

**UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR**  
**FACULTAD DE CIENCIAS AGRONÓMICAS**



**TESINA:**

**ESTIMACIÓN DE LA PÉRDIDA POTENCIAL DEL SUELO POR  
EROSIÓN HÍDRICA MEDIANTE LA ECUACIÓN UNIVERSAL DE  
PÉRDIDA DE SUELOS (USLE), EN LA FINCA FLOR DE LIS EN EL  
DEPARTAMENTO DE SANTA ANA.**

**POR**

**MARÍA IVETH HERNÁNDEZ LÓPEZ**

**SAN SALVADOR, EL SALVADOR, CENTRO AMÉRICA, 2023**

**UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR**  
**FACULTAD DE CIENCIAS AGRONÓMICAS**  
**DEPARTAMENTO DE RECURSOS NATURALES Y MEDIO AMBIENTE**



**TESINA:**

**ESTIMACIÓN DE LA PÉRDIDA POTENCIAL DEL SUELO POR  
EROSIÓN HÍDRICA MEDIANTE LA ECUACIÓN UNIVERSAL DE  
PÉRDIDA DE SUELOS (USLE), EN LA FINCA FLOR DE LIS EN EL  
DEPARTAMENTO DE SANTA ANA.**

**POR  
MARÍA IVETH HERNÁNDEZ LÓPEZ**

**PRESENTADA COMO REQUISITO PARA OBTENER EL  
TÍTULO DE INGENIERA AGRÓNOMO**

**SAN SALVADOR, EL SALVADOR, CENTRO AMÉRICA, 2023**

**UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR**

**RECTOR**

MSc. ROGER ARMANDO ARIAS ALVARADO

**SECRETARIO GENERAL**

MSc. FRANCISCO ANTONIO ALARCÓN SANDOVAL

**FACULTAD DE CIENCIAS AGRONÓMICAS**

**DECANO**

DR. FRANCISCO LARA ASENCIO

**SECRETARIO**

ING. AGR. BALMORE MARTÍNEZ SIERRA

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

ING. MSc. JOSÉ MAURICIO TEJADA ASENSIO

**ASESOR INTERNO**

ING. MSc. PhD. MIGUEL ÁNGEL HERNÁNDEZ MARTÍNEZ

**TRIBUNAL CALIFICADOR**

ING. MSc. PhD. MIGUEL ÁNGEL HERNÁNDEZ MARTÍNEZ

ING. MSc. JOSÉ MAURICIO TEJADA ASENSIO

ING. AGR. MAECE. NELSON BERNABÉ GRANADOS ALVARADO

**COORDINADOR GENERAL DE PROCESOS DE GRADUACIÓN**

ING. AGR. MAECE. NELSON BERNABÉ GRANADOS ALVARADO

Esta tesina fue realizada al finalizar el curso de especialización de “Gestión integral de sistemas productivos agroecológicos” bajo la dirección del comité de investigación indicado, ha sido aprobada por el mismo y aceptada como requisito para obtener el Título de:

## **Ingeniera Agrónomo**

### **Comité de Tesina**

---

Ing. Msc. Phd. Miguel Ángel Hernández Martínez

Tutor de Tesina

---

Ing. MSc. José Mauricio Tejada Asensio  
Jefe Departamento de Recursos Naturales y Medio Ambiente

---

Ing. Agr. MAECE. Nelson Bernabé Granados Alvarado  
Coordinador de Procesos de Graduación  
Departamento de Recursos Naturales y Medio Ambiente

## **Dedicatoria**

### **A DIOS**

A mi Dios Todopoderoso, por brindarme salud, inteligencia y las fuerzas necesarias en todo momento.

### **A MIS PADRES**

A mis amados padres; Mercedes y José quienes me han brindado su apoyo incondicional y me impulsan a ser mejor persona cada día.

### **A MIS HERMANOS**

Mis queridos hermanos; José, Priscila, Icela, Abraham, y Zulma Dinora, por su grato amor y apoyo incondicional.

A toda mi familia por sus oraciones, consejos y palabras de aliento y por acompañarme en todos mis sueños y metas.

## **Agradecimientos**

Agradezco A Dios Todopoderoso por permitirme llegar a esta etapa de mi vida.

Mis sinceros Agradecimientos a mi Tutor de Tesina Ing. MSc. PhD. Miguel Ángel Hernández Martínez, por brindarme su apoyo técnico, en la elaboración y revisión del documento.

Al personal docente del Departamento de Recursos Naturales, de la Facultad de Ciencias Agronómicas.

Agradezco al Ing. Agr. Carlos Aguirre, por compartir sus conocimientos y sugerencias para culminar este proceso.

A mis padres, por su infinito amor, comprensión y el esfuerzo al permitirme cumplir hoy un sueño más, por ser mi inspiración y fortaleza. Quienes siempre han sido mis mejores guías de vida. Hoy cuando concluyo mis estudios, les dedico a ustedes este logro, como una meta más conquistada.

A mis hermanos, por su valioso apoyo, sus consejos, palabras de consuelo y de motivación cada día.

En memoria a mis abuelos; Julián y Antonia, quienes siempre con su Fe, creyeron en que podía llegar a culminar mi carrera.

Mis sinceros agradecimientos a Jennifer Esmeralda Flores Calderón, por su valiosa amistad, por acompañarme desde el inicio de la carrera y brindarme su apoyo en los momentos difíciles de este largo proceso, a Glenda Palma, Roxana Elizabeth, Ariel Aguirre, Armida Méndez, Massiel Esmeralda, David Quijano, Jeannette Rivera, por su apoyo y constancia, al estar en horas difíciles y compartir horas de estudio.

## Índice General

I. Introducción.....	1
II. Planteamiento del Problema.....	2
III. Objetivos.....	3
3.1. Objetivo general.....	3
3.2. Objetivos específicos.....	3
IV. Estado del arte.....	4
V. Revisión Bibliográfica.....	5
5.1. Erosión del suelo.....	5
5.1.1. Factores que determinan la erosión.....	5
5.2. Erosión Hídrica.....	6
5.2.1. Etapas de la Erosión Hídrica.....	7
5.2.2. Tipos de erosión hídrica.....	7
5.3. Ecuación Universal de Perdida de Suelos (USLE).....	9
5.3.1. Factor (R): Factor de la erosividad de la lluvia.....	9
5.3.2. Factor (K): factor de erosionabilidad del suelo.....	10
5.3.3. Factor LS o factor topográfico.....	15
5.3.4. Factor C (Cubierta Vegetal y Manejo del recurso).....	15
5.3.5. Factor P o de medidas de conservación.....	16
VI. Metodología.....	17
6.1. Ubicación del estudio.....	17
6.2. Tipo de investigación.....	17
6.3. Fase de campo.....	18
6.3.1. Materiales y Equipo.....	18
6.3.2. Muestreo.....	18

6.4. Fase de laboratorio .....	21
6.4.1. Determinación de la textura del suelo.....	21
6.5. Densidad Aparente por el método del cilindro de Volumen conocido. ....	23
6.6. Metodología de Oficina.....	24
VII. Análisis de Resultados.....	25
7.1. Propiedades del suelo.....	25
7.1.1. Estructura del suelo .....	25
7.1.2. Textura y materia orgánica.....	26
7.1.3. Densidad aparente.....	27
7.2. Desarrollo de la Ecuación de Perdida de Suelo por Erosión Hídrica (USLE) .....	28
7.2.1. Determinación del factor R; Erosividad o poder erosivo de la lluvia.....	28
7.2.2. Determinación del factor K.....	29
7.2.3. Asignación del Factor LS o factor topográfico.....	30
7.2.4. Asignación del factor C .....	31
7.2.5. El factor (P) prácticas de conservación.....	33
7.3. Cálculo de la Erosión Potencial.....	34
7.4. Prácticas de conservación de suelos y agua.....	35
VIII. Conclusiones.....	38
IX. Bibliografía.....	39
X. Anexos.....	44

## Índice de Cuadros

Cuadro No. 1. Precipitaciones (mm) mensuales en el departamento de Santa Ana. ....	10
Cuadro No. 2. Códigos de estructura del suelo de USLE. ....	13
Cuadro No. 3. Códigos de Permeabilidad del suelo .....	14
Cuadro No. 4. Valores del factor Topográfico (LS) .....	15
Cuadro No. 5. Valores del factor; Cubierta Vegetal (C) para diferentes cultivos .....	16
Cuadro No. 6. Factor (P) medidas de conservación. ....	16
Cuadro No. 7. Riesgos de Erosión Potencial .....	16
Cuadro No. 8. Resultados de estructura y permeabilidad del suelo. ....	25
Cuadro No. 9. Resultados de laboratorio de materia orgánica y clases texturales .....	26
Cuadro No. 10. Cálculo de los valores de R (Erosividad). ....	28
Cuadro No. 11. Prácticas de conservación de suelos .....	35
Cuadro No. 12. Obras de Conservación de suelos y agua. ....	36
Cuadro No. 13. Obras de conservación de suelo y agua: Cosecha de agua lluvia. ....	37

## Índice de Figuras

Figura 1. Tipos de raíces y su efecto en el control de la erosión hídrica y eolia. ....	6
Figura 2. Nomograma para la asignación del factor K, de Wischmeier y Smith 1978. ....	10
Figura 3. Triángulo textural de USDA, citado por (FAO 2009). ....	12
Figura 4. Triángulo para determinar la permeabilidad del suelo. ....	14
Figura 5. Mapa de ubicación. ....	17
Figura 6. Mapa de puntos de muestreo. ....	18
Figura 7. Valoración de la estructura del suelo. Fuente: Tomado de Benites 2014. ....	20
Figura 8. Determinación de la textura del suelo por el método de Bouyoucos. ....	21
Figura 9. Determinación de la textura del suelo por el método de Bouyoucos. ....	22
Figura 10. Determinación de la textura del suelo por el método de Bouyoucos. ....	22
Figura 11. Determinación de la Densidad Aparente en Laboratorio. ....	23
Figura 12. Mapa de los porcentajes de Materia Orgánica en la Finca Flor de Lis. ....	26
Figura 13. Mapa de Densidad Aparente. ....	27
Figura 14. Valor de la Erosividad de la lluvia. ....	29
Figura 15. Mapa del factor k, de la USLE. ....	29
Figura 16. Mapa del factor LS para la Finca Flor de Lis. ....	30

Figura 17. Mapa de cobertura y uso actual en la Finca Flor de Lis. -----	31
Figura 18. Mapa del factor C. Cobertura y Uso. -----	32
Figura 19. Mapa del Factor P de USLE. -----	33
Figura 20. Mapa de Erosión Potencial USLE. -----	34

### **Índice de Anexos**

Anexo No. 1. Resultados de laboratorio. Porcentajes.....	44
Anexo No. 2. Clase textural del punto 1 de muestreo. ....	44
Anexo No. 3. Clase textural del punto 2 de muestreo. ....	45
Anexo No. 4. Clase textural del punto 3 de muestreo. ....	45
Anexo No. 5. Factor de Erodabilidad del suelo para el punto 1 de muestreo.....	46
Anexo No. 6. Factor de Erodabilidad del suelo para el punto 2 de muestreo.....	46
Anexo No. 7. Calificación de la erodabilidad, propuesto para la zona cafetera colombiana.	47
Anexo No. 8, Diagrama triangular de permeabilidad del suelo.....	47
Anexo No. 9. Muestreo de suelo para evaluar Densidad Aparente. . ....	48
Anexo No. 10. Valores del factor K y Resultado de densidad Aparente.....	48
Anexo No. 11. Resultados de laboratorio. Textura.....	49

## **Resumen**

La erosión potencial del suelo fue determinada por medio del modelo USLE, en la Finca Agroecología Flor de Lis, ubicada en el cantón Las Aradas, departamento de Santa Ana, distribuyendo 4 puntos de muestreo en un área de 2.5 mz, de los cuales se extrajeron 2 libras de suelo, para determinar en laboratorio las propiedades de textura, densidad aparente, y porcentaje de materia orgánica. En la finca predominan los suelos de textura Franco Arenosa con porcentajes de materia orgánica entre 2.12 a 6.5 % clasificándose en un nivel medio a alto, los rangos de densidad aparente oscilan entre 0.99 a 1.13 g.cm<sup>3</sup>. La cuantificación de erosión potencial se realizó a partir de la multiplicación de los factores de erosividad (R), erodabilidad (K), cubierta vegetal (C), longitud y largo de la pendiente (LS) y el factor (P) de prácticas de conservación, utilizando la calculadora ráster del programa QGIS 3.22.10, resultando un riesgo de erosión leve (1.0 a 10 t/ha/año), principalmente por ser una zona agroecológica con árboles de sombra. El valor más alto (30 a 40 t/ha/año) se clasificó como un riesgo de erosión moderado, atribuyéndose a una pequeña área de suelo sin cubierta vegetal.

## **Abstract**

Potential soil erosion was determined by means of the USLE model, on the Flor de Lis Agroecology farm located in el canton Las Aradas, department of Santa Ana, distributing 4 sampling points in an area of 2.5 mz, of which 2 were extracted. pounds of soil, to determine in the laboratory the properties of texture, bulk density, and percentage of organic matter. On the farm, soils with a sandy loam texture predominate with percentages of organic matter between 2.12 and 6.5%, classified at a medium to high level, the apparent density ranges between 0.99 and 1.13 g.cm<sup>3</sup>. The quantification of potential erosion was carried out from the multiplication of the factors of erosivity (R), erodibility (K), vegetation cover (C), length and length of the slope (LS) and the factor (P) of practices of conservation, using the raster calculator of the QGIS 3.22.10 program, resulting in a slight erosion risk (1.0 to 10 t/ha/year), mainly because it is an agroecological zone with shade trees. The highest value (30 to 40 t/ha/year) classified as a moderate erosion risk, attributing to a small area of soil without vegetation cover.

## **I. Introducción**

La erosión de los suelos es un fenómeno natural generado por diversos factores, y potenciado por la intervención humana. Entre los factores físicos que generan erosión podemos citar los vientos y las lluvias, siendo esta última la que tiene efectos más significativos, y que pueden ser cuantificables. Las gotas de lluvia disgregan el suelo en partículas muy finas, las que son fácilmente transportadas en suspensión por las corrientes que originan y que al incrementarse el flujo genera el desgaste de los suelos (MARN 2017).

La capacidad potencial que presenta un suelo para hacer frente a los procesos de degradación, entre ellos los erosivos de índole hídrica, está determinada por factores predisponentes, los cuales pueden ser analizados y cuantificados mediante la Ecuación Universal de Pérdida de Suelos (USLE). Este modelo desarrollado por Wischmeier y Smith (1978) es un modelo matemático de tipo paramétrico que permite estimar cuantitativamente la erosión y representa la pérdida de suelo en tn/ha/año para determinadas condiciones de precipitación, suelo, relieve, cultivo y prácticas de manejo (Villanueva *et al.* 2004).

En el presente trabajo, se estima la erosión hídrica potencial mediante el modelo USLE en la Finca Agroecológica Flor de Lis, estableciendo los pronósticos de pérdida de suelo en función de cinco parámetros: (R) erosividad de las precipitaciones, (K) erodabilidad del suelo, (LS) longitud y largo de la pendiente, (C) uso y manejo del suelo y (P) prácticas de conservación. Su propósito es servir de herramienta para el desarrollo de estrategias que hagan sostenibles y sustentables las actividades agronómicas, ya que a mayor erodabilidad del suelo, las prácticas de manejo deberán ser conservacionistas para disminuir al máximo las pérdidas de suelo.

## II. Planteamiento del Problema

La erosión del suelo conlleva a la eliminación de la capa superior del suelo, la más fértil, implica que los minerales y nutrientes del suelo se depositen en otros lugares, degradando a menudo los ecosistemas tradicionales (FAO 2011). La erosión hídrica es el problema más significativo de degradación del suelo en el mundo, que provoca serios impactos ambientales y altos costos económicos, a través de sus efectos sobre la producción agrícola, la infraestructura y la calidad del agua que, a su vez, afectan la calidad de la población, llegando a amenazar la seguridad alimentaria y representar un serio problema para el desarrollo sustentable (Mejía *et al.* 2010). En El Salvador el 17% de su superficie conserva algún tipo de ecosistema natural que, en general, se encuentra en un estado de alta degradación. Esto se traduce en que 64% de las principales zonas de recarga hídrica, 42% de las áreas propensas a deslizamientos y 67% de los márgenes de los principales ríos no presentan ningún tipo de cobertura arbórea (MARN 2013), con el consecuente impacto de vulnerabilidad en el país. Y se dedica más del 70% de la superficie a diversos sistemas productivos, principalmente maíz y frijol; café, caña de azúcar; y ganadería (MARN 2015).

En los últimos 40 años, cerca de un tercio de las tierras arables del mundo se han perdido por un proceso natural generalmente lento de erosión y continúa perdiéndose a tasas mayores de 10 millones de hectáreas por año. Al respecto, se estima que el 80 % de la superficie del planeta presenta este fenómeno (Sánchez *et al.* 2013) y aproximadamente el 66 % de las tierras cultivables se encuentran degradadas por erosión hídrica (Ramírez e Hincapié 2009).

