



**UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA**  
**Facultad de Tecnología de la Construcción**

**Monografía**

**ESTIMACIÓN DE LA EROSIÓN HÍDRICA PARA EL USO ACTUAL Y  
POTENCIAL DEL SUELO EN LA FINCA EXPERIMENTAL UNI, UBICADA EN  
EL MUNICIPIO “LAS FLORES”, DEPARTAMENTO DE MASAYA.**

Para optar al título de ingeniero agrícola

**Elaborado por:**

Br. Oscar Salvador Abaunza Pérez  
Br. Katherine Esperanza García Montoya

**Tutor**

MSc. Ing. Rosario Sotelo Contreras

**Asesor**

MSc. Ing. Miguel Blanco Chávez

Managua, Junio 2021

## Dedicatoria

Primeramente, a Dios por haberme permitido llegar hasta este punto y haberme dado salud y darme lo necesario para seguir adelante día a día para lograr mis objetivos, además de su infinita bondad y amor.

A mis padres Fátima de los Ángeles Pérez e Iván Salvador Abaunza Pérez por haberme apoyado en todo momento, por sus consejos y valores, por la motivación constante que me ha permitido ser una persona de bien, pero más que nada, por su amor incondicional y a todos aquellos que ayudaron directa e indirectamente a realizar este trabajo.

Oscar Salvador Abaunza Pérez

## Agradecimiento

A la MSc. Ing. Rosario Sotelo, tutora de la presente Monografía por habernos guiado y apoyado en todo el proceso, quien con su ternura y paciencia nos llevó por el camino adecuado para culminar con éxito nuestra monografía.

Al MSc. Ing. Miguel Enrique Blanco Chávez del UNÍ PIENSA por habernos brindado sus conocimientos y el tiempo dedicado para la realización de la tesis, por sus aportes e información facilitada para la realización de los datos de la finca.

Al MSc. Ing. José Mamerto Méndez por su apoyo incondicional, tiempo y disposición durante la realización de la tesis.

A la Dra Martha Orozco Izaguirre de la Universidad Nacional Agraria(UNA) por su colaboración técnica.

Al Ing Zadis Vanegas Bustos por apoyo y disposición durante los ensayos de campo.

Oscar Salvador Abaunza Pérez.

## Dedicatoria

Primeramente, le doy gracias a Dios por haberme permitido llegar hasta este punto, darme salud y lo necesario para lograr mis objetivos propuestos además de su infinita bondad y amor.

A mis padres María Leticia Montoya y Henry Antonio García por haberme apoyado en todo momento, por sus consejos, sacrificios y esfuerzos quienes su apoyo fue incondicional tanto económico como emocional a los cuales amo y respeto por ser mi ejemplo a seguir.

A mi familia en general quienes siempre me apoyaron y creyeron en mí, por darme su amor incondicional en todo momento.

Katherine Esperanza García Montoya

## **Agradecimiento**

A la MSc. Ing. Rosario Sotelo, tutora de la presente Monografía por habernos guiado y apoyado en todo el proceso, quien con su ternura y paciencia nos llevó por el camino adecuado para culminar con éxito nuestra monografía.

Al MSc. Ing. Miguel Enrique Blanco Chávez del UNÍ PIENSA por habernos brindado sus conocimientos y el tiempo dedicado para la realización de la tesis, por sus aportes e información facilitada para la realización de los datos de la finca.

Al MSc. Ing. José Mamerto Méndez por su apoyo incondicional, tiempo y disposición durante la realización de la tesis.

A la Dra Martha Orozco Izaguirre de la Universidad Nacional Agraria(UNA) por su colaboración técnica.

Al Ing Zadis Vanegas Bustos por apoyo y disposición durante los ensayos de campo.

**Katherine Esperanza García Montoya.**

## RESUMEN

La erosión de los suelos es un proceso de degradación que amenaza a la mayoría de las zonas agrícolas de Nicaragua, lo que conllevado a desarrollar estudios que apliquen métodos que estimen la erosión actual y potencial para predecir los niveles de amenazas y proponer acciones de conservación de los suelos.

En ese sentido se realizó el presente estudio titulado “Estimación de la erosión hídrica para el uso actual y potencial del suelo en la Finca Agrícola Experimental UNI, ubicada en el Municipio “Las Flores”, Departamento de Masaya”, con una extensión de 49.50 manzanas, donde se encuentran establecidos diferentes cultivos agrícolas y áreas de barbechos.

Se estimó la erosión hídrica superficial mediante el uso de la Ecuación Universal de Pérdida de Suelo Revisada (RUSLE), una de las herramientas más utilizada para el cálculo de erosión hídrica. Con este modelo se obtuvieron los valores de los factores de erosividad, erodabilidad, la longitud y el gradiente de la pendiente, cobertura (cultivos) y prácticas de conservación.

EL factor de erodabilidad (K) teórico se obtuvo a través de cuatro propiedades del suelo (Textura, estructura, materia orgánica y permeabilidad) dichos valores fueron introducidos en el nomograma de (Wischmeier & Smith, 1976) el valor fue de 0.06, mientras que el K experimental se obtuvo mediante ensayos con el simulador de lluvia, el valor fue de 0.05.

Los resultados de la investigación mostraron que se presentó una erosión actual menor a 12 Ton/ha/año, a excepción del área donde se encuentra el cultivo de la yuca que presentó una erosión mayor.

## INDICE

I.	INTRODUCCIÓN .....	1
III.	JUSTIFICACIÓN.....	3
IV.	OBJETIVOS.....	4
4.1.	Objetivo General .....	4
4.2.	Objetivos Específicos .....	4
V.	MARCO TEORICO .....	5
5.1.	Definición de erosión.....	5
5.2.	Tipos de erosión.....	5
5.2.1.	Erosión hídrica .....	5
5.2.2.	Erosión eólica .....	6
5.3.	Uso potencial en Nicaragua .....	7
5.4.	Factores de la erosión hídrica .....	8
5.4.1.	Suelo.....	8
5.4.2.	Lluvia .....	8
5.4.3.	Topografía .....	9
5.4.4.	Vegetación.....	9
5.4.5.	Uso del suelo .....	9
5.5.	Consecuencias de la erosión del suelo.....	9
5.6.	Definición de la fertilidad del suelo.....	10
5.7.	Morfología del suelo.....	10
5.8.	Propiedades físicas y químicas del suelo.....	10
5.8.1.	Densidad real.....	11
5.8.2.	Densidad aparente.....	11
5.8.3.	Estructura .....	11
5.8.4.	Textura.....	11
5.8.5.	Porosidad del suelo .....	12
5.8.6.	Capacidad de infiltración.....	12
5.8.7.	Permeabilidad.....	12
5.8.8.	Porcentaje de materia orgánica .....	12
5.9.	Erosión hídrica .....	13
5.9.1.	Estimación de la Erosión Hídrica Superficial del suelo .....	13

5.9.2.	Factores de erosión .....	15
5.9.3.	Estimación de la Amenaza por Erosión Hídrica Superficial del suelo. 16	
5.10.	Simulador de lluvia .....	18
5.11.	Programa QGis .....	20
VI.	HIPOTESIS Y VARIABLES .....	21
6.1.	HIPOTESIS DE INVESTIGACION (H <sub>i</sub> ).....	21
6.2.	HIPOTESIS NULA (H <sub>0</sub> ). .....	21
6.3.	HIPOTESIS ALTERNATIVA (H <sub>a</sub> ). .....	21
VII.	DISEÑO METODOLOGICO .....	22
7.1.	Localización .....	22
7.1.1.	Macrolocalización .....	22
7.1.2.	Microlocalización.....	23
7.2.	Descripción de la zona .....	23
7.2.1.	Descripción fisiográfica .....	23
7.2.2.	Condiciones climáticas .....	24
7.2.3.	Uso actual de los suelos FAE .....	24
7.3.	Tipo de estudio y diseño general del estudio .....	24
7.4.	Procedimiento para tratamiento del problema de investigación .....	25
7.5.	Determinación de las propiedades físicas y químicas.....	28
7.5.1.	Muestreo de suelo .....	28
7.5.2.	Análisis Físicos .....	29
7.5.3.	Análisis Químicos .....	35
7.6.	Morfología del perfil del suelo .....	36
7.7.	Factor K teórico y experimental de los suelos de la FAE .....	39
7.7.1.	Factor K (teórico) por el método del nomograma .....	39
7.7.2.	Factor K experimental.....	40
7.7.3.	Intensidad de la lluvia .....	41
7.8.	Estimación de la erosión hídrica en el uso actual .....	43
7.8.1.	Elaboración de polígonos en la zona de estudio .....	43
7.8.2.	La ecuación del RUSLE .....	44
7.8.3.	Factor erosividad de la lluvia R .....	44
7.8.4.	Factor longitud de la pendiente L.....	45



7.8.5.	Factor inclinación de la pendiente S .....	46
7.8.6.	Factor Cobertura vegetal del suelo C .....	47
7.8.7.	Factor prácticas de conservación P .....	47
VIII.	ANALISIS E INTERPRETACION DE RESULTADOS .....	48
8.1.	Determinación de las propiedades físicas y químicas.....	48
8.1.1.	Densidad aparente.....	48
8.1.2.	Densidad real.....	49
8.1.3.	Humedad .....	49
8.1.4.	Textura.....	50
8.1.5.	Porosidad.....	50
8.1.6.	Capacidad de campo.....	51
8.1.7.	Materia orgánica .....	51
8.2.	Clasificación de los suelos .....	38
8.2.4.	Descripción morfológica del perfil del suelo.....	53
8.3.	Factor k teórico y experimental de la FAE.....	54
8.3.1.	K teórico.....	54
8.3.2.	K experimental.....	56
8.4.	Estimación de la erosión hídrica para el uso actual .....	57
8.4.1.	Factor erosividad de la lluvia R .....	57
8.4.2.	Factor de la longitud de la pendiente L y S.....	59
8.4.3.	Factor Cobertura vegetal del suelo C .....	61
8.4.4.	Factor prácticas de conservación P .....	63
8.5.	Uso actual de los suelos de la FAE UNI.....	63
8.6.	Erosión hídrica actual de los suelos de la FAE UNI .....	64
8.7.	Erosión hídrica potencial de los suelos de la FAE .....	67
IX.	CONCLUSIONES .....	69
X.	RECOMENDACIONES.....	70
XI.	BIBLIOGRAFIA.....	71
	ANEXOS .....	I

## Lista de tablas

<b>Tabla 1.</b> Pérdida de suelos adaptados de criterios internacionales. ....	17
<b>Tabla 2:</b> Valores del exponente (m) según la pendiente del suelo.....	46
<b>Tabla 3.</b> Resumen de los resultados de las propiedades de suelo en la FAE-UNI. .....	52
<b>Tabla 4:</b> Descripción del perfil del suelo: .....	53
<b>Tabla 5:</b> Resultado de K. ....	55
<b>Tabla 6:</b> Factores para encontrar K (erodabilidad) experimental .....	56

## Lista de figuras

<b>Figura 1:</b> Elementos de la erosividad de la lluvia. ....	6
<b>Figura 2:</b> Representación del simulador de lluvia .....	19
<b>Figura 3:</b> Representación del programa QGIS .....	20
<b>Figura 4:</b> Macrolocalización de la FAE-UNI.....	22
<b>Figura 5:</b> Microlocalización de la FAE-UNI.....	23
<b>Figura 6:</b> Flujo grama de la metodología de cálculo de la Erosión Hídrica Superficial .....	27
<b>Figura 7:</b> Extracción de muestras inalteradas .....	29
<b>Figura 8:</b> Extracción de muestras alteradas .....	29
<b>Figura 9:</b> Proceso de Tamización de las muestras.....	30
<b>Figura 10:</b> Método del Hidrómetro de Bouyoucos.....	31
<b>Figura 11:</b> Densidad real en el laboratorio. ....	32
<b>Figura 12:</b> Densidad aparente, peso de las muestras. ....	33
<b>Figura 13:</b> Capacidad de campo, saturando el suelo .....	34
<b>Figura 14:</b> Realización de prueba de M.O.....	36
<b>Figura 15:</b> Lectura de perfil de suelo.....	53
<b>Figura 16:</b> Perfil de suelo .....	54
<b>Figura 17:</b> Muestras de suelo de los diferentes horizontes.....	54
<b>Figura 18:</b> Resultado del nomograma .....	55
<b>Figura 19:</b> Mapa de ubicación de estaciones meteorológicas .....	58
<b>Figura 20:</b> Mapa factor de la longitud L y de la pendiente S.....	60
<b>Figura 21:</b> Mapa factor de la cobertura vegetal C.....	62
<b>Figura 22:</b> Mapa de uso actual de los suelos FAE (UNI). ....	65
<b>Figura 23:</b> Mapa Tasa de erosión hídrica actual FAE (UNI) .....	66
<b>Figura 24:</b> Mapa Tasas de erosión hídrica Potencial FAE(UNI).....	68

## Lista de anexos

<b>Anexo 1: Triangulo textural para la determinación de la textura del suelo....</b>	<b>I</b>
<b>Anexo 2: Tabla de densidad real.....</b>	<b>I</b>
<b>Anexo 3: Tabla de densidad aparente. ....</b>	<b>II</b>
<b>Anexo 4: Tabla de porcentaje de capacidad de campo. ....</b>	<b>II</b>
<b>Anexo 5: Tabla Porcentaje de porosidad. ....</b>	<b>III</b>
<b>Anexo 6: Tabla de porcentaje de materia orgánica. ....</b>	<b>III</b>
<b>Anexo 7: Código de estructura del suelo.....</b>	<b>IV</b>
<b>Anexo 8: Código de permeabilidad del suelo. ....</b>	<b>IV</b>
<b>Anexo 9: Grados de susceptibilidad a la erosión según rangos de K.....</b>	<b>IV</b>
<b>Anexo 10:Tablas de INETER.....</b>	<b>V</b>
<b>Anexo 11: Grafico de Correlación Lineal Estación Masaya-Granada. ....</b>	<b>VIII</b>
<b>Anexo 12:Grafico de Correlación Lineal Estación Masaya-Panaloya.....</b>	<b>VIII</b>
<b>Anexo 13:Clasificación de la erosividad de las llluvias según el valor de R</b>	<b>IX</b>
<b>Anexo 14:Tablas para el cálculo del factor C.....</b>	<b>IX</b>
<b>Anexo 15:Tabla para el cálculo del factor P.....</b>	<b>XII</b>
<b>Anexo 16: Niveles de intensidad de erosión o pérdida de suelo adaptados de criterios internacionales. ....</b>	<b>XII</b>
<b>Anexo 17:Cálculos de la textura .....</b>	<b>XII</b>
<b>Anexo 18:Cálculos de Densidad real.....</b>	<b>XIV</b>
<b>Anexo 19:Cálculos de Densidad aparente. ....</b>	<b>XIV</b>
<b>Anexo 20:Cálculo de capacidad de campo. ....</b>	<b>XV</b>
<b>Anexo 21:Cálculos de porcentaje de porosidad.....</b>	<b>XV</b>
<b>Anexo 22:Cálculos de porcentaje de humedad .....</b>	<b>XVI</b>
<b>Anexo 23: Cálculo de materia orgánica.....</b>	<b>XVI</b>
<b>Anexo 24: Cálculos de L y S.....</b>	<b>XVI</b>
<b>Anexo 25: Datos obtenidos para la obtención de K experimental .....</b>	<b>XIX</b>
<b>Anexo 26:Factores RUSLE .....</b>	<b>XX</b>
<b>Anexo 27:Instalación y prueba con el simulador de lluvia .....</b>	<b>XXI</b>
<b>Anexo 28:Uso actual de los suelos en la FAE-UNI.....</b>	<b>XXII</b>

## I. INTRODUCCIÓN

La Universidad Nacional de Ingeniería (UNI) actualmente cuenta con la Finca Agrícola Experimental para fines didácticos e investigaciones agrícolas, se han establecido cultivos como plátano, yuca, pipián y árboles frutales, entre otros, siendo producto de las prácticas que realizan los estudiantes de la carrera de ingeniería agrícola. Los suelos se caracterizan por tener textura franco arcillosa limosa y con un terreno de poca pendiente, sin embargo, existe erosión lo que causara graves daños a través del tiempo.

En el presente estudio se realizó la estimación de la erosión hídrica superficial en el uso actual y potencial de los suelos de la Finca Agrícola Experimental de la UNI, ubicada en el Municipio "Las Flores", Departamento de Masaya. Utilizando el método Ecuación Universal de Pérdida de Suelo (E.U.P.S. o por sus siglas en inglés (U.S.L.E.), propuesta por (Wischmeier & Smith, 1976) mediante las ecuaciones de estimaciones empíricas. Para aplicarse el método RUSLE (Ecuación modificada) se recopilaron datos existentes los cuales son, uso del suelo, tipo de suelo, permeabilidad, topografía de la zona de estudio en formato digital, imágenes satelitales, prácticas de cultivos, precipitaciones diarias, mensuales y anuales, intensidades máximas anuales, cartas pluviográficas y los respectivos análisis del suelo.

La Ecuación Universal RUSLE (ecuación modificada), versión revisada del modelo original USLE permite predecir la pérdida anual de suelo por hectárea y también precisar las técnicas más apropiadas para el laboreo del suelo, en especial para cultivos agrícolas.

Se realizaron visitas de campo a la finca, se levantó información del uso de suelo, de prácticas de cultivos y conservación de suelos. La información recopilada y analizada se utilizó en la actualización de mapas temáticos en formato digital, como mapas geoespaciales haciendo uso del QGIS.

## II. ANTECEDENTES

(Cerrato L & Téllez E, 2006), en la FAE-UNI realizaron un estudio sobre la descripción y clasificación detallada de las unidades taxonómicas, unidades cartográficas homogéneas y clases de aptitud y capacidad de uso del suelo, obteniéndose como resultado la interpretación del levantamiento para la evaluación de tierra a nivel de la finca.

En el año 2016 se publicó oficialmente un mapa de los usos potenciales de los suelos en Nicaragua, entre los usos se destacan los siguientes: 7.98 % agua, 6.93% agrícola intensivo, 4.95 % agrícola restringido y sistemas pecuarios, 20.33 % silvopasturas y cultivos especiales, 33.83 % forestal y sistema agroforestal, 17.01% protección y conservación, 8.97 % forestal. (Álvarez M, 2016). Los porcentajes aquí descrito de uso potencial para sistemas agrícolas y pecuarios, se entienden, que deberán de asegurarse para reducir los procesos de degradación de los suelos.

(Rivera C & Alguera E, 2016), en un estudio la Finca Agrícola Experimental-UNI, estimaron el valor del factor de erodabilidad del suelo (K), unos de los factores de la ecuación RUSLE en condiciones de parcelas demostrativas controladas.

(Blanco M, 2019) a través del Programa de Investigación, Estudios Nacionales y Servicios del Ambiente (PIENSA) de la Universidad Nacional de Ingeniería también desarrolló el estudio de estimación de tasa de erosión hídrica superficial en el área rural de la microcuenca del cauce 31 de diciembre en municipio de Managua, utilizando la Ecuación Universal Revisada de Pérdida de Suelo (RUSLE).

Actualmente, la degradación del suelo afecta a 1900 millones de hectáreas en todo el mundo, lo que representa aproximadamente el 65 % de los recursos edáficos del planeta. La erosión del suelo, responsable del 85 % de esa degradación, es el factor que más contribuye a ella. (Organismo Internacional de Energía Atómica, 2019)

### **III. JUSTIFICACIÓN**

La erosión de suelo es un gran problema, pues ocasiona reducción en la productividad de los suelos agrícolas y sedimentación de cuencas. Uno de los problemas más serios es la reducción de la fertilidad natural de los suelos por causa de la lixiviación o lavado de nutrientes, teniendo la necesidad de una mayor aplicación de fertilizantes y por ende aumentando los costos de producción.

La Finca Agrícola Experimental UNI es de vocación agrícola actualmente utilizadas para proyectos de investigación, además algunas áreas destinadas para el establecimiento de cultivos agrícolas, como musáceas y yuca entre otros. Sin embargo, no se ha realizado ningún estudio para determinar la erosión hídrica del suelo, por esta razón, es importante la realización de este estudio para después compararlo con el uso potencial del suelo y con ello disminuir el impacto de la erosión hídrica, que influye en una acelerada degradación de los suelos.

La investigación permitirá tener como beneficio la disposición de un mapa de erosión hídrica, la identificación de zonas vulnerables por erosión y los niveles de impactos ambientales generados por erosión hídrica en la Finca Agrícola Experimental-UNI, de este modo se tendrá un estado actual del suelo. Estos mapas serán insumos para la planificación del desarrollo sostenible de la misma.

## **IV. OBJETIVOS**

### **4.1. Objetivo General**

Estimar la erosión hídrica para el uso actual y potencial del suelo en la finca Agrícola Experimental UNI, ubicada en el Municipio “Las Flores”, departamento de Masaya utilizando el método RUSLE.

### **4.2. Objetivos Específicos**

- Determinar las características físicas y químicas del suelo (textura, materia orgánica y permeabilidad) a través de ensayos en el laboratorio de edafología.
- Evaluar el valor K teórico utilizando el nomograma de Wischmeier para compararlo con el valor K experimental de los suelos en la finca agrícola experimental UNI.
- Estimar la erosión hídrica para las condiciones del uso actual y potencial de los suelos en la finca agrícola experimental de la UNI.

## **V. MARCO TEORICO**

La erosión hídrica puede dividirse en tres tipos de erosiones y en general presenta uno de los mayores problemas ambientales, definiéndose como la pérdida, disolución y remoción del material del suelo de la superficie de la tierra causada por distintos factores ya sean naturales o antropogénicos, ocasionando con el tiempo consecuencias graves para el suelo y por ende para el correcto crecimiento de los cultivos.

Con el fin de conocer los niveles de erosión hídrica superficial en la finca FAE-UNI se utilizará el método de la RUSLE (ecuación modificada de la USLE) junto con el programa Qgis donde se recopilarán datos para encontrar las propiedades físicas y químicas del suelo.

### **5.1. Definición de erosión**

La erosión es definida como la destrucción del suelo por la acción acelerada de los acontecimientos naturales en relación con los procesos pedogenéticos o de formación del suelo, es causada principalmente por el hombre como agente morfológico capaz de transformar la biosfera. (Colotti E, 1999)

### **5.2. Tipos de erosión**

Existen dos tipos de erosiones, esto debido al factor ambiental que lo provoca los cuales se describen con más detalle a continuación:

#### **5.2.1. Erosión hídrica**

Es la degradación, desprendimiento y arrastre de sólidos desde la superficie terrestre por la acción del agua.

