

UNIVERSIDAD SAN CARLOS DE GUATEMALA
CENTRO UNIVERSITARIO DE SUROCCIDENTE
CARRERA AGRONOMÍA TROPICAL
DOCUMENTO DE GRADUACIÓN

Validación de la Ecuación Universal de Pérdida de Suelo (EUPS), para el cultivo de la caña de azúcar (*Saccharum officinarum*) en finca San Bonifacio, Santa Lucía Cotzumalguapa, Escuintla.

Kevin Rigoberto Avila Santos

201144520

Asesor:

Dr. Milton Leonel Chan Santisteban

Mazatenango, Suchitepéquez abril 2018.

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
CENTRO UNIVERSITARIO DE SUROCCIDENTE

Dr. Carlos Guillermo Alvarado Cerezo

Rector

Dr. Carlos Enrique Camey Rodas

Secretario General

**MIEMBROS DEL CONSEJO DIRECTIVO DEL CENTRO UNIVERSITARIO DE
SUROCCIDENTE**

Dr. Guillermo Vinicio Tello Cano

Director

REPRESENTANTES DE PROFESORES

MSc. José Norberto Thomas Villatoro

Secretario

Dra. Mirna Nineth Hernández Palma

Vocal

REPRESENTANTE GRADUADO DEL CUNSUROC

Lic. Ángel Estuardo López Mejía

Vocal

REPRESENTANTES ESTUDIANTILES

Lcda. Elisa Raquel Martínez Gonzáles

Vocal

Br. Irrael Esduardo Arriaza Jerez

Vocal

COORDINACIÓN ACADÉMICA

MSc. Bernardino Alfonso Hernández Escobar

Coordinador Académico

MSC. Alvaro Estuardo Gutiérrez Gamboa

Coordinador Carrera Licenciatura en Administración de Empresas

Lic. Luis Carlos Muñoz López

Coordinador Carrera en Licenciatura en Trabajo Social

Lic. Mauricio Cajas Loarca

Coordinador de las carreras de pedagogía

M.V. Edgar Roberto del Cid Chacón

Coordinador Carrera Ingeniería en Alimentos

Ing. Agr. Edgar Guillermo Ruiz Recinos

Coordinador Carrera Ingeniería Agronomía Tropical

Ing. Agr. Iris Yvonnee Cárdenas Sagastume

Coordinadora Carrera Ingeniería en Gestión Ambiental Local

MSc. Tania María Cabrera Ovalle

Coordinadora Carrera de Licenciatura en Ciencias jurídicas y Sociales Abogado y
Notario

Lic. José Felipe Martínez Domínguez

Coordinador de Área

CARRERAS PLAN FIN DE SEMANA

MSc. Tania Elvira Marroquín Vásquez

Coordinadora de las Carreras de Pedagogía

MSc. Paola Marisol Rabanales

Coordinadora Carrera Periodista Profesional y

Licenciatura en ciencias de la Comunicación

DEDICATORIA

A Dios

Que se haga tu voluntad hoy y todos los días de mi vida.

A mis Padres

Por ser el ejemplo a seguir esta es la recompensa de sus esfuerzos, muchas gracias.

A mi abuela

Virginia de León (†) "Mamá Vicky" por inculcarme el hábito de estudio.

A mis hermanos

A Nancy, Leslie y Boris luchan por sus sueños.

A mi novia

Hengly María Cotoc Girón, por la paciencia y el apoyo brindado.

A mi hija

Lidia Virginia Avila por ser el motorcito de vida, que este logro sea una meta en su vida.

A mis compañeros y amigos

Nunca se den por vencidos, luchan por sus metas y sueños.

A la Cuadra FC

Más que mis amigos mis hermanos.

AGRADECIMIENTOS

AL CENTRO UNIVERSITARIO DE SUR OCCIDENTE DE LA UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA

Por ser mi casa de estudio.

A mis catedráticos

Por compartir sus valiosos conocimientos.

Al Instituto Privado de Investigación Sobre Cambio Climático (ICC)

Por abrirme las puertas y haber permitido culminar una etapa más en mi formación académica, en especial al programa Manejo Integrado de Cuencas: Ing. Juan Andrés Nelson, Inga. Alma Santos, Lic. Gabriel Rivas, Ing. Brayan Cujcuj, Oscar Morales y Conrado Games.

A Ingenio Pantaleón S.A.

Especialmente al departamento de Ingeniería agrícola: Ing. Fabricio Alvarado, Hugo Ferres y al personal de Finca San Bonifacio, por financiar dicha investigación.

A Dr. Milton Leonel Chan

Por todo el apoyo brindado en la elaboración de este documento.