Por lo anterior, se hace necesario dar un valor a los servicios ambientales que las zonas cafetaleras de El Salvador proveen, Principalmente la mitigación de los procesos erosivos de la lluvia por medio de la cobertura vegetal predominante en los cafetales bajo sombra. Por lo que es preciso adoptar un enfoque cuantitativo que permita determinar más adecuadamente zonas de riesgo a fin de mejorar la gestión de la tierra, contribuyendo a la conservación y la sostenibilidad de los ecosistemas. Es necesario realizar un estudio que permita conocer la pérdida de suelo en la finca agroecológica Flor de Lis, a través de la Ecuación Universal de Pérdida de Suelo (USLE).

### **III. Objetivos**

#### **3.1.Objetivo general**

Determinar la erosión potencial del suelo a través de la Ecuación Universal de pérdida de Suelo (USLE), en la Finca Flor de Lis, Santa Ana.

#### **3.2.Objetivos específicos**

- Establecer valores a los parámetros de la ecuación universal de pérdida de suelo a partir de las características climáticas y edáficas de la finca Flor de Lis.
- Estimar la pérdida potencial del suelo, integrando los factores de la USLE, en los Sistemas de Información Geográfica (GIS).
- Describir medidas de conservación de suelos para reducir los niveles de pérdida de suelos.

#### **IV. Estado del arte**

“La aplicación de cobertura sobre la superficie del suelo o cualquier cobertura colocada sobre la superficie del suelo para modificar las propiedades físicas, crean un ambiente favorable para; el desarrollo de las raíces, la extracción de nutrientes, para reducir la erosión y degradación del suelo” (Thurston 1992). Un cafetal bien establecido con árboles al contorno, de alta densidad y buen manejo de podas, ejerce una buena cobertura sobre el suelo, sombreándolo y protegiéndolo de los agentes de erosión (OIRSA 2001).

Los factores que desencadenan el fenómeno erosivo son los agentes climáticos, representados en precipitaciones con características particulares de intensidad, duración y frecuencia; agentes condicionantes como los edáficos, siendo los factores geomórficos principalmente la pendiente y la vegetación que protege al suelo del impacto directo de las gotas de lluvia, contribuye a disminuir la escorrentía superficial, decrecer caudales cuyas raíces protegen al suelo de no disgregarse (Booth 2011).

Los suelos desprotegidos encuentran en el agua uno de los agentes erosivos más enérgicos, produciendo un fenómeno conocido como erosión hídrica. Este proceso comienza con el arrastre de sus componentes más finos y ricos en nutrientes y culmina en el estado de desertificación, con su desaparición y transporte a las zonas bajas donde se deposita (Doyle 2010).

La Ecuación Universal de Pérdida de Suelo (USLE) es un método cuantitativo de evaluación indirecta de la pérdida de suelo por procesos de erosión hídrica. La estimación de la erosión se realiza a partir de la modelización de la respuesta del sistema natural suelo frente a la precipitación pluvial. Como todo modelo de simulación, los datos obtenidos al aplicar la ecuación serán más exactos en la medida que la ecuación recoja las características reales del territorio, siendo fundamental que el valor asignado a los parámetros reproduzca lo más fielmente posible las condiciones ambientales del diseño (Ibáñez *et al.* 2012).

Ramos (2022) estimó la erosión potencial del suelo mediante el modelo USLE, encontrándose que una finca cafetalera con manejo agroecológico presenta valores de erosión potencial de pérdida de suelo bajos, asumiéndose que la cobertura arbórea de la sombra del café ejerce un efecto benéfico para reducir la erosión.

## **V. Revisión Bibliográfica**

### **5.1. Erosión del suelo**

La erosión del suelo consiste en la remoción, arranque y transporte de los materiales que constituyen la capa más superficial del suelo, sea cual sea el agente responsable: agua, viento, hielo y actuaciones humanas. La erosión produce la reducción del espesor efectivo del perfil edáfico y, por tanto, del volumen de suelo explotable por la vegetación o el cultivo. Dado que la pérdida de material afecta fundamentalmente a las capas superficiales del suelo, en las que reside la mayor fertilidad, su pérdida supone una merma significativa de los contenidos de materia orgánica y nutrientes (Alonso *et al.* 2011).

#### **5.1.1. Factores que determinan la erosión**

Dentro de los factores que influyen en la erosión de un sistema fluvial en específico se encuentran los que a continuación se detallan:

##### **a. Erodabilidad**

Erodabilidad es la susceptibilidad del suelo a la erosión, debido a la facilidad de desprendimiento de sus partículas por acción del agua o el viento, la pendiente y clase textural. La erodabilidad es dinámica, cambia durante una tormenta, durante el año o de año a año, los suelos pueden variar en su contenido de humedad y con ello en su resistencia a la erosión. Cuando se inicia el movimiento de las partículas es porque las fuerzas encargadas de resistir el transporte de estas han sido superadas por las fuerzas erosivas del sistema fluvial, ocasionando su movimiento. Para suelos granulares (arenas y gravas) las fuerzas que resisten el movimiento son causadas principalmente por el peso propio de las partículas. Los suelos finos (arcillosos) en cambio, deben esta fuerza generalmente a la cohesión (Díaz 2001).

##### **b. Erosividad**

La erosividad es una medida de la capacidad de un agente erosional, como la lluvia, para erosionar la superficie de suelo (son las fuerzas que actúan en la superficie). Depende de la energía cinética disponible, la cual es determinada por factores como intensidad de lluvia, tamaño de gota de lluvia, profundidad de flujo y ángulo de pendiente (Chávez *et al.* 2010).

##### **c. Vegetación**

La vegetación es un factor propio de la zona que actúa como cubierta protectora, minimiza la acción de impacto de las gotas de lluvia, pero depende directamente de la altura y continuidad

de la copa de los árboles, así como de la cobertura superficial (pastos, hierbas y arbustos). Las tasas de erosión de impacto bajo las copas de los árboles pueden ser hasta tres veces mayores que las producidas en suelos desnudos que reciben precipitación directa. Se ha demostrado que las raíces de los árboles juegan un papel muy importante en los movimientos de tierra en laderas, ya que las raíces profundas pueden servir de anclas para las masas de suelo (UNESCO 2010).

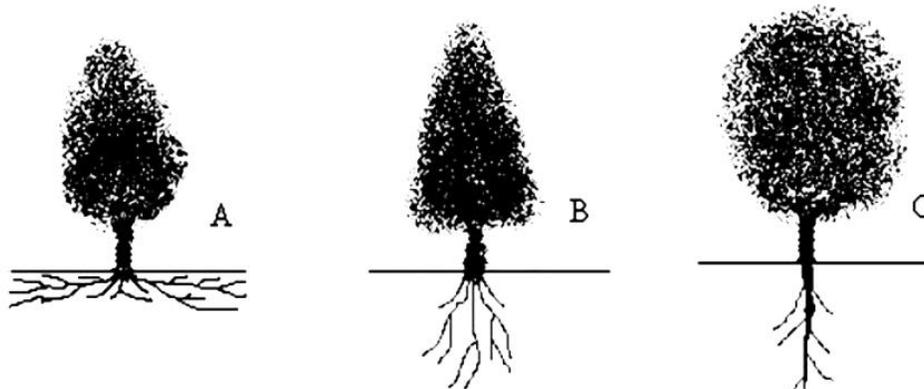


Figura 1. Tipos de raíces y su efecto en el control de la erosión hídrica y eólica.

Las raíces de las plantas ayudan a sostener el suelo en su lugar, siendo las raíces superficiales (A) las más adecuadas para controlar la erosión hídrica y eólica. Por otro lado, las raíces más profundas (B y C) ayudan a prevenir movimientos de masas en pendientes (García 2008, citado por UNESCO 2010).

#### d. Topografía

Las variables como la inclinación, forma del perfil y largo de la pendiente son determinantes en la cantidad y velocidad del escurrimiento generado por un evento lluvioso. La distancia horizontal en la que viaja una partícula de suelo desprendida por el impacto de una gota de lluvia está en directa relación con la inclinación de la pendiente. Por otro lado, la longitud de la pendiente influye en la profundidad, y, por ende, en el poder erosivo del flujo superficial que se genere, siendo estas variables mayores en las secciones más bajas de la ladera, debido a una mayor área de contribución (Gómez 2018).

### 5.2. Erosión Hídrica

Esta clase de erosión es causada por el impacto de la lluvia, típico de regiones tropicales, debido a la intensidad, duración y frecuencia asociada a efectos pluviales.

Los efectos de esta erosión se presentan cuando se encuentra la pendiente abrupta y escarpada, la ausencia de cobertura vegetal y el pobre desarrollo estructural de los suelos (Núñez 2001).

Para determinar el potencial de erosión en campos agrícolas se desarrollaron una gran cantidad de ecuaciones con base en los diversos parámetros que afectan la erosión. Estos métodos han sido utilizados como una forma de evaluar el potencial de erosión de un área determinada. De estos modelos empíricos, el más conocido es la Ecuación Universal de Pérdidas de suelo desarrollada por Smith y Wischmeier descrita en el apartado 5.3, permite la evaluación de las pérdidas de suelo, incluyendo tanto la erosión laminar como la erosión en surcos.

### **5.2.1. Etapas de la Erosión Hídrica**

Según Ares y Varni (2016), en este tipo de erosión se produce en tres etapas principales que se describen a continuación:

#### **- Etapa de desprendimiento**

En la que intervienen las gotas de lluvia. Estas gotas caen con una energía cinética que se disipa sobre la superficie del suelo y rompe los terrones y agregados. Como consecuencia se desprenden partículas que pueden tapan los poros pequeños del suelo, y la superficie resulta sellada. A su vez, si hay pendiente, algunas de esas partículas pueden moverse hacia las partes más bajas del terreno. En esta fase se produce erosión por la salpicadura que generan las gotas.

#### **- La etapa de transporte**

En la cual se moviliza el material desprendido en el agua que escurre sobre la superficie. El agua puede escurrir en forma de lámina o manto con velocidad lenta. También lo puede hacer en forma turbulenta con mayor velocidad, capacidad de transporte y de desprendimiento de partículas con respecto al escurrimiento laminar. En esta etapa se produce la erosión laminar, la erosión en surcos y la erosión en cárcavas, que se evidencian en el campo de manera diferente.

#### **- Etapa de sedimentación**

En la cual el suelo desprendido y transportado se deposita en sitios debido a la falta de energía que continúe su movimiento.

### **5.2.2. Tipos de erosión hídrica**

#### **a. Erosión por Salpicadura o por las gotas de lluvia:**

La lluvia es uno de los principales problemas causante de los procesos erosivos en el país, las variables que juegan un papel importante en este tipo de erosión son: la cantidad, la intensidad y duración del evento.

Dependiendo del comportamiento de las tres variables mencionadas, así será el resultado de la erosividad generada; por ejemplo, si la intensidad y la cantidad de lluvia es alta, la erosión será más rápida, el impacto de la gota de agua creará un cráter en la superficie del suelo, cuyo volumen se regirá por el tamaño y la velocidad del impacto de la gota; además, del tamaño y densidad de las partículas del suelo afectado, así como, de la profundidad del agua en la superficie (Díaz 2001).

El tipo de suelo tiene un papel muy importante en este tipo de erosión, por ejemplo, si la gota de lluvia impacta un suelo de baja cohesividad como una arena suelta, en la superficie se formará un cráter por impacto, ahora bien, si la gota de lluvia impacta en un suelo de cohesión fuerte la situación cambia con respecto al caso anterior debido a que ahora las fuerzas erosivas de la gota deben de vencer las fuerzas internas del material que conforma el suelo (Chávez *et al.* 2010).

#### **b. Erosión Laminar:**

La erosión laminar consiste en el desprendimiento o remoción y transporte en capas bien definidas superficiales de suelo por acción de la escorrentía superficial, se asume que es la primera fase del proceso erosivo. Esta erosión es efectiva en pendientes fuertes y en terrenos planos sin cobertura, el agua parcialmente se infiltra y se acumula sobre la superficie del terreno, formándose una capa delgada de agua con flujos de 2 a 3 milímetros de espesor. El flujo laminar es poco profundo en la cresta de la ladera, pero la profundidad aumenta en la parte inferior de esta. El flujo propiamente laminar tiene poco poder erosivo, pero en zonas se convierte en turbulento, aumentando en forma importante su capacidad de erosión (Chávez y Sebesta 2010).

#### **c. Erosión en Surcos:**

Es la pérdida de suelo por el agua de lluvia, cuando esta se ha concentrado en pequeñas depresiones naturales, y empieza a desplazarse ladera abajo arrastrando el suelo, formando pequeñas zanjas con profundidades hasta de 50 cm. Este proceso es acelerado por el hombre, cuando hace un mal manejo del suelo, como el hacer surcos en dirección de la pendiente, el cual es una práctica común en la zona (INETER 2005).

### **5.3. Ecuación Universal de Pérdida de Suelos (USLE)**

La USLE (Universal Soil Loss Equation) o Ecuación Universal de Pérdida de Suelos, fue desarrollada por Wischmeier y Smith en EE. UU, a partir de los resultados obtenidos, durante los años 50, de un número muy elevado de parcelas de campo instaladas en diferentes localidades del país, con condiciones climáticas, edáficas, topográficas y de uso muy variadas (Galvis 2008). Este modelo USLE fue concebido para predecir la pérdida de suelo anual a largo plazo producida por la escorrentía superficial, sobre laderas cultivadas y praderas bajo sistemas de gestión específicos, así como para estimar la eficiencia de la gestión del suelo, de las cubiertas y de las medidas de conservación del suelo, tanto en zonas agrícolas como afectadas por otras actividades que modifican la disposición original del suelo.

En la USLE, los procesos y mecanismos de la erosión se cuantifican a través de la tasa de pérdida de suelo por erosión hídrica (A). Esta cuantificación se hace a través de cinco factores: el poder erosivo de la lluvia (R), la erodabilidad de los suelos (K), la cobertura vegetal (C), la práctica conservacionista (P) y el factor combinado de la pendiente y la longitud de esta (LS):

$$A = R \times K \times LS \times C \times P$$

#### **5.3.1. Factor (R): Factor de la erosividad de la lluvia**

Según Ibáñez *et al.* (2012), este factor representa la capacidad de la lluvia para producir erosión. Se calcula basándonos en la energía cinética de la precipitación, que es en definitiva la energía capaz de desagregar el suelo en las partículas individuales que posteriormente serán transportadas por la salpicadura o por la escorrentía.

De forma similar a otras variables representativas del clima de una zona (como la cantidad de lluvia), el valor del factor R es anual y se determina por la suma de los valores  $R_i$  de cada una de las precipitaciones ocurridas en la zona durante el año.

Cuadro No. 1. Precipitaciones (mm) mensuales en el departamento de Santa Ana.

Mes	Precipitaciones (mm)										Promedio
Abril	17.8	15.9	135.2	28.8	46.5	56.4	29.4	28.6	97.6	111	56.72
Mayo	196.9	214.2	236.1	258.4	152.7	175.5	321.1	249	250.8	203.9	225.86
Junio	235.9	201.1	207.1	291.6	295.3	250.8	344.5	265.4	222.5	368.2	268.24
Julio	257.1	207.1	163.5	412.2	235.8	212	142.5	263.9	124	352	237.01
Agosto	370.3	227.2	316.5	286.4	284.9	231.6	329.7	380.2	482.2	350.1	325.91
Septiembre	394.7	449.8	308.7	316.3	380.4	452.5	363.2	273.5	203	248.7	339.08
Octubre	258.3	360.6	222.1	198.6	235.8	231.7	320.8	344.1	319.5	470.2	296.17
Noviembre	225.5	47.3	74	12.8	28.5	140.5	24.4	82.1	14.1	23.8	67.3

Fuente: Global Climate Monitor S.f.