La erosión hídrica engloba tres tipos los cuales son:

**Laminar:** Erosión más o menos uniforme del suelo de una zona, debido al impacto de gotas de lluvia y al flujo superficial, sin que se formen cauces de agua de más de 30 cm de profundidad. Sin embargo, la erosión laminar incluye numerosos surcos pequeños pero visibles causados por pequeñas concentraciones de escorrentía. (UNESCO/WMO, 1992)



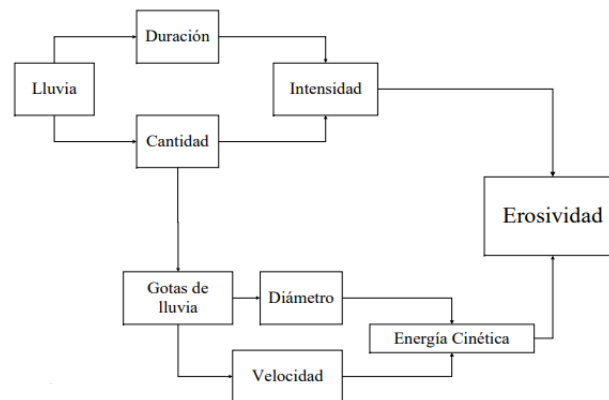
**Surcos:** La erosión en surcos es la forma de erosión más fácilmente perceptible, tiene su origen a causa del escurrimiento superficial del agua que se concentra en sitios irregulares o depresiones superficiales del suelo desprotegido o trabajado inadecuadamente. (Alicante, 2013)

**Cárcava o zanjas:** Son los socavones producidos en rocas y suelos de lugares con pendiente a causa de las avenidas de agua de lluvia.

Además, solo se produce en el sustrato de tipo arcilloso, si hay dos o más cárcavas que avanzan paralelas en línea recta se llama rills. Se concretan, normalmente, en abarrancamientos formados en los materiales blandos por el agua de arroyada que, cuando falta una cobertura vegetal suficiente, ataca las pendientes excavando largos surcos de bordes vivos. (Ceccon E & Pérez D, 2016)

En la figura 1. Se observa los elementos que debe de tomarse en cuenta al estimar la erosividad de la lluvia.

**Figura 1: Elementos de la erosividad de la lluvia.**



**Fuente:** (Colotti E, 1999)

### 5.2.2. Erosión eólica

Es el desgaste de las rocas o la remoción del suelo debido a la acción del viento. La erosión eólica se produce, pues, en zonas áridas, como los desiertos y la alta montaña. (Ortigoza J, 2012)

### 5.3. Uso potencial en Nicaragua

El uso potencial es la utilización más apropiada del recurso suelo dentro de cada patrón edafoclimáticos (condiciones de clima y suelo), para ello se requiere la aplicación de sistemas de manejo adecuados para que la tierra pueda ser explotada de manera sostenible con el mínimo deterioro.

En el año 2015 se publicó oficialmente un mapa de los usos potenciales de los suelos en Nicaragua, entre los usos se destacan los siguientes: 7.98 % agua, 6.93 % agrícola intensivo, 4.95 % agrícola restringido y sistemas pecuarios, 20.33 % silvopasturas y cultivos especiales, 33.83 % forestal y sistema agroforestal, 17.01 % protección y conservación, 8.97 % forestal. (Instituto Nicaragüense de Estudios Territoriales, 2017)

Una de las categorías del uso potencial de los suelos en Nicaragua de gran importancia es el uso de suelos para vocación forestal con el 8.97% que se encuentra distribuido entre la zona seca, subhúmeda y húmeda del país y mayoritariamente en la zona subhúmeda con un área de 6883.05 Km<sup>2</sup> (688,305 hectáreas) de un total de 11,689.04 Km<sup>2</sup> (1168904 hectáreas), Considerando una tasa de deforestación anual de 70,000 hectáreas/año, la no aplicación de la legislación ambiental, y continuidad de los conflictos entre colonos y pueblos originarios y afrodescendientes de la Región Autónoma de la Costa Caribe, se estima que en los próximos 17 años desaparecerán los bosques en Nicaragua. (Agencia Suiza para el Desarrollo y la Cooperación, 2016).

Este uso potencial deberá ser manejado adecuadamente para conservar la reducción de bosques y evitar el despale, que según cifras del (Centro Humboldt, 2017), coincide que existe una tasa de deforestación anual 70,000 hectáreas/año, producto del cambio de uso de suelo para actividades agrícolas y ganadería, principalmente.

En términos generales recientemente se ha reportado que el 39.17 % (51071.76 km<sup>2</sup>) de los suelos en Nicaragua se encuentran sobre utilizados, lo que indica que existe un daño ambiental irreversible a las propiedades físicas-químicas-biológicas de los suelos, que determinan en alguna medida la productividad de los suelos y garantizan la seguridad alimentaria del país. (Corrales D. Consultores GeoAmbientales, 2018). Ahí surge la importancia de aplicar métodos para predecir las amenazas de erosión en los suelos agrícolas para proponer planes de conservación de los suelos a corto y mediano plazo.

#### **5.4. Factores de la erosión hídrica**

Son aquellos que influyen con el tiempo a que provoque lo que se conoce como erosión hídrica en el suelo, estos factores son cuatro y se detallaran a continuación:

##### **5.4.1. Suelo**

El suelo está compuesto por minerales, materia orgánica, diminutos organismos vegetales y animales, aire y agua. Es una capa delgada que se ha formado muy lentamente, a través de los siglos, con la desintegración de las rocas superficiales por la acción del agua, los cambios de temperatura y el viento. (FAO, 2018)

##### **5.4.2. Lluvia**

Es un fenómeno atmosférico de tipo hidrometeorológico que se inicia con la condensación del vapor de agua contenido en las nubes.

Definida como la agresividad de la lluvia sobre el suelo, representa la energía con que las gotas de lluvia impactando el suelo a determinada intensidad para romper los agregados superficiales en partículas de tamaño transportable; en este sentido, la precipitación constituye el agente activo del proceso de erosión. (Sánchez G & Campero J, 2011)

### **5.4.3. Topografía**

La topografía es un ente importante en la erosión hídrica ya que el tamaño y la cantidad de material que el agua puede arrastrar depende de la topografía que exista en el lugar refiriéndose a la inclinación de la pendiente y uniformidad del terreno.

### **5.4.4. Vegetación**

La vegetación actúa como una interfaz entre la atmósfera y el suelo. Aumenta la permeabilidad del suelo al agua de lluvia, disminuyendo la escorrentía. Protege al suelo de los vientos, lo que se traduce en una disminución de la erosión eólica, así como cambios ventajosos en el microclima. La eliminación de la vegetación aumenta la tasa de erosión superficial. (Boardman J, 2006)

### **5.4.5. Uso del suelo**

El uso y manejo inadecuado del suelo ocasiona un gran impacto en la estabilidad del suelo y es que el uso al que el suelo este destinado o utilizado dependerá mucho del cambio que se tendrá en un futuro del suelo, tanto en su Fertilidad como composición y del grado de erosión que dicho suelo estará expuesto. (FAO, 2018)

## **5.5. Consecuencias de la erosión del suelo**

Existen varias consecuencias que ocasiona la erosión del suelo entre ellas las más relevantes son:

- El ecosistema se desequilibra, perdiendo a muchas de sus especies endémicas y favoreciendo el crecimiento de las especies oportunistas.
- La tierra cada vez se va volviendo menos fértil, lo que aumenta el uso de fertilizantes por parte de los agricultores. Al final, esto acaba con una tierra totalmente inútil para el cultivo.
- Pérdida de flora y desaparición de especies.
- Pérdida de la humedad aportada por la flora.
- Creación de graveras y arenales en lo que eran tierras fértiles.
- Mayor riesgo de desprendimientos de rocas.

- Pérdida del rendimiento de la tierra y aumento del costo de cultivarla. (Cardona A, 2019)

### **5.6. Definición de la fertilidad del suelo**

Es la capacidad que tiene el terreno para sustentar el crecimiento de las plantas y optimizar el rendimiento de los cultivos. Ello puede potenciarse por medio de fertilizantes orgánicos e inorgánicos que nutran el suelo. (Organismo Internacional de Energía Atómica, 2019)

### **5.7. Morfología del suelo**

Se puede definir como morfología del suelo a los atributos observables en campo del suelo dentro de los varios horizontes encontrados en el suelo como lo es la descripción de la clase y el arreglo de los horizontes. Los atributos observables ordinariamente descriptos incluyen: composición, forma, estructura del suelo, organización del suelo, color base del suelo, moteados, distribución radicular, poros, evidencia de materiales traslocados como carbonatos, hierro, manganeso, carbono y consistencia del suelo.

Las observaciones se llevan a cabo en un perfil de suelo con un corte vertical de dos dimensiones en el suelo.

### **5.8. Propiedades físicas y químicas del suelo**

El suelo es un cuerpo poroso que mezcla partículas orgánicas e inorgánicas en mayor o menor grado de desintegración, así como también agua y aire en proporciones variables, la interacción de estos componentes conforma lo que conocemos como propiedades físicas, mientras cuando nos referimos a las propiedades químicas se habla de aquellas propiedades que permiten estimar la calidad de suelo de manera química por medio de estudios en laboratorios o equipos especiales.

### **5.8.1. Densidad real**

La densidad real o densidad de la fase sólida del suelo es la relación entre la masa del suelo seco y la masa de igual volumen de agua. El valor de la densidad real depende de la naturaleza de los minerales integrantes y de la cantidad de sustancias orgánicas.

El conocimiento de la densidad real es necesario para calcular la porosidad del suelo y además da cierta orientación sobre el grado de desarrollo del suelo o indica la relación entre la parte mineral y orgánica. Recopilado por (Méndez J & Silverio L, 2011)

### **5.8.2. Densidad aparente**

Se define como el peso de los sólidos del suelo por unidad de volumen total o aparente del mismo. Se determina dividiendo el peso de un determinado volumen de tierra secada a estufa por ese volumen de suelos. Es un parámetro que debe ser determinado *in situ*. (FAO, 2018)

### **5.8.3. Estructura**

La estructura del suelo se define por la forma en que se agrupan las partículas individuales de arena, limo y arcilla. Cuando las partículas individuales se agrupan, toman el aspecto de partículas mayores y se denominan agregados.

La estructura del suelo afecta directamente la aireación, el movimiento del agua en el suelo, la conducción térmica, el crecimiento radicular y la resistencia a la erosión. El agua es el componente elemental que afecta la estructura del suelo con mayor importancia debido a su solución y precipitación de minerales y sus efectos en el crecimiento de las plantas. (Cairo P, 1995, pág. 231)

### **5.8.4. Textura**

La textura del suelo se refiere a la proporción de componentes inorgánicos de diferentes formas y tamaños como arena, limo y arcilla. La textura es una propiedad importante ya que influye como factor de fertilidad y en la habilidad de retener agua, aireación, drenaje, contenido de materia orgánica y otras propiedades. (FAO, 2018)

#### **5.8.5. Porosidad del suelo**

Según la (FAO, 2018) el espacio poroso del suelo se refiere al porcentaje del volumen del suelo no ocupado por sólidos. En general el volumen del suelo está constituido por 50% materiales sólidos (45% minerales y 5% materia orgánica) y un 50% de espacio poroso, este porcentaje de espacio poroso puede aumentar o disminuir en función de la porosidad propia de los suelos. Dentro del espacio poroso se pueden distinguir macro poros y micro poros donde agua, nutrientes, aire y gases pueden circular o retenerse.

Los macros poros no retienen agua contra las fuerzas de la gravedad, son responsables del drenaje, aireación del suelo y constituyen el espacio donde se forman las raíces. Los micro poros retienen agua y parte de la cual es disponible para las plantas.

#### **5.8.6. Capacidad de infiltración**

La velocidad de infiltración es un índice hidrofísico del suelo que se maneja bajo diferentes términos como son permeabilidad, infiltración, percolación, etc. Este en definitiva indica el paso del agua a través de la masa del suelo, su cantidad y velocidad estará determinada por las características del perfil del suelo y en buena medida por el espacio de macroporos. (Sociedad geográfica de Lima , 2011)

#### **5.8.7. Permeabilidad**

Es la propiedad que tiene el suelo de transmitir el agua y el aire y es una de las cualidades más importantes en el campo agrícola. Mientras más permeable sea el suelo, mayor será la filtración. (FAO, 2018)

#### **5.8.8. Porcentaje de materia orgánica**

Está compuesta por los residuos orgánicos, ya sean vegetales o animales. Estos residuos normalmente proceden de la actividad agrícola, pecuaria y/o agroindustrial. Debido a una serie de procesos físicos, químicos y biológicos.

La materia orgánica va contribuir enormemente a la fertilidad del suelo. Tanto es así, que un suelo pobre en materia orgánica no es apto para la producción agropecuaria. Si los suelos no tienen la suficiente cantidad de este componente,

las plantas no crecerán, enfermarán rápidamente y serán muy susceptibles a las plagas. (Guerrero M, 2019), es por esta razón por la que la materia orgánica juega un papel importante en el suelo.

## **5.9. Erosión hídrica**

### **5.9.1. Estimación de la Erosión Hídrica Superficial del suelo**

Los procesos de erosión hidrológica superficial han sido bastante estudiados por el Departamento de Agricultura de EUA, mediante mediciones de la erosión en parcelas experimentales y mediciones de la precipitación que provoca la erosión. En base al análisis estadístico de los datos experimentales los investigadores Wischmeier & Smith (1978, pp. 3-4), en una publicación del Departamento de Agricultura de EUA presentan la Ecuación Universal de Pérdida de Suelo (USLE), que permite estimar la pérdida promedio anual de suelo para un sitio específico bajo condiciones particulares de cultivos, tipo de suelo, pendiente y prácticas de cultivos. La ecuación es la siguiente:

$$A = R K L S C P \quad (1)$$

Donde:

A = Es la pérdida de suelos calculada por unidad de superficie, expresada en las unidades seleccionadas para K y el período seleccionado para R, generalmente toneladas por hectárea por año, (Ton/ha-año).

R = El factor lluvia y escurrimiento o índice de erosividad de la lluvia, es el número de unidades de índice de erosión pluvial (EI), en (MJ/ha – mm/h). El índice de erosión pluvial (EI) para una tormenta es el producto de la energía total de la tormenta (E) y su máxima intensidad en 30 minutos (I).

K = El factor susceptibilidad de erosión del suelo o erodabilidad del suelo, es la tasa de pérdida de suelos por unidad  $E \cdot I$  para un suelo específico, medido en una parcela experimental o terreno estándar (22.13 m de largo, 9% pendiente, en barbecho y labranza continua).



L = El factor de largo de la pendiente, es la proporción de pérdida de suelos con una longitud pendiente específica con respecto a la pérdida de suelo con una longitud de pendiente estándar (22.13 m). Este factor es adimensional.

S = El factor de magnitud de la pendiente, es la proporción de pérdida de suelos de una superficie con una pendiente específica con respecto a la pérdida de suelo en la pendiente estándar de 9%, con todos los otros factores idénticos. Este factor es adimensional.

C = El factor cobertura y manejo, es la proporción de pérdida de suelo en una superficie con cubierta y manejo específico con respecto a una pérdida de suelo en superficie idéntica en barbecho, con labranza continua. Este factor es adimensional.

P = El factor de prácticas de conservación, es la proporción de pérdida de suelo con una práctica de apoyo como cultivo en contorno, barreras vivas, o cultivo en terrazas, con respecto a aquella labranza en el sentido de la pendiente. Este factor es adimensional.

Este método fue ligeramente modificado por (Renard et al, 1997) del Departamento de Agricultura de EUA, llamándose Ecuación Universal Revisada de Pérdida de Suelos (RUSLE).

(Renard et al, 1997) afirman que “RUSLE es un modelo de erosión diseñado para predecir la pérdida de suelo promedio anual (A) a largo plazo, provocada por la escorrentía en un lugar específico con sistemas de manejo y cultivos específicos. Su amplio uso ha confirmado la utilidad y validez del RUSLE para este propósito. Este también es aplicable en condiciones no agrícolas tales como sitios de construcción” (Wischmeier & Smith, 1978, pág. 15).

Es el acrónimo para Universal Soil Loss Equation, es decir, Ecuación Universal de Pérdida de Suelo. La USLE expresa el promedio de las pérdidas anuales de suelo a largo plazo (en toneladas métricas por hectárea y año, t/ha/año). (Oyarzún E, 1993).

### 5.9.2. Factores de erosión

La determinación del factor R:

$$R = \sum EI_{30} \quad (2)$$

Donde:

$EI_{30}$  = Índice de erosividad de un evento lluvioso erosivo.

El valor de E se calcula en base de las diferentes intensidades de los intervalos de una lluvia. La determinación del  $EI_{30}$  de una tormenta es:

E = Energía Cinética total para un evento de precipitación

$EI_{30}$  = Intensidad máxima de la precipitación en 30 minutos.

La energía cinética por unidad de precipitación (e) por milímetros de precipitación es igual a:

$$e = 0.1189 + 0.0873 \log_{10} I \quad (3)$$

Donde:

I = Intensidad del intervalo de precipitación (mm/h)

E es calculada como la sumatoria de los productos de la energía cinética por unidad de lámina de lluvia (e) y la intensidad de precipitación (I) del intervalo considerado.

$$E = \sum eI \quad (4)$$

Donde:

$EI_{30}$  Se determina analizando la distribución de las intensidades en una lluvia y seleccionando los treinta minutos de duración que posean la máxima intensidad. Si la lluvia es de menos de 30 minutos de duración, se utiliza entonces la intensidad total de dicho periodo.

El índice modificado de Fournier desarrollado por Arnoldus (1978) es lo más práctico en zonas donde no existen datos detallados de intensidades. Como base para determinar la erosividad se utilizan los datos promedios de precipitaciones mensuales y el mapa de isoyetas. El índice se obtiene de la fórmula:

$$IMF = \sum_{i=1}^{i=12} \frac{p_i^2}{P} \quad (5)$$

Donde:

i= Representa el número del mes.

pi = precipitación mensual (mm)

P = Precipitación promedio anual (mm)

La erosividad se puede medir por mes, por periodos al año o por todo el año. (INETER & COSUDE, 2005, págs. 41-42)

### **5.9.3. Estimación de la Amenaza por Erosión Hídrica Superficial del suelo.**

En el documento del (INETER & COSUDE, 2005, pág. 11), definen la Amenaza como la probabilidad de ocurrencia de un evento (sismos, inundaciones, huracanes, etc.) potencialmente dañino, caracterizado por una cierta intensidad dentro de un período dado de tiempo.

La erosión hídrica actual se conoce a partir de la estimación de la pérdida de suelo en tiempo real como consecuencia de las condiciones presentes en el territorio. De igual manera, se considera como amenaza por erosión hídrica a la predicción de las pérdidas de suelo en un espacio o área dada, en un período de tiempo determinado bajo la influencia de determinadas condiciones. La Erosión potencial máxima es la pérdida de suelo probable en ausencia de buenas prácticas de manejo de la cobertura vegetal y de conservación de suelos (vulnerabilidad), es decir, considerando sólo la interacción de los factores de la tierra: suelo, clima y topografía en el momento (INETER & COSUDE, 2005, pág. 12).

La erosión hídrica pluvial es el proceso de movimiento de las partículas del suelo por impacto de las gotas de lluvia y escorrentía superficial y su deposición en otro lugar.

A nivel internacional no se conocen estudios de amenaza por erosión propiamente dichos, sino más bien de intensidad de erosión actual, de susceptibilidad a la erosión o amenaza potencial de la erosión. Se utilizará la Ecuación Universal Revisada de Pérdida de Suelo (RUSLE), para estimar la intensidad de erosión del suelo. Esta ecuación considera en su análisis que el proceso erosivo de un área es el resultado de interacción de factores naturales (lluvia, suelo y topografía) y del impacto de factores influenciados directamente por el ser humano (uso y manejo de la tierra).

Se debe considerar que debido a que la erosión es un proceso continuo en el tiempo, no es posible calcular su periodo de retorno o frecuencia, por tanto, su nivel de amenaza estará dado en función de la intensidad de la erosión.

La intensidad se entiende como la pérdida de suelo (A) expresada en toneladas por hectárea por año del fenómeno erosivo. El grado de erosión estará en función de seis factores principales. (Wischmeier & Smith, 1978).

$$\text{Intensidad} = A = f(R, K, L, S, C, P)$$

La tabla 1 a continuación presenta los rangos para la zonificación de los niveles de intensidad de la erosión, los que fueron adecuados considerando la fragilidad y alto deterioro de los suelos en Nicaragua (INETER & COSUDE, 2005, pág. 17).

**Tabla 1.** Pérdida de suelos adaptados de criterios internacionales.

<b>Intensidad de Amenaza</b>	<b>Pérdida de suelo Ton/ (ha año)</b>	<b>Pérdida de suelo (mm)</b>
Baja	5 – 12	0.4 – 2
Media	12 – 25	2 – 5
Alta	>25	>5

**Fuente:** Adaptados de (Wischmeier y Smith, Roffe Ligtenberg et al, & FAO, 1985)

### **5.10. Simulador de lluvia**

Un simulador de lluvia es un aparato portátil que genera una lluvia artificial. La simulación de lluvia es la técnica de aplicar agua a parcelas experimentales de una manera similar a la precipitación natural; es una herramienta que ha sido usada por muchos años en estudios de erosión, infiltración y escurrimiento.

Con el simulador de lluvia es posible cuantificar la escorrentía, infiltración y pérdida de suelo generados por una regadera de lluvia ajustable a la intensidad sobre un área de prueba definida (Monge R & Aguilar J, 2008).

La estructura básica de un simulador es la siguiente:

- Un soporte de 4 varillas de hierro hueco de 3/4" y 2mm de espesor con una altura de 1.20 metros cada una. Posee un esparrago en el interior de cada una de las varillas de 100 cm, al pie de los espárragos una tuerca capaz de subir y bajar con el fin de adaptarse de manera independiente a diferentes topografías del terreno, esto es la base o estructura metálica del simulador de lluvias portátil.
- En la parte superior del equipo está la regadera, que consta con un área útil de lluvia simulada de 42 x 42 cm, la altura de la base de la regadera es de 2.54 cm, sobre la base de la regadera se encuentra un tanque circular.
- El tanque circular, en este caso tiene dimensiones de 25 cm de altura y 20 cm de diámetro, que puede llegar a almacenar hasta un poco más de 12 litros de agua de volumen efectivo (agua útil para realizar las simulaciones).
- En la cima del tanque de la regadera del equipo simulador de lluvias portátil se encuentra un tubo hueco de plástico (tubo aireador) que atraviesa de forma vertical al centro del tanque. Este tubo es el encargado de suministrar la presión de empuje del agua hacia los capilares en la base de la regadera (lluvia simulada antes analizada en laboratorio que puede alcanzar diferentes intensidades desde 13.14 mm/min hasta 3.59 mm/min y diámetros de gota de 4.5 mm y masa de 0.04 gramos). La intensidad

puede incrementarse o reducirse según la cantidad de capilares y la altura del tubo de aireación.