Mazatenango, Suchitepéquez, febrero de 2018

Honorable Consejo Directivo
Centro Universitario de Sur Occidente
Universidad de San Carlos de Guatemala

Distinguidos integrantes del Consejo Directivo

De conformidad a las normas establecidas del Centro Universitario de Sur Occidente y de la Carrera de Agronomía Tropical, someto a su consideración el presente trabajo de graduación titulado **"Validación de la Ecuación Universal de Pérdida de Suelo (EUPS), para el cultivo de la caña de azúcar (*Saccharum officinarum*) en finca San Bonifacio, Santa Lucía Cotzumalguapa, Escuintla."**

Requisito para optar al título de Ingeniero Agrónomo, en el grado académico de licenciado.

Sin nada más que agregar, me suscribo de ustedes.

Atentamente.

"ID Y ENSEÑAD A TODOS"

Kevin Rigoberto Avila Santos

Carné: 201144520

ÍNDICE GENERAL

CONTENIDO	pág
I. INTRODUCCION.....	1
II. REVISION DE LITERATURA.....	2
1. Marco Conceptual.....	2
1.1. Procesos de la erosión hídrica.....	2
1.2. Principales causas y consecuencias de la erosión hídrica.....	3
1.2.1. Clima.....	4
1.2.2. Relieve.....	5
1.2.3. Suelo.....	6
1.3. Tipos de erosión hídrica.....	6
1.3.1. Erosión por salpicadura.....	6
1.3.2. Erosión laminar.....	7
1.3.3. Erosión por surco.....	7
1.3.4. Erosión en cárcavas.....	8
1.4. La ecuación universal de pérdida de suelo (EUPS).....	8
1.4.1. Factor R.....	10
1.4.2. Factor K.....	10
1.4.3. Factor “LS”.....	11
1.4.4. Factor C.....	12
1.4.5. Factor P.....	13
1.5. Parcelas de esorrentía.....	13
1.6. Variedad de caña de azúcar CP-72-2086.....	14
1.6.1. Aspectos de la planta.....	15
1.6.2. Entrenudo.....	15
1.6.3. Nudo.....	15
1.6.4. Vaina.....	15
1.6.5. Lamina foliar.....	15
1.6.6. Aurícula y lígula.....	15
1.6.7. Cuello.....	15
1.7. Tercios de cosecha.....	15

1.8. Etapa fenológica.....	16
2. Marco referencial.....	17
2.1. Ubicación geográfica.....	17
2.2. Extensión.....	17
2.3. Clima.....	17
2.4. Zona de vida.....	18
2.5. Características edáficas.....	18
2.6. Manejo agronómico.....	20
2.6.1. Preparación del terreno.....	20
2.6.2. Siembra.....	21
2.6.3. Control de malezas.....	22
2.7. Investigaciones relacionadas.....	22
2.7.1. Determinación de la erosión hídrica para diferentes rangos de pendientes en finca Santa Albina, municipio de Colomba Costa Cuca, departamento de Quetzaltenango.....	22
2.7.2. Estudio de la erosión hídrica en la parte alta de la zona cañera, microcuenca los Sujuyes, Santa Lucía Cotzumalguapa, Escuintla, Guatemala, C.A.....	24
III. OBJETIVOS.....	26
1. General.....	26
2. Específicos.....	26
IV. HIPÓTESIS.....	27
V. MATERIALES Y MÉTODOS.....	28
1. Materiales y equipo.....	28
1.1. Materiales.....	28
1.2. Equipo.....	28
2. Tratamientos.....	28
3. Metodología Ecuación Universal de Pérdida de Suelo (EUPS) método indirecto.....	31
3.1. Determinación del factor erosividad de la lluvia (R).....	31
3.2. Determinación del factor erodabilidad de los suelos (K).....	31