### 5.3.2. Factor (K): factor de erosionabilidad del suelo

El factor erosionabilidad del suelo o factor K expresa la susceptibilidad del suelo a sufrir pérdidas de suelo por erosión (Ibáñez *et al.* 2012). En la práctica, para las estimas de gabinete su valor se determina a partir de un nomograma desarrollado por Wischmeier y Smith a partir de datos experimentales en la siguiente figura

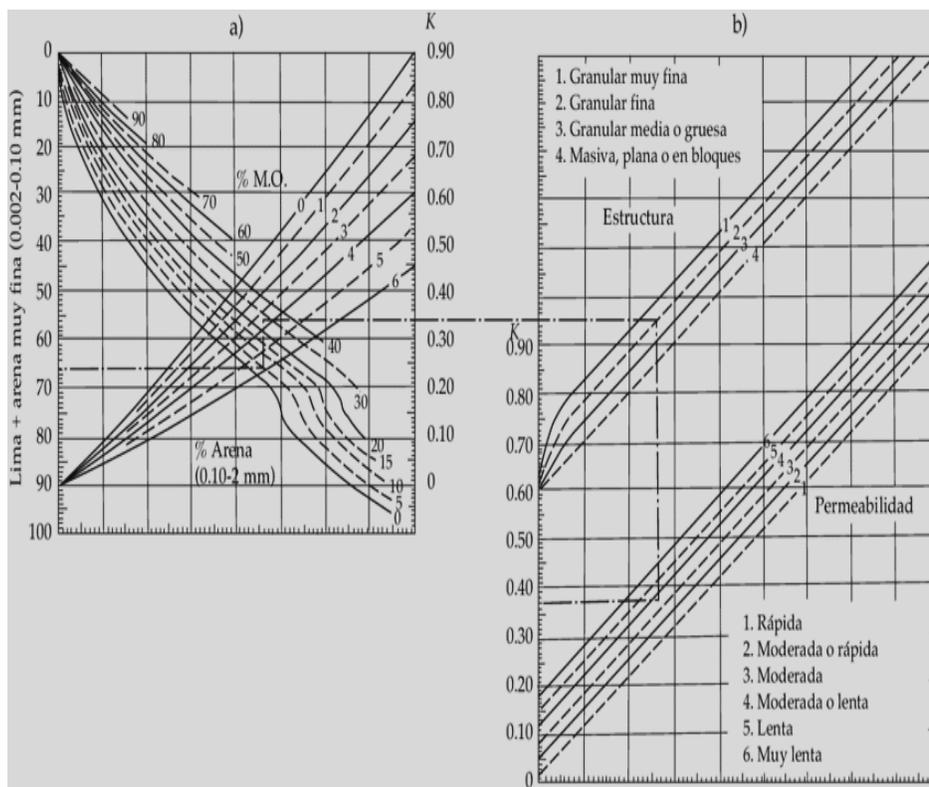


Figura 2. Nomograma para la asignación del factor K, de Wischmeier y Smith 1978.

Según Mancilla 2008, el factor k puede ser estimado de manera directa a través de una ecuación, o bien de manera gráfica. Para ambos métodos es necesario, efectuar determinaciones previas de ciertas propiedades como:

- **Textura**

La textura indica la proporción de las partículas fundamentales del suelo: arcilla, limo y arena, que se pueden agrupar en fina, media y gruesa. El diámetro de las partículas de arcilla es menor de 0.002 mm, las de limo están entre 0.002 y 0.05 mm y las de arena son entre 0.05 y 2.0 mm. La textura, además, influye en la cantidad y disponibilidad de agua y nutrimentos, así como en la aireación, drenaje y accesibilidad en el uso de implementos agrícolas (Castellanos 2000). Los suelos también difieren en su susceptibilidad a la erosión (erosionabilidad) en función de la textura; un suelo con un alto porcentaje de partículas de limo y arcilla tiene una mayor erosión que un suelo arenoso en las mismas condiciones.

- **Método de Bouyoucos**

El método consiste en dispersar las partículas minerales del suelo mediante una solución y en medir indirectamente el porcentaje de cada fracción mediante el densímetro de Bouyoucos. Este método se fundamenta en la ley de Stokes que relaciona la velocidad de caída de las partículas sólidas esféricas en el seno de un líquido, con su diámetro y la densidad de la suspensión en la que caen (Marimon y Viza 1995).

- **Triángulo textural**

Para la clasificación de las clases texturales se utiliza el triángulo de textural. Donde las líneas trazadas en el triángulo (paralelas a los lados), fijan los límites porcentuales de cada componente (Arcilla, limo y arena).

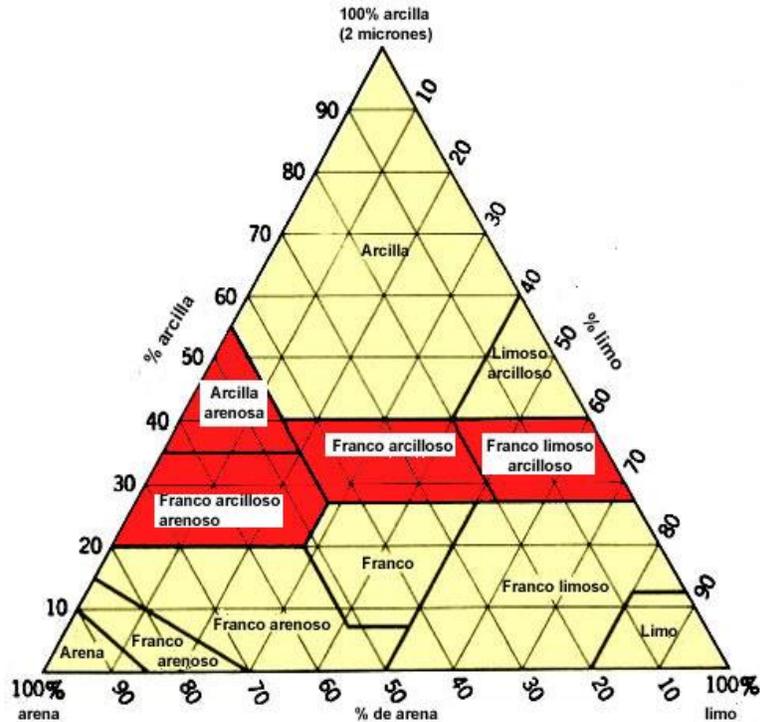


Figura 3. Triángulo textural de USDA, citado por (FAO 2009).

De acuerdo con los manuales originales de USLE, para efectos de la erosión del suelo, la arena muy fina se comporta similar al limo.

- **Materia orgánica.**

Corbella y Ullivarri en el (2009) consideran a la materia orgánica, como una mezcla compleja y variada de sustancias orgánicas, que desempeña un importante papel en los suelos agrícolas. Los suelos con alto contenido de arcilla y limo tienen más materia orgánica que los arenosos. En los suelos de textura fina la cantidad de residuos orgánicos que retorna al suelo es generalmente mayor, debido a que las capacidades de retener nutrientes y agua superiores de estos suelos favorecen una producción vegetal mayor.

Al mismo tiempo, los poros, generalmente más pequeños, de los suelos de textura fina pueden restringir la aireación y reducir la velocidad de oxidación de la materia orgánica. Otro factor que favorece la mayor acumulación de materia orgánica en los suelos de textura fina es la formación de complejos arcilla-humus que protegen a la materia orgánica de la degradación. Se estima su proporción porcentual dentro del suelo, para lo cual se efectúa un análisis de Walkley-Black a las muestras obtenidas (Corbella y Ullivarri 2009).

- **Estructura del suelo.**

Según la UNLP (2019), la estructura del suelo se define como el “ordenamiento de las partículas primarias del suelo (arena, limo y arcilla) en agregados, que se separan de los agregados vecinos por superficies naturales de fragilidad o disyunción (superficie de ruptura)”. Se efectúa su determinación mediante observación visual y tacto. (Noellemeyer *et al.* 2021).

Los suelos con buena estructura son friables, finos, porosos. Además, tienen agregados migajosos, granulares o subangulares, mientras que aquellos con estructura pobre tienen agregados grandes, densos, muy firmes, y angulares o laminares, que encajan y empaquetan muy juntos y tienen muy alta resistencia (penetrómetro), además de la escasa presencia de raíces en el interior de los agregados (Noellemeyer *et al.* 2021). De acuerdo con USLE, las categorías y códigos empleados son únicamente cuatro.

Cuadro No. 2. Códigos de estructura del suelo de USLE.

Código USLE	Tipo de estructura
1	Granular muy fina 
2	Granular fina 
3	Granular media a gruesa 
4	Bloques  Laminar  Masiva 

Fuente: Mancilla 2008.

El factor K en el Sistema Internacional de unidades es expresado en  $\text{ton} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{MJ}^{-1} \cdot \text{cm}^{-1}$ , que expresa la resistencia del suelo en superficie y tiempo, respecto a la energía de la lluvia.

- **Permeabilidad del suelo.**

En USLE, se asignan seis valores o códigos diferentes de acuerdo con la permeabilidad de un suelo determinado:

Cuadro No. 3. Códigos de Permeabilidad del suelo

Código USLE	Categoría de Permeabilidad
1	Rápida (más de 12,7 cm-h-1)
2	Moderada a rápida (6,3 a 12,7 cm-h-1)
3	Moderada (entre 2 y 6,3 cm-h-1)
4	Lenta a moderada (entre 0,5 y 2 cm-h-1)
5	Lenta (entre 0,13 y 0,5 cm-h-1)
6	Muy lenta (menor a 0,13 cm-h-1)

Fuente: Wischmeier y Smith 1978; citado por Mancilla 2008.

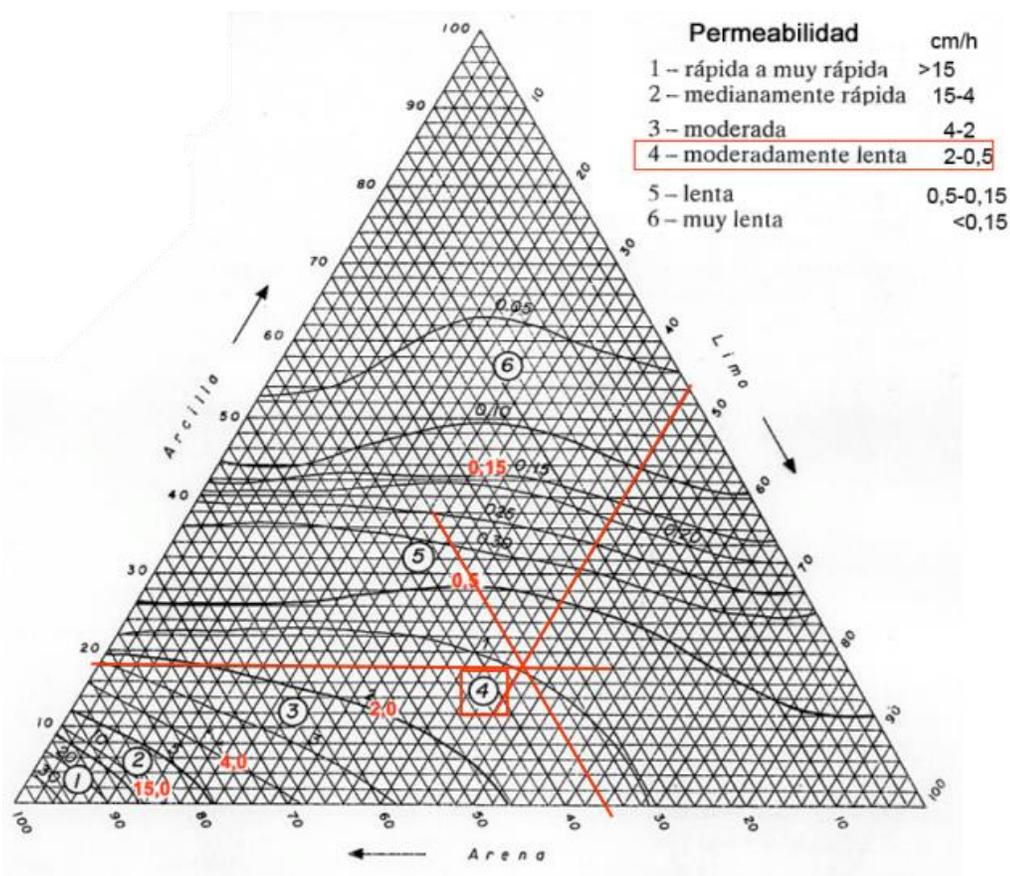


Figura 4. Triángulo para determinar la permeabilidad del suelo.

Los valores de permeabilidad o conductibilidad hidráulica se calculan de una manera aproximada en mediante el diagrama triangular.

### 5.3.3. Factor LS o factor topográfico

El factor conjunto LS responde al efecto combinado de la longitud (L) y el ángulo de inclinación (S) de la ladera sobre la que se están estimando las pérdidas de suelo (Ibáñez *et al.* 2012).

La longitud de pendiente (L) es la distancia entre el punto más alto de caída de la gota de lluvia y el punto en el cual la pendiente disminuye hasta dar comienzo a la deposición de los sedimentos o aquel punto en el que el escurrimiento entra a formar parte de un canal. El factor gradiente (S) corresponde a la relación entre el valor medio de las pérdidas de suelo en un campo con pendiente cualquiera, con el que se obtendría en una parcela del 9% de pendiente uniforme, manteniendo el resto de las características constantes (Delgado 2010).

Cuadro No. 4. Valores del factor Topográfico (LS)

<b>Pendiente (%)</b>	<b>Valores del factor LS</b>
0 – 3	0,3
3 – 12	1.5
12 – 18	3.4
18 – 24	5.6
24 – 30	8.7
> 30	14.6

Fuente: Mintegui 1988.

### 5.3.4. Factor C (Cubierta Vegetal y Manejo del recurso)

El factor C de USLE representa el grado de protección que un determinado tipo de cubierta vegetal ofrece al suelo, en oposición al resto de las variables que facilitan la erosión hídrica. En otras palabras, en el factor C están representados los efectos del porcentaje de cubrimiento de la vegetación, el efecto protector de los residuos vegetales incluidos en la hojarasca y la acción de agregación que tienen las raíces en el suelo.

El factor C para cultivos agrícolas incluye los efectos de labores, tales como preparación del sitio, época de siembra y rotaciones usuales para diferentes tipos de clima y suelo (Mancilla 2008). Se obtiene ponderando los valores de C asignados a las diferentes formaciones vegetales según el uso actual presente en el área, y de acuerdo con la superficie relativa que ocupa cada tipo de vegetación.

Cuadro No. 5. Valores del factor; Cubierta Vegetal (C) para diferentes cultivos

Uso del suelo	Factor C
Suelo desnudo	1.000
Café con sombra	0.09
Frutales	0.525

Fuente: Elaborado a base de Delgado y Vázquez 1997.

### 5.3.5. Factor P o de medidas de conservación

El factor práctico de conservación refleja la eficacia en el control de la erosión conseguida con la implantación de diferentes medidas conservacionistas. Las técnicas consideradas son el laboreo a nivel, el cultivo en fajas alternantes y el aterrazado (Mancilla 2008).

Cuadro No. 6. Factor (P) medidas de conservación.

Pendiente	Factor (P) para cultivo en contorno	Factor (P) para cultivos en terrazas
1 - 2	0.60	0.12
3 - 5	0.50	0.10
6 - 8	0.50	0.10
9 - 12	0.60	0.12
13 - 16	0.70	0.14
17- 20	0.80	0.16
21- 25	0.90	0.18

Fuente: Factor P de prácticas de conservación (adaptado desde las Tablas 13 a 15 del manual USLE, Wischmeier y Smith, 1978).

Al realizar la multiplicación de cada uno de estos factores se realiza la clasificación dentro de unos rangos de erosión, expresados en toneladas/hectárea/año (tn/ha.año), para esto se utiliza el cuadro:

Cuadro No. 7. Riesgos de Erosión Potencial

Leve	0-10
Moderado	10-50
Fuerte	50-200
Muy fuerte	> 200

Fuente: Mancilla (2008).

## VI. Metodología

### 6.1. Ubicación del estudio

La investigación se realizó en el periodo comprendido entre mayo a noviembre del año 2022, en la finca Agroecológica Flor de Lis, sobre una superficie de 2.5 mz. Localizada en el caserío La Eureka, cantón Las Aradas, del municipio de Santa Ana, departamento Santa Ana, se encuentra a una elevación de 825 metros sobre el nivel del mar, dentro de las coordenadas geográficas de latitud norte  $13^{\circ}37'9''\text{N}$ , y una longitud oeste de  $89^{\circ}32'37''\text{W}$ . La temperatura durante el transcurso del año generalmente varía de  $17^{\circ}\text{C}$  a  $32^{\circ}\text{C}$  y rara vez baja a menos de  $15^{\circ}\text{C}$  o sube a más de  $34^{\circ}\text{C}$ .

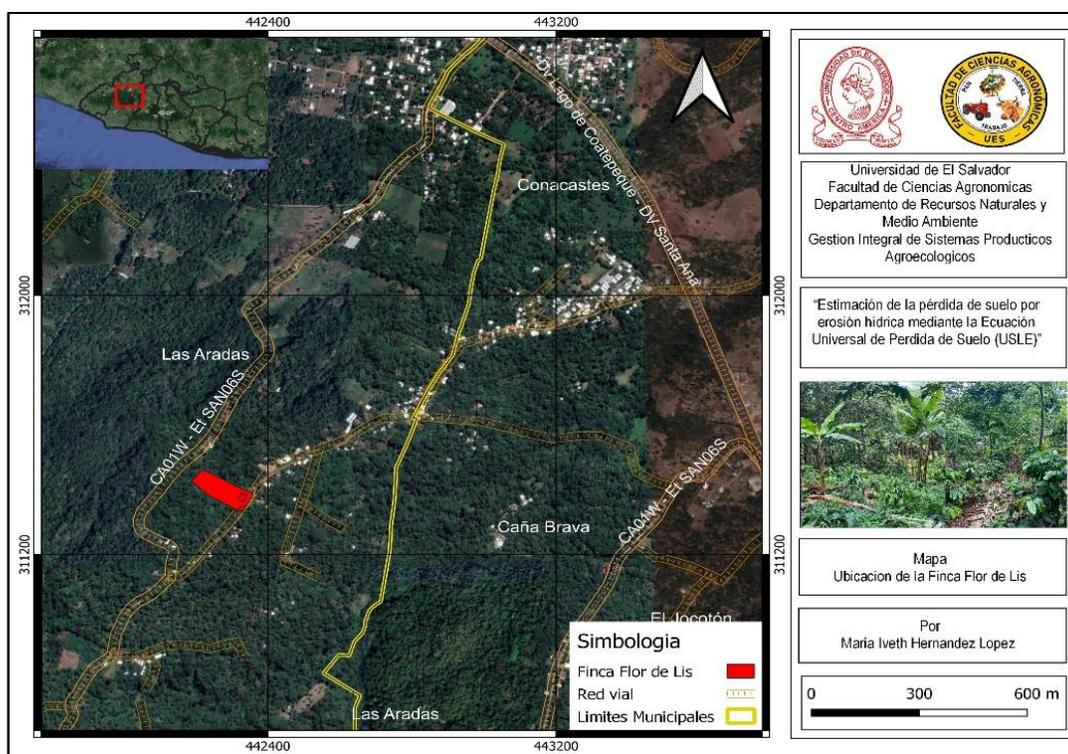


Figura 5. Mapa de ubicación.