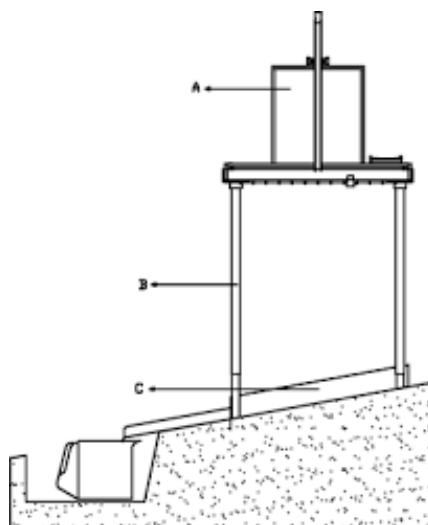
- La regadera cuenta con 169 capilares de 0.5 mm de diámetro interno y diámetro externo de 2.5 mm y una altura de 5 mm a espacios de 3.23 cm. En la figura 2 se ilustra el esquema del simulador de lluvia construido en el estudio de estimación del factor K experimental en la FAE (Rivera C & Alguera E, 2016), también se aprecia la utilización del simulador de lluvia en este estudio en anexo número 27.

A: Regadera con un regulador de presión interno (principio de la botella de Mariotte: este principio trabaja usando la gravedad, presión según el nivel de referencia y la presión total en dos puntos diferentes de la botella o reservorio) para generar una lluvia uniforme en tiempo y espacio.

B: Soporte ajustable de aluminio para la regadera.

C: Armazón de acrílico para el terreno, es puesto sobre el suelo y previene los movimientos laterales del agua que van del área de prueba a los alrededores de suelo.

**Figura 2: Representación del simulador de lluvia**



**Fuente:** (Monge R & Aguilar J, 2008)

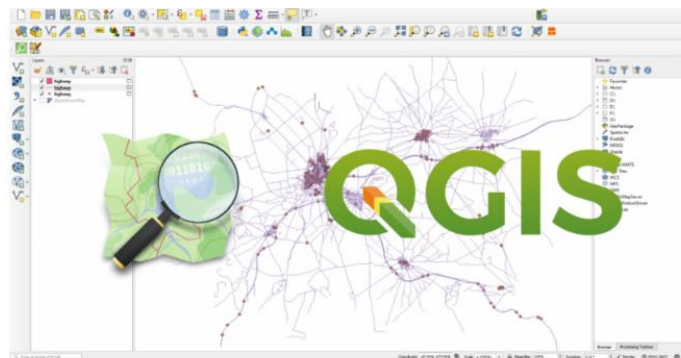
### 5.11. Programa QGIS

QGIS es un sistema de acceso libre, este puede gestionar, editar y analizar datos y diseñar mapas imprimibles. Además, QGIS integra diferentes herramientas que permite una mayor potencia para agilizar el procesamiento de imágenes y dar solución a casi todas las situaciones geoespaciales.

Es una integración organizada de hardware, software y datos geográficos con el fin de capturar, almacenar, manipular y visualizar en todas sus formas la información espacialmente referenciada que permitan caracterizar el espacio geográfico para su estudio o gestión. QGIS permite la creación de mapas con numerosas capas que pueden ser ensambladas bajo diferentes formatos, dependiendo de la aplicación. (Cosentino G & Pennica F, 2015).

Permite la creación de mapas y explorar interactivamente los datos espaciales con una interfaz gráfica de usuario, análisis del terreno, modelos hidrológicos, análisis de redes, entre otros. En la figura 3 se visualiza una representación del programa.

**Figura 3: Representación del programa QGIS**



**Fuente:** (Petrova M, 2020)

## **VI. HIPOTESIS Y VARIABLES**

### **6.1. HIPOTESIS DE INVESTIGACION ( $H_i$ ).**

**$H_i$ :** La actividad agrícola en la FAE-UNI ubicada en las Flores, Masaya provoca tasas de erosión hídrica superficial mayores que 12 Ton/ (ha-año).

### **6.2. HIPOTESIS NULA ( $H_0$ ).**

**$H_0$ :** La actividad agrícola en la FAE-UNI ubicada en las Flores, Masaya no provoca ninguna tasa de erosión hídrica superficial en el suelo.

### **6.3. HIPOTESIS ALTERNATIVA ( $H_a$ ).**

**$H_a$ :** La actividad agrícola en la FAE-UNI ubicada en las Flores, Masaya provoca tasas de erosión hídrica superficial menores que 12 Ton/ (ha-año).



## VII. DISEÑO METODOLOGICO

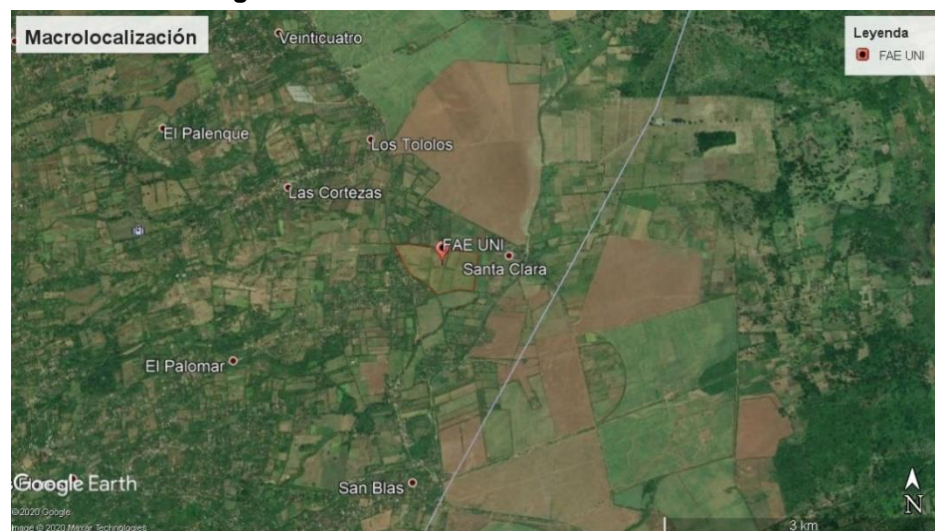
### 7.1. Localización

#### 7.1.1. Macrolocalización

La Finca Experimental Agrícola está ubicado en el departamento de Masaya ubicado en la región Centro - Pacífico de Nicaragua, entre el Lago Xolotlán y el Lago Cocibolca, con 610.78  $Km^2$  de superficie, municipio de las Flores. El departamento de Masaya está situado próximo a la zona geológica No.1.

Limita al norte con la comunidad Tololos, al sur con la comunidad San Blas, al este con la comarca Santa Clara, al noroeste con la comarca las cortezas y al suroeste con la comunidad El Palomar. En la figura 4 se presenta la localización de la FAE.

**Figura 4: Macrolocalización de la FAE-UNI.**



**Fuente:** (Google Earth, 2020)

### 7.1.2. Microlocalización

Está ubicado en el kilómetro 31 de la carretera Masaya, del empalme Las Flores 8 kilómetros al este, sobre el camino de la calle principal que conecta la comarca La Bolsa con la rotonda Las Flores entre las coordenadas N12°00'5.33'' W85°59'90.8''. Ver figura 5.

Figura 5: Microlocalización de la FAE-UNI.



Fuente: (Google Earth, 2020)

## 7.2. Descripción de la zona

### 7.2.1. Descripción fisiográfica

La Comunidad “Santa Clara” está cerca de la “Provincia de la Depresión de Nicaragua, Sub provincia planicies de Tipitapa” que comprende las llanuras de relieve bajo, constituida en la superficie por depósitos sedimentarios reciente. El drenaje superficial escurre hacia el Río Tipitapa, laguna de Tisma y Río Malacatoya para desembocar luego en el lago de Nicaragua. (Cerrato L & Téllez E, 2006)

En esta localidad se aprecian dos estaciones bien marcadas:

- Estación lluviosa, comprendida entre los meses de Mayo a Octubre.

- Estación seca, comprendida entre los meses de Noviembre a Abril.

La topografía se caracteriza por tener un relieve plano a semi plano con un buen drenaje.

### **7.2.2. Condiciones climáticas**

El clima de la zona de estudio está clasificado como tropical sub- húmedo, la fisiografía corresponde a terrenos con alturas menores de 300 msnm, la temperatura promedio en el día es de 31° C, mientras que por la noche es de 24° C. La precipitación media anual de 1100 a 1600 mm con presencia de periodo canicular definido.

### **7.2.3. Uso actual de los suelos FAE**

La finca agrícola experimental de la UNI es utilizada para la realización de prácticas campos de investigaciones para estudiantes de la carrera de ingeniería agrícola y otras instituciones. Existen áreas establecidas con cultivos agrícolas que se pueden apreciar entre ellos: pipián (*Cucúrbita*), plátano (*Musa paradisiaca*) y yuca (*Manihot esculenta*), así como árboles frutales como jocote (*Spondias*) y mango (*Mangifera indica*), existen también cortinas rompevientos de eucalipto (*Eucalyptus camaldulensis*), además posee un área de cubierta de malezas (predominantes gramíneas).

### **7.3. Tipo de estudio y diseño general del estudio**

El tipo de estudio empleado en la presente investigación fue de carácter cuantitativo, con alcance descriptivo, así como observaciones de campo de las diferentes características morfológicas del suelo y factores físicos que compone la Ecuación RUSLE (Ecuación Universal Revisada de pérdida de suelo).

Fue un proceso deductivo porque se partió de la premisa que existió tasas de erosión con niveles permisibles en la zona. Fue de alcance correlacional, ya que se trató de establecer una comparación temporal del actual uso del suelo y compararlo con el uso potencial. Para el diseño experimental se adoptó el modelo cuantitativo de medición directa, para eso se necesitaron los datos obtenidos en

campo y luego fueron enviados al laboratorio. Así mismo el croquis de la finca que sirvió de guía para la realización de la toma de muestras.

Se realizó muestreos del suelo para determinar las propiedades físicas y químicas (materia orgánica) del suelo del área de estudio (Finca Agrícola Experimental) Se determinó la pendiente existente y el uso del suelo actual a fin de realizar mapas temáticos y poder digitalizar la información haciendo uso de QGis. Al final se aplicó la ecuación RUSLE, para obtener datos que se concluyó con un mapa de resultados que indicaran sus amenazas de erosión para la zona de estudio.

#### **7.4. Procedimiento para tratamiento del problema de investigación**

##### **A) Información requerida y mecanismos de recolección de la información**

- Se utilizó la Información pluviográfica suministrada por INETER mediante convenio existente de cooperación. Estos datos fueron utilizados para los cálculos del factor R (erosividad de la lluvia). (Ver Anexo 10)
- Información topográfica: Donde se obtuvo la pendiente mediante el método de medición con cinta.

Con los resultados de la pendiente se realizó un reconocimiento del terreno para determinar el grado de heterogeneidad de la zona, que características varían y en que magnitud.

- Información de propiedades físicas y químicas de los suelos: Se obtuvo mediante muestreo y análisis de laboratorio: Estas propiedades están referidas a la textura, estructura de suelos y materia orgánica entre otras. Las muestras de suelos fueron analizadas en el Laboratorio de edafología de la FTC-UNI, así como también la realización de una calicata.

##### **B) Instrumentos y métodos de procesamiento para la confiabilidad de los datos.**

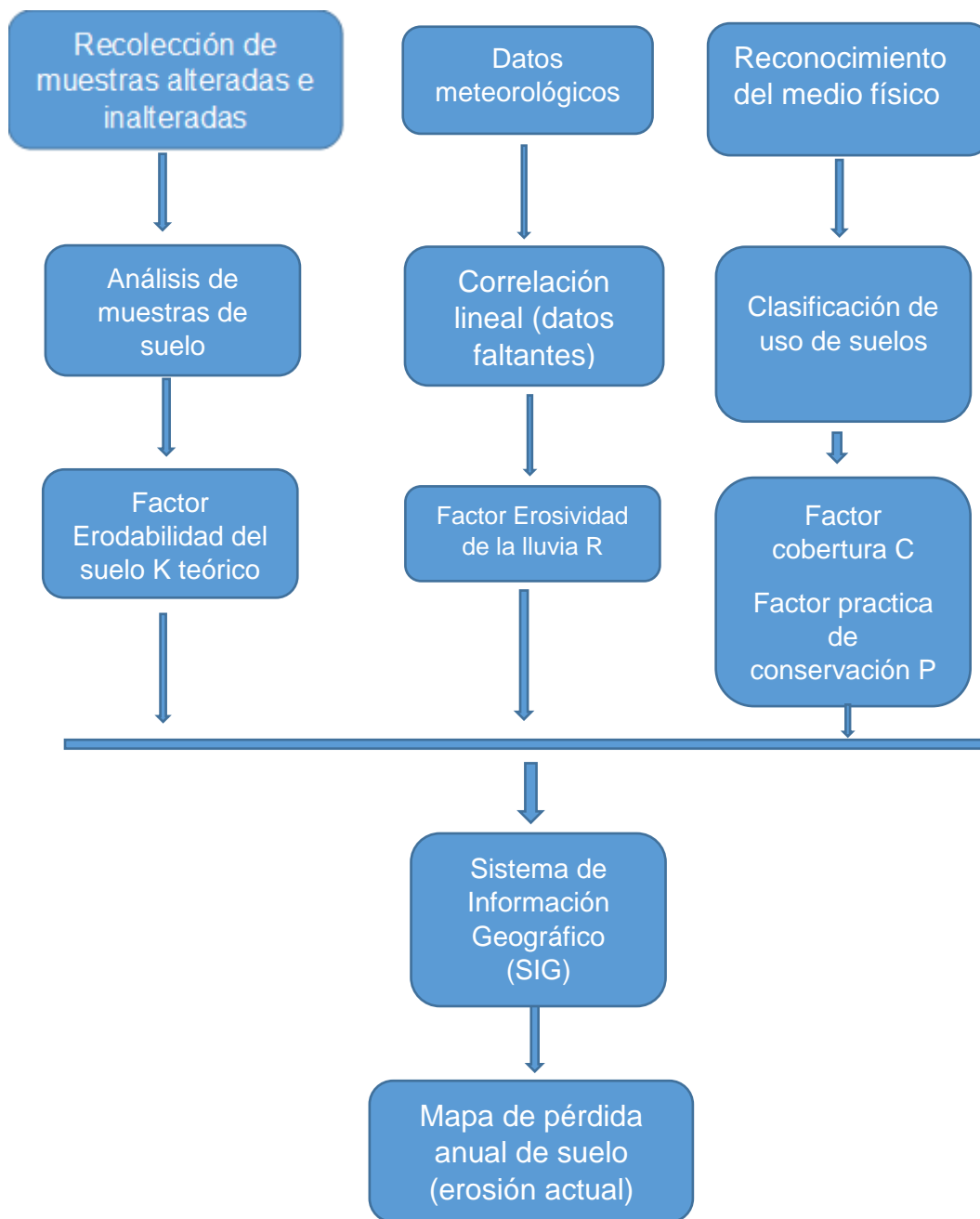
- Equipos de cómputo: Se utilizó el equipo computacional con los softwares de QGis para realizar el mapeo de los suelos y se utilizó el programa Excel para organizar la información pluviométrica.
- Para el levantamiento de datos de campos de las muestras de suelos fue el barreno. Para la excavación de calicatas se utilizaron

implementos agrícolas como pala y piocha; se utilizaron formatos como instrumento guía para realizar la descripción del perfil del suelo.

- Equipo simulador de lluvia: Se hizo uso de este equipo portátil para determinar R (erosividad de la lluvia) y posteriormente calcular el factor K experimental. Este fue instalado en la FAE y se efectuaron dos lecturas de la simulación de lluvia. Se utilizó como referencia la guía de campo realizada por (Rivera C & Alguera E, 2016).

En la figura 6 se representa el diagrama de manera resumida, que detalla la metodología durante todo el proceso para la obtención de las pérdidas de suelo ocasionado por la erosión hídrica, tomando en cuenta la información recopilada y los métodos utilizados para su procesamiento.

**Figura 6: Flujo grama de la metodología de cálculo de la Erosión Hídrica Superficial**



**Fuente:** Elaboración propia.

## **7.5. Determinación de las propiedades físicas y químicas**

### **7.5.1. Muestreo de suelo**

Situados en el área establecida para la realización del estudio se ubicaron los puntos de referencia en el mapa para localizar los sitios de muestreo realizando transectos finalizando con la extracción de seis muestras inalteradas de la superficie del terreno, la cual fue utilizada para determinar la densidad aparente, porcentaje de humedad y porosidad. Ver figura 7.

De igual manera se procedió a tomar una muestra compuesta, la cual estuvo conformada por seis sub muestras extraídas haciendo un corte en “V” en la superficie del suelo tratando de no alterar la topografía natural del terreno (ver figura 8), una vez obtenidas se depositaron en un recipiente donde se mezclaron, esto con el objetivo de homogenizarlas y tener una muestra representativa del sitio. Esta muestra se utilizó para determinar densidad real, textura, capacidad de campo y materia orgánica.

Las herramientas que se utilizaron en la obtención e identificación de las muestras fueron:

#### Muestras inalteradas

- Barreno.
- Cilindro de volumen conocido.
- Pala.
- Bolsas plásticas.
- Marcador.

#### Muestra compuesta

- Pala.
- Recipiente (balde).
- Bolsa plástica.
- Marcador.

**Figura 7: Extracción de muestras inalteradas**



**Fuente:** Elaboración propia

**Figura 8: Extracción de muestras alteradas**



**Fuente:** Elaboración propia

### **7.5.2. Análisis Físicos**

Los análisis de las muestras recolectadas fueron realizados en el Laboratorio de Edafología de la Universidad Nacional de Ingeniería (UNI-RUPAP).

Los siguientes análisis fueron realizados con base en la guía de Prácticas de fundamentos del suelo. Recopilado por (Méndez J & Silverio L, 2011)



**Figura 9: Proceso de Tamización de las muestras.**



**Fuente:** Elaboración propia

- Textura.

Para la obtención de los datos de textura se utilizó el método del Hidrómetro de Bouyoucos, en el cual la densidad de la suspensión es medida por hidrómetro a diferentes tiempos, de acuerdo con la velocidad de caída de las partículas, la que está en relación a su diámetro. Recopilado por (Méndez J & Silverio L, 2011)

Fórmulas para calcular el porcentaje de composición de textura del suelo:

Lectura a los 40 segundos, para obtener el porcentaje de limo más arcilla (% Limo + % Arcilla):

$$LC_{40s} = Li \pm FC \quad (6)$$

$$\%Limo + \%Arcilla = \frac{LC_{40s} - Lb}{Peso\ suelo} * 100 \quad (7)$$

Donde:

LC<sub>40s</sub> = Lectura corregida a los 40 segundos.

Li = Lectura inicial en el hidrómetro a los 40 segundos.

FC = Factor de corrección.

Lb = Lectura en el blanco.

Lectura a las 2 horas ó 5 horas, para obtener el porcentaje de arcilla (%Arcilla):

$$LC_{2h} = L \pm FC \quad (8)$$

$$\%Arcilla = \frac{LC_{2h} - Lb}{Peso\ suelo} * 100 \quad (9)$$

Donde:

LC<sub>2h</sub> = Lectura corregida a las 2 horas.

L = Lectura en el hidrómetro a las 2 horas.

FC = Factor de corrección.

Lb = Lectura en el blanco.

Cálculo para obtener el porcentaje de arena (%Arena):

$$\%Arena = 100 - (\%Limo + \%Arcilla) \quad (10)$$

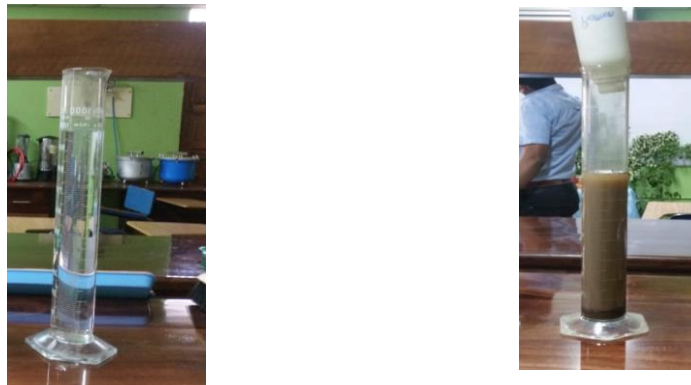
Cálculo para obtener el porcentaje de limo (%Limo):

$$\%Limo = (\%Limo + \%Arcilla) - (\%Arcilla) \quad (11)$$

Las partículas de arcilla tienen una gran área superficial por unidad de volumen y se asientan lentamente, mientras que las partículas de arena se asientan rápidamente debido a su baja superficie específica. Ver figura 10

Una vez obtenidos los porcentajes de arena, limo y arcilla se ubican en el triángulo textural (Ver anexo 1) para la determinación de la textura del suelo.

**Figura 10: Método del Hidrómetro de Bouyoucos**



**Fuente:** Elaboración propia.

- Densidad Real. (gr/cm<sup>3</sup>).

En la determinación de la densidad real lo más importante es obtener con precisión el volumen de los sólidos del suelo sobre la base de la extracción del aire, del suelo al vacío o mediante ebullición, su determinación se logró aplicando el principio de Arquímedes. A continuación, se muestra la fórmula utilizada:

$$D_r = \frac{d_1 \times d_3 \times P_s}{d_3(P_1 - P_p) - d_1(P_3 - P_s - P_p)} \quad (12)$$

**Donde:**

$D_r$  = Densidad real (gr/cm<sup>3</sup>)

$d_1$  = densidad del agua a la T<sub>1</sub>, en grados °C.

$d_3$  = densidad del agua a la T<sub>3</sub>, en grados °C.

$P_1$  = Peso del picnómetro más agua (gr).

$P_p$  = Peso del picnómetro vacío (gr).

$P_3$  = Peso del conjunto agua más suelo más picnómetro (gr).

$P_s$  = Peso del suelo (gr).

En la figura 11 se encuentran las muestras en el desecador.

**Figura 11: Densidad real en el laboratorio.**



**Fuente:** Elaboración propia.

- Densidad Aparente (gr/cm<sup>3</sup>).

En la densidad aparente se utilizó el método del cilindro, en el cual se extrajo en campo las muestras por medio de un cilindro de dimensiones conocidas, realizándose un total de seis muestras inalteradas, para su desarrollo se utilizaron las siguientes formulas:

1. Volumen del cilindro:

$$\pi \times R^2 \times H \quad (13)$$

2. Formula de Da:

$$\frac{PSS}{Vt} \quad (14)$$

Donde:

PSS: Es el peso de suelo seco.

Vt: Es el volumen total.

Ver análisis e interpretación de resultados, tabla 2. En la figura 12 se aprecia el proceso de pesado de las muestras de suelo para el posterior análisis de la densidad aparente.

**Figura 12: Densidad aparente, peso de las muestras.**



**Fuente:** Elaboración propia.

- Capacidad de campo.