3.3. Determinación del factor longitud y pendientes (LS).....	35
3.4. Determinación del factor cobertura (C).....	36
3.5. Determinación del factor prácticas de conservación.....	36
4. Metodología de parcelas de escorrentía (método directo).....	36
4.1. Selección de lotes para instalación de parcelas de escorrentía...	36
4.2. Instalación de parcelas de escorrentía.....	36
4.2.1. Delimitación de parcelas.....	36
4.2.2. Instalación de canales colectores.....	37
4.2.3. Instalación de sistema colector.....	37
4.2.4. Identificación de parcelas.....	37
4.2.5. Instalación de pluviómetros.....	37
4.2.6. Calibración de toneles.....	38
4.3. Monitoreo de parcelas de escorrentía.....	38
4.3.1. Medición de precipitación.....	38
4.3.2. Medición de altura de espejo de agua.....	38
4.3.3. Limpieza del canal conductor.....	38
4.3.4. Toma de muestra.....	38
4.3.5. Mantenimiento de parcelas.....	39
4.4. Análisis de muestra.....	39
4.4.1. Llenado de boleta de laboratorio.....	39
4.4.2. Peso papel filtro.....	39
4.4.3. Medición de muestra.....	39
4.4.4. Filtro de muestra.....	39
4.4.5. Secado de muestra.....	39
4.4.6. Peso de muestra.....	39
4.5. Calculo de escorrentía y sedimentos.....	39
4.5.1. Escorrentía por tonel.....	40
4.5.2. Escorrentía por hectárea.....	40
4.5.3. Porcentaje de infiltración.....	40
4.5.4. Sedimentos por muestra.....	41
4.5.5. Sedimentos por tonel.....	41

4.5.6. Sedimentos toneladas por hectárea.....	41
5. Comparación de las tasas de erosión hídrica de un método directo (parcelas de escorrentía) y un método indirecto (EUPS).....	42
VI. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	43
1. Ecuación Universal de Pérdida de Suelo (EUPS) método indirecto...	43
1.1. Precipitaciones.....	43
1.2. Factor erosividad de la lluvia (R).....	44
1.2.1. Factor erosividad de la lluvia (R) para el primer tercio de cosecha.....	44
1.2.2. Factor R para el segundo tercio de cosecha.....	45
1.2.3. Factor R para el Tercer tercio de cosecha.....	47
1.2.4. Comparación de factor R histórico y factor R de cada tercio de cosecha.....	48
1.3. Factor erodabilidad del suelo (K).....	49
1.3.1. Factor K para los tercios evaluados.....	49
1.4. Factor longitud (L) y pendiente (S).....	50
1.5. Factor cobertura (C).....	50
1.6. Factor práctica de conservación (P).....	51
1.7. Estimación de la erosión hídrica.....	51
1.7.1. Estimación de la erosión hídrica a través de la EUPS para el primer tercio de cosecha.....	51
1.7.2. Estimación de la erosión hídrica a través de la EUPS para el segundo tercio de cosecha.....	53
1.7.3. Estimación de la erosión a raves de la EUPS para el tercer tercio de cosecha.....	54
1.7.4. Comportamiento de la erosión hídrica estimada.....	55
2. Parcelas de escorrentía método directo.....	56
2.1. Erosión primer tercio de cosecha.....	57
2.2. Erosión segundo tercio de cosecha.....	58
2.3. Erosión tercer tercio de cosecha.....	59
2.4. Comportamiento de la erosión hídrica.....	60

3. Escorrentía.....	61
3.1. Escorrentía primer tercio de cosecha.....	61
3.2. Escorrentía segundo tercio de cosecha.....	62
3.3. Escorrentía tercer tercio de cosecha.....	63
3.4. Comportamiento de la escorrentía.....	65
4. Infiltración.....	66
4.1. Infiltración primer tercio de cosecha.....	66
4.2. Infiltración segundo tercio de cosecha.....	67
4.3. Infiltración tercer tercio de cosecha.....	68
5. Validación de la Ecuación Universal de Pérdida de Suelo.....	70
5.1. Prueba de medias.....	70
5.2. Comparación de resultados entre EUPS y parcelas de escorrentía.....	71
VII. CONCLUSIONES.....	73
VIII. RECOMENDACIONES.....	74
IX. BIBLIOGRAFIA.....	75
X. ANEXOS.....	78

INDICE DE CUADROS

No.	Contenido	Pág
1	Etapas fenológicas del cultivo de la caña de azúcar (<i>S. officinarum</i>).....	16
2	Duración de las diferentes etapas fenológicas según tercio de cosecha.....	17
3	Cantidad de suelo erosionado para diferentes rangos de pendiente en finca Santa Albina, Colomba Costa Cuca, Quetzaltenango (t/ha/año).....	23
4	Análisis de Varianza para suelos erosionados para diferentes rangos de pendiente.....	23
5	Medias para la cantidad de suelo erosionado (t/ha) en los tratamientos.....	24
6	Tasa de erosión de suelo estimada por MUSLE (T/HA) en comparación con las tasas de erosión (T/HA) obtenidas a través de las parcelas de escurrimiento, microcuenca Los Sujuyes 2013.....	25
7	Etapas fenológicas según tercio de cosecha.....	30
8	Permeabilidad media para los lotes en estudio.....	34
9	Identificación de parcelas.....	37
10	Precipitación pluvial en los sitios experimentales.....	43
11	Estimación del factor R para el cultivo de caña de azúcar destinado a cosechar del primer tercio.....	45
12	Estimación del factor R para el cultivo de caña de azúcar destinado a cosechar en el segundo tercio.....	46
13	Estimación del factor R para el cultivo de caña de azúcar destinado a cosechar en el tercer tercio.....	47
14	Comparación del factor R histórico y los factores R de cada tercio de cosecha.....	48
15	Valores del factor K para los diversos lotes en estudio.....	49
16	Factor longitud (L) y pendiente (S) de los lotes en estudio.....	50
17	Estimación de la erosión hídrica a través de la EUPS para el cultivo de caña de azúcar cosechada en el primer tercio.....	52
18	Estimación de la erosión hídrica a través de la EUPS para el cultivo de caña de azúcar cosechada en el segundo tercio.....	53
19	Estimación de la erosión hídrica a través de la EUPS para el cultivo de caña de azúcar cosechada en el tercer tercio.....	54