### 6.2. Tipo de investigación

La investigación según su propósito es básica, por el nivel de conocimiento que se adquiere es de tipo descriptiva, ya que se estudia el fenómeno de la erosión, y se describen cada uno de los factores que conforman la Ecuación Universal de Perdida de Suelo (USLE), a partir de las características del suelo y el clima de la zona.

## 6.3. Fase de campo

### 6.3.1. Materiales y Equipo

Para el muestreo de suelo se utilizaron materiales y equipo como; palín muestreador, palas, celular con la aplicación del Software Mapinr<sup>®</sup>, pita nylon, clinómetro, cilindro muestreador, carpeta y bolsas Ziploc.

### 6.3.2. Muestreo

A partir del polígono de la finca Flor de Lis, con el programa QGIS se realizó la intersección de los puntos de muestreo, utilizando el comando vectorial, seleccionándose herramientas de investigación y puntos regulares de muestreo, finalmente se exportó la capa en formato kml para ser trasladados al programa Mapinr<sup>®</sup> y utilizarlos durante el muestreo, donde los puntos se disponen siguiendo una malla regular dentro del área seleccionada.

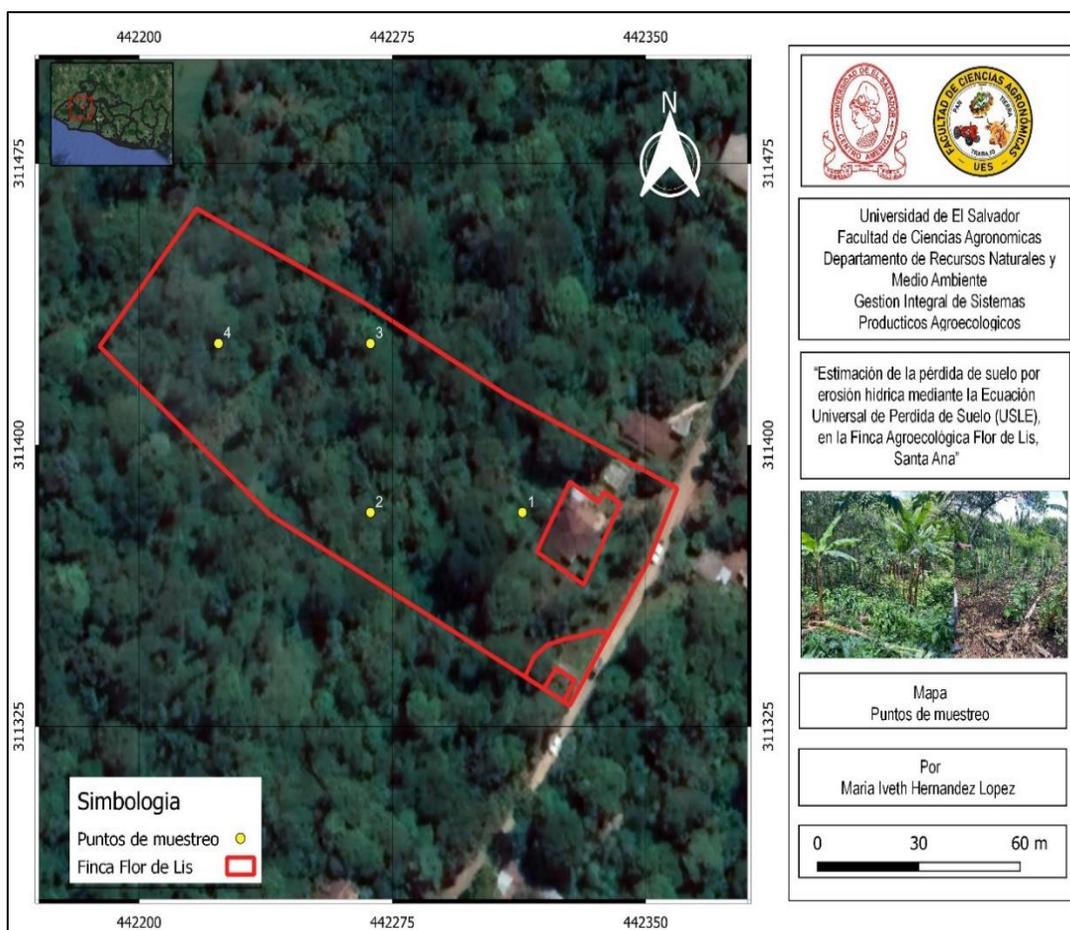


Figura 6. Mapa de puntos de muestreo.

**a. Extracción de muestras para determinar el porcentaje de materia orgánica y textura.**

En cada punto de muestreo, se debe retirar la cobertura vegetal, limpiar la superficie del suelo, descartando todo lo que sea rastrojo o residuos de material vegetal.

Con palín muestreador se efectuó cortes hasta la profundidad 0-20 cm. Cavar una primera palada haciendo un hoyo en forma de V, descartar el suelo al costado. Luego realizar una segunda palada de 3 cm de grosor aproximado, descartar los bordes y colocar en bolsa ziploc previamente rotulada.

**b. Extracción de muestra para densidad aparente**

En cada sitio de muestreo se utilizó un cilindro de Uhland. El cilindro es colocado en el suelo, sobre este se coloca un trozo de madera, luego con un mazo se golpea el trozo de madera de tal manera que se desplaza el suelo hacia el cilindro. Finalmente, con ayuda de un palín se le quita el exceso de tierra. La muestra es colocada en bolsa ziploc para ser procesada en laboratorio.

**c. Pendiente**

Para el registro de la pendiente se utilizó un clinómetro o nivel de carpintero, cerca al punto de muestreo, con ayuda de pita nylon, se realiza la toma de datos para la estimación de la pendiente; se tomó una distancia horizontal a una distancia de un metro y se midió desde el extremo de la pita, para obtener la pendiente del terreno en porcentaje.

**d. Estructura del suelo**

La determinación de la estructura se realizó por medio de la evaluación visual del suelo (EVS), siguiendo la metodología descrita por Noellemeyer *et al* (2021):

- Retirar un cubo de tierra de 20 cm cada lado con una pala de la pequeña calicata.
- Deje caer la muestra de suelo un máximo de tres veces desde una altura de 1 m sobre una base firme en la bandeja de plástico. Si los terrones grandes se desprenden después del primer o segundo golpe, déjelos caer individualmente de nuevo una o dos veces. Si un terrón se rompe en pequeñas unidades (estructuras primarias) después del primero o segundo golpe, no es necesario volver a colocarla. No debe repetir más de tres veces.
- Transfiera la tierra a la bolsa plástica grande.
- Para suelos con una textura de franco arenosa o arenosa, deje caer el cubo de tierra una vez

desde una altura de solo 0,5 m directamente sobre la bolsa de plástico.

- Aplicando únicamente una presión muy suave, intente separar cada terrón con la mano a lo largo de las grietas o fisuras. Si el terrón no se separa fácilmente, no aplique más presión (porque las grietas y fisuras probablemente no son continuas y, por lo tanto, no pueden conducir oxígeno, aire y agua fácilmente).
- Mueva las fracciones más gruesas a un extremo y las más finas al otro.
- Organice la distribución de agregados en la bolsa de plástico para que la altura del suelo sea aproximadamente la misma en toda la superficie de la bolsa. De este modo, se proporciona una medida de la distribución del tamaño de los agregados.
- Comparar la distribución resultante de agregados con los valores del cuadro 1 y las condiciones dadas de la figura 7.



**BUENA CONDICIÓN CV = 2**

El suelo presenta una estructura pulverizable con predominio de agregados finos sin presencia significativa de terrones.

**CONDICIÓN MODERADA CV=1**

El suelo presenta una proporción significativa (50 %) de terrones densos, firmes y de agregados friables, finos.

**CONDICIÓN POBRE CV = 0**

Estructura del suelo dominada por bloques grandes, densos, angulares o terrones sub-angulares, con muy pocos agregados finos.

Figura 7. Valoración de la estructura del suelo. Fuente: Tomado de Benites 2014.

## 6.4. Fase de laboratorio

Las muestras de suelos previamente identificadas de los cuatro puntos de muestreo de la finca Flor de Lis fueron llevadas al laboratorio de suelos de la Facultad de Ciencias Agronómicas, de la Universidad de El Salvador, para determinar la textura del suelo. La materia orgánica fue determinada en el laboratorio de suelos del CENTA.

### 6.4.1. Determinación de la textura del suelo

Materiales y equipo utilizados; solución hexametáfosfato de sodio al 5%, agua destilada, báscula semi analítica, agitador metálico, hidrómetro de Bouyoucos, termómetro, probetas y beaker.

#### Procedimiento

- Las muestras de suelo húmedo son pesadas en balanza semi analítica, y ubicadas en bandejas desechables. Posteriormente, son colocadas en estufa por 24 horas, a una temperatura de 105°C.
- Las muestras de suelo son tamizadas, y se pesan 60 gr de muestra fina de suelo en un beaker, donde se agregan 100 ml de Hexametáfosfato de Na 5%.



Figura 8. Determinación de la textura del suelo por el método de Bouyoucos. Peso de muestra de suelo tamizada (a), incorporación de la solución hexametáfosfato de sodio al beaker con la muestra (b).

- La muestra es agitada con el agitador de vidrio por 5 min, dejándolas reposar 15 min, para luego llevarlo al agitador metálico por un tiempo de 10 min.



Figura 9. Determinación de la textura del suelo por el método de Bouyoucos. Agitado de muestra con agitador de vidrio (a), muestra de suelo en agitador metálico (b), adicionando agua destilada al agitador metálico después de la disolución de las partículas (c).

- Después del agitado, la muestra es colocada en probeta de 1000 ml, por sedimentación, arrastrando las partículas del suelo con agua destilada, agitar 7 a 10 veces. La primera lectura se realizó a los 40 seg con el termómetro y el termómetro de Bouyoucos, la segunda lectura después de las dos horas. Finalmente, se realizan cálculos para determinar el porcentaje de: arena, limo, arcilla y las clases texturales.



Figura 10. Determinación de la textura del suelo por el método de Bouyoucos. Incorporación de la muestra por sedimentación a probeta (a), Agitado de muestra en probeta (b), lecturas con termómetro (b).

## Cálculo de los porcentajes de Arena, Limo y Arcilla

Para determinar los porcentajes de arena, limo y arcilla se utilizaron las siguientes fórmulas:

- % Arcilla + Limo = lectura corregida a los 40 seg/ peso de la muestra) x 100
- % Arcilla (c)= (Lectura corregida a las 2 h/ peso de la muestra) x 100
- % Arena =  $100 - \frac{\text{lectura corregida a los 40 segundos}}{(\% \text{ Arcilla} + \text{limo})}$
- % limo = (% arcilla+ % Limo) - % Arcilla

Las clases texturales se obtuvieron de la intersección de los porcentajes de Arena, Limo y Arcilla, en el triángulo textural (Anexos No, 2 y 3).

### 6.5. Densidad Aparente por el método del cilindro de Volumen conocido.

#### Procedimiento

1. Pesar el cilindro vacío, para conocer el peso del suelo sin la lata
2. Rotular en cada muestra con un código para identificarlas.
3. Llevar a la estufa 105° C por 24 horas.
4. Tomar peso del suelo seco más la cápsula.
5. Realizar cálculos para determinar la densidad aparente.
6. Emplear las fórmulas para determinar el valor de Da.

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

$$\text{Densidad} = (\text{Peso mx seca/ Volumen del cilindro})$$



Figura 11. Determinación de la Densidad Aparente en Laboratorio. Peso de la muestra húmeda más caja (a). Muestras rotuladas (b), muestras colocadas en estufa a 105°C (a).

## 6.6. Metodología de Oficina

La estimación de la pérdida de suelo por erosión se realizó mediante en el desarrollo de la USLE, obteniendo sus valores a partir de información documental y resultados de las características físicas del suelo en estudio.

Factor de erosividad de la lluvia (R): Se utilizaron los valores de precipitaciones mensuales de los últimos 10 años de la zona en estudio, registrados por la aplicación Global Climate Monitor *S.f.*, para el cálculo de dicho factor se emplea la fórmula  $R = 3.4880 * P - 0.00088 * P^2$  descrita por Rodríguez en el año 2017, donde (R) corresponde al valor de erosividad y los promedios de precipitaciones (P).

Factor de erosionabilidad del suelo (K): El factor de erosionabilidad del suelo o factor K, se determinó a partir del nomograma desarrollado por Wischmeier y Smith (fig. 2), donde se utilizaron los resultados estructura y permeabilidad (cuadros 6) y los porcentajes de arena, limo, arcilla y materia orgánica (Cuadro 7) (Ver anexos No; 4, 5, 6 y 7).

Factor de cobertura del suelo (C) o cubierta vegetal: Se utilizaron los valores descritos por Delgado y Vázquez (1997), de acuerdo con el uso de suelo en la finca Flor de Lis, dividiéndose en tres tipos; café bajo sombra, frutales y suelo desnudo.

Factor topográfico (LS): Se utilizaron los datos del largo y longitud de la pendiente, de acuerdo con Wischmeier y Smith (1978).

Para el Factor (P). Se utilizaron los valores de las prácticas de conservación de suelos adaptada desde las Tablas 13 a 15 del manual USLE, Wischmeier y Smith, 1978, de acuerdo con la pendiente del suelo.

**Integración de los factores:** De los valores obtenidos de cada factor de la USLE, se realizaron los mapas de; Erosividad (R), Erodabilidad (k), Cobertura del suelo, Factor Topográfico (LS) y las prácticas de conservación (P). Finalmente, se utilizó la calculadora ráster para la multiplicación de factores y obtener los valores de erosión potencial. Para la realización de cada uno los mapas se utilizó la herramienta SIG (QGIS 3.22).

## VII. Análisis de Resultados

### 7.1. Propiedades del suelo

Las características físicas del suelo que se describen a continuación corresponden a los resultados de laboratorio y metodologías empleadas en campo.

#### 7.1.1. Estructura del suelo

Cuadro No. 8. Resultados de estructura y permeabilidad del suelo

Indicador:	Condición en campo		Código de estructura según USLE	Permeabilidad
	0	Pobre		
Estructura	1	Moderado		
	2	Buena		
Puntos de muestreo				
1	2		2	4
2	1		3	3
3	2		2	2
4	2		2	2

La estructura del suelo de la Finca Flor de lis se clasificó mediante la evaluación visual en campo de; Modera a buena condición, a partir de los cuales se le asigna un código. Según los manuales de USLE (cuadro 1) para una buena condición (2) del punto 1, 3 y 4 de muestreo. Le corresponde el Código (2) de USLE, indicando una estructura granular fina. En cambio, para una condición moderada (1), al que le concierne un condigo (3), indica una estructura granular media a gruesa. Según la (FAO 2009), son suelos con partículas individuales de arena, limo y arcilla agrupadas en granos pequeños casi esféricos. Además, son suelos suaves y sueltos, lo que permite una adecuada movilización del aire y del agua, pueden trabajarse fácilmente. Se originan en suelos ricos en materia orgánica debido a la fuerte actividad del edafón sobre este y a la sustancia mineral, lo que influye notablemente en la fertilidad del suelo.

La mejor estabilidad de los agregados contribuye a disminuir la erosión (Darwin 2020). En caso de permeabilidad, estos suelos se consideran de moderada a medianamente rápida en los puntos 2, 3 y 4 de muestreo. Según Garrido (1994) los suelos bien estructurados suelen tener unas mejores propiedades hídricas, mayor permeabilidad, mejor aireación y están mucho más defendidos contra la erosión.