La capacidad de campo, se determinó mediante el método del embudo con papel filtro, donde se colocó una cantidad aleatoria de suelo y luego se humedeció hasta llevar a saturación, como se muestra en la figura 13 para después dejarla por 24 hr y por último pasado este tiempo la muestra de suelo se llevó al horno a una temperatura de 105 Celsius. Una vez que haya transcurrido este tiempo se aplicó la fórmula:

$$\%Cc = \frac{(Psht - Psst)}{(Psst - Pt)} \times 100 \quad (15)$$

Donde:

%Cc: porcentaje de capacidad de campo.

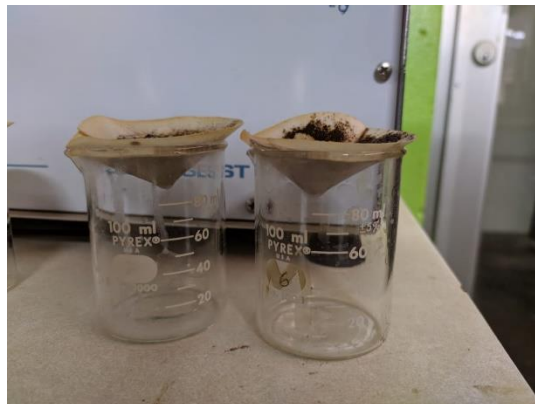
Psht: peso del suelo húmedo más tara.

Psst: peso del suelo seco más tara.

Psst: peso del suelo seco más tara.

Pt: peso de la tara.

**Figura 13: Capacidad de campo, saturando el suelo**



**Fuente:** Elaboración propia.

- Porcentaje de porosidad

Para determinar el porcentaje de porosidad se utilizó la densidad aparente y real.

Formula a utilizarse:

$$Pt: \left(1 - \frac{Da}{Dr}\right) \times 100 \quad (16)$$

- Humedad (%).

Para determinar la humedad del suelo se realizó por medio de la diferencia de peso de una muestra húmeda en una estufa a 105 °C durante 8 horas.

Aplicándose la fórmula:

$$\%H: \frac{Psh+t - Pss+t}{Pss+t - Pt} \times 100 \quad (17)$$

### 7.5.3. Análisis Químicos

El análisis de la propiedad química del suelo, como es la materia orgánica, se llevó a cabo en el laboratorio de Edafología ubicado en la Universidad Nacional de Ingeniería RUPAP, basados en la guía de práctica de laboratorio de edafología Recopilado por: (Padilla E, 2019).

- Materia orgánica (%).

El procedimiento consiste en obtener el resultado de carbono orgánico por medio de la fórmula Walkley – Black, utilizando los datos obtenidos de la prueba de laboratorio (ver figura 14), la fórmula utilizada es la siguiente:

$$C \text{ orgánico (\%)}: \frac{(10 \times (1 - (\text{ml } Fe_2SO_4 \text{ muestra} / \text{ml } Fe_2SO_4 \text{ BLANCO}))) \times (0.003)}{\text{Peso de muestra (g)}} \quad (18)$$

Luego, una vez obtenido el porcentaje de carbono orgánico se aplica la siguiente fórmula para obtener el porcentaje de materia orgánica:

$$\% \text{ MO: } 1.724 \times \% \text{ CO} \quad (19)$$

**Figura 14: Realización de prueba de M.O**



**Fuente:** Elaboración propia.

### **7.6. Morfología del perfil del suelo**

Para determinar la morfología y clasificación del suelo, se utilizó la técnica de la calicata, excavación que facilita la observación del perfil y permite tomar muestras de suelo para analizar la composición y naturaleza del suelo. Se perforo la calicata en las mismas coordenadas X: 608747.3 Y: 1328154.94, utilizadas en el estudio de (Cerrato L & Téllez E, 2006), a fin de verificar la información morfológica de los suelos de la finca.

Las dimensiones de la calicata fueron 100 cm de alto por 100 cm de ancho, cual se orientó de tal forma que el perfil quedara uniformemente iluminado para facilitar la descripción de los horizontes del suelo.

Las herramientas que se utilizaron en la excavación del perfil fueron:

- pala.
- palin.

- cuchillo edafológico.
- cinta métrica.

Al momento de realizar el perfil se dividió para su descripción en dos aspectos:

- 1) Información acerca del sitio de la muestra.
- 2) Descripción de los horizontes del suelo.

En la información del sitio se tomó en cuenta las características siguientes, orientados por la guía de fundamentos. Recopilado por (Méndez J & Silverio L, 2011):

- Número del perfil.
- Fecha de la observación.
- Ubicación del Perfil.
- Ubicación geográfica.
- Serie.
- Uso de la tierra.
- Pendiente del Perfil.
- Clima.
- Vegetación.

La descripción del perfil se inició con la demarcación de los límites de los horizontes del suelo y en cada horizonte se describieron cuidadosamente sus características:

- Profundidad y espesor de la parte superior e inferior del horizonte (cm).
- Símbolo del horizonte.
- Color. (Tabla de colores de suelos Munsell)
- Manchas de color.
- Textura.
- Estructura (grado, clase y tipo).
- Porosidad.



- Contenido de raíces.
- Límite.
- Capas endurecidas.
- Consistencia.
- Drenaje.
- Presencia de grava.

## **7.7. Clasificación de los suelos**

### **7.7.1. Clasificación taxonómica**

Lo suelos de la FAE están comprendido dentro de la Clasificación USDA como Humic Durustands (confirmado por la Dra. Orozco M, 2021).

Ubicación del perfil: De la segunda entrada de la finca 80 m al este 40 m al norte.

Ubicación geográfica: (UTM): X: 608747.3 Y: 1328154.94

Serie: Zambrano (Espinales E. CATASTRO, 1971)

Uso de la tierra: Barbecho

Pendiente del Perfil: 0 – 1 %

Clima: Tropical sub- húmedo

Drenaje: Bien drenado

Condición del perfil: Húmedo

Evidencias de erosión: Ligero

### **7.7.2. Tipo de suelo a nivel de orden**

Lo suelos de la FAE, pertenecen al orden Molisoles. Estos se caracterizan por ser suelos minerales con estado de desarrollo incipiente, joven o maduro. Con un horizonte superficial (epipedon mollico) de color oscuro rico en humus, bien estructurado suave en seco y subsuelo de acumulación de arcilla aluvial (un horizonte argílico o un horizonte cámbico cargado de arcilla) de poco profundo a muy profundo, fertilidad de baja a alta, desarrollados de depósitos aluviales y

lacustres sedimentados de origen volcánico, rocas básicas, acidas metamórficas, sedimentarias y piroplásticas. Por sus características son de los mejores suelos para las actividades agropecuarias. referida por (Betancourt L & Calderón M, 2013)

### **7.7.3. Tipo de suelo a nivel de serie**

Según (Cerrato L & Téllez E, 2006) basados en el estudio de (Espinales E. CATASTRO, 1971), estos suelos pertenecen a la serie Zambrano, que consisten en suelos profundos a moderadamente superficial, desarrollado por cenizas volcánicas que descansa sobre arcilla, toba parcialmente meteorizada o arena y escoria cementada.

Caracterizados por tener:

- Permeabilidad alta a moderada.
- Buena disponibilidad de humedad.
- Profundidad radicular moderada a moderadamente alta.
- Suelos con alta fertilidad natural, (macro y micro nutrientes)
- Alta capacidad de intercambio catiónico y saturación de base (mayor del 50 %).

## **7.8. Factor K teórico y experimental de los suelos de la FAE**

### **7.8.1. Factor K (teórico) por el método del nomograma**

K expresa la resistencia del suelo en superficie y tiempo respecto a la energía de la lluvia. Es decir, que la erodabilidad del suelo se usa para indicar la susceptibilidad de un suelo a la erosión. Para su estimación se utilizó el nomograma de (Wischmeier & Smith, 1978) (K teórico) que considera el porcentaje de limo, arena, arcilla y materia orgánica obtenida del análisis realizado en el laboratorio de edafología de la UNI. También se utilizó la clase de permeabilidad, ésta se define en función de la textura del suelo, el código para permeabilidad del perfil del suelo se obtuvo mediante el National Soils Survey Handbook No. 430 (USDA, 1983) (Ver anexo 8)

La estructura del suelo se determinó mediante una calicata realizada en las coordenadas X: 608747.3 Y: 1328154.94, para luego hacer énfasis en la estructura obtenida por medio del código de estructura del suelo mostrado en anexo (Ver anexo 7)

Una vez obtenido estos valores se ubican en el nomograma dando como resultado el factor K en unidades inglesas, por lo que posterior a su selección se divide entre 7.59 (Blanco M, 2019) que es un factor de conversión, para llevarlo a unidades del sistema internacional. En el presente estudio se calculó un solo valor de k para toda la finca agrícola experimental por lo que el k en cada polígono es el mismo.

Pasos en el nomograma para su lectura:

- Para encontrar los valores en el nomograma, se inició la lectura de izquierda a derecha iniciando en la gráfica (a) y terminando en la gráfica (b). En primer lugar, se ubicó el valor del porcentaje de textura de partículas de 0.002-0.10mm resultando (95.6) en el eje Y (ordenada) de la gráfica (a), trazando una línea en el sentido antes explicado e interceptando la zona correspondiente al porcentaje de arena (4.4), siguiendo con el proceso se trazó una línea hacia arriba interceptando la zona correspondiente al porcentaje de M.O (4.27) para luego trazar una línea directamente a la gráfica (b) interceptando la zona correspondiente a la estructura del suelo (2) (Ver anexo 7) , luego se trazó una línea hacia abajo interceptando la zona correspondiente a la permeabilidad (3) (Ver anexo 8). Para finalizar se trazó una línea hacia la izquierda interceptando el eje Y, y dando como resultado el valor K inglés (0.44).

### **7.8.2. Factor K experimental**

Los valores obtenidos del factor K expresan la vulnerabilidad que tiene el suelo para ser desprendido por el agente erosivo, refiriéndose a la erosión hídrica superficial. Esta propiedad está relacionada con el efecto integrado de la lluvia, escurrimiento e infiltración.

Del ensayo con el simulador de lluvia mediante previos aforos, se obtuvo el volumen aplicado y recolectado, así como los sedimentos húmedos, ver anexo 25. En el laboratorio se pesaron los sedimentos húmedos para ingresarlos en el horno por 24 horas, obteniendo así el peso de estos en seco, la suma de ambos pesos son los sedimentos totales erosionados en gramos.

El volumen de agua aplicado se obtuvo en litros, mientras que el volumen recolectado en mililitros, realizando la conversión de estas unidades a metros y milímetros respectivamente, el tiempo de ensayo se tomó en minutos y se convirtió a horas, los sedimentos totales a toneladas y el área de ensayo a hectáreas.

### 7.8.3. Intensidad de la lluvia

Una vez que se obtuvieron los datos del ensayo de la simulación de lluvia en las unidades requeridas se procedió al cálculo de la intensidad de lluvia aplicada y de la infiltración. A continuación, se presenta la fórmula de la intensidad de lluvia.

$$I = \frac{h_{sim}}{t_{apli}} \quad (20)$$

Donde

I: Intensidad de lluvia aplicada ( $\frac{\text{mm}}{\text{hr}}$ )

$h_{sim}$  = Altura de lluvia aplicada (mm)

$t_{apli}$  =Tiempo de ensayo (hr)

Por último, la infiltración se obtuvo restando el volumen de lluvia aplicado al volumen recolectado.

Los parámetros utilizados para la determinación del Factor K experimental, fue mediante IK, utilizado por (Murillo G, 1990), la ecuación se detalla a continuación:

$$IK = \frac{A}{R.L.S} \quad (21)$$

Donde:

Ik: Índice k experimental ( $Ton/ha$ ) / ( $MJ/ha - mm/hr$ )

A: Erosión ( $ton/ha$ )

R: Erosividad de la lluvia ( $MJ/ha - mm/hr$ )

L: Factor de la longitud de la pendiente

S: Factor de la pendiente

A continuación, se muestran las ecuaciones utilizadas para cada uno de los parámetros utilizados para calcular IK:

Para Calcular A= Perdidas de suelo

$$\bullet A = \frac{gt}{A_{ensayo}} \quad (22)$$

Donde:

gt = Sedimentos totales erosionados (ton)

$A_{ensayo}$  = Área del ensayo (ha)

Para calcular R= Erosividad de la lluvia

$$\bullet R = E * I_{30} \quad (23)$$

Donde:

$$E = e * h \quad (24)$$

$e = 0.1189 + 0.0873 \log_{10}(I)$  válida para  $I \leq 75 \frac{mm}{h}$ , cuando  $I > 75 \frac{mm}{h}$

$h e = 0.283$

$h$  = Altura de la lluvia aplicada

$I_{30}$  = Intensidad de la lluvia aplicada

El factor de longitud de la pendiente de (Foster et al, 1977) mostrada a continuación:

$$L = \left( \frac{\lambda}{22.13} \right)^m \quad (25)$$

Donde:

$L$  = factor longitud de la pendiente, adimensional.

$\lambda$  = longitud del área en estudio (m)

$m$  = exponente, al simular una pendiente de 3%, se utilizó un  $m=0.4$ , dato mostrado en la tabla 2

$$S = 10.8 \text{ Sen } \theta + 0.03 \quad (26)$$

Donde:

$S$  = factor inclinación de la pendiente adimensional

$\theta$  = Angulo de la pendiente del suelo en grados

Factor  $K$  utilizada por (Murillo G, 1990, págs. 31-32)

$$K = 200.6 IK - 0.038 \quad (27)$$

## **7.9. Estimación de la erosión hídrica en el uso actual**

Para la estimación de la erosión hídrica en el uso actual de los suelos en la Finca Agrícola Experimental se utilizó la Ecuación Universal de Perdidas de Suelos (RUSLE) modificada, unos de los métodos más usados.

### **7.9.1. Elaboración de polígonos en la zona de estudio**

Para facilitar la identificación de las áreas del uso actual de la finca, se elaboraron 17 polígonos con uso del GPS y QGIS, a fin de ubicar cada categoría de uso del suelo y calcular los factores de la RUSLE (Factor  $LS$ ,  $C$  y  $P$ ).

### **7.9.2. La ecuación del RUSLE**

La ecuación del RUSLE fue un método modificado por (Renard et al, 1997) del Departamento de Agricultura de EUA, llamándose Ecuación Universal Revisada de Perdida de Suelos.

Se optó por utilizar este método ya que fue desarrollada para superar algunas limitaciones de la ecuación USLE y está formado por los siguientes factores:

Donde:

A = pérdida promedio de suelo en el período seleccionado para R (anual) en Ton/(ha-año)

R = factor erosividad de la lluvia (MJ-mm/(ha-h-año))

K = factor erodabilidad del suelo (Ton-ha-h/(ha-MJ-mm))

L = factor longitud de la pendiente (adimensional)

S = factor inclinación de la pendiente (adimensional)

C = factor cobertura del suelo (adimensional)

P = factor de prácticas de conservación de suelos (adimensional)

### **7.9.3. Factor erosividad de la lluvia R**

Para calcular el factor R, se recopilaron datos de precipitación mensual de las estaciones meteorológicas de INETER ubicadas en Masaya, Granada y Panaloya, las últimas dos se utilizaron por su cercanía a la zona en estudio. (Ver anexo 10) Las estaciones de Granada y Panaloya no cuentan con registros de precipitación completa, por lo que se procedió a completarlos mediante la ecuación correlación lineal. Esta ecuación mencionada se obtuvo realizando una gráfica con los datos de precipitación mensual de las estaciones de los diez años en estudio, para esta grafica se agruparon los datos de la estación de Masaya-Granada, Masaya-Panaloya, ya que la estación de Masaya es la única que cuenta con los datos de precipitación anual de los diez años. (Ver anexo 11 y 12).

Resultando:

$$\text{Masaya-Granada: } y = 0.8501x + 27.539 \dots(28)$$

$$R^2 = 0.7275$$

$$\text{Masaya-Panaloya: } y = 0.6643x - 2.9666 \dots(29)$$

$$R^2 = 0.7476$$

Siendo X el valor correspondiente para cada precipitación mensual de la estación de Masaya y  $R^2$  que indica el nivel de confianza del uso de estas ecuaciones, esto refiere a que  $R^2$  sea aceptable sí se encuentra dentro del rango de 0.5-1, preferiblemente que sea más cerca de 1.

Una vez completadas las estaciones se procedió a calcular el índice modificado de Fournier (IMF) para cada una de las estaciones, con la siguiente ecuación:

$$IMF = \sum_{i=1}^{i=12} \frac{p_i^2}{P} \quad (5)$$

Esta fórmula fue explicada anteriormente en el acápite 5.9.1, en Factores de erosión. Posteriormente se aplicó el índice modificado de Fournier (IMF) para los diez años en estudio.

Finalmente, para el cálculo de R de las tres estaciones meteorológica se utilizó la ecuación  $R=29.81IMF-375.9$  (30) referida por (Blanco M, 2019), realizándose un promedio total para cada estación y por último se promedió el R de las tres estaciones.

#### **7.9.4. Factor longitud de la pendiente L**

En su principio el método RUSLE se desarrolló en una parcela demostrativa de 22.1 m y 9 % de pendiente, razón por la cual este factor intenta “rectificar su valor” para los suelos con diferentes longitudes y pendientes. El valor de L es adimensional.



Una vez realizadas las visitas de campo a la finca, usando el software QGIS se trazaron diferentes polígonos para cada área y cultivos de la finca, esto con el fin de obtener la longitud los polígonos necesarios para el cálculo de L.

La ecuación del cálculo del factor longitud de pendiente es:

$$L = \left(\frac{\lambda}{22.13}\right)^m \quad (25)$$

Donde:

$\lambda$ = longitud de la pendiente del tramo en estudio (m)

L = factor longitud de la pendiente, adimensional.

m = exponente que refleja la relación entre la pérdida de suelo y el gradiente de la pendiente, este valor ya está indicado en tablas elaboradas en (INETER & COSUDE, 2005). (Ver tabla 2).

**Tabla 2:** Valores del exponente (m) según la pendiente del suelo.

Exponente (m)	Pendiente del suelo en %
0.2	< 1
0.3	1- 3
0.4	3- 5
0.5	5- 10
0.6	10-50

**Fuente:** (INETER & COSUDE, 2005).

### 7.9.5. Factor inclinación de la pendiente S

Para calcular el factor S se trazaron polígonos en la finca, los que resultaron ser pequeños en comparación a otras áreas estudiadas, como son las cuencas e incluso microcuencas, en este caso no fue necesario generar la capa ráster del DEM generada en QGIS, la cual permite obtener información espacial del área de estudio.

En cambio, se utilizaron las siguientes formulas, dependiendo del porcentaje de pendiente de cada polígono:

$$S = 10.8 \text{ Sen } \theta + 0.03 \quad p < 9\% \quad (26)$$

$$S = 16.8 \text{ Sen } \theta + 0.50 \quad p \geq 9\% \quad (31)$$

Donde:

S= factor inclinación de la pendiente (adimensional)

$\Theta$ = ángulo de la pendiente del suelo (grados)

p= pendiente del suelo (%)

#### **7.9.6. Factor Cobertura vegetal del suelo C**

Al no existir valores de C universalmente válidos por la gran variedad de cultivos, secuencias, rotaciones de cultivos y manejos, primeramente, se determinó el uso actual del suelo de cada polígono y según el tipo de cobertura vegetal existente se asignaron los distintos valores del factor vegetación, utilizando valores ya establecidas por diversas fuentes, donde presentan el valor de C en función del tipo de cultivo. (Ver Anexo 14)

#### **7.9.7. Factor prácticas de conservación P**

Debido a que en la finca agrícola experimental no se han realizado prácticas de conservación de suelos al momento de establecer los cultivos agrícolas ni posterior a ellos, se asumió un valor de (P=1). (Ver anexo 15)

## **VIII. ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS**

A continuación, se presentan los análisis del resultado obtenido de las propiedades físicas y químicas y de la clasificación de los suelos.

### **8.1. Determinación de las propiedades físicas y químicas**

Para la determinación de estas propiedades se seleccionó las diferentes áreas cultivadas actualmente. El suelo presenta una condición porosa alta, favorable para el crecimiento de las raíces, buena aireación y una infiltración alta del agua (función hidrología del suelo). Tomando en cuenta los tamaños de partículas de suelo, al palparlo se siente una superficie áspera y al apretarlo entre los dedos es pegajoso, granuloso y mancha los dedos (para suelos franco arcillosos limosos).

#### **8.1.1. Densidad aparente**

Del análisis de los suelos realizado en el Laboratorio de Edafología la FTC/UNI, se obtuvieron resultados para las siguientes muestras N°4, R.L, B, SRS, B3 y B1 valores de densidad aparente de 0.76, 0.75, 0.88, 0.78, 0.98 y 0.76 respectivamente, siendo los productos de los cálculos mostrados en anexo 19.

Como se puede apreciar cuatro muestras presentan valores entre 0.75 – 0.78 mientras que los demás valores son 0.88 y 0.98, representa una densidad aparente semi constante, estos valores al ser menor que 1 son clasificados como muy bajo (Ver anexo 3), lo que indica que son suelos porosos, bien aireados y con buen drenaje. Esta propiedad está relacionada a las prácticas de manejo de los suelos y de las aguas. En este sentido el bajo valor de la Da se traduce que no habrá mucha compactación en el suelo y limitará el escurrimiento superficial favoreciendo la infiltración del agua.

Mientras que en los resultados de (Rivera C & Alguera E, 2016) obtuvieron una densidad aparente de 1.066 (baja), lo cual indica que, en ese periodo, hubo variación en la densidad aparente, debido a los efectos de labranzas que se han realizado a través del tiempo hasta la actualidad, sumado a la presencia de cubierta vegetal que cubre en la mayor parte del área ha influido en los valores de la densidad aparente.

En el estudio realizado por (Cerrato L & Téllez E, 2006), la densidad aparente obtenida fue de  $1.11 \text{ gr/cm}^3$  la mayor y la menor de  $0.8 \text{ gr/cm}^3$ , en comparación al presente estudio que resultaron con rangos más bajo. Se asume una estrecha relación la presencia de cubierta vegetal en la mayoría del tiempo, haciendo que las labores agrícolas no impacten de manera negativa en la calidad del suelo, disminuyendo así el riesgo a erosionarse.

### **8.1.2. Densidad real**

La densidad real obtenida fue  $2.14 (\frac{\text{gr}}{\text{cm}^3})$ , considerada como baja, según la tabla de clasificación de la guía del laboratorio de Fundamentos de Suelos (Ver anexo 2), Los cálculos se muestran en el anexo 18. El valor de esta propiedad en parte, es debido a que las arcillas minerales contienen o están revestidas por finas capas con óxido de hierro y aluminio (Cairo P, 1995).

La densidad real baja se refiere al peso específico bajo influenciada por la arcilla. Esta propiedad ( $D_r$ ) es considerada una de las propiedades más estables del suelo y normalmente no se ve afectada por el manejo establecido.

