$
Mes de julio= $(3.488*253.88)-(0.00088*253.88^2)= 828.82$
Mes de agosto= $(3.488*336.53)-(0.00088*336.53^2)= 1074.15$
Mes de septiembre= $(3.488*358.45)-(0.00088*358.45^2)= 1137.20$
Mes de octubre= $(3.488*276.27)-(0.00088*276.27^2)= 896.46$
Mes de noviembre= $(3.488*63.94)-(0.00088*63.94^2)= 219.42$

Anexos 6. Resultados análisis de suelo finca la Esperanza



CENTA



MINISTERIO DE AGRICULTURA Y GANADERÍA

CENTRO NACIONAL DE TECNOLOGÍA AGROPECUARIA Y FORESTAL
CENTA "ENRIQUE ALVAREZ CORDOVA"

LA BORATORIO DE SUELOS

AÑO 2021

TEL. 2397-2248

Correo electrónico: labsuelos@centa.gob.mx

No. Carta	No. Muestra	Nombre del Productor	Nombre de la Finca	Cantón	Municipio	Departamento	Ident.	Profundidad cm	Uso del riego	Cultivo a fertilizar	Nombre del responsable
C20678	M20897	XIOMARA GUADALUPE RAMOS	PCA AGRICOLA LA ESPERANZA		SANTA ANA	SANTA ANA	1				XIOMARA GUADALUPE RAMOS
	M20898	XIOMARA GUADALUPE RAMOS	PCA AGRICOLA LA ESPERANZA		SANTA ANA	SANTA ANA	3				XIOMARA GUADALUPE RAMOS
	M20899	XIOMARA GUADALUPE RAMOS	PCA AGRICOLA LA ESPERANZA		SANTA ANA	SANTA ANA	5				XIOMARA GUADALUPE RAMOS
	M20900	XIOMARA GUADALUPE RAMOS	PCA AGRICOLA LA ESPERANZA		SANTA ANA	SANTA ANA	7				XIOMARA GUADALUPE RAMOS

RESULTADOS DE ANALISIS MUESTRAS PAGADAS		
N° Muestra	% Materia Orgánica	
M20897	6.06	ALTO
M20898	4.71	ALTO
M20899	6.73	ALTO
M20900	3.50	MEDIO

Av. México - Pte. Estado Libre
Calle 2da de Toluca
Calle Santa de Regina
Calle Toluca - México



CENTA
CENTRO NACIONAL DE TECNOLOGÍA AGROPECUARIA Y FORESTAL



MINISTERIO
DE AGRICULTURA
Y GANADERÍA

CENTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA AGROPECUARIA Y FORESTAL
CENTA "ENRIQUE ALVAREZ CORDOVA"

LA BORATORIO DE SUELOS

AÑO 2021

TEL. 2297-2248

Correo electronico: labsuelos@centa.gob.py

No. Carta	No. Muestra	Nombre del Productor	Nombre de la Finca	Cantón	Municipio	Departamento	Ident.	Profundidad d cm	Utilizará riego sí o no	Cultivo a fertilizar	Nombre del responsable
C20679	M20901	XIOMARA GUADALUPE RAMOS	PCA AGROECOLOGICA LA ESPERANZA		SANTA ANA	SANTA ANA	9				XIOMARA GUADALUPE RAMOS
	M20902	XIOMARA GUADALUPE RAMOS	PCA AGROECOLOGICA LA ESPERANZA		SANTA ANA	SANTA ANA	11				XIOMARA GUADALUPE RAMOS
	M20903	XIOMARA GUADALUPE RAMOS	PCA AGROECOLOGICA LA ESPERANZA		SANTA ANA	SANTA ANA	13				XIOMARA GUADALUPE RAMOS
	M20904	XIOMARA GUADALUPE RAMOS	PCA AGROECOLOGICA LA ESPERANZA		SANTA ANA	SANTA ANA	15				XIOMARA GUADALUPE RAMOS

RESULTADOS DE ANALISIS MUESTRAS PAGADAS		
N° Muestra	% Materia Orgánica	
M20901	5.92	ALTO
M20902	5.79	ALTO
M20903	4.71	ALTO
M20904	5.65	ALTO

Análisis: Yago Claudio Lora
Lugar: Los de Barrios
Lugar: Barrio de Araya
Lugar: Yagupí Valencia



CENATA



MINISTERIO
DE AGRICULTURA
Y GANADERÍA

CENTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA AGROPECUARIA Y FORESTAL
CENATA "ENRIQUE ALVAREZ CORDOVA"

LA BORATORIO DE SUELOS

AÑO 2021

TEL. 2397-2248

Correo electronico: labsuelos@centa.gob.sv

No. Carta	No. Muestra	Nombre del Productor	Nombre de la Finca	Cantón	Municipio	Departamento	Ident.	Profundidad cm	Utilizará riego sí o no	Cultivo a fertilizar	Nombre del responsable
C20680	M20905	XIOMARA GUADALUPE RAMOS	FA. AGROECOLOGICA LA ESPERANZA		SANTA ANA	SANTA ANA	17				XIOMARA GUADALUPE RAMOS

RESULTADOS DE ANALISIS MUESTRAS PAGADAS		
N° Muestra	% Materia Orgánica	
M20905	4.04	MEDIO

Análisis Infr. Circuito Libre
Línea Lito de Manzanera
Línea Banco de Alajuela
Línea Transil Vahaca