### 7.1.2. Textura y materia orgánica

Cuadro No. 9. Resultados de laboratorio de materia orgánica y clases texturales

Puntos de muestreo	MO	Textura				Clase textural
	%	Arena (%)	Limo (%)	Arcilla (%)	(%) Arcilla + Limo	
1	3.58	73	4	23	27	Franco Arcillo Arenoso
2	2.12	65	23	12	35	Franco Arenosa
3	5.31	82	14	4	18	Franco Arenosa
4	6.5	82	14	4	18	Franco Arenosa

Los suelos analizados de la finca Flor de Lis, acorde a su clase textural se clasifican en Franco Arcillo Arenosa. Predominando en los puntos de muestreo 2,3 y 4 los suelos Franco Arenosos, considerándose como suelos de textura moderadamente gruesa, indicando una elevada proporción de arena (65 a 82 %), según FAO (2009) en estos suelos predominan las partículas de 0.05 a 2.0 mm de diámetro. Con las características de ser sueltos, con mayor aireación, permeables y pueden almacenar poca agua y nutrientes (Lacasta *et al* 2006), sin embargo, la mayor aireación en los suelos va a permitir una mayor mineralización de la materia orgánica y, por tanto, mejorara el reciclado de nutrientes. Además, en estos suelos las raíces los exploran con facilidad.

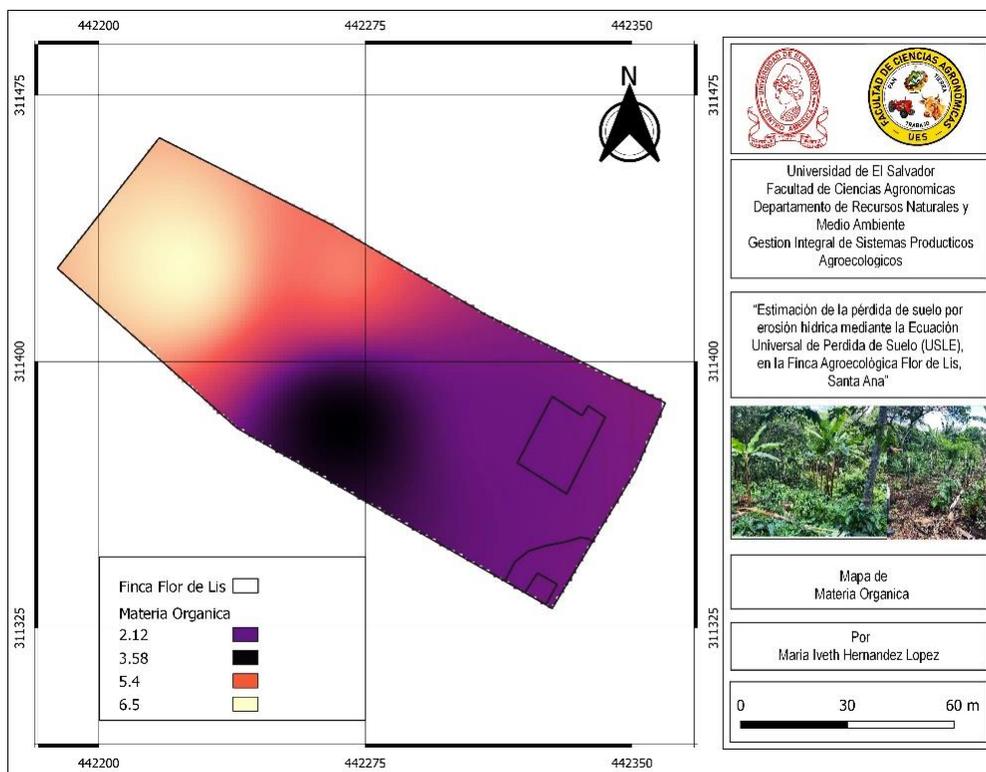


Figura 12. Mapa de los porcentajes de Materia Orgánica en la Finca Flor de Lis.

Como se observa en la figura 12, el mayor contenido de MO se presentó en los puntos de muestreo 3 y 4 siendo superior a 5%, según Molina y Méndez (2002) para este rango se considera como un nivel alto, a la vez estos suelos presentaron mayor resistencia a la erosión, de acuerdo con Garrido (1994) se favorece la microestructura del suelo siendo un elemento muy positivo en la lucha contra la erosión de los suelos. de acuerdo con Ramírez *et al* (2009) la MO tiene un efecto cementante entre las partículas del suelo, lo cual hace que haya una mayor y mejor agregación, mayor estabilidad estructural y resistencia del suelo a la erosión, a su vez la MO influye en otras propiedades como incremento de la infiltración y retención de agua y reducción de la escorrentía, entre otras.

Mientras que los suelos de los puntos de muestreo 1 y 2 presentaron un nivel medio de MO por lo que se considera que contienen menor resistencia a la erosión.

### 7.1.3. Densidad aparente

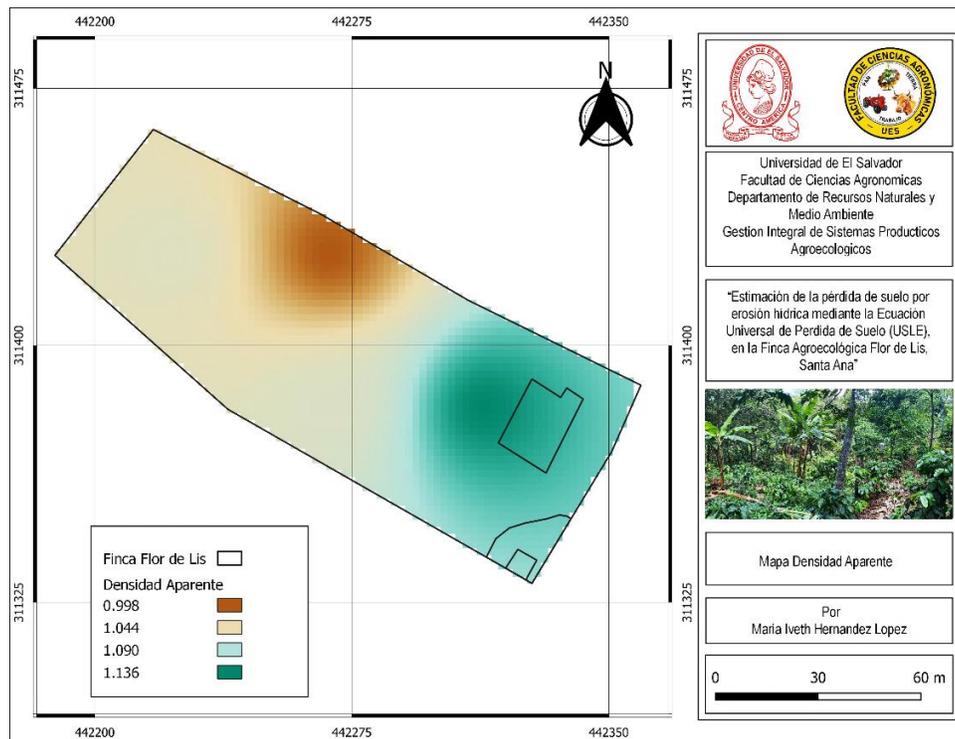


Figura 13. Mapa de Densidad Aparente.

La densidad aparente en los suelos de la finca Flor de Lis, de acuerdo con la textura determinada (Franco Arenosa), se clasifican en niveles muy bajos a bajos.

La variación de la DA está asociada con su textura y la disminución de los contenidos de MO al

profundizar en el suelo.

Salamanca (2005) expresa que los cafetales tradicionales bajo sombra comparados con los otros sistemas, principalmente con el manejo tecnificado, exhiben densidades más bajas, fenómeno que estaría relacionado con el aporte continuo de biomasa procedente del sombrío, el cual contribuye al mejoramiento de las condiciones físicas del suelo y reduce las pérdidas de la capa superficial por erosión hídrica.

## 7.2. Desarrollo de la Ecuación de Perdida de Suelo por Erosión Hídrica (USLE)

La determinación de la erosión potencial se realizó a través de la multiplicación de los cinco factores:  $A = R \times K \times LS \times C \times P$ . (Ecuación 1)

Donde: (A) corresponde a la Erosión potencial, (R) el poder erosivo de la lluvia, la Erodabilidad de los suelos (K), la cobertura vegetal (C), la práctica conservacionista (P) y el factor combinado de la pendiente y la longitud de esta (LS):

### 7.2.1. Determinación del factor R; Erosividad o poder erosivo de la lluvia

El valor de erosividad de la lluvia se determinó por la suma de los valores de precipitaciones, utilizando la fórmula de  $R = 3.4880 * P - 0.00088 * P^2$  (Rodríguez 2017), para cada una de las precipitaciones medias anuales.

Cuadro No. 10. Cálculo de los valores de R (Erosividad).

Mes	Promedio	$R = 3.4880 * P - 0.00088 * P^2$	R
Abril	56.72	$3.4880 * (56.72) - 0.00088 * (56.72)^2$	195.00826
Mayo	225.86	$3.4880 * (225.86) - 0.00088 * (225.86)^2$	742.90847
Junio	268.24	$3.4880 * (268.24) - 0.00088 * (268.24)^2$	872.30275
Julio	237.01	$3.4880 * (237.01) - 0.00088 * (237.01)^2$	777.25799
Agosto	325.91	$3.4880 * (325.91) - 0.00088 * (325.91)^2$	1043.3028
Septiembre	339.08	$3.4880 * (339.08) - 0.00088 * (339.08)^2$	1081.5328
Octubre	296.17	$3.4880 * (296.17) - 0.00088 * (296.17)^2$	955.85029
Noviembre	67.3	$3.4880 * (67.3) - 0.00088 * (67.3)^2$	230.75662

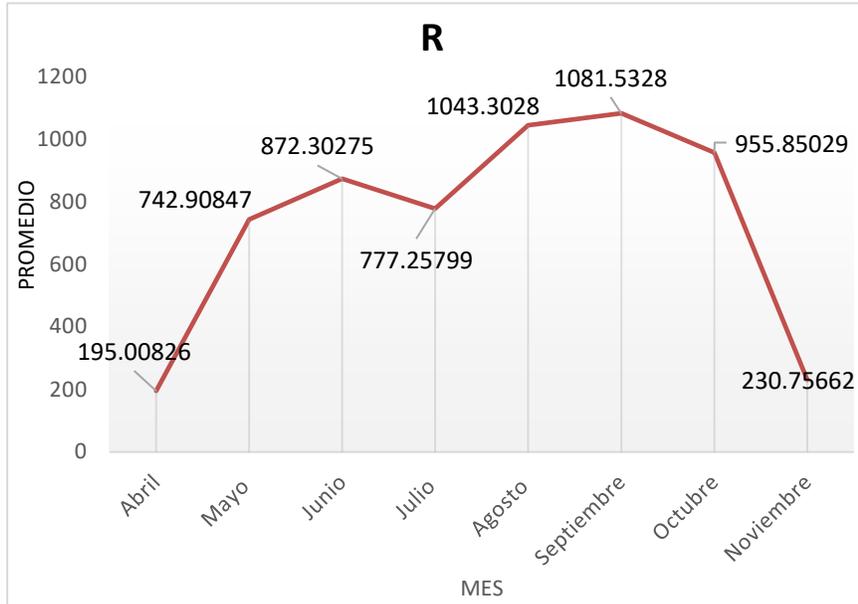


Figura 14. Valor de la Erosividad de la lluvia

Para el cálculo de USLE se utilizó el valor de R más alto, siendo el mes de septiembre con un valor de 1081.5328.

### 7.2.2. Determinación del factor K

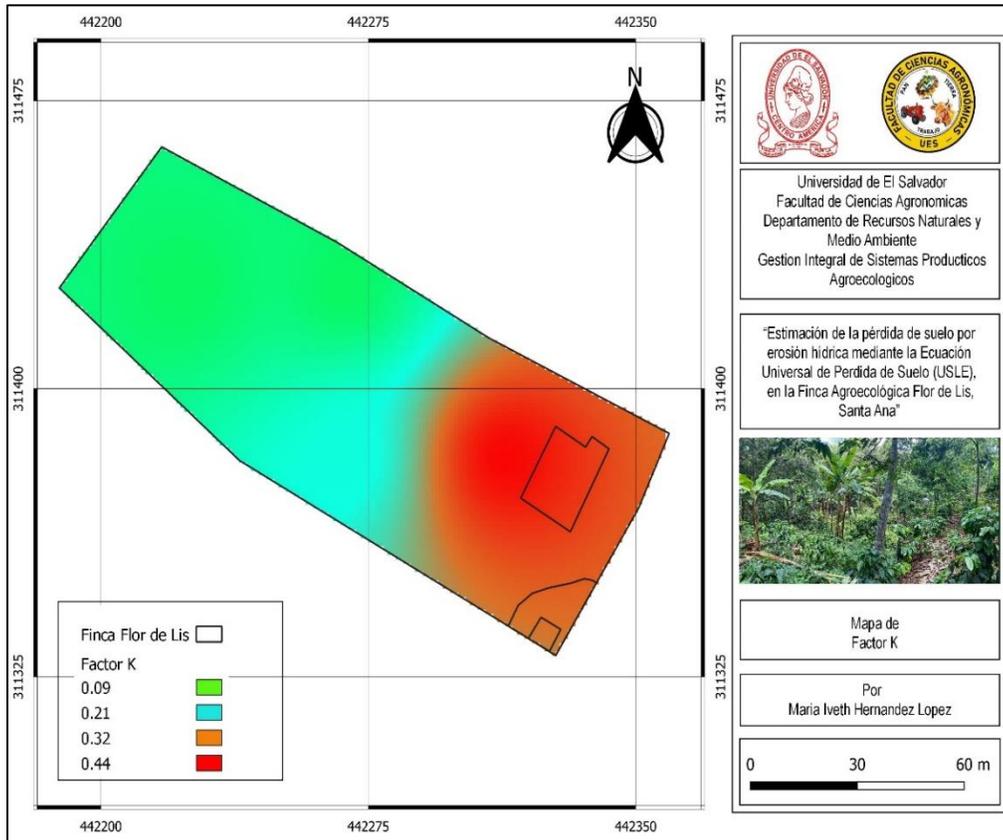


Figura 15. Mapa del factor k, de la USLE

Se muestra el valor del factor K en función de las propiedades físicas del suelo responsables de la formación y estabilidad de la estructura, y de la capacidad de almacenamiento y transmisión del agua a través del espacio poroso (Gisbert *et al* 2012). Los suelos de la finca flor de lis presentan porcentajes de 65 a 82 % de arenas totales, por lo que el valor de K aumenta, lo que concuerda con un estudio realizado por Piscitelli *et al* (2009), donde se afirma que, cuando se presentan incrementos en arenas totales el valor de K aumenta. Como se observa en la fig. 15 se representan valores de 0.09 a 0.44, calificándose según Rivera y Gómez (1991) como una erodabilidad alta a severa.

### 7.2.3. Asignación del Factor LS o factor topográfico

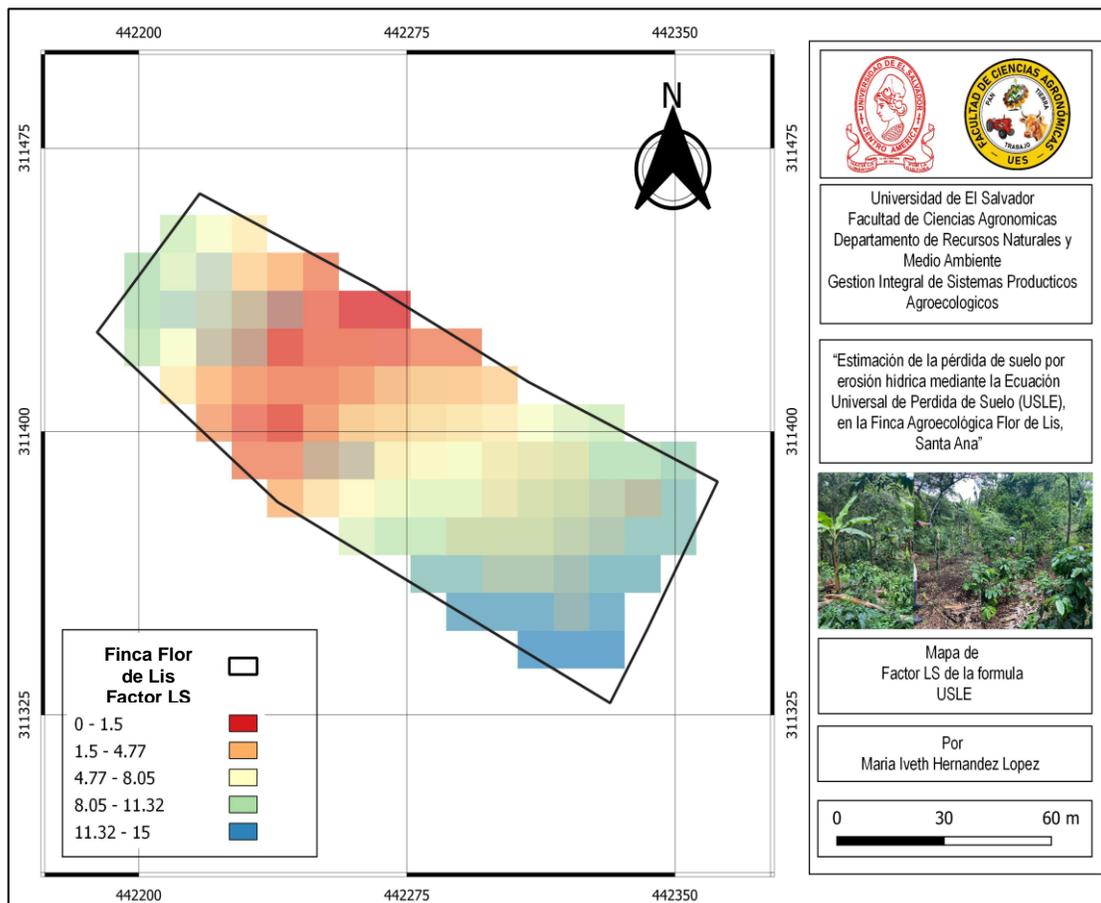


Figura 16. Mapa del factor LS para la Finca Flor de Lis.