El estudio realizado por (Rivera C & Alguera E, 2016) obtuvieron un resultado  $1.329 (\frac{\text{gr}}{\text{cm}^3})$ , rango que se ubica en una categoría baja, por lo tanto, ambos estudios reflejan la estabilidad de esta propiedad.

De igual manera, en el estudio de (Cerrato L & Téllez E, 2006) obtuvieron como resultado una densidad real de  $1.73 (\frac{\text{gr}}{\text{cm}^3})$  siendo el mayor y como menor resultado  $1 (\frac{\text{gr}}{\text{cm}^3})$  estos resultados a Igual que los demás estudios antes mencionados siguen estando dentro del rango bajo.

### **8.1.3. Humedad**

Los resultados de la humedad en la FAE corresponden a 16.08%, 12.59%, 13.81%, 9.36%, 12.07% y 15.25%, estos valores presentan similitud, indican que del 100% de la muestra del suelo resultaron estos porcentajes, dichos valores reflejan que las condiciones de humedad no inciden directamente en el proceso

de erosión hídrica en mayor grado, ya que el agua presente en el suelo que separa las partículas ejerce una fuerza de cohesión entre ellas.

Para haber encontrado estos valores se realizaron ciertos cálculos que se pueden apreciar en anexo 22.

#### **8.1.4. Textura**

Los análisis de laboratorio indican que estos suelos, presentan textura franco arcilloso limosa presentando un 32% de arcilla, 63.12% de limo y un 4.4% de arena, con estructura granular compuesta y permeabilidad moderada, presentando su desarrollo en anexo .17.

De estos tres agregados, en los estudios de erosión hídrica el porcentaje de arcilla es el de mayor relevancia, ya que indica que sí el volumen de agua de lluvia sea mayor a la infiltración se convertirá en agua de escorrentía.

La escorrentía puede aumentar o disminuir en función de ciertos parámetros del suelo como lo son: permeabilidad, cubierta vegetal y pendiente de la superficie, el coeficiente de escorrentía será mayor al aumentar la impermeabilidad del suelo. Así las regiones susceptibles a la erosión por escorrentía serán aquellas que presenten suelos arcillosos (baja permeabilidad).

Si bien, los suelos de la FAE no presentan relieves con mayores pendientes y la cobertura vegetal existente protege de cierta forma a los suelos del impacto de las gotas de lluvia, el porcentaje de arcilla es relativamente alto con un 32% lo que refleja que es un suelo impermeable, con riesgos a la erosión hídrica, por tanto, se deberán de mantener con cubierta vegetal todo el tiempo con diferentes arreglos espaciales como son las practicas agronómicas.

#### **8.1.5. Porosidad**

Los resultados obtenidos por medio de los cálculos presentados en anexo 21 las porosidades fueron 64.35, 64.92, 58.74, 63.74, 54.19, 64.35. Como puede apreciarse cinco de los seis resultados obtenidos son mayores a 55, indicando que hay un alto grado de porosidad en estos suelos, mientras que el porcentaje

54.19 se encuentra en un rango mediano, por tanto, la porosidad es intermedia. (Ver anexo 5)

#### **8.1.6. Capacidad de campo**

La capacidad de retener agua en el suelo es medida a través de la capacidad de campo (CC), es decir, la cantidad de agua el suelo es capaz de retener luego de ser saturado y dejado drenar libremente evitando evapotranspiración y hasta que el potencial hídrico se estabilice posterior a las 24 a 48 horas de la lluvia o riego.

En el estudio los valores obtenidos fueron 26.42% por medio de los cálculos mostrados en anexo 20. Esto indica que existe una moderada capacidad de retención de agua, lo que significa que hay agua en el suelo drenado disponible para las plantas evitando la desecación severa de los suelos (Ver anexo 4)

#### **8.1.7. Materia orgánica**

El valor obtenido de materia orgánica fue de 4.27 %, clasificándose como alto (Ver anexo 6). Esta clasificación indica que gracias a la materia orgánica los suelos de la FAE-UNI tienen una moderada capacidad de absorción y retención de agua, teniendo relación los valores de capacidad de campo obtenidos. Para haber obtenido este resultado se realizaron los cálculos mostrados en anexo 23.

(Cerrato L & Téllez E, 2006), realizaron un estudio edafológico en la FAE, resultando que los perfiles presentan porcentajes altos de materia orgánica, al compararlos con los datos del estudio presente, los porcentajes de la materia orgánica fueron altos desde 1.86% hasta 6.8%, indicando que en el tiempo, la materia orgánica mantiene el mismo comportamiento, es decir, que la influencia del uso y la presencia de barbechos en los suelos de la finca permite que ese porcentaje de materia orgánica se mantenga, ventajas que permite predecir que si se mantiene con cubierta vegetal, las pérdidas de suelos por erosión hídrica estarán dentro de los niveles permisibles.

En la tabla 3 se muestran los resultados de las propiedades de suelo obtenidos en el Laboratorio de Edafología.

**Tabla 3.** Resumen de los resultados de las propiedades de suelo en la FAE-UNI.

<b>Propiedades</b>	<b>Resultados</b>		<b>Clasificación</b>
	N°4	0.76	Muy baja
<b>Da (gr/cm<sup>3</sup>)</b>	R.L	0.75	Muy baja
	B	0.88	Muy baja
	SRS	0.78	Muy baja
	B3	0.98	Muy baja
	B1	0.76	Muy baja
<b>Dr (gr/cm<sup>3</sup>)</b>	N° 6	2.14	Baja
	N°4	16.08	AGR
<b>Humedad (%)</b>	R.L	12.59	AGR
	B	13.81	AGR
	SRS	9.36	AGR
	B3	12.07	AGR
	B1	15.25	AGR
		Arcilla: 32.48%	
<b>Textura</b>		Limo: 63.12%	Franco arcillosa limosa
	S.NO1	Arena: 4.4%	
		64.35	Alta
	64.92	Alta	
<b>Porosidad (%)</b>	58.74	Alta	
	63.74	Alta	
	54.19	Mediana	
	64.35	Alta	
<b>C.C (%)</b>	N° 6	26.42	Mediana
<b>M.O (%)</b>		4.27	Alto

**Fuente:** Elaboración propia

Agua gravitacional retenida (AGR) por el suelo durante la infiltración de las lluvias que puede ser absorbida por las raíces o puede estar retenida tan energéticamente que no es absorbible por las raíces.

### 8.2. Descripción morfológica del perfil del suelo

En la tabla 4, en base a la descripción de la calicata se muestra la información de los resultados del perfil de suelo de la finca experimental agrícola UNI, que presenta un color pardo en los primeros 18 cm con estructura angular que no están unidos fuertemente, así como no presentan moteados y su consistencia es ligeramente dura. El resto de los horizontes presentan un color pardo amarillento oscuro a pardo amarillento. En la figura 15 se muestra el procedimiento para la lectura del perfil, en la figura 16 y 17 se observa la toma de las diferentes muestras de suelo.

Se destaca la presencia de una capa de “talpetate”, un horizonte endurecido material llamado “toba” compuesto de cenizas volcánicas finas, ésta es una de las características típica de los Humic Durustands; así como la presencia de al menos tres 10 YR en su perfil.

**Tabla 4:** Descripción del perfil del suelo:

Horizontes	Profundidad	Descripción de las características
AP	0-18	Presenta un color pardo (10YR 5/3), con estructura angular estos no están unidos fuertemente, no posee presencia de moteados y su consistencia es ligeramente dura.
A	18-47	Color pardo amarillento oscuro (10YR 3/4), dura y estructura angular, su espesor es de 29 centímetros.
Talpetate	47-50	Es una capa fina denominada talpetate que se encuentra en la transición entre la capa A y B.
B	50-90	Con un color pardo amarillento (10YR 5/4), su estructura es en forma de rombo y posee una consistencia ligeramente dura.

**Fuente:** Elaboración Propia.



**Figura 15: Lectura de perfil de suelo.**



**Fuente:** Elaboración propia.

**Figura 16: Perfil de suelo**



**Fuente:** Elaboración propia.

**Figura 17: Muestras de suelo de los diferentes horizontes**



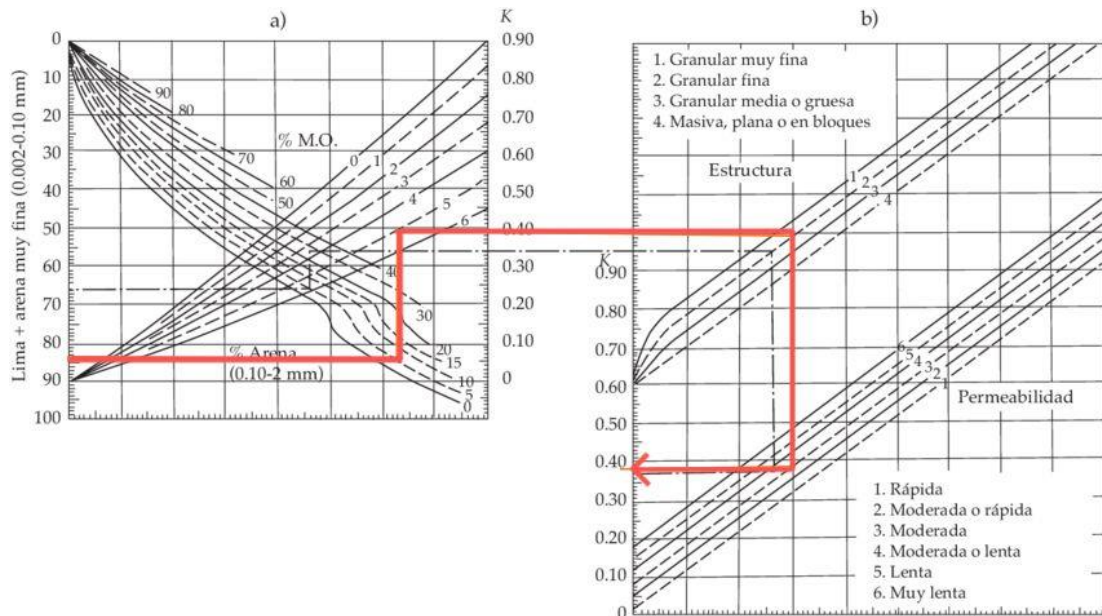
**Fuente:** Elaboración propia.

### **8.3. Factor k teórico y experimental de la FAE**

#### **8.3.1. K teórico**

En la figura 18, se muestra el resultado del factor K teórico mediante el uso del nomograma en unidades inglesas.

**Figura 18: Resultado del nomograma**



Fuente: Elaboración propia.

- Una vez obtenido los datos en el nomograma, se encontró K en unidades del SI (Sistema Internacional) siendo su unidad de medida (Ton/ha-año)/(MJ-mm/ha-h), para esto se dividió el valor del K ingles 0.44 por el factor de conversión 7.59 (Blanco M, 2019), obteniendo un resultado del k teórico o K de gráfico: 0.06.

**Tabla 5: Resultado de K.**

Resultado	
Factor K	0.06

Fuente: Elaboración propia.

El valor obtenido del k teórico por medio del nomograma se llegó a la conclusión que el resultado 0.06 se encuentra en un rango bajo y clasificado como resistente al desprendimiento según la tabla de equivalencia de K. (Ver anexo 9).

### 8.3.2. K experimental

El k experimental encontrado en la FAE mediante la prueba con el simulador de lluvia, así como los factores necesarios para su cálculo se presentan en el siguiente cuadro resumen:

**Tabla 6:** Factores para encontrar K (erodabilidad) experimental

<b>Factor</b>	<b>Unidad</b>	<b>Valor</b>
<b>A</b>	Ton/ha	9
<b>R</b>	(MJ/ha-mm/hr)	287564
<b>L</b>	Adimensional	0.205
<b>S</b>	Adimensional	0.354
<b>I</b>	mm/hr	3810
<b>E</b>	MJ/ha	75.48
<b>E</b>	(MJ/(ha-mm))	0.283
<b>H</b>	Mm	266.7
<b>Gt</b>	Ton	0.00016
<b>IK</b>	(Ton/ha) / (MJ/ha - mm/h)	4.32050E- 04
<b>K</b>	(Ton/ha) / (MJ/ha - mm/h)	0.05

**Fuente:** Elaboración propia.

La erodabilidad del suelo por medio de K teórico utilizando el nomograma de (Wischmeier & Smith, 1978), arrojo un valor 0.06, calificados como bajo, es decir resistente al desprendimiento por la salpicadura o flujo laminar. Mientras que El K experimental resultó ser de 0.05 clasificado como rango bajo, coincidiendo con el valor de k teórico, en que ambos valores indican que el suelo presenta resistencia al desprendimiento por efecto de la lluvia.

## 8.4. Estimación de la erosión hídrica para el uso actual

### 8.4.1. Factor erosividad de la lluvia R

Una vez completada las tablas de precipitación se estimaron los valores de precipitación histórica anual para cada estación, resultando para la estación de Masaya 1366 mm, Granada 1545 mm y Panaloya 791 mm, ocurriendo la mayor actividad de lluvias entre los meses de Mayo a Octubre.

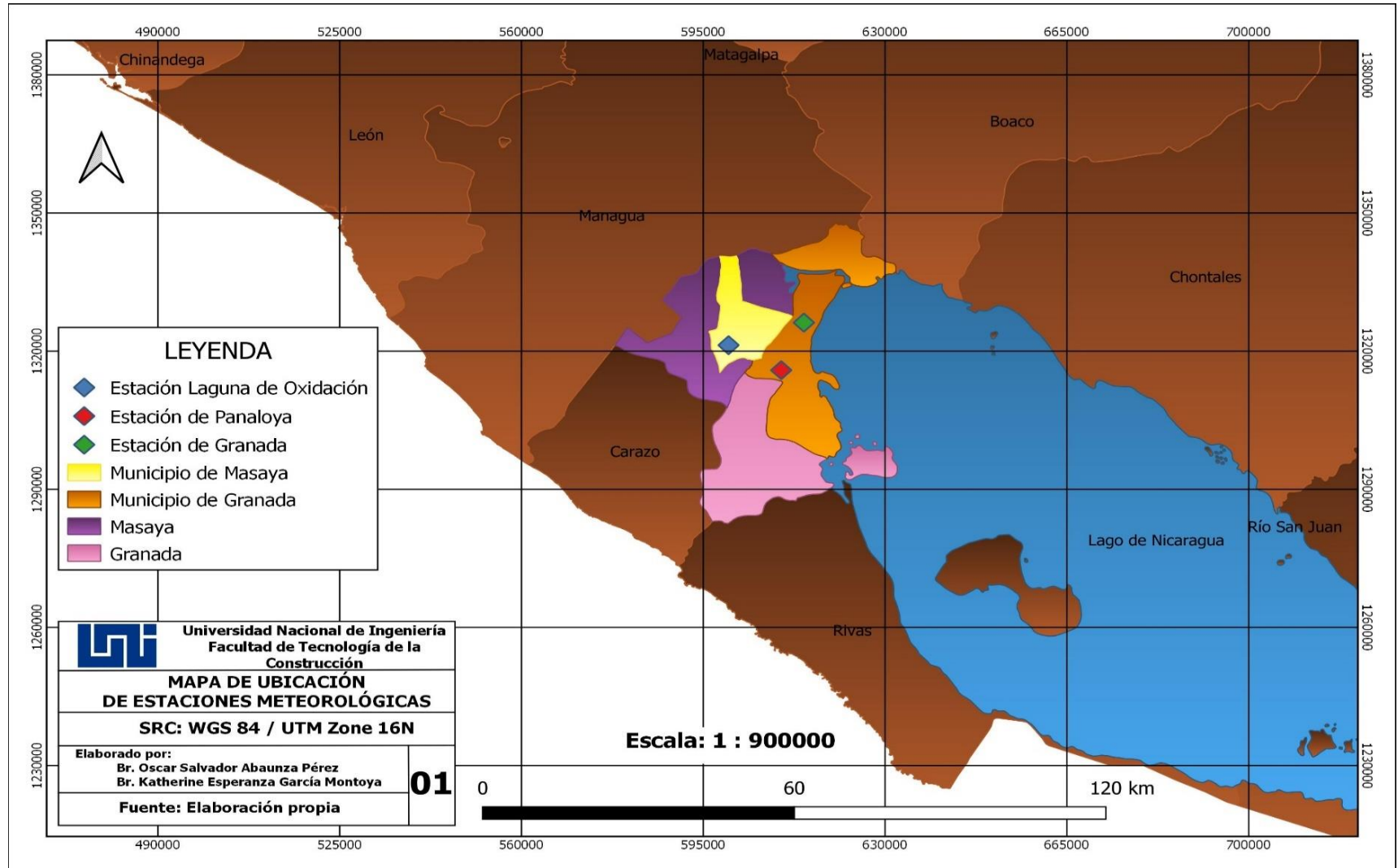
Los valores de R en  $\text{MJ.mm.ha}^{-1}$  obtenidos mediante el IMF fueron 7264.8, 7158.3, 4922.4 para la estación de Masaya, Granada y Panaloya respectivamente. Teniendo en cuenta los registros históricos de las tres estaciones se pueden clasificar como moderadamente lluvioso, ya que están en el rango entre 500 y 2000 mm.

Existe una relación entre los valores de precipitación y el resultado del factor R, es decir, que sí las precipitaciones son altas R también lo será y sí las precipitaciones son bajas de igual manera lo será R. Como se puede apreciar los valores de R están coherentes a los datos de las precipitaciones anuales clasificándose para Masaya y Granada como moderadas, Panaloya al contar con el menor registro de precipitación su R es el menor de las tres estaciones, clasificándose como baja (Ver anexo 13).

Al final se obtuvo el R promedio de las tres estaciones resultando ser de 6448.5  $\text{MJ.mm.ha}^{-1}$ , Los valores de R fueron clasificados según las tablas que se muestran en el Anexo no.13 como una erosividad moderada producida por las lluvias moderadas.

En la figura 19 se muestra el mapa de ubicación de las estaciones meteorológicas utilizadas para el cálculo de R, ubicadas en los departamentos de Masaya y Granada.

**Figura 19: Mapa de ubicación de estaciones meteorológicas**



Fuente: Elaboración propia.

#### **8.4.2. Factor de la longitud de la pendiente L y S**

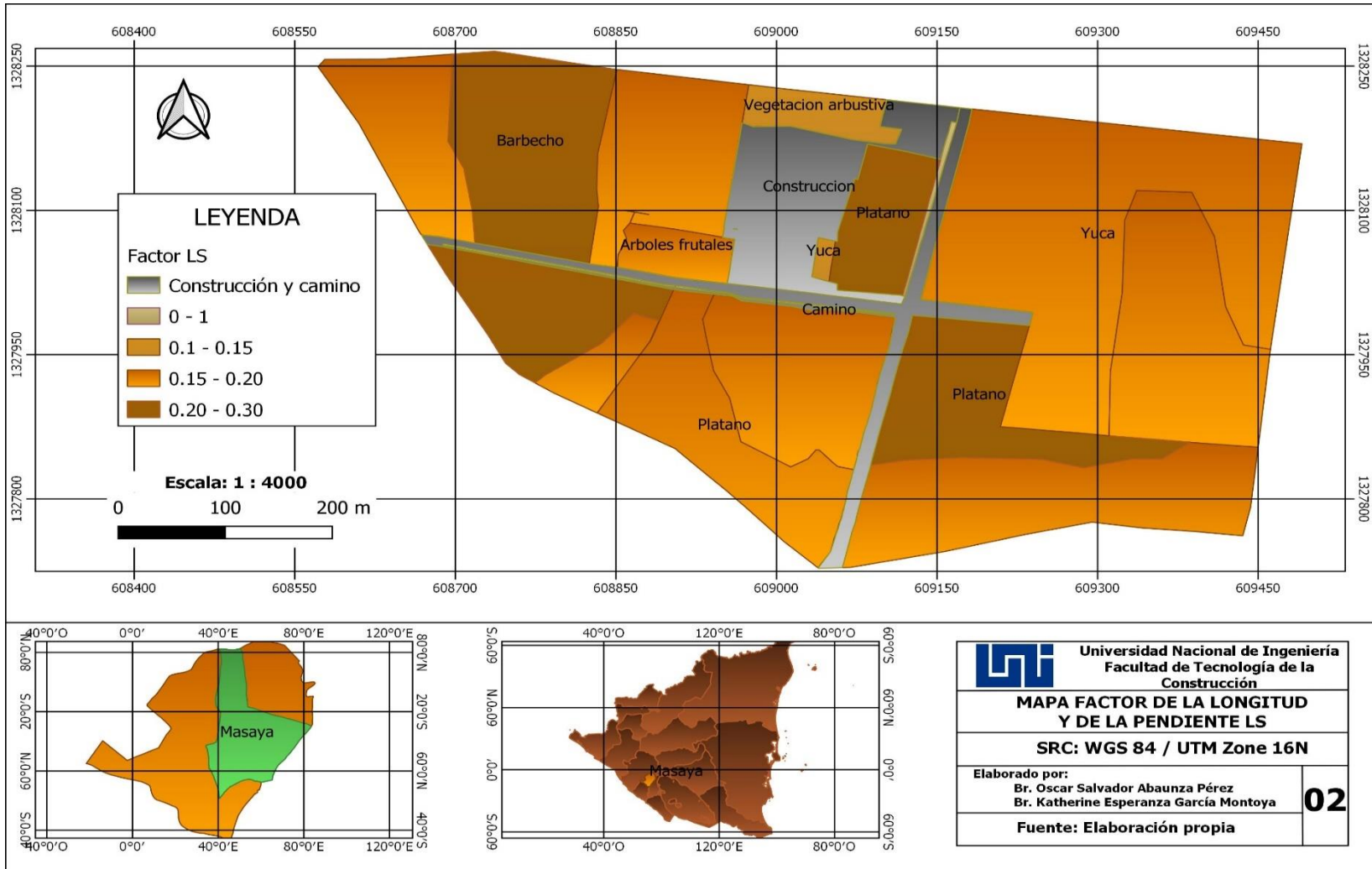
El área de estudio tiene pendientes que van entre el rango de 0.1 a 0.3 los cálculos de LS se determinaron con la fórmula establecida por (Wischmeier & Smith, 1976) y se tomó como referencia la pendiente menor a 9%. En el anexo 24, se presentan los cálculos desarrollados para encontrar el factor L y S.

Aunque la pendiente resultó menor de 1%, las pérdidas de suelo están relacionadas a otros factores, puesto que pendientes menores influyen la velocidad de escurrimiento del agua de manera lenta, pero con el tiempo provocará desprendimiento de las partículas expuesta en la capa superficial. Por lo contrario, con el factor longitud (L), al existir distancias cortas, la influencia en la escorrentía inducirá un movimiento un poco más rápido de las partículas del suelo a través del flujo laminar, un fenómeno insidioso, pasando muchas veces desapercibido, pero con el paso del tiempo generará lavados.

(Santos A & Orrego E, 2016), señalan que las pendientes con 60% son clasificada como fuerte, las que se encuentran con 22% son consideradas pendientes media y las que se encuentran con 5% son consideradas como pendientes suaves. En ese sentido, los porcentajes de pendiente obtenidos en la FAE están clasificadas como pendientes suaves, es decir, que la velocidad de flujo superficial es laminar y por ende no provoca un desprendimiento severo del suelo.

En la figura 20 se muestra la longitud de la pendiente de los 18 polígonos en que se dividió la zona de estudio.

**Figura 20: Mapa factor de la longitud L y de la pendiente S**



Fuente: Elaboración propia .

### **8.4.3. Factor Cobertura vegetal del suelo C**

Los valores de C correspondientes a cada cultivo establecidos en la finca fueron extraídos de diferentes fuentes (Ver anexo 14) para hacer corresponder distintos valores del factor vegetación.

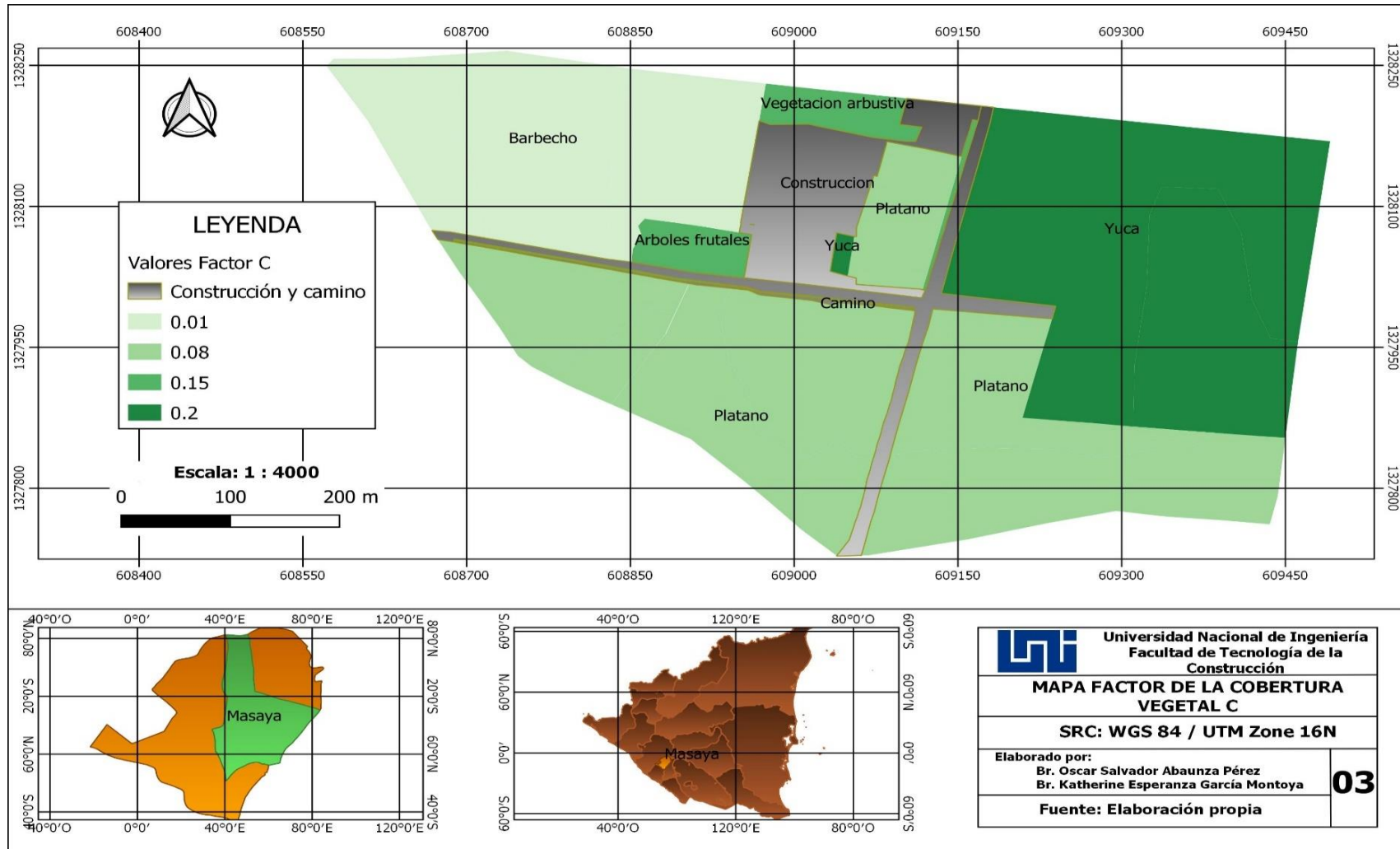
El valor de factor C del cultivo yuca (*Manihot esculenta*) fue de 0.20, valor que resultó ser mayor en relación a los demás cultivos presentes. Debido a las características morfológicas de la planta que influencia la cubierta foliar que deja desprotegido el suelo frente a los agentes erosivos ambientales (hídrica). El impacto de la lluvia es más directo por el hecho de no poseer hojas capaces de actuar como capas protectoras, por lo tanto, donde está establecido la yuca en la finca, existe una mayor erosión en comparación a los demás sitios.

En cambio, donde se encuentran otros cultivos, como es el caso del cultivo de plátano con un valor de 0.08, estos valores de erosión son menores (ver anexo 14), debido a la influencia que ejerce la cobertura foliar que absorbe la energía de las gotas de lluvia y disminuye la velocidad de escurrimiento.

En la figura 21 se muestra el mapa de cobertura vegetal presente en la zona de estudio, representado el Factor C. Se puede observar que los barbechos tienen valores bajos de 0.01, lo que significa más protección a los suelos.



**Figura 21: Mapa factor de la cobertura vegetal C.**



Fuente: Elaboración propia.

#### **8.4.4. Factor prácticas de conservación P**

En el área de estudio, no se identificaron prácticas de conservación de suelo para la prevención o control de la erosión hídrica, sin embargo, existen dos filas de cortinas rompevientos de eucalipto que fueron establecidas para controlar los vientos ocasionados en épocas secas. Sin embargo, para las áreas de cultivos agrícolas no existe ninguna práctica, concluyendo que en la finca no existen tales prácticas, por lo que se le asignó a P el valor 1. (Ver anexo 15).

#### **8.5. Uso actual de los suelos de la FAE UNI**

En el uso actual de los suelos se identificaron cultivos como pipián, plátano y yuca, así como también árboles frutales aislados de jocote, mango, además posea un área de cubierta de malezas (predominantes gramíneas).

En la figura 22 el mapa muestra los diferentes cultivos presentes en la finca Agrícola Experimental UNI, siendo el cultivo de plátano el más extenso abarcando 12.9 ha, la yuca con 9.3 ha, barbecho con 6.3 ha, un área de vegetación arbustiva con 0.6 ha, árboles frutales con 0.5 ha, cortinas rompevientos con 0.1.ha.

(Espinales E. CATASTRO, 1971) Citado por (Rivera C & Alguera E, 2016) señalan que los problemas de conservación de estos suelos son calificados de ligeros a moderadamente ligeros y se requieren prácticas de conservación tales como: cultivos en contornos, mínimas labores de labranzas, y rotación de cultivos.

Es decir, que estos suelos no presentan limitaciones acentuadas para el desarrollo de los cultivos, únicamente es necesario elegir los cultivos que requieran prácticas de manejo fáciles de aplicar.

Para prevenir procesos erosivos severos en el uso y manejo de los suelos se proponen algunas aplicaciones específicas como son:

- Establecer rotación de cultivos para mejorar las condiciones de fertilidad.

- Aplicar materia orgánica en forma de abono verdes con la finalidad de mejorar la fertilidad, propiedades físicas y la capacidad de retención de humedad del suelo, así como residuos de cosechas.
- Cuando se trate de terrenos de riego es necesario, además, implantar un sistema de drenaje si hace falta, para evitar los problemas de acumulación de sales o los excesos de agua.

Las prácticas indicadas para el manejo de estos suelos son la construcción de algunas obras sencillas de manejo del suelo como son:

- Construir canales de desvío.
- Sistemas de drenaje superficial.
- Realizar cultivos en fajas.
- Establecer y dar el adecuado mantenimiento a las cortinas rompevientos.

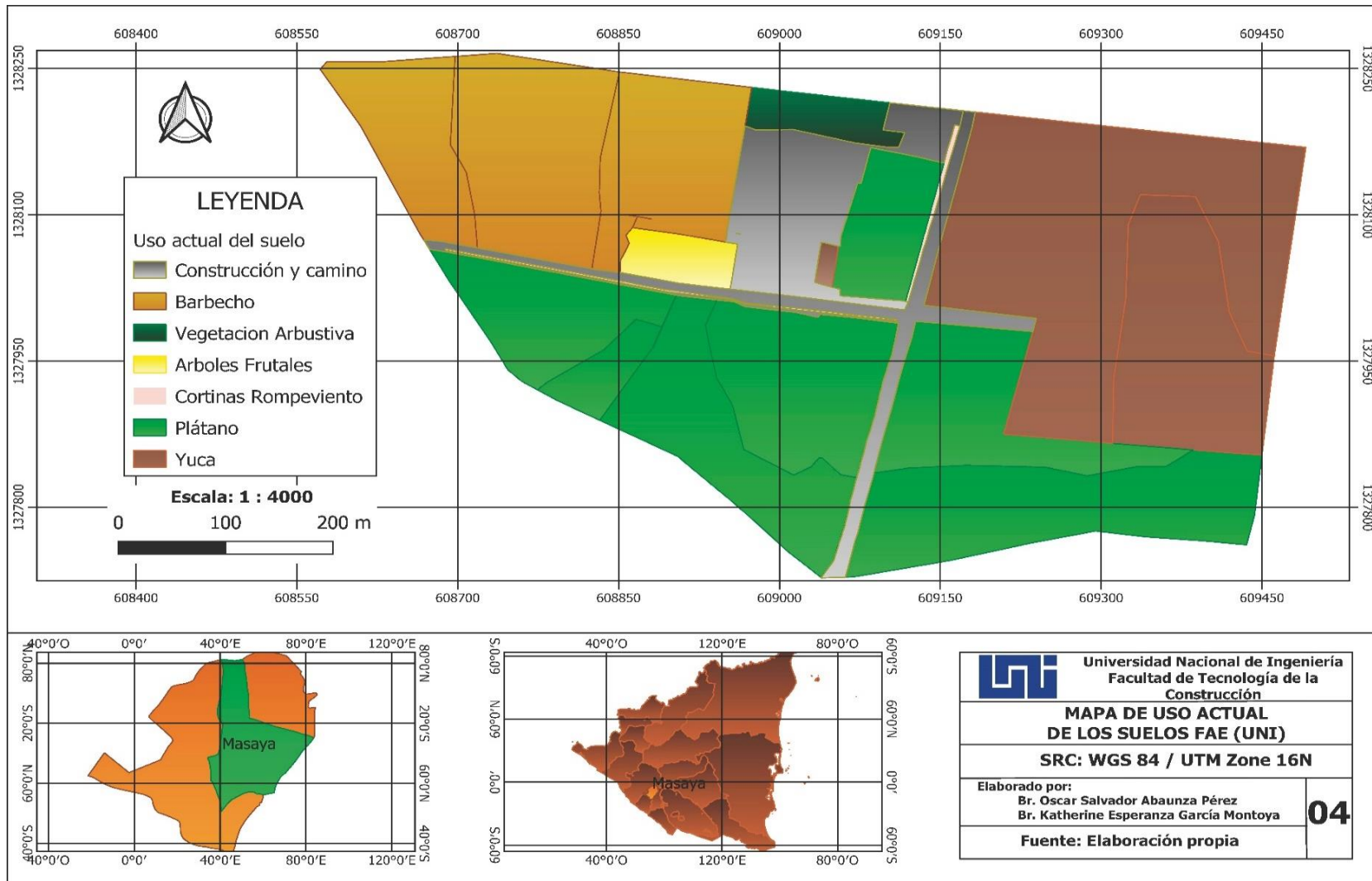
#### **8.6. Erosión hídrica actual de los suelos de la FAE UNI**

La erosión actual es la cuantificación de la pérdida de suelos que existe en una zona determinada, en el momento presente y acorde a las actividades y presiones a que se encuentra sometido el suelo.

La pérdida actual del suelo se estimó al considerar el producto de los factores (R, K, LS, C, P) que conforman la RUSLE; se generó el mapa de la erosión actual, Ver figura 23, observando que solo el 27% del territorio se encuentra con el cultivo de mayor riesgos a erosionar el suelo, como es el cultivo de yuca (*Manihot* *suculenta*) que predominó una erosión actual mayor a 12 t/ha/año, mientras que en el 73% del área se presenta erosión actual baja de 0.7 a 8.9 t/ha/año con predominio del cultivo con mayor cobertura como es el plátano y barbechos.

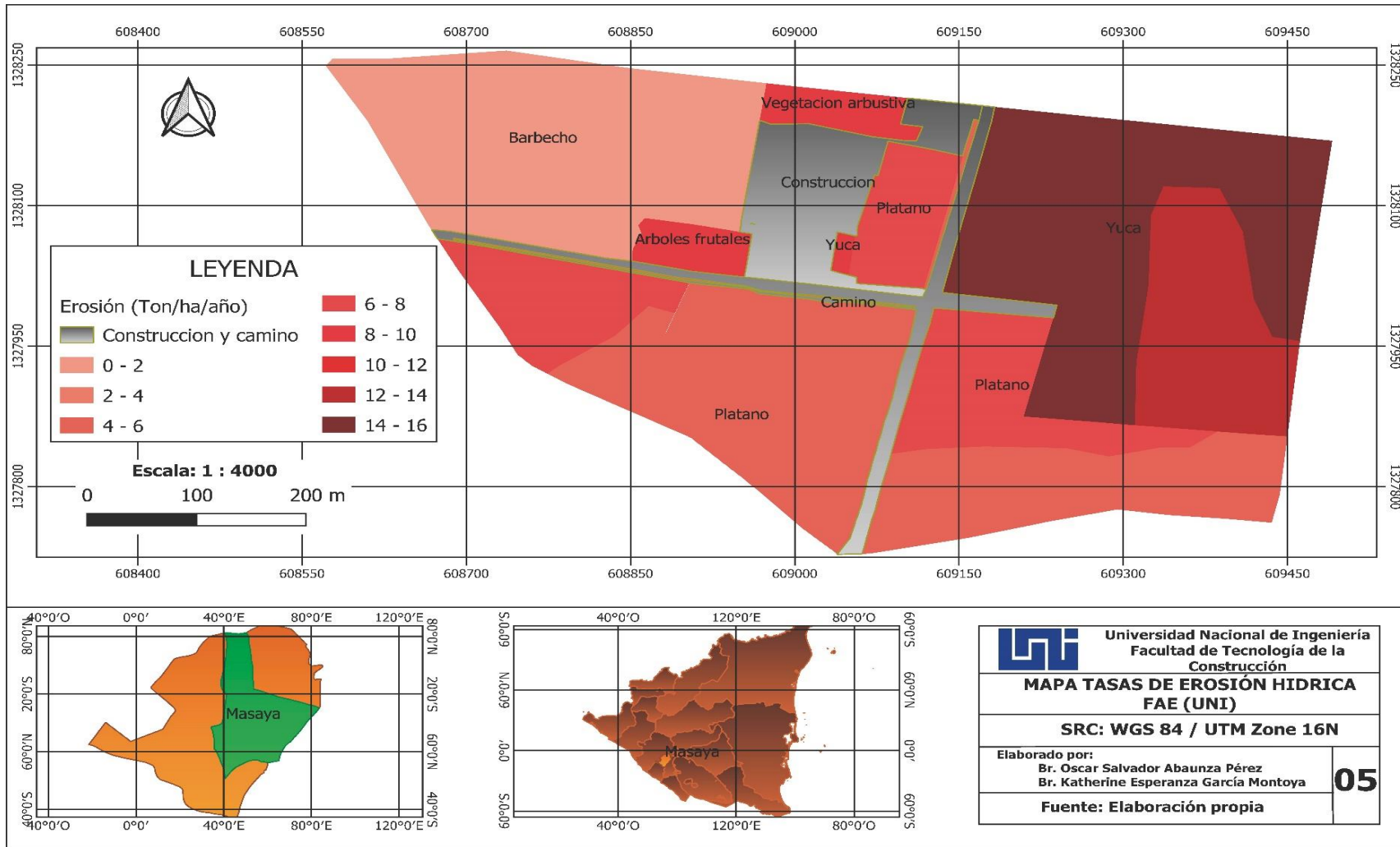
La erosión actual estimada, es un problema de mediano riesgo, debido a que según el mapa de uso actual ver figura 22, las áreas más vulnerables son aquellas con cultivos anuales que ejercen menor protección al suelo, los cuales podrán ser establecidos en rotación de cultivos.

Figura 22: Mapa de uso actual de los suelos FAE (UNI).



Fuente: Elaboración propia.

**Figura 23: Mapa Tasa de erosión hídrica actual FAE (UNI)**



Fuente: Elaboración propia.

### **8.7. Erosión hídrica potencial de los suelos de la FAE**

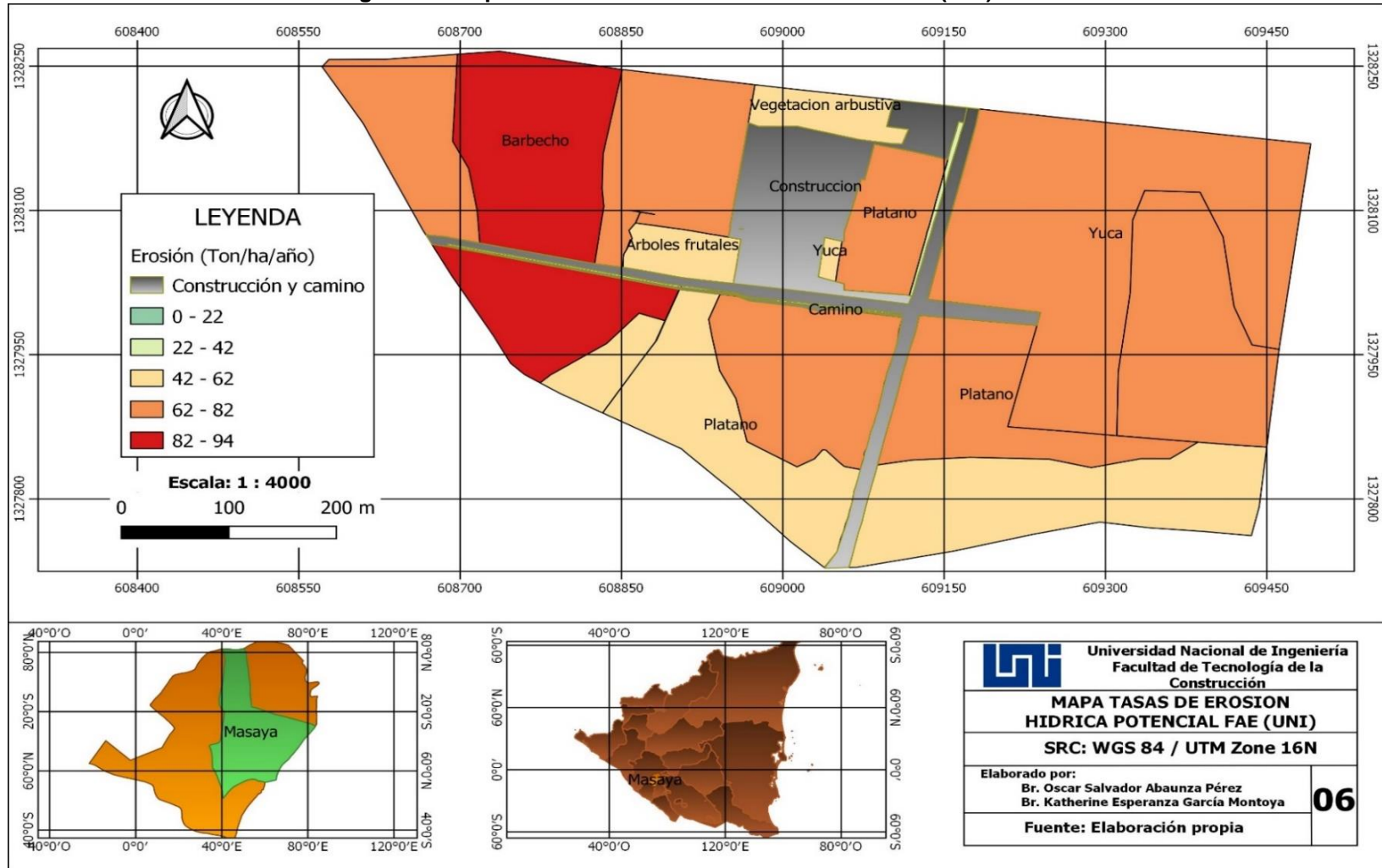
La Erosión Potencial (A) se estimó utilizando los primeros cuatro factores (R, K, L, S), siendo el potencial erosivo inherente al sitio, es decir, las pérdidas de suelo que ocurrirán en ausencia de cualquier cobertura vegetal(C) o Practica de Conservación (P), haciendo que las pérdidas potenciales se reduzcan con la presencia de estos dos últimos factores.

La erosión potencial identifica las zonas más susceptibles de sufrir el problema del desgaste del suelo por acciones del inadecuado uso y manejo del suelo, en las cuales pueden implementarse planes de conservación u otras medidas que mitiguen el efecto en los sitios donde la pérdida de suelo sea de moderada a alta.

La estimación de la erosión potencial en el área de estudio identificó zonas vulnerables, entre ellas, las establecidas con cultivo de plátano, indicando que, de no existir cobertura vegetal en esta zona, el grado de erosión sobrepasarían los 90 Ton/Ha-año, en el caso de otros cultivos como la yuca las perdidas oscilarían entre 48 a 74 Ton/ha-año ver anexo 16.

En la figura 24, se muestra la distribución de las áreas donde el suelo tenga mayor riesgo a ser desprendido por efecto de la lluvia.

**Figura 24: Mapa Tasas de erosión hídrica Potencial FAE(UNI)**



Fuente: Elaboración propia .