Los valores del factor LS se asignaron de acuerdo con la pendiente del terreno, usando los valores propuestos por Mantegui (1998) (cuadro No. 4).

#### 7.2.4. Asignación del factor C

Para el factor C, se utilizaron los valores descritos por Delgado y Vázquez (1997), de acuerdo con el uso de suelo en la finca flor de Lis.

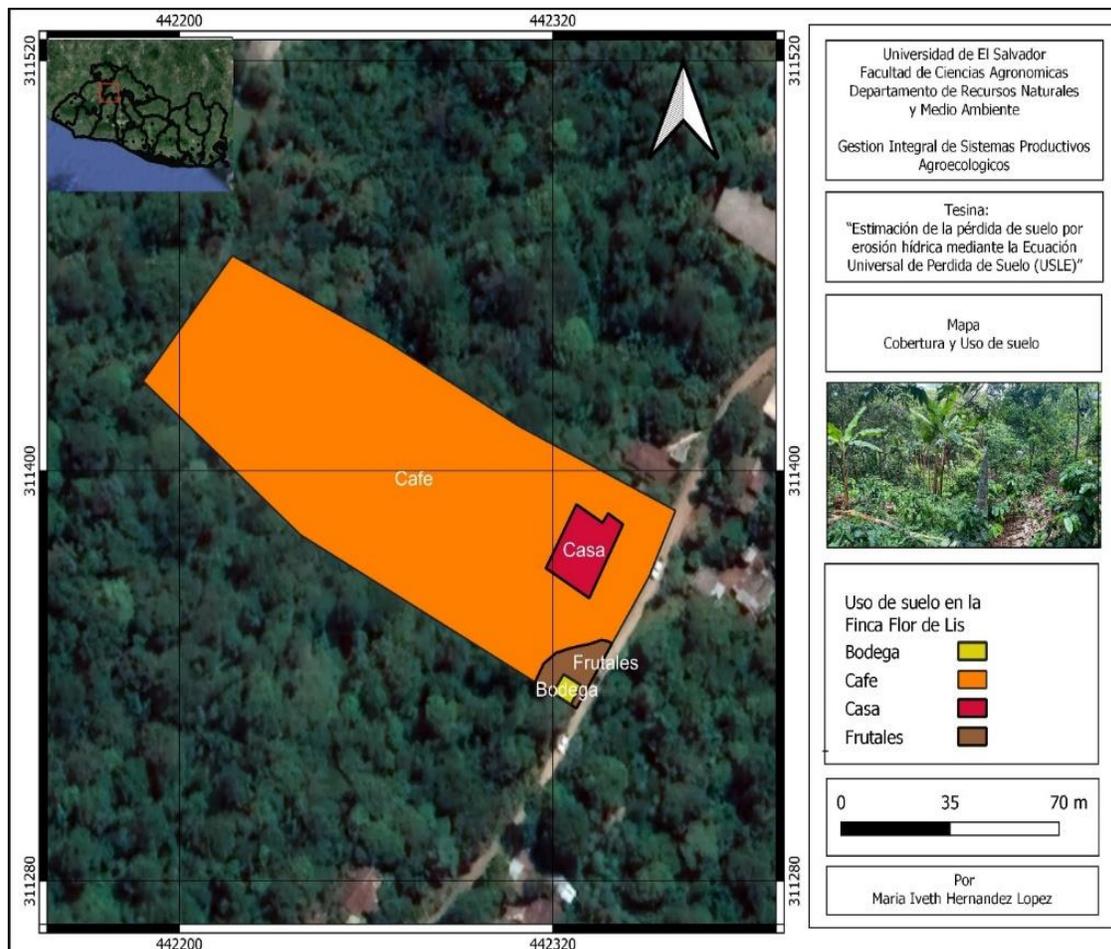


Figura 17. Mapa de cobertura y uso actual en la Finca Flor de Lis.

El uso actual se dividió en tres estratos; café bajo sombra; donde se encuentran principalmente Musáceas, especies de ingas y árboles forestales. Se incluye una pequeña área de frutales, suelo desnudo donde se incluye el patio y casa.



### 7.2.5. El factor (P) prácticas de conservación

El factor P, se calculó de acuerdo con Wischmeier y Smith (1978), donde describen estos valores (Cuadro No. 6) de acuerdo con la pendiente del terreno.

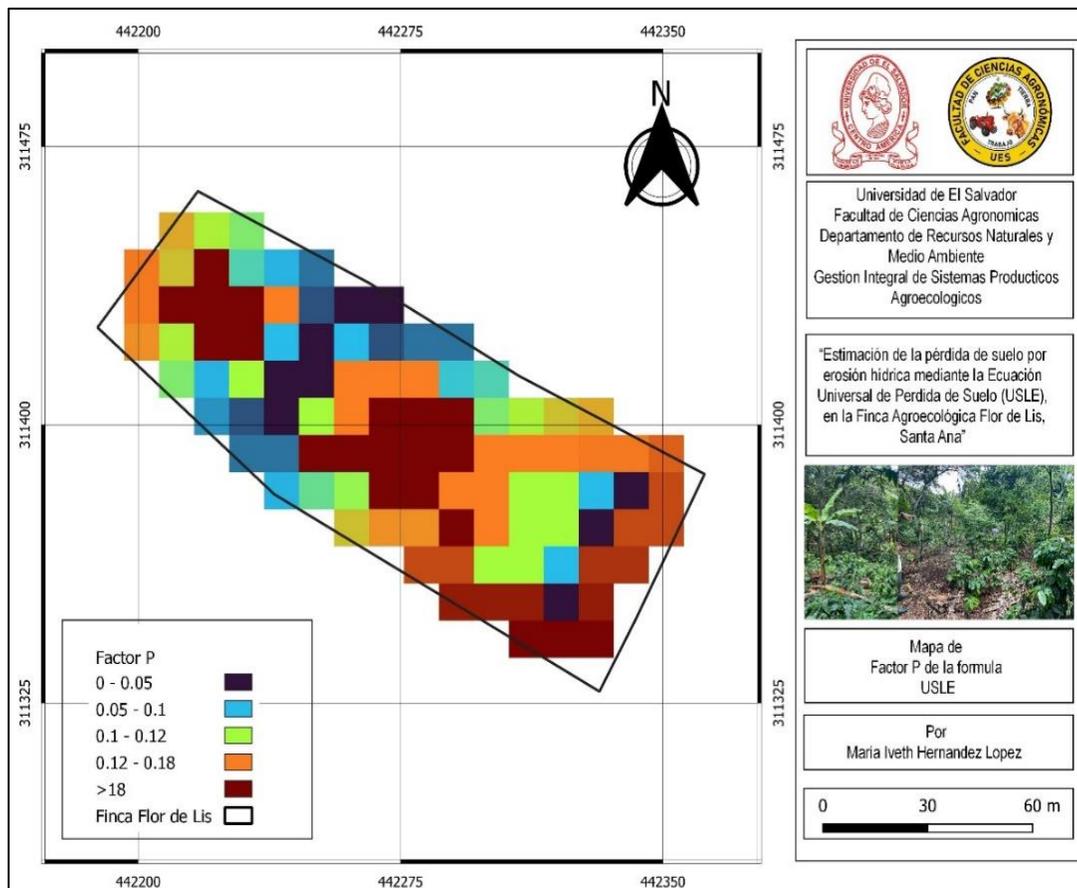


Figura 19. Mapa del Factor P de USLE.

El factor práctico de conservación refleja la eficacia en el control de la erosión conseguida con la implantación de diferentes medidas conservacionistas (Ibáñez *et al* 2012). Para su cálculo se incluyen las técnicas consideradas son el laboreo a nivel, el cultivo en fajas alternantes y el terrazado, en función de la pendiente del terreno.

### 7.3. Cálculo de la Erosión Potencial

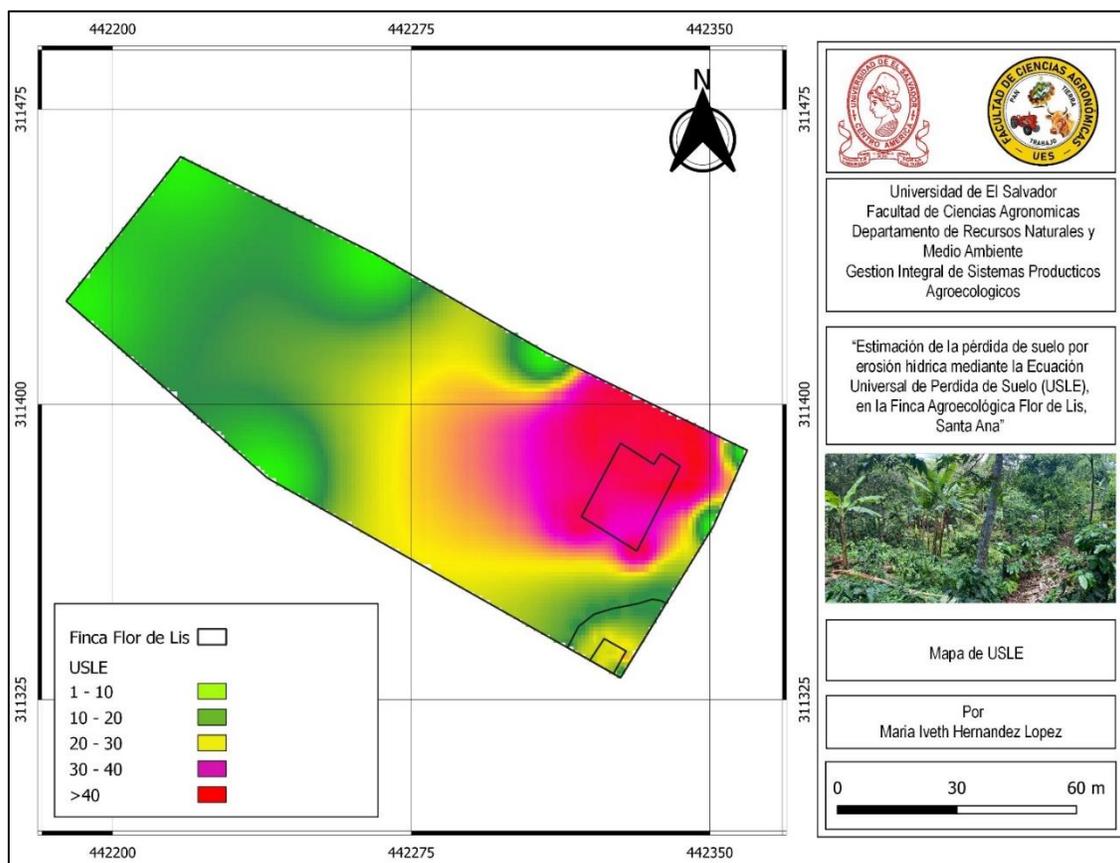


Figura 20. Mapa de Erosión Potencial USLE.

El modelo USLE presentó un buen comportamiento predictivo, como consecuencia de una leve erosión (cuadro No. 7), siendo de 1 a 10 t/año que se representa en color verde en la (figura 20), siendo la mayor zona agroecológica con manejos protectores y árboles de sombra.

Los rangos más altos de erosión, se muestra solo en una pequeña área de suelo desnudo entre 30 a 40 t/ha/año, clasificándose como un riesgo de erosión potencial moderado, según los rangos que establece Mancilla en el (2008) (cuadro No. 7), se atribuye a la poca cobertura vegetal en el área, favoreciendo el traslado de los sedimentos principalmente por agua lluvia. Sin embargo, Honorato *et al* (2001) menciona, que los resultados superiores a 2,5 t /ha/año indican un comportamiento diferencial del modelo USLE (sobre y sub- estimación).

#### 7.4. Prácticas de conservación de suelos y agua

En esta sección se describen medidas y prácticas de conservación de suelos y agua, que pueden ser aplicadas en diferentes sistemas de producción agrícola, con el objetivo de controlar o reducir la pérdida de suelo, y mantener su potencialidad.

Cuadro No. 11. Prácticas de conservación de suelos

Abonos verdes y cultivos de cobertura		Impacto técnico	
<b>En que consiste</b>	Son plantas con capacidad de adaptarse a diversos suelos y climas, de rápido crecimiento y alto poder de producción de material vegetativo. Se cultivan con el fin de proteger y recuperar el suelo. Las variedades que se recomiendan como abono verde son principalmente las plantas que pertenecen a la familia de las leguminosas, como; Cannavalia, Mucuna, Bolichos, Gandul, Crotalaria. Y los cultivos de la familia de las cucurbitáceas, como las calabazas.	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Controla el efecto erosivo de la gota de lluvia</li> <li>- Aumenta la infiltración de agua en el suelo, a través del sistema radicular</li> </ul>	
<b>Distanciamiento de siembra</b>	Cannavalia	0.9 – 1.0 x 0.6/ 3 semillas/postura	<b>Características</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Producen grandes volúmenes de biomasa en corto tiempo</li> <li>- Se interrumpen ciclos de plagas y enfermedades, al incluir abonos verdes en planes de rotación de cultivos.</li> <li>- Reducen la población de malezas, con lo que se disminuyen costos en limpiezas de cultivos.</li> <li>- Permiten la desintoxicación de los suelos para, eliminando residuos tóxicos de materiales químicos</li> </ul>
	Mucuna	0.9 -1.5 x 0.8/ 3 Semillas/postura	
	Bolichos	0.9 -1.5 x 0.6/ 3 semillas/postura	
	Gandul	0.90-1.0 x 0.2/ 3 semillas/postura	
	Crotalaria	0.90-1.0 x 0.2/ 3 semillas/posturas o chorro seguido	
	cucurbitáceas; Ayote, calaza y pipián.	1.0-1.20 x 0.60/ 2 semillas/postura	
<b>Épocas de siembra</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Después de haberse establecido las lluvias en los meses de mayo a junio, puede sembrarse para producir material vegetativo y utilizarlo como cobertura.</li> <li>- Postrera o verano: La siembra de agosto o postrera debe dejarse para la producción de semilla, la cual se cosecha en la época seca, en los meses de diciembre y enero.</li> </ul>		
<b>Cosecha</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Para producción de material vegetativo con el propósito de incorporar materia orgánica al suelo: Cortar la planta cuando está en floración de 90 a 100 días después de sembrado; en este caso el material vegetativo se utiliza como cobertura o para incorporar al suelo. Algunas especies, como el gandul, producen frutos todo el año, los que pueden utilizarse verdes o secos</li> <li>- Las cucurbitáceas, cosechar los frutos cuando están tiernos o cuando la capa exterior ha endurecido. El cultivo finaliza con la madurez fisiológica, este puede cortarse y usarse como cobertura.</li> </ul>		

Fuente: Elaborado con base en FAO 2011., CIMMYT 2022.

Cuadro No. 12. Obras de Conservación de suelos y agua.

Zanjas de Infiltración	
<b>En que consiste</b>	La zanja de infiltración es una excavación en el terreno, utilizada en zonas de baja precipitación donde se acumula el agua de lluvia, para que infiltre más agua en el suelo, proporcionando humedad a las plantas ubicadas en los bordes de ellas, en los periodos de lluvias escasas.
<b>Pendientes</b>	Se establece en pendientes de 5% a 60%. - Se debe Medir la pendiente del terreno, fijar las distancias entre zanjas y trazar las curvas a nivel por donde deberá construirse.
<b>Actividades de implementación</b>	- Marcar las líneas de ubicación de la zanja perpendicular a la dirección de la pendiente; - Excavar la zanja (40 a 50 cm). Luego, ensanchar la parte superior para evitar que caigan las paredes de la zanja; - Depositar la tierra que se saca de la zanja de infiltración en la parte baja, formando un pequeño camellón; - Sembrar especies herbáceas sobre los camellones para dar resistencia; - Establecimiento de barreras vivas, plantación de especies arbustivas o arbóreas.
<b>Actividades de mantenimiento</b>	El mantenimiento es uno de los elementos fundamentales en el uso de una zanja de infiltración, debe realizarse permanentemente, en especial cuando la zanja se haya llenado después de un evento de lluvias. - Limpiar la zanja sacando los sedimentos acumulados que, para aprovechar su fertilidad, se llevan nuevamente a los terrenos, en las proximidades de las especies plantadas. - Evitar que el ganado transite por los bordes de la zanja o entren en ella, porque pueden derrumbar los costados, o usar como alimento las especies que protegen los camellones.
<b>Impacto Técnico</b>	- Retiene agua de origen pluvial - Aumenta y/o mantiene agua almacenada en el suelo - Reduce el escurrimiento superficial - Retiene e impide escurrimiento disperso del agua
Acequias de Ladera	
<b>En qué consisten</b>	Estas son zanjas en forma transversal a la pendiente para el control de la erosión hídrica, en contorno con una dimensión de 0,6 m de ancho por 0,3 m de profundidad
<b>Pendientes</b>	Se puede construir fácilmente en pendientes de terreno de 10 a 50 % con una profundidad mínima de suelo de 50 cm
<b>Actividades de implementación</b>	- Con palas y azadones se saca la tierra removida y se coloca en la parte baja de la acequia. Con los azadones se construyen los taludes. - Construir las acequias de ladera, el distanciamiento entre acequias depende de lo fuerte de la pendiente. - El talud superior debe estar inclinado en ángulo de unos 75 grados. En la parte superior de la zanja se recomienda la siembra de barreras vivas, para que retengan el suelo y dejen pasar el agua.
<b>Actividades de mantenimiento</b>	- Las acequias se limpian de sedimentos y basura por lo menos un par de veces cada año. - El material arrastrado por la lluvia a la zanja se puede mezclar con materia orgánica o se riega en la parcela.
<b>Impacto técnico</b>	- Reducir el poder erosivo del agua de escorrentía en pendientes pronunciadas y mayor longitud.

Fuente: Elaboración con base en UNEA; FAO 2011.; SIDE 2019.

Cuadro No. 13. Obras de conservación de suelo y agua: Cosecha de agua lluvia

Cosecha de agua lluvia de los techos	
<b>En que consiste</b>	En la acumulación de al menos una parte de excedente del agua, lluvia de invierno. La falta de agua durante los meses de verano y la baja capacidad de retención de humedad de los suelos degradados hace muy difícil la recuperación del ecosistema. Por otra parte, durante los meses invernales, el exceso de agua lluvia no únicamente se pierde, sino que escurre erosionando el suelo. Una muy buena alternativa, entonces, es la acumulación de al menos una parte del excedente de invierno, para ser utilizada en verano
<b>Actividades de implementación</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Los materiales requeridos son canaletas, tubería y estanque de acumulación.</li> <li>- Se utiliza los techos de casas y galpones como receptores de las aguas lluvia, desde donde se conduce el agua por canaletas y tuberías hasta un estanque acumulador (de polietileno o fibrocemento), en ocasiones enterrados para mantener mejor la temperatura</li> </ul>
<b>Actividades de mantenimiento</b>	En términos generales se requiere una buena mantención de las estructuras utilizadas para la cosecha y almacenamiento de agua: canaletas, estanques, etc.
<b>Impacto Técnico</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Acumulación de agua durante el invierno, prácticamente sin pérdidas.</li> <li>- Disponibilidad de agua para bebida y para riego durante los meses secos.</li> <li>- Disminución de la erosión pluvial.</li> </ul>

Fuente: Elaboración con base en UNEA; FAO 2011.

## **VIII. Conclusiones**

Los suelos en la finca Flor de Lis, muestran una textura Franco-Arenosa, siendo aptos para el cultivo de café, con alta a moderada permeabilidad, indicando suelos suaves y sueltos, permitiendo una adecuada movilización del aire y agua, sin embargo, estos suelos presentan porcentajes de arenas de 65 a 82% lo que causo un incremento en el valor de erodabilidad (k).

De acuerdo con la densidad aparente se muestran valores bajos por el aporte de biomasa procedente del sombrero, el que contribuye al mejoramiento de las condiciones físicas del suelo. Relacionado con los porcentajes de Materia Orgánica que se clasifican en niveles medios- altos, presentando mayor resistencia a la erosión, permitiendo la retención de agua y reducción de la escorrentía.

Los resultados de la Ecuación de Perdida de Suelos (USLE), indican valores leves a moderados de erosión potencial, debido a la protección que se ejercen los árboles de sombra, de acuerdo con el manejo agroecológico que se le brinda a la finca. Sin embargo, se requiere de la implementación de las prácticas de conservación de suelo y agua, para reducir estos niveles, mayormente en las áreas que carecen de cobertura vegetal.

Las prácticas agroecológicas en cafetales con cobertura vegetal mantienen bajos niveles de erosión potencial, mientras que los suelos sin cobertura son más susceptibles a la erosión.

Las prácticas de conservación de suelos y agua, además de evitar su degradación, contribuyen al mejoramiento del ecosistema y a la sostenibilidad.

## **IX. Bibliografía**

- Ares, M.G y Varni, M. 2016. Erosión hídrica y cómo la estudiamos en el IHLLA (Instituto de Hidrología de Llanuras). (En línea). Consultado el 27 sep. 2022. Disponible en <https://www.unicen.edu.ar/content/%h%C3%ADdrica-y-c%C3%B3mo-la-estudiamos-en-el-ihlla>
- Arnoldus, H., 1977. Predicting soil losses due to sheet and rill erosion. En: Conservation Guide N° 1: Guidelines for watershed management. 99-123 p.
- Benites, JR. 2014. Guía de campo para Evaluación Visual del suelo (EVS). Consultado 10 nov. 2022. Disponible en <https://suelosandinos.com/2015/02/evaluacion-visual-de-suelos-j-benites.pdf>
- Booth, EL., Byrne, JM. 2011. Climatic changes in western North America, 1950- 2005. Water and Environmental Sciences, University of Lethbridge. Alberta, Canadá.
- Castellanos, J. Z. 2000. Manual de Interpretación de Análisis de Suelos, Aguas. Ed. Intagri. Gto., México. 186 p.
- Chávez, J.A & Sebesta, J. 2010. Geomorfología y su Relación con los Movimientos de Ladera. 70 p.
- Chávez, J.A., Sebesta, J., Kopecky, L., López, R., & Landaverde, J. 2013. “Unsaturated volcanic tephra and its effect for soil movement in El Salvador”, Earth Science. 60 p.
- CIMMYT (Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo). 2022. Qué son los abonos verdes y los cultivos de cobertura. (En línea). Consultado el 5 de nov. 2022. Disponible <https://www.cimmyt.org/es/noticias/que-son-los-abonos-verdes-y-los-cultivos-de-cobertura>.
- Darwin V. 2020. Tipos de estructura de los suelos. (En línea). Consultado el 29 de sept. 2022. Disponible en <https://biblioteca.fundesyram.info/biblioteca.php?id=4695>.
- Delgado, F. y Vásquez, L. 1997. Modelo Índice de Productividad aplicado a la conservación de suelos (MIPACS). Versión 2.0. Manual del usuario. CIDÍAT Mérida, Venezuela. p16.
- Delgado, M.I. 2010. Modelización de la pérdida de suelo en sierras del Sudoeste de la Provincia de Buenos Aires. Revista de la Facultad de Ciencias Agrarias, vol. 42, núm. 2. Universidad Nacional de Cuyo Mendoza, Argentina. pp. 1-14.
- Díaz, J. S. 2001. Control de erosión en zonas tropicales. Bucaramanga Colombia: División Editorial y de Publicaciones, Universidad Industrial de Santander.

- Doyle TW. 2010. Predicting the retreat and migration of tidal forests along the northern Gulf of Mexico under sea-level rise. U.S. Geological Survey, National Wetlands Research Center. United States.
- FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura). 2009. Guía para la descripción de suelos. Descripción de suelos: Constituyentes primarios. Roma, Italia. 111 p.
- FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura). 2011. El estado de los recursos de tierras y aguas del mundo para la alimentación y la agricultura. La gestión de los sistemas en situación de riesgo. Mundi-Prensa, Madrid (España).
- Folegatti, M.V.; Brasil, R.P.C. DO; Blanco, F.F. 2001. Sampling equipment for soil bulk density determination tested in a Kandudalfic Eutrudox and a Typic Hapludox. *Scientia Agricola* 58: 833-838. 2001.
- Galvis, X. 2008. Estimación de la generación de sedimentos en la cuenca. (En línea). Consultado el 13 de sept. 2022. Disponible en <http://repository.lasalle.edu.co/bitstream/handle/10185/14543/T41.09%20G139e.pdf>.
- Garrido Valero, D. 1994. Interpretación de análisis De Suelos: Estructura y Materia Orgánica. Hojas divulgadoras No. 5/93 HD. 40 p.
- Gómez González. 2018. Obtención de la tasa de erosión en taludes conformados por tierra blanca joven (TBJ) en la zona oriente del área metropolitana de san salvador (AMSS). Tesis para obtener el título de Ingeniero Civil. Universidad de El Salvador, Facultad de Ingeniería. San salvador, El Salvador. 256 p.
- Haddad, N. 2004. Why Study Earth System Science. Online Internet. Cambridge, TERC. (En línea). Disponible en <http://serc.carleton.edu/files/eet/globe/EarthSysInt.pdf>.
- Honorato R; Barrales L; Peña I y Barrera F. Evaluación del Modelo USLE en la Estimación de la Erosión en Seis Localidades entre La IV Y IX Región de Chile. 2001. Santiago, Chile. 8 p.
- Ibáñez Asensio, S; Moreno Ramón, H y Gisbert Blanquer, J. 2012. La Ecuación Universal de Pérdidas de suelo (USLE). Características generales de la ecuación. Escuela Técnica Superior de Ingeniería Agronómica y del Medio Natural. Universidad Politécnica de Valencia. 10 p.
- INETER (Instituto Nicaragüense de Estudios Territoriales). 2005. Erosión Hídrica: mapa de amenazas. Managua- Nicaragua. 52 p.
- INTAGRI. 2017. Propiedades Físicas del Suelo y el Crecimiento de las Plantas. Serie Suelos.

- Núm. 29. Artículos Técnicos de INTAGRI. México. 5 p.
- Keller, T.; Håkansson, I. 2010. Estimation of reference bulk density from soil particle size distribution and soil organic matter content. *Geoderma* 154: 398-406
- Lacasta C; Benítez M; Maire N y Meco R. Efecto de la Textura del Suelo sobre Diferentes Parámetros Bioquímicos. Toledo España. 8 p.
- Mancilla Escobar, GA. 2008. Uso y Conservación de Suelos: “Uso de La Ecuación Universal de Pérdidas de Suelo (USLE) en El Campo Forestal”: Determinación del Factor C (Cubierta Vegetal y Manejo del Recurso): Determinación del Factor P (Prácticas de Conservación). Facultad de Ciencias Forestales. Departamento de Silvicultura. Universidad De Chile. 64 p.
- Marimon M, J.; Viza A, L. 1995. Estudio de cuatro adaptaciones escolares de métodos de observación y determinación de la textura del suelo. Análisis de los métodos. 5 p.
- MARN (Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales). 2013. Preparación de la Propuesta Nacional REDD+ El Salvador. San Salvador, El Salvador: Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales.
- MARN (Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales). 2015. Mapa de uso del suelo de El Salvador. San Salvador, El Salvador: Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales-Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza.
- MARN (Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales). Beltrán M, H. 2017. Erosión y transporte de sedimentos suspendidos del río Grande de San Miguel: Cálculo del índice de aportación de sedimentos.
- Mejía, J.; Dal Pozzo, F.; Montilla, P. y Torres, G. 2010. “Evaluación cuali-cuantitativa de la erosión hídrica en la microcuenca Aguas Calientes, estado Mérida-Venezuela”. *Revista Geográfica Venezolana*, vol. 51, no. 2. 2010, pp. 203-223, ISSN 1012-1617, 2244-8853.
- 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. Madrid. p. 2229-2245.
- Molina, E. y Meléndez, G. 2002. Tabla de interpretación de análisis de suelos. Centro de Investigaciones Agronómicas, Universidad de Costa Rica. Mimeo.
- Noellemey, E; Quiroga, AR; Fernández, R; Frasier, I; Álvarez, C; Álvarez, L; Leizica, E; Gómez, Florencia. 2021. Guía de evaluación Visual del Suelo (EVS) Adaptado de: Shepherd, T. G., Stagnari, F., Pisante, M. and Benites, J. 2008. Visual Soil Assessment – Field guide for

- annual crops. FAO, Rome, Italy. Guía de evaluación visual del suelo.
- Núñez Solís, J. 2001. Manejo y conservación de suelos. Montes de OCA, Costa Rica: Editorial Universidad Estatal a Distancia.
- OIRSA (Organismo Internacional Regional de Sanidad Agropecuaria). 2001. Manual Técnico. Buenas prácticas de cultivo en café Orgánico. San José, Costa Rica. 87 p.
- Piscitelli, M; Varni., M; Sfeir, A; Ares, G. 2010. Valores de erodabilidad (factor K-USLE) para suelos representativos de la cuenca alta del arroyo Azul (partido de Azul- Buenos Aires).1 Rev. Fac. Agron. Vol. 109 (1): 17- 22.
- Ramírez, F. A.; Hincapié G., E.; Sadeghian k., S. 2009. “Riesgo a la erosión en la zona cafetera central del departamento de Caldas”. *Cenicafé*, vol. 60, no. 2, pp. 173-189, ISSN 0120-0275.
- Ramos Fernández, XG. 2022. Estimación de la erosión potencial del suelo en una finca cafetalera con visión agroecológica. Tesina Ing. Agr. San Salvador, El Salvador, UES. 71 p.
- Rivera P., H.; Gómez A., A. 1991. Erodabilidad de los Suelos de La Zona Cafetera Central Colombiana (Caldas, Quindío Y Risaralda). *Cenicafé* 42 (3):67–88.
- Salamanca J., A.; Sadeghian K.h., S. La Densidad Aparente y su Relación con otras Propiedades en Suelos de la zona Cafetera Colombiana. *Cenicafé* 56(4):381-397. 2005.
- Sánchez, H. R.; Mendoza, P. J. de D.; De la Cruz, R. J. C.; Mendoza, M. J. E. y Ramos, R. R. “Mapa de erosión potencial en la cuenca hidrológica Grijalva-Usumacinta México mediante el uso de SIG”. *Universidad y ciencia*, vol. 29, no. 2, agosto de 2013, pp. 153-161, ISSN 0186-2979.
- SIDE (Servicios Internacionales para el Desarrollo Empresarial). 2019. Conservación de Suelos en Cafetales: Acequias de Ladera. 2 p.
- Stine, M.A; Weil, R.R. The relationship between soil quality and crop productivity across three tillage systems in South Central Honduras. *American Journal of Alternative Agriculture* 17: 2-8. 2002.
- Taboada, M.A.; Álvarez, C.R. 2008. Fertilidad física de los suelos. 2da Ed. Editorial Facultad de Agronomía. Universidad de Buenos Aires.
- Thurston, H. D. 1992. Sustainable Practices for Plant Disease Management in Traditional Farming Systems. Westview Press, Oxford. 86-98 pp.

- UNEA (Unidad Nacional de Emergencias Agrícolas y Gestión del Riesgo Agroclimático); FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura). 2011. Prácticas de Conservación de Suelos y Agua para la Adaptación Productiva a la Variabilidad Climática. Santiago, Chile. 33 p.
- UNLP (Universidad Nacional de La Plata). 2019. “Estructura y Estabilidad Estructural del Suelo”. Tipos de estructura de los suelos. 22 p.
- Villanueva, G. H.; Osinaga, R. G. y Chávez, A. P. 2004. El Uso Sustentable de los Suelos. Tecnología de los Suelos Agrícolas. Facultad de Ciencias Naturales. Universidad Nacional de Salta.
- Wischmeier, W. H. y Smith. 1978. Predicting rainfall erosion losses. A guide to conservation planning. U. S. Department of Agriculture. Agriculture Handbook N 537. Washinton. USA.

## X. Anexos

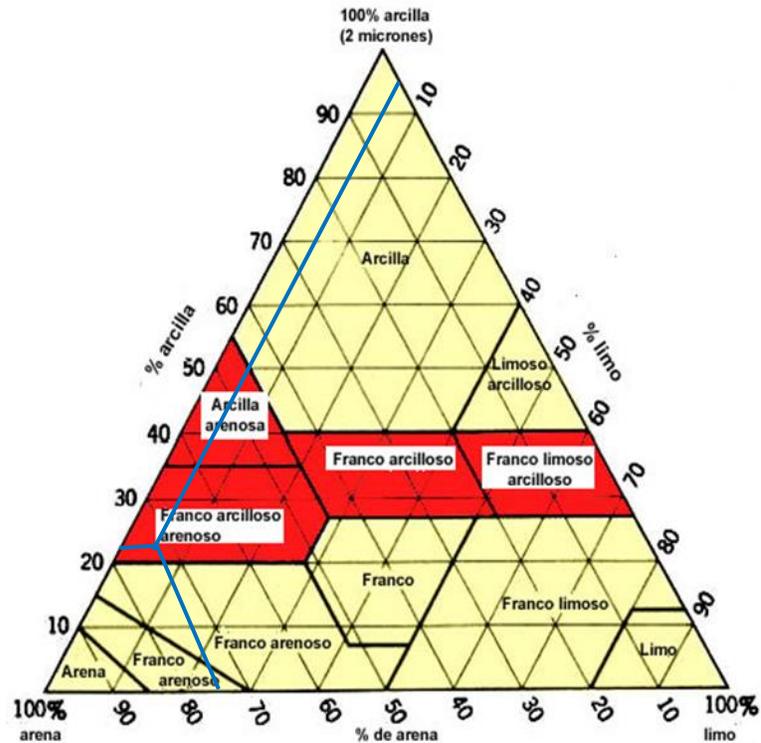
Anexo No. 1. Resultados de laboratorio. Porcentajes de Materia Orgánica de la Finca Flor de Lis.