## IX. CONCLUSIONES

- Las características físicas y químicas del suelo de la finca FAE, fueron las siguientes: Densidad aparente con rango de 0.75 a 0.88 clasificada como muy baja, es decir son suelos porosos, bien aireados y con buen drenaje. La densidad real de 2.14% clasificada como baja, Capacidad de Campo es mediana con 26.42% capaz de retener el suelo luego de su saturación; la textura con 32.48% de arcilla, 63.12 % de limo y 4.4% de arena clasificada como textura franco arcillosa limosa y la materia orgánica fue 4,27% con índice de alto, como buena calidad edáfica para cultivos agrícolas.
- El resultado de la erodabilidad del suelo por medio de K teórico utilizando el nomograma de (Wischmeier & Smith, 1978), arrojó un valor 0.06. indicando un rango bajo, es decir resistente al desprendimiento por la salpicadura o flujo laminar. El k experimental resultó ser de 0.05 clasificado como rango bajo, coincidiendo con el valor de K teórico, en que ambos valores indican que el suelo presenta resistencia al desprendimiento por efecto de la lluvia. El Factor de Erosividad (R) promedio para las tres estaciones meteorológica estudiada resultó ser de 6448.5 MJ.mm. ha<sup>(-1)</sup>, clasificada como una erosividad moderada producida por las lluvias moderadas.
- Los valores de la tasa de erosión hídrica actual en cada polígono analizado están dentro de la categoría de Erosión baja (menor de 12 ton/ha/año), a excepción de los polígonos establecido con el cultivo de Yuca, donde las pérdidas son mayores a 12 ton/ha/año. Estas pérdidas se atribuyen a las características morfológicas y las diferentes etapas fenológicas del cultivo que ejerce poca protección al suelo, aumentando el impacto de las gotas de lluvias. Por lo que se rechaza la hipótesis nula que declara que *“La actividad agrícola en la FAE-UNI ubicada en las Flores, Masaya no provoca ninguna tasa de erosión hídrica superficial en los suelos”*.



## **X. RECOMENDACIONES**

De acuerdo a los resultados obtenidos en el comportamiento de la erosión hídrica superficial en la finca FAE se recomienda:

- Para la protección de las propiedades del suelo de la Finca, será necesario el diseño de un plan de conservación de suelos utilizando en el laboreo las curvas a nivel, es decir, perpendicular a la pendiente, que incluya el establecimiento de prácticas agronómicas como fajas en contornos y rotación de cultivos.
- Mantenimiento de las actuales áreas de barbechos, así como establecer áreas de cultivos de un buen porcentaje de área foliar de hojas anchas y hojas estrechas para la protección de suelos, así como el mantenimiento de las actuales cortinas rompevientos para que influya en las tasas de pérdidas de suelos a nivel permisible.
- Será necesario realizar más ensayos de campo para determinar el valor K experimental en parcelas con diferentes usos y manejo del suelo para su comparación y realizar correlación con entre ambos métodos.

## XI. BIBLIOGRAFIA

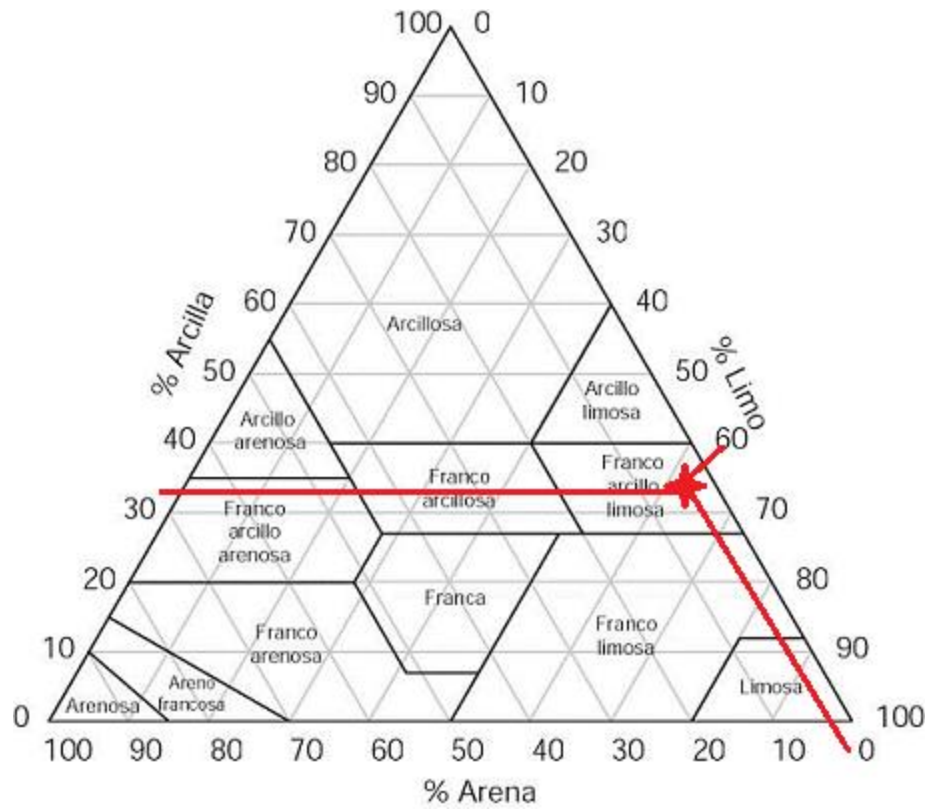
- Alicante. (28 de Diciembre de 2013). *erosión en surco*. Obtenido de Glosario de términos especializados .
- Álvarez M, R. (26 de mayo de 2016). Suelos de Nicaragua. *La prensa*.
- Betancourt L, & Calderón M. (2013). *Evaluación del estado actual de los suelos en los municipios de Villanueva y Chinandega, en base a sus características físicas y químicas*. . León.
- Blanco M, C. (2019). Erosión hídrica en la microcuenca del cauce 31 de diciembre. *NEXO, Revista científica*. Obtenido de <https://doi.org/10.5377/nexo.v32i02.9261>
- Boardman J. (2006). Soil erosion in Europa. En Poesen J. España: John Wiley and Sons Ltd.
- Cairo P. (1995). *La Fertilidad Física de suelo y la Agricultura Orgánica en el Trópico, Curso de posgrado. Universidad Nacional Agraria, Facultad de Recursos Naturales y del Ambiente* . Managua, Nicaragua.
- Cardona A. (27 de mayo de 2019). Qué es la erosión del suelo: causas y consecuencias. *Ecologiaverde*.
- Ceccon E, & Pérez D. (2016). Más allá de la ecología de la restauración. En S. I. (SIACRE). Buenos Aires: 1er.ed, Vázquez Mazzini.
- Centro Humboldt. (22 de Noviembre de 2017). *En 10 años Nicaragua podría acabar con sus bosques*. Obtenido de [humboldt.org.ni](http://humboldt.org.ni)
- Cerrato L, S. C., & Téllez E, I. G. (2006). *Caracterización físico-química y morfológica para el uso y manejo de los suelos de la finca "La Puebla" comunidad "Santa Clara" comarca "La Cortezas" Municipio "Tisma", departamento de Masaya*. Managua: Universidad Nacional de Ingeniería.
- Colotti E, B. (1999). La erosividad de la lluvia. En *La erosividad: cualidad de la lluvia poco conocida* (pág. 106). Caracas, Venezuela: Terra Nueva Etapa.
- CONICET, D. d. (2000). *Estimación de la pérdida del suelo por erosión hídrica de la cuenca alta del arroyo Napostá Grande, Buenos Aires, Argentina*. Buenos Aires.
- Corrales D. Consultores GeoAmbientales, P. (18 de Octubre de 2018). *Consultores GeoAmbientales*. Obtenido de CORES: <https://www.coresgeoambiental.com>
- Cosentino G, & Pennica F. (marzo de 2015). *Modelo de geoprocésamiento QGIS para simplificar el análisis de microzonificación sísmica de primer nivel*. Obtenido de [www.igag.cnr.it](http://www.igag.cnr.it)

- ENACAL. (Enero de 2011). *Manejo de la Cuenca del Lago de Managua*. Obtenido de valores propuestos de C para el calculo de la erosión: <http://biblioteca.enacal.com.ni/P020203.htm>
- Espinales E. CATASTRO. (1971). *Descripción de suelos, Levantamiento de suelos de la región Pacífica de Nicaragua*. Managua: Catastro de inventario de recursos naturales de Nicaragua INETER.
- FAO. (2018). *Organización de las naciones Unidas para la alimentación y la agricultura*. Obtenido de propiedades del suelo: <http://www.fao.org/soils-portal/soil-survey/propiedades-del-suelo/propiedades-fisicas/es>
- Foster et al, G. D. (1977). A runoff erosivity factor and variable slope length exponents for soil loss estimates. *Trans ASAE* 20(4).
- Google Earth. (2020). *programa de imagenes satelitales*.
- Guerrero M. (5 de Noviembre de 2019). *Agricultura- que es la materia organica*. Obtenido de esto es agricultura.
- INETER, & COSUDE. (2005). *EROSION HIDRICA, mapas de amenazas*. Managua, Nicaragua.
- Instituto Nicaragüense de Estudios Territoriales. (2019). *Resumen Meteorológico anual*. Dirección General de Metereología .
- Méndez J, & Silverio L. (2011). *Guia de Prácticas de campo y laboratorio de fundamentos del suelo*. Managua, Nicaragua: Universidad Nacional de Ingeniería Recinto Universitario Pedro Aráuz Palacios.
- Monge R, & Aguilar J. (2008). *Diseño de un simulador de lluvia portátil con fines didácticos y de investigación para la cuantificación de la infiltración, escorrentía y erosión*. Costa Rica.
- Murillo G. (1990). *Erodabilidad de cuatro series de suelos determinadas por el mini-simulador de lluvia y el nomograma de Wischmeier*. Managua.
- Nelson C, M. (2015). Materiales y métodos. En *Calibración en condiciones experimentales y de producción* (pág. 509). Cuba: Universidad de Cienfuegos “Carlos Rafael Rodríguez”.
- Núñez J. (2001). *Manejo y conservación de suelos*. Primera Edición, Costa Rica: EUNED. P. 79-101.
- Organismo Internacional de Energía Atómica. (2019). *Control de la erosión hidrica y mejora de la fertilidad del suelo* . Viena, Austria.
- Ortigoza J. (2012). Monografía, Erosión Eólica. En L. Evélio, *Trabajo práctico presentado a la catedra de manejo sostenible de los suelos*. Paragay.

- Oyarzún E, O. (1993). Evaluación del modelo U.S.L.E. para predecir pérdidas de suelo en áreas forestadas de la cuenca del río Bío-Bío. En U. A. Chile.. Valdivia, Chile.: Instituto de Geociencias.
- Padilla E. (2019). *Guía de laboratorio de Edafología*. Managua: UNI.
- Petrova M. (26 de Junio de 2020). *Imagen*. Obtenido de giscourse.
- Renard et al, K. F. (1997). Predicting Soil Erosion by Water: A Guide to Conservation Planning with the Revised Universal Soil Loss Equation (RUSLE). En U. D. Agriculture. Washington, D.C.: Agriculture Handbook No.703.
- Rivera C, & Alguera E. (2016). *Estimación del factor de erodabilidad (factor K) del suelo en el Centro Experimental Agrícola CEA-UNI, Municipio de Tisma, Departamento de Masaya*. Managua, Nicaragua.
- Sánchez G, & Campero J. (2011). Monografías. En *Riesgo deslizamiento, peligro erosión vulnerabilidad*. Perú.
- Santos A, P., & Orrego E, L. (2016). *Riesgo potencial a erosión hídrica para la planificación del manejo y conservación de suelos de la agroindustria azucarera guatemalteca*. Guatemala.
- Sociedad geográfica de Lima . (2011). Cartilla técnica. En J. J. Gálvez, *Ciclo hidrológico-infiltración del agua*. Lima, Peru: Biblioteca Nacional del Peru.
- Soil Survey Staff. (2010). *Clasificación Soil Taxonomy*.
- SWCS. (1995). "RUSLE, User Guide, Version 1.04". Iowa, Estados Unidos.
- UNESCO/WMO. (1992). Glosario Internacional de Hidrología. En *Erosión laminar*. Segunda revisión.
- USDA. (1951). En Soil Conservation Service. Soil Survey Staff, *Soil Survey Manual Handbook 18*. (pág. 503). Washington, DC.: U.S.Govt.Print.Off.
- USDA. (1983). National Soil Survey Handbook. No. 430. Washington D.C: Department of Agriculture.
- Wischmeier & Smith. (1976). *A rainfall erosion index for universal soil Loss Equation, Soil Science Society Proc. USA*.
- Wischmeier y Smith, 1., Roffe Ligtenberg et al, 2., & FAO. (1985). *Tabla de niveles de intensidad de erosión o pérdida de suelo adaptados de criterios internacionales*.
- Wischmeier, & Smith. (1978). *Predicting Rainfall Erosion Losses - A Guide to Conservation Planning*. Washington, D.C.: U.S.: Agriculture Handbook, 537. Department of Agriculture (USDA).

## ANEXOS

**Anexo 1: Triangulo textural para la determinación de la textura del suelo.**



**Fuente:** (Soil Survey Staff, 2010)

**Anexo 2: Tabla de densidad real.**

Densidad Real gr/cm <sup>3</sup>	Evaluación
< 2.40	Bajo
2.40 – 2.60	Medio
2.60 – 2.80	Alto
> 2.80	Muy alto

**Fuente:** Recopilado por (Méndez J & Silverio L, 2011)

**Anexo 3: Tabla de densidad aparente.**

<b>Evaluación</b>	<b>Gr/cm<sup>3</sup></b>
Muy baja	< 1.0
Baja	1.0-1.2
Media	1.2 – 1.45
Alta	1.45 – 1.60
Muy alta	> 1.60

**Fuente:** Recopilado por (Méndez J & Silverio L, 2011)

**Anexo 4: Tabla de porcentaje de capacidad de campo.**

<b>Capacidad de campo % de volumen</b>	<b>Evaluación</b>
< 20	Baja
20-40	Mediana
40-55	Alta
> 55	Muy alta

**Fuente:** Recopilado por (Méndez J & Silverio L, 2011)

**Anexo 5: Tabla Porcentaje de porosidad.**

	<b>Evaluación</b>	<b>Porosidad % de volumen</b>
1	Muy alta	> 65
2	Alta	55-65
3	Mediana	45-55
4	Baja	40-45
5	Muy baja	< 40

**Fuente:** Recopilado por (Méndez J & Silverio L, 2011)

**Anexo 6: Tabla de porcentaje de materia orgánica.**

<b>Contenido</b>	<b>Categoría</b>	<b>Puntuación</b>
< 1.0	Bajo	0
1.0 – 3.0	Medio	1
> 3.0	Alto	2

**Fuente:** (Nelson C, 2015).

**Anexo 7: Código de estructura del suelo.**

<b>Estructura</b>			
<b>Grado</b>	<b>Forma</b>	<b>Tamaño</b>	<b>Código</b>
Sin estructura		Muy fina	4
Débil	Granular	Media	3
	Bloques angulares	Media	3
Moderada	Granular	Muy fina	1
		Fina	2
		Media	2
	Bloques subangulares	Muy fina	2
		Media	2
Bloques angulares		2	
Fuerte	Granular		2
	Bloques angulares		2

Fuente: (USDA, 1951)

**Anexo 8: Código de permeabilidad del suelo.**

<b>Permeabilidad</b>		
<b>Textura</b>	<b>Clase de permeabilidad</b>	<b>Código</b>
<b>Franco arenosa</b>	Medianamente rápida	2
<b>Franco</b>	Moderada	3
<b>Franco limosa</b>		
<b>Franco arcillo limosa</b>		
<b>Franco arcillo arenosa</b>		
<b>Franco arcillosa</b>	Moderadamente lenta	4
<b>Arcillosa</b>	Lenta	5

Fuente: (USDA, 1951)

**Anexo 9: Grados de susceptibilidad a la erosión según rangos de K**

<b>Textura</b>	<b>Factor K</b>	<b>Grado</b>	<b>Motivo</b>
Finas (alto contenido de arcillas)	0,05 – 0,15	Bajo	Resistencia al desprendimiento
Gruesas (arenosos)	0,15 – 0,25	Bajo	Escaso escurrimiento
Medias (francos)	0,25 – 0,45	Moderado	Moderada susceptibilidad al escurrimiento
Limosas (alto contenido de limo)	0,45 – 0,65	Alto	Alta susceptibilidad a la erosión

Fuente: (SWCS, 1995) citado por (CONICET, 2000)



**Anexo 10:Tablas de INETER.**



**INSTITUTO NICARAGÜENSE DE ESTUDIOS TERRITORIALES**  
**DIRECCIÓN GENERAL DE METEOROLOGÍA**  
**RESUMEN METEOROLÓGICO ANUAL**

Estación:	MASAYA (L. OXIDACION) /					Código:	690115					
Departamento:	MASAYA					Municipio:	MASAYA (L. OXIDACION)					
Latitud:	11°58'48"					Longitud:	86°06'18"					
Años:	1999-2018					Elevación:	210 msnm					
Parámetro:	Precipitación (mm)					Tipo:	HMO					
Año	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
1999	15.7	14.5	2.5	11.9	131.5	193.3	219.6	167.7	374.8	200.3	66.2	10.4
2000	27.5	2.3	1.8	15.8	80.7	228.8	82.3	118.4	487.4	97.1	0.0	0.0
2001	2.3	5.9	0.0	0.3	174.2	142.2	139.0	242.9	328.5	216.3	63.7	4.2
2002	5.3	1.3	1.6	6.7	375.8	213.5	130.8	59.8	178.0	128.3	51.7	0.9
2003	0.2	0.9	38.3	3.2	319.1	501.0	168.6	118.8	143.9	270.7	82.6	10.6
2004	9.7	1.8	6.5	6.8	235.2	125.3	194.4	109.1	215.1	218.4	44.4	4.1
2005	0.0	0.4	28.7	53.4	318.1	394.6	206.5	187.0	315.7	260.8	39.5	7.1
2006	19.7	3.0	4.6	13.2	241.4	129.0	124.7	67.4	137.7	171.4	80.4	4.2
2007	0.5	1.7	0.0	4.3	200.1	113.6	85.7	393.0	218.6	314.4	113.9	29.2
2008	6.4	0.3	0.5	6.2	363.9	118.5	290.9	388.6	332.8	406.6	34.4	11.1
2009	1.1	0.4	0.0	1.9	265.8	266.1	136.5	161.0	144.9	287.2	23.8	14.3
2010	1.5	0.1	0.0	35.2	231.3	324.0	321.1	539.5	398.3	110.6	49.8	3.6
2011	2.6	0.0	0.0	2.0	83.3	216.4	391.3	150.9	467.8	317.7	60.7	30.8
2012	8.6	3.9	0.7	9.5	319.5	142.4	85.6	338.8	130.7	181.0	12.8	12.2
2013	3.9	3.1	1.8	0.0	169.3	200.3	223.2	67.7	299.4	257.3	93.1	25.1
2014	12.3	3.4	0.0	0.0	59.3	119.5	46.7	158.4	315.8	389.7	26.3	5.0
2015	0.4	0.0	0.1	53.6	78.3	308.4	53.8	74.9	159.7	227.5	120.6	1.2
2016	0.3	0.5	0.2	27.1	120.6	161.7	87.1	87.0	241.2	168.2	60.2	52.9
2017	4.7	0.0	1.5	16.8	314.3	158.7	114.4	168.4	209.9	391.1	63.1	32.5
2018	2.9	15.6	0.2	2.3	8.9	10.4	79.9	122.3	252.0	382.4	11.5	10.9

**Fuente:** (Instituto Nicaragüense de Estudios Territoriales, 2019)



**INSTITUTO NICARAGÜENSE DE ESTUDIOS TERRITORIALES**  
**DIRECCIÓN GENERAL DE METEOROLOGÍA**  
**RESUMEN METEOROLÓGICO ANUAL**

Estación:	INA GRANADA / Granada					Código:	69030					
Latitud:	11°55'00"					Longitud:	85°58'00"					
Años:	1999-2018					Elevación:	50	msnm				
Parámetro:	Precipitación (mm)					Tipo:	HMO					
Año	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
1999	4	7	11	24	331	168	97	194	561	306	135	48
2000	55	31	0	0	150	144	109	135	406	130	140	37
2001	29	29	0	0	201	205	167	137	189	203	109	46
2002	34	30	28	0	315	74	136	123	351	82	70	32
2003	28	0	32	31	123	425	218	81	240	230	198	47
2004	35	1	29	33	316	191	177	215	124	255	111	35
2005	30	0	1	34	337	310	187	184	280	431	119	46
2006	44	30	0	0	114	253	127	206	152	147	76	33
2007	0	0	0	543	543	116	49	450	173	709	0	43
2008	29	36	0	1	245	327	161	127	105	456	67	45
2009	28	28	28	29	253	254	144	164	151	272	48	40
2010	29	28	28	57	224	303	300	486	366	122	70	31
2011	30	28	28	29	98	211	360	156	425	298	79	54
2012	35	31	28	36	299	149	100	316	139	181	38	38
2013	31	30	29	28	171	198	217	85	282	246	107	49
2014	38	30	28	28	78	129	67	162	296	359	50	32
2015	28	28	28	73	94	290	73	91	163	221	130	29
2016	28	28	28	51	130	165	102	101	233	171	79	72
2017	32	28	29	42	295	162	125	171	206	360	81	55
2018	30	41	28	29	35	36	95	131	242	353	37	37

**Fuente:** (Instituto Nicaragüense de Estudios Territoriales, 2019)

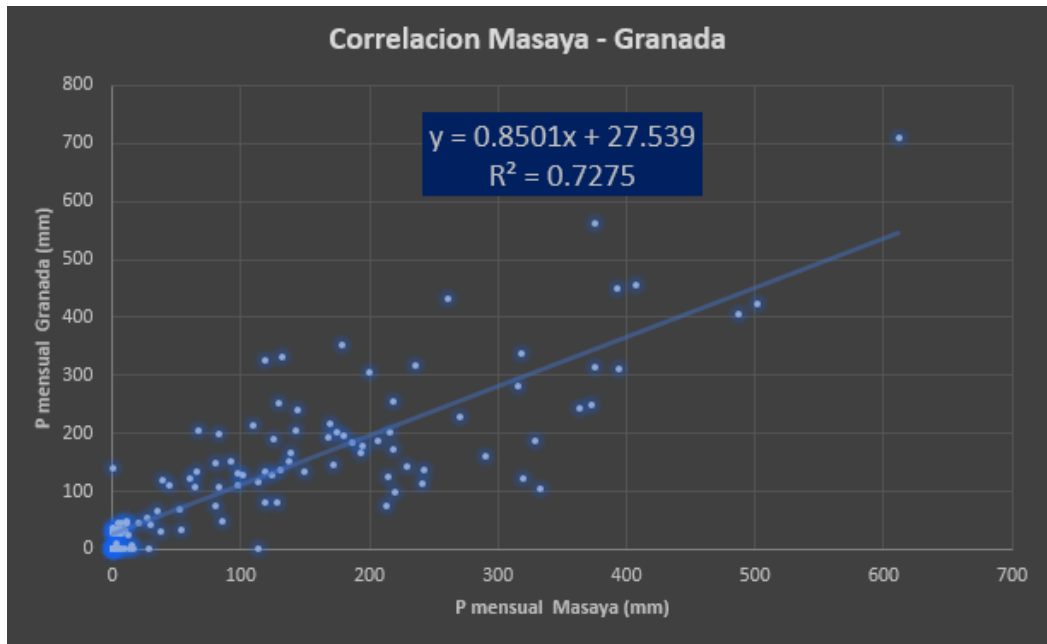


**INSTITUTO NICARAGÜENSE DE ESTUDIOS TERRITORIALES**  
**DIRECCIÓN GENERAL DE METEOROLOGÍA**  
**RESUMEN METEOROLÓGICO ANUAL**