No. Carta	No. Muestra	Nombre del Productor	Nombre de la Finca	Cantón	Municipio	Departamento	Identi.	Profundidad cm	Utilizará riego sí o no	Cultivo a fertilizar	Nombre del responsable
C20587	M21093	AMILCAR ALVARADO	FLOR DE LIS	LAS ARADAS	SANTA ANA	SANTA ANA	1	20cm	NO		MARÍA IVETH HERNANDEZ
	M21094	AMILCAR ALVARADO	FLOR DE LIS	LAS ARADAS	SANTA ANA	SANTA ANA	2	20cm	NO		MARÍA IVETH HERNANDEZ
	M21095	AMILCAR ALVARADO	FLOR DE LIS	LAS ARADAS	SANTA ANA	SANTA ANA	3	20cm	NO		MARÍA IVETH HERNANDEZ
	M21096	AMILCAR ALVARADO	FLOR DE LIS	LAS ARADAS	SANTA ANA	SANTA ANA	4	20cm	NO		MARÍA IVETH HERNANDEZ

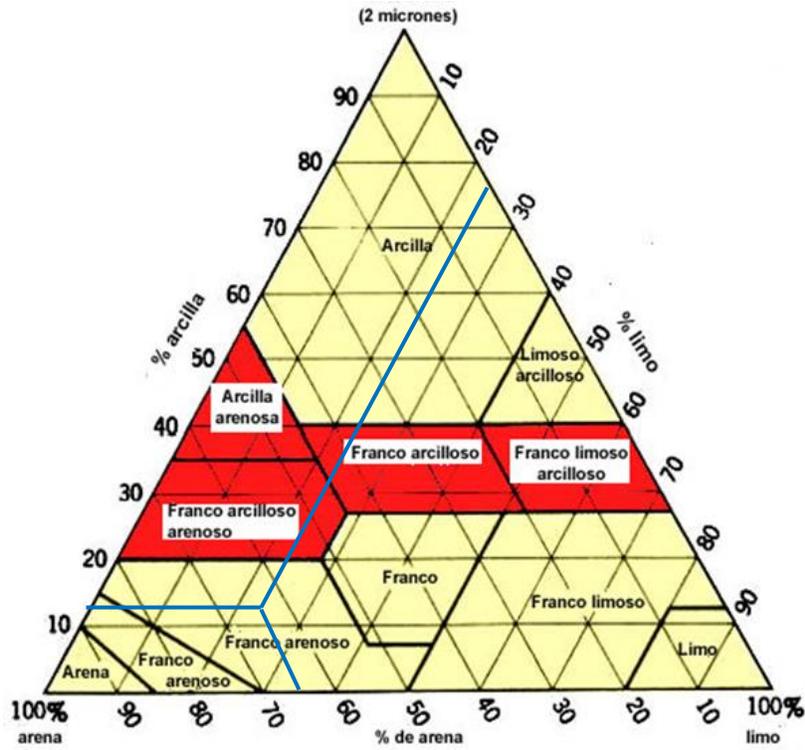
  

RESULTADOS DE ANALISIS MUESTRAS PAGADAS		
N° Muestra	% Materia Orgánica	
M21093	3.58	MEDIO
M21094	2.12	MEDIO
M21095	5.31	ALTO
M21096	6.50	ALTO

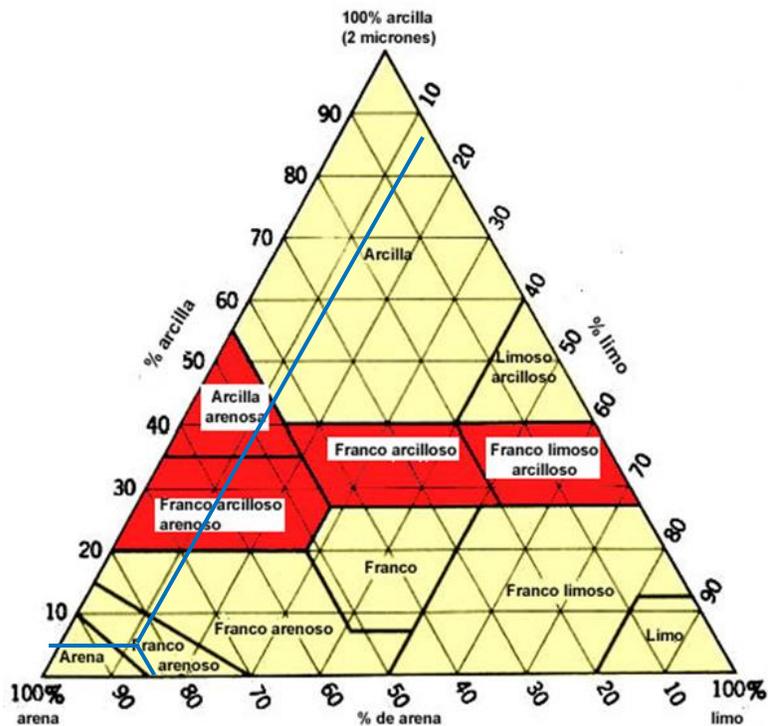
Anexo No. 2. Clase textural del punto 1 de muestreo.



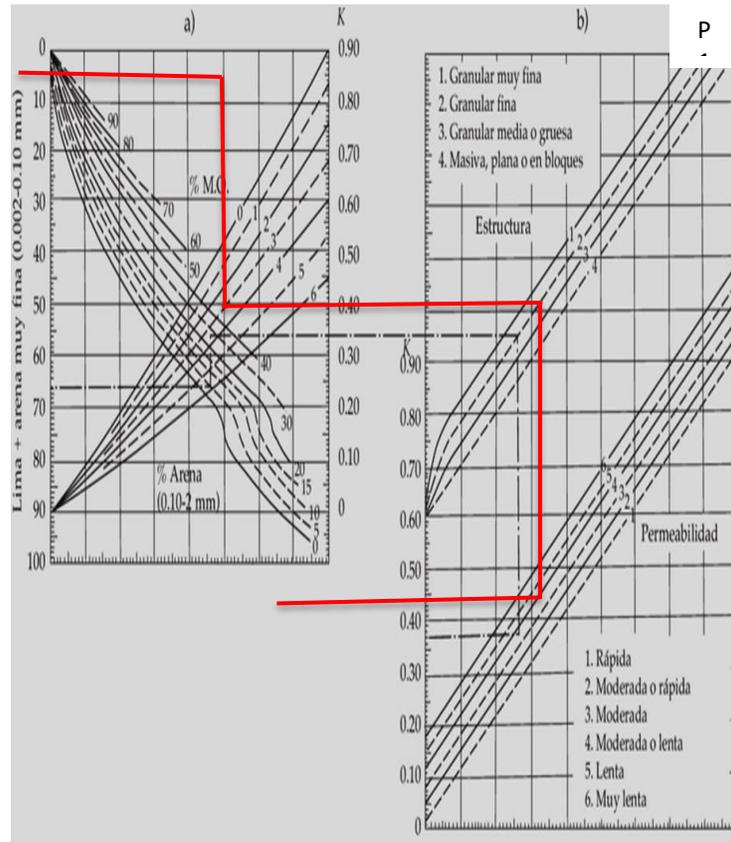
Anexo No. 3. Clase textural del punto 2 de muestreo.



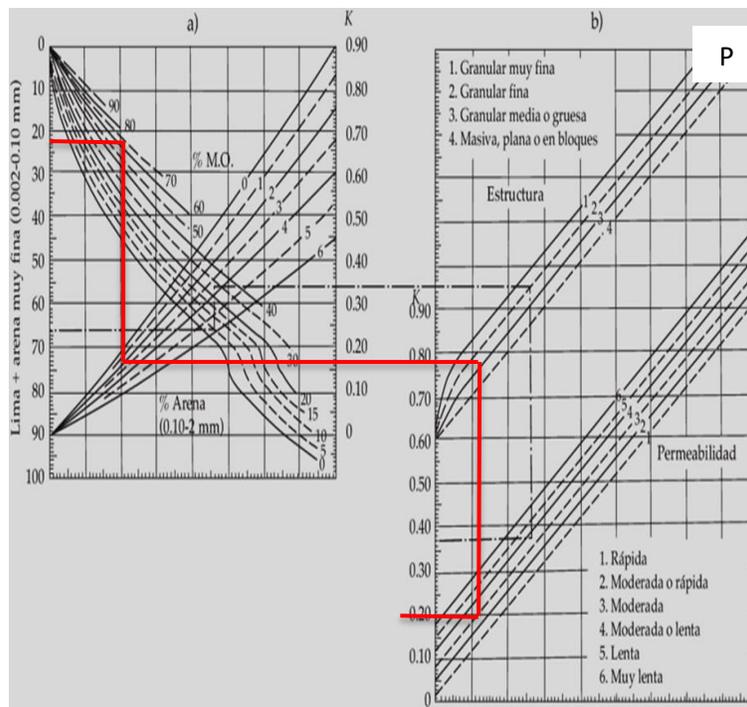
Anexo No. 4. Clase textural del punto 3 de muestreo.



Anexo No. 5. Factor de Erodabilidad del suelo para el punto 1 de muestreo.



Anexo No. 6. Factor de Erodabilidad del suelo para el punto 2 de muestreo.

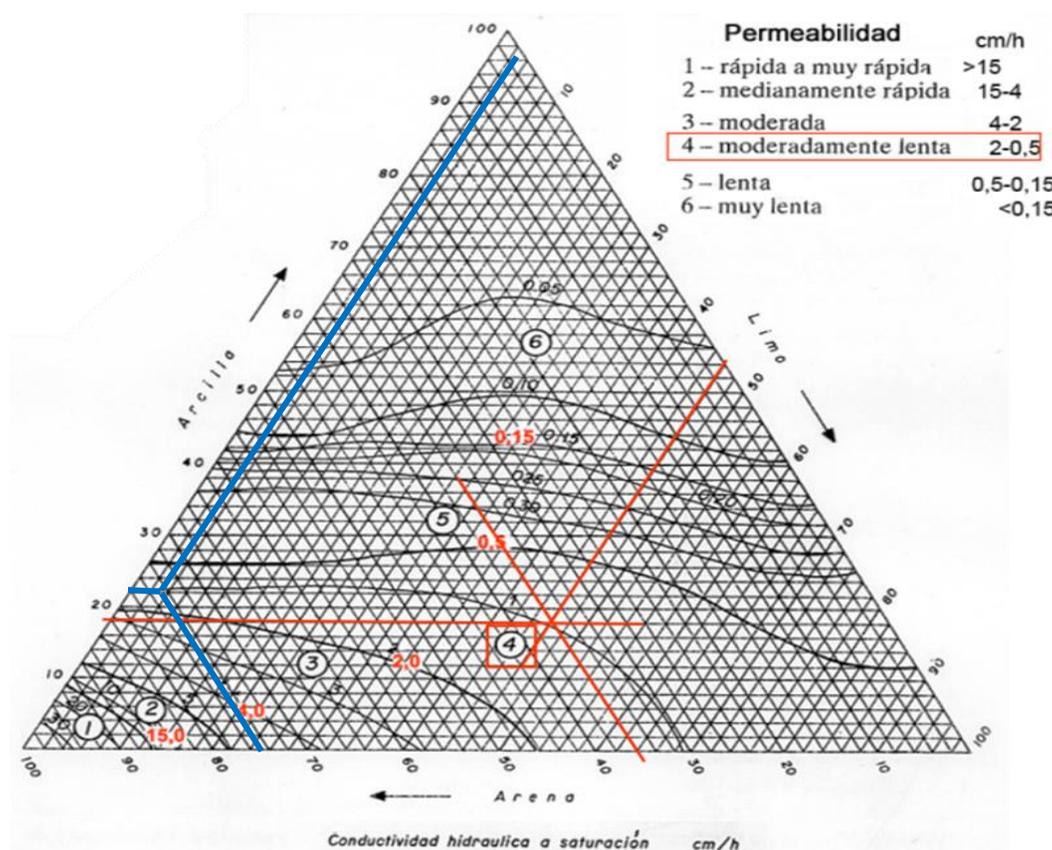


Anexo No. 7. Calificación de la erodabilidad, propuesto para la zona cafetera colombiana.

Código	Erodabilidad (t.ha.h.MJ <sup>-1</sup> . ha <sup>-1</sup> .mm <sup>-1</sup> )	Calificación
1	Menor de 0,01	Natural
2	0,01 a 0,02	Muy bajo
3	0,02 a 0,04	Bajo
4	0,04 a 0,06	Moderado
5	0,06 a 0,08	Alto
6	0,08 a 0,10	Muy alto
7	0,10 a 0,15	Severo
8	Mayor de 0,15	Extremadamente severo

Fuente: Rivera y Gómez 1991.

Anexo No. 8, Diagrama triangular de permeabilidad del suelo.



Anexo No. 9. Muestreo de suelo para evaluar Densidad Aparente.



Anexo No. 10. Valores del factor K y Resultado de densidad Aparente.

Puntos de muestreo	M.O. (%)	Permeabilidad	Estructura	Textura				Factor K
				Arena (%)	Limo (%)	Arcilla (%)	(%) Arcilla + Limo	
1	3.58	4	2	73	4	23	27	0.44
2	2.12	3	3	65	23	12	35	0.21
3	5.31	2	2	82	14	4	18	0.09
4	6.5	2	2	82	14	4	18	0.09
Punto de Muestreo	Pesos				Volumen del cilindro	Da (g/cm <sup>3</sup> )		
	caja vacía	Muestra húmeda + caja	Muestra seca + caja	Muestra seca sin caja				
1	46.8	192.8	161.7	114.9	100.98	1.137849079		
2	48.3	204.1	155.6	107.3	100.98	1.062586651		
3	53	201.9	153.8	100.8	100.98	0.998217469		
4	50.9	202.1	157.9	107	100.98	1.059615765		
<b>Volumen del cilindro</b>								
<b>V= π r<sup>2</sup>h= 3.1416 (2.8) <sup>2</sup> (4.1 cm) =</b>					<b>100.98 cm<sup>3</sup></b>			
<b>r<sup>2</sup>= D/2= 5.6/2 =</b>					<b>2.8</b>			
<b>Densidad Aparente (Da) = (Peso mx seca/ Volumen del cilindro)</b>								

Anexo No. 11. Resultados de laboratorio. Textura.

Muestra 1												
Lecturas	Lec. hidrómetro (g/L)	Temperatura (C°)	Corrección de T°	Factor de corrección	Corrección de T° Factor de corrección	Lec. Blanco (g/l)	Lec. Corregida g/l	% de partículas				Clase textural
Lectura 40 seg	15	27	7	0.5	3.5	5	13.5	Arcilla + limo	Arcilla	Arena	Limo	Franco Arcillo Arenoso
Lectura 2 horas	13	27	7	0.5	3	5	11.5	27	23	73	4	
Muestra 2												
Lecturas	Lec. hidrómetro (g/L)	Temperatura (C°)	Corrección de T°	Factor de corrección	Corrección de T° Factor de corrección	Lec. Blanco (g/l)	Lec. Corregida g/l	% de partículas				Clase textural
Lectura 40 seg	17	27	7	0.5	3.5	5	15.5	Arcilla + limo	Arcilla	Arena	Limo	Franco Arenoso
Lectura 2 horas	10	26	6	0.5	3	7	6	35	12	65	23	
Muestra 3												
Lecturas	Lec. hidrómetro (g/L)	Temperatura (C°)	Corrección de T°	Factor de corrección	Corrección de T° Factor de corrección	Lec. Blanco (g/l)	Lec. Corregida g/l	% de partículas				Clase textural
Lectura 40 seg	10	28	8	0.5	4	5	9	Arcilla + limo	Arcilla	Arena	Limo	Franco Arenoso
Lectura 2 horas	4	26	6	0.5	3	7	2	18	4	82	14	
Muestra 4												
Lecturas	Lec. hidrómetro (g/L)	Temperatura (C°)	Corrección de T°	Factor de corrección	Corrección de T° Factor de corrección	Lec. Blanco (g/l)	Lec. Corregida g/l	% de partículas				Clase textural
Lectura 40 seg	10	28	8	0.5	4	5	9	Arcilla + limo	Arcilla	Arena	Limo	Franco Arenoso
Lectura 2 horas	4	26	6	0.5	3	7	2	18	4	82	14	