Estación:	PANALOYA											Código:	69044
Departamento:	GRANADA											Municipio:	GRANADA
Latitud:	12° 07' 00" N											Longitud:	85° 52' 57" W
Años:	1999-2018											Elevación:	32 msnm
Parámetro:	Precipitación (mm)											Tipo:	PV
Año	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	
1999	9	0	2	13	147	59	132	134	396	24	0	0	
2000	0	0	0	5	126	70	27	145	242	73	0	0	
2001	0	0	0	0	191	120	130	108	265	176	5	0	
2002	1	0	0	0	137	172	89	110	67	58	0	0	
2003	0	0	37	61	222	385	52	142	159	167	0	0	
2004	17	0	0	3	106	80	46	87	165	210	36	12	
2005	1	1	25	70	97	43	97	47	132	289	26	5	
2006	0	0	0	0	23	63	7	6	74	9	32	0	
2007	0	0	0	0	80	73	120	147	256	211	73	0	
2008	0	0	0	0	10	32	221	190	288	221	9	3	
2009	0	0	0	0	104	120	30	88	30	79	40	2	
2010	0	0	0	93	140	210	136	243	467	62	0	0	
2011	0	0	0	1	30	79	271	168	111	220	74	0	
2012	1	0	0	0	44	28	51	82	108	196	0	0	
2013	0	4	0	2	69	182	158	121	188	263	12	0	
2014	0	0	0	0	5	46	16	111	194	220	6	0	
2015	0	0	0	0	21	61	36	49	45	82	39	0	
2016	0	0	0	63	215	123	26	143	137	130	11	26	
2017	0	0	0	8	206	102	73	109	136	257	39	19	
2018	0	7	0	0	3	4	50	78	164	251	5	4	

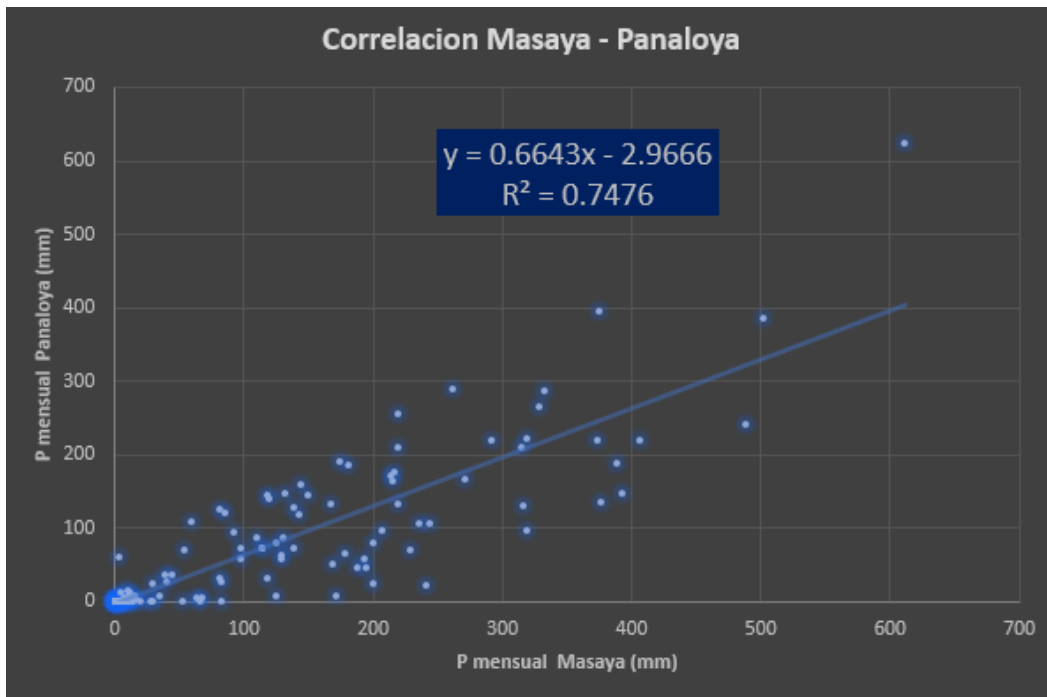
Fuente: (Instituto Nicaragüense de Estudios Territoriales, 2019)

Anexo 11: Grafico de Correlación Lineal Estación Masaya-Granada.



Fuente: Elaboración propia.

Anexo 12: Grafico de Correlación Lineal Estación Masaya-Panaloya.



Fuente: Elaboración propia

**Anexo 13: Clasificación de la erosividad de las lluvias según el valor de R**

Clase	Erosividad R (MJ.mm.ha <sup>-1</sup> )	Clasificación
1	< 1 000	Natural
2	1 000 a 2 500	Muy baja
3	2 500 a 5 000	Baja
4	5 000 a 7 500	Moderada
5	7 500 a 10 000	Alta
6	10 000 a 15 000	Muy alta
7	15 000 a 20 000	Severa
8	> 20 000	Extremadamente severa

**Fuente:** (Santos A & Orrego E, 2016)

**Anexo 14: Tablas para el cálculo del factor C.**

COBERTURA VEGETAL	C
Bosque no intervenido	0,001
Bosque intervenido	0,34
Cultivos extensivos en hileras, ejemplo maíz	0,5
Yuca y batata 1er año	0.2-0.8
Pastos	0,07
Hortalizas	0,3
Arroz de irrigación	0,6
Arroz de secado	0,05
Banana	0,5
Cacao	0,001
Café bajo sombra	0,5
Chile	0,2
Frijol	0,001
Maíz	0,4
Palma de aceite	0,3
Papas	0,002
Pasto permanente -bueno	0,3
Pastos permanente malo	0,4
Piña en contorno - residuos en superficie	0,3
Plantación joven de árboles	0,04
Soya	0,2
Yuca	0,3
Suelo desnudo	0.01

**Fuente:** Millar and Donahue, 1990; citado por (Nuñez J, 2001).

<b>Descripción de uso.</b>	<b>C</b>
Bosque latifoliado abierto	0.1
Tacotales	0.15
Pasto más arboles	0.01
Pastos más maleza	0.1
Pasto manejado	0.1
Cultivos anuales	0.7
Agua	0.01
Área humanizada	0.01
Áreas con granos básicos, yuca, piña, hortalizas, etc.	0.4
Áreas que de forma natural no poseen vegetación	1
Áreas urbanas o semiurbanas	0.01
Bosque latifoliado abierto (30 y 70 % cobertura de copa)	0.07
Bosque latifoliado cerrado	0.001
Centro Poblado	0.01
Cultivos anuales	0.7
Cultivos anuales (Granos Básicos, tubérculos otros)	0.7
Cultivos permanentes	0.4
<b>Especies de porte arbustivos &lt; 7m de altura</b>	<b>0.15</b>
Especies herbáceas, principalmente asociadas a zonas inundadas	0.3
Mosaico de sistemas de producción, agroforestería, cítricos, musáceas, fru	0.4
Pastizales bajo manejo, pueden tener algunas malezas	0.1
Pastizales combinados con malezas (hierbas, matorrales)	0.1
Pastizales con presencia de árboles aislados	0.01
Pasto bajo manejo (pastizales limpios, que están bajo manejo)	0.1
Pasto manejado	0.1
Pasto más árboles	0.01
Pasto más maleza	0.1
Pasto sin manejo (sabanas asociadas con gramínoles etc.)	0.15
Pasto con árboles (áreas de pastizales con árboles esparcidos)	0.01
Rivas	0.01
Sea dulce o salada	0.01
Sean altos o bajos, con cobertura de copas < 70 %	0.3
Sean altos o bajos, con cobertura de copas > 70 %	0.7
Sean temporal o permanente, con o sin vegetación herbácea	0.5
Sombra natural o plantada	1
Tacotales / barbecho (regeneración luego de abandono agrícola)	0.08
Tierra sujeta a inundación	0.3
Vegetación herbácea	0.16
Vegetación leñosa derivada de la tala del bosque, presenta un mosaico de v	0.28
Yolillales	0.25
caña de azúcar	0.56

Fuente: (ENACAL, 2011)

Cultivo y práctica	Media anual del factor C
Suelo desnudo	1,0
Bosque o matorral denso, cultivos con alto porcentaje de <i>mulch</i>	0,001
Sabana o pradera herbácea en buenas condiciones	0,01
Sabana o pradera herbácea sobrepastada	0,1
Maíz, sorgo o mijo: alto rendimiento con laboreo convencional	0,20 – 0,55
Maíz, sorgo o mijo: alto rendimiento sin laboreo convencional	0,50 – 0,90
Maíz, sorgo o mijo: bajo rendimiento con laboreo mínimo o no laboreo	0,02 – 0,10
Maíz, sorgo o mijo: alto rendimiento, laboreo con chisel entre residuos	0,12 – 0,20
Maíz, sorgo o mijo: bajo rendimiento, laboreo con chisel entre residuos	0,30 – 0,45
Algodón	0,40 – 0,70
Pradera herbácea	0,01 – 0,025
Soja	0,20 – 0,50
Trigo	0,10 – 0,40
Arroz	0,10 – 0,20
Cacahuete	0,30 – 0,80
Palmera, cafeto, cocotero, con cobertura vegetal	0,10 – 0,30
Piña cultivada a nivel, con retirada de residuos	0,10 – 0,40
Piña cultivada a nivel, con residuos en superficie	0,01
Patata, surcos según la pendiente	0,20 – 0,50
Patata, surcos transversales a la pendiente	0,10 – 0,40
Caupí (judía de vaca)	0,30 – 0,40
Fresa con cobertura de malas hierbas	0,27
Granado con cobertura de malas hierbas	0,08
Granado limpio de malas hierbas	0,56
Tef ( <i>Eragrostis tef</i> )	0,25
Caña de azúcar	0,13 – 0,40
Ñame	0,40 – 0,50
Guisante de Angola	0,60 – 0,70
Judía mungo	0,04
Pimiento	0,33
Cafeto: después de la primera recolección	0,05
Plátano: después de su establecimiento	0,05 – 0,10
Papaya	0,21

Wischmeier y Smith (1978); Roose (1977); Singh, Babu y Chandra (1981); El-Swaify, Dangler y Armstrong (1982); Hurni (1987); Hashim y Wong (1988).

Fuente: (Wischmeier & Smith, 1978)

Anexo 15:Tabla para el cálculo del factor P

<b>Prácticas de conservación de suelos</b>	<b>Factor P</b>
En curvas de nivel (1 - 16% pendiente)	0,60
En curvas de nivel (15 - 25% pendiente)	0,85
Terrazas (desagües encespados)	0,14
Terrazas (desagües subterráneos)	0,05
Hoyos a nivel	0,13
<b>Sin prácticas de conservación</b>	<b>1,00</b>

Fuente: (Wischmeier & Smith, 1978)

Anexo 16: Niveles de intensidad de erosión o pérdida de suelo adaptados de criterios internacionales.

<b>Intensidad de Amenaza</b>	<b>Pérdida de suelo Ton/(ha año)</b>	<b>Pérdida de suelo (mm)</b>
Baja	5 – 12	0.4 – 2
Media	12 – 25	2 – 5
Alta	>25	>5

Fuente: Adaptados de (Wischmeier y Smith, Roffe Ligtenberg et al, & FAO, 1985)

Anexo 17:Cálculos de la textura

<b>Corrección de temperatura</b>		
T° inicial	T° Final	Peso del suelo
10.8	3.24	50
9.3	3.51	

Fuente: Elaboración propia



**%Limo+%arcilla:**

$$LC_{40s}: 37+10.8: 47.8$$

$$\left(\frac{47.8-0}{50}\right) \times 100: \mathbf{95.6\%}$$

**%Arcilla:**

$$LC_{2h}: 3.24 + 13: 16.24$$

$$\left(\frac{16.24-0}{50}\right) \times 100: \mathbf{32.48\%}$$

**%Arena:**

$$100-95.6: \mathbf{4.4\%}$$

**%Limo:**

$$95.6-32.48: \mathbf{63.12\%}$$

<b>Tabla de resultados</b>											
Muestra	LB	Lc	Lc40seg	%L+Ar%	LB	Lf	Lc5hrs	%Arcilla	%Limo	%Arena	Clase textural
S.NO1	0	37	47.8	95.6	0	13	16.24	32.48	63.12	4.4	franco arcilloso limoso

**Fuente:** Elaboración propia

**Anexo 18: Cálculos de Densidad real**

<b>Datos Picnómetro</b>		
Picnómetro	Pp	Peso Suelo
N°6	104.45	10

Fuente: Elaboración propia

<b>P3 (Picnómetro+S+A)</b>	<b>T3</b>	<b>D3</b>
359.25	24.5	0.997

Fuente: Elaboración propia

<b>P1 (Picnómetro+A)</b>	<b>T1</b>	<b>D1</b>
353.9	23.7	0.997

Fuente: Elaboración propia

$$Dr: \frac{(0.997 \times 0.997 \times 10)}{(0.997 \times (353.9 - 104.45)) - (0.997(359.25 - 10 - 104.45))} : 2.14 \frac{gr}{cm^3}$$

**Anexo 19: Cálculos de Densidad aparente.**

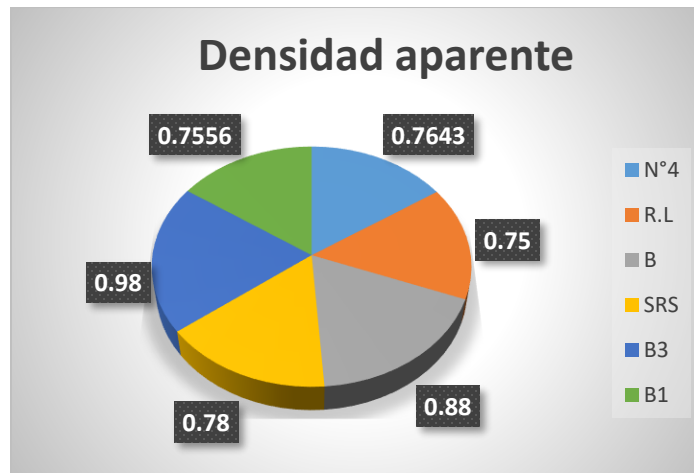
<b>Datos Cilindro</b>	
Altura (cm)	7
Radio (cm)	3.5
Π	3.1416
Volumen	269.39

Fuente: Elaboración propia

<b>Biquers</b>	<b>Peso</b>	<b>Peso B+Sh</b>	<b>Peso Sh</b>	<b>Peso B+Ss</b>	<b>Peso Ss</b>
N°4	145.95	384.95	239.00	351.85	205.90
R.L	147.2	375.3	228.10	349.80	202.60
B	145.75	416.95	271.20	384.05	238.30
SRS	146.1	375.15	229.05	355.55	209.45
B3	147.75	444.3	296.55	412.35	264.60
B1	147.4	382	234.60	350.95	203.55

Fuente: Elaboración propia

**Resultados mostrados en un gráfico de pastel.**



**Fuente:** Elaboración propia

**Anexo 20: Cálculo de capacidad de campo.**

<b>Datos Muestras</b>			
Muestras	Psht	Psst	Pt
N° 6	28.4	27	21.7

**Fuente:** Elaboración propia

$$\%Cc: \frac{28.4 - 27}{27 - 21.7} \times 100: 26.42$$

**Anexo 21: Cálculos de porcentaje de porosidad**

$$\left(1 - \frac{0.76}{2.14}\right) \times 100: 64.35$$

$$\left(1 - \frac{0.75}{2.14}\right) \times 100: \mathbf{64.92\%}$$

$$\left(1 - \frac{0.88}{2.14}\right) \times 100: \mathbf{58.74\%}$$

$$\left(1 - \frac{0.78}{2.14}\right) \times 100: \mathbf{63.74\%}$$

$$\left(1 - \frac{0.98}{2.14}\right) \times 100: \mathbf{54.19\%}$$

$$\left(1 - \frac{0.76}{2.14}\right) \times 100: 64.35\%$$

## Anexo 22: Cálculos de porcentaje de humedad

Resumen de desarrollo de los cálculos						
Biguers	Peso	Peso B+Sh	Peso Sh	Peso B+Ss	Peso Ss	%H
N°4	145.95	384.95	239.00	351.85	205.90	16.08
R.L	147.2	375.3	228.10	349.80	202.60	12.59
B	145.75	416.95	271.20	384.05	238.30	13.81
SRS	146.1	375.15	229.05	355.55	209.45	9.36
B3	147.75	444.3	296.55	412.35	264.60	12.07
B1	147.4	382	234.60	350.95	203.55	15.25

Fuente: Elaboración propia

## Anexo 23: Cálculo de materia orgánica

$$C\%: \frac{(10 \times (1 - (\frac{21.6}{36.8}))) \times 0.003}{0.5} \times 100 : 2.48\%$$

$$M.O: 2.48 \times 1.724 : 4.27\%$$

## Anexo 24: Cálculos de L y S

A continuación, se muestra los cálculos para encontrar L en los diferentes usos actual del suelo en el área de estudio.

### Barbecho

$$L = \left( \frac{50}{22.13} \right)^{0.3} : 1.28$$

$$L = \left( \frac{65}{22.13} \right)^{0.3} : 1.38$$

$$L = \left( \frac{150}{22.13} \right)^{0.3} : 1.78$$

### Vegetación arbustiva

$$L = \left( \frac{30}{22.13} \right)^{0.3} : 1.10$$

### Plátano 1

$$L = \left( \frac{35}{22.13} \right)^{0.3} : 1.15$$

$$L = \left( \frac{38}{22.13} \right)^{0.3} : 1.18$$

$$L = \left( \frac{75}{22.13} \right)^{0.3} : 1.44$$

$$L = \left( \frac{160}{22.13} \right)^{0.3} : 1.81$$

### Plátano 2

$$L = \left( \frac{35}{22.13} \right)^{0.3} : 1.15$$

$$L = \left( \frac{90}{22.13} \right)^{0.3} : 1.52$$

### Plátano 3

$$L = \left( \frac{80}{22.13} \right)^{0.3} : 1.47$$

### Yuca 1

$$L = \left( \frac{45}{22.13} \right)^{0.3} : 1.24$$

$$L = \left( \frac{75}{22.13} \right)^{0.3} : 1.44$$

## Yuca 2

$$L = \left( \frac{18}{22.13} \right)^{0.3} : 0.94$$

## Árboles frutales

$$L = \left( \frac{35}{22.13} \right)^{0.3} : 1.15$$

## Cortinas rompevientos

$$L = \left( \frac{3}{22.13} \right)^{0.3} : 0.55$$

$$L = \left( \frac{6}{22.13} \right)^{0.3} : 0.68$$

Ahora para desarrollar la fórmula de S se realizaron los siguientes pasos:

Pendiente en (m/m): 0.01

Pendiente en porcentaje:  $0.01 \times 100$ : 1%

Pendiente en grados: se realizó una regla de tres para encontrar el valor en grados siendo: 0.5729

Pendiente grado a radianes:

Factor de conversión: 0.01745

$0.5729 \times 0.01745$ : 0.0100

Una vez obtenida la pendiente en radianes se aplica la fórmula (17) ya que la pendiente de la finca agrícola experimental es menor del 9%:

$$S = 10.8 \operatorname{Sen} (0.0100) + 0.03$$

$$S = 0.138$$

**Anexo 25: Datos obtenidos para la obtención de K experimental**

<b>Aforo Manguera</b>	
Tiempo de llenado prom. (seg)	105
Vol. Recipiente (m <sup>3</sup> )	0.02
Caudal (m <sup>3</sup> /seg)	0.0002
Caudal (l/seg)	0.2

Fuente: Elaboración propia

<b>Ensayo del Q</b>	
Vol. Aplicado al simulador (litros)	48.0
Vol. Aplicado al simulador (m <sup>3</sup> )	0.048
Altura de lluvia aplicada (m)	0.267
Altura de lluvia aplicada (mm)	266.7
Sedimentos húmedos (gr)	104.7
Sedimentos secos (gr)	58.25
Vol. Recolectado (ml)	2740
Vol. Recolectado (litros)	2.74
Vol. Recolectado (m <sup>3</sup> )	0.0027
Vol. Recolectado (m)	0.015
Vol. Recolectado (mm)	15.2
Infiltración (m <sup>3</sup> )	0.045
Infiltración (m)	0.251
Infiltración (mm)	251.4
Relación h recolectado /h aplicado	0.06

Fuente: Elaboración propia

**Anexo 26:Factores RUSLE**

Uso	Factor R (MJ.mm/ (ha.hr)	Factor K	Factor L	Factor S	Factor C	Factor P	Erosión (A)	Erosión Potencial
							(T/ha-año)	(T/ha-año)
Camino	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0	0.0	0.0
Construcción	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0	0.0	0.0
Barbecho	6448.5	0.06	1.28	0.14	0.01	1	0.7	65.9
Vegetación arbustiva	6448.5	0.06	1.10	0.14	0.15	1	8.5	56.5
Plátano 2	6448.5	0.06	1.52	0.14	0.08	1	6.3	78.5
Cortinas rompevientos	6448.5	0.06	0.55	0.14	0.15	1	4.2	28.3
Plátano 1	6448.5	0.06	1.18	0.14	0.08	1	4.9	60.7
Barbecho	6448.5	0.06	1.78	0.14	0.01	1	0.9	91.6
Plátano 1	6448.5	0.06	1.44	0.14	0.08	1	5.9	74.4
Plátano 1	6448.5	0.06	1.15	0.14	0.08	1	4.7	59.2
Plátano 1	6448.5	0.06	1.81	0.14	0.08	1	7.5	93.4
Yuca 1	6448.5	0.06	1.44	0.14	0.20	1	14.9	74.4
Árboles frutales	6448.5	0.06	1.15	0.14	0.15	1	8.9	59.2
Yuca 1	6448.5	0.06	1.24	0.14	0.20	1	12.8	63.8
Barbecho	6448.5	0.06	1.38	0.14	0.01	1	0.7	71.3
Plátano 2	6448.5	0.06	1.15	0.14	0.08	1	4.7	59.2
Cortinas rompevientos	6448.5	0.06	0.55	0.14	0.15	1	4.2	28.3
Yuca 2	6448.5	0.06	0.94	0.14	0.20	1	9.7	48.5
Plátano 3	6448.5	0.06	1.47	0.14	0.08	1	6.1	75.8
Cortinas rompevientos	6448.5	0.06	0.68	0.14	0.15	1	5.2	34.9

Fuente: Elaboración propia



## Anexo 27: Instalación y prueba con el simulador de lluvia



Fuente: Elaboración propia

**Anexo 28: Uso actual de los suelos en la FAE-UNI.**



**Fuente:** Elaboración propia



**Fuente:** Elaboración propia