20	Erosión hídrica en el primer tercio de cosecha.....	57
21	Erosión hídrica en el segundo tercio de cosecha	58
22	Erosión hídrica en el tercer tercio de cosecha	59
23	Escorrentía captada en el primer tercio de cosecha.....	62
24	Escorrentía captada en el segundo tercio de cosecha.....	63
25	Escorrentía captada en el tercer tercio de cosecha	64
26	Capacidad y porcentaje de infiltración para el primer tercio de cosecha.....	66
27	Capacidad y porcentaje de infiltración para el segundo tercio de cosecha.....	67
28	Capacidad y porcentaje de infiltración para el tercer tercio de cosecha.....	69
29	Resultados de prueba de z	70

INDICE DE FIGURAS

No.	Contenido	Pág
1	Plano Finca San Bonifacio Santa Lucía Cotzumalguapa, Escuintla.....	19
2	Etapa fenológica del cultivo de la caña de azúcar (<i>Saccharum officinarum</i>), correspondientes al primer tercio de cosecha.....	29
3	Etapa fenológica del cultivo de la caña de azúcar (<i>Saccharum officinarum</i>), correspondientes al segundo tercio de cosecha.....	29
4	Etapa fenológica del cultivo de la caña de azúcar (<i>Saccharum officinarum</i>), correspondientes al tercer tercio de cosecha.....	30
5	Código de estructura del suelo de EUPS.....	33
6	Nomograma de Wischmeier & Smith.....	34
7	Precipitación pluvial en los sitios experimentales.....	43
8	Comportamiento de la estimación de la erosión hídrica.....	55
9	Comportamiento de la erosión hídrica.....	60
10	Comportamiento de la escorrentía en los diversos tercios de cosecha.....	65
11	Infiltración primer tercio de cosecha	67
12	Infiltración segundo tercio de cosecha	68
13	Infiltración tercer tercio de cosecha.....	69
14	Comparación de EUPS con parcelas de escorrentía a) primer tercio de cosecha, b) segundo tercio de cosecha y c) tercer tercio de cosecha del cultivo de la caña de azúcar.....	71
15	Instalación de parcelas de escorrentía.....	79
16	Delimitación de parcelas de escorrentía.....	79
17	Instalación de canal conductor.....	80
18	Instalación del sistema colector.....	80
19	Limpieza de canal colector para la toma de muestra.....	81
20	Toma de muestra del sistema colector.....	81
21	Muestras en laboratorio para su posterior análisis.....	82
22	Filtrado de muestra en laboratorio.....	82
23	Muestras filtradas y secado de muestras en laboratorio.....	82
24	Peso de muestras secas.....	83
25	Mantenimiento a parcelas de escorrentía.....	83

26	Gira de campo con personal de Ingenio Pantaleón e ICC a parcelas de escorrentía.....	83
27	Nomograma para determinación factor K del primer tercio de cosecha.....	84
28	Nomograma para determinación factor K del segundo tercio de cosecha.....	84
29	Nomograma para determinación factor K del tercer tercio de cosecha.....,	85

SUMMARY

The present investigation was carried out in the cultivation of sugarcane (*Saccharum officinarum*) between the Private Institute of Research on Climate Change (ICC) and Ingenio Pantaleón S.A. in the San Bonifacio farm, Santa Lucía Cotzumalguapa, Escuintla.

For the validation of the EUPS, runoff plots installed in the cultivation of sugar cane (*Saccharum officinarum*), in the variety CP-72-2086 were used, the factors corresponding to the EUPS were measured to estimate the erosion and the erosion through runoff plots in each rain event.

The erosion measurement was carried out in three different phenological stages of the crop corresponding to the programming of its harvest (third of harvest).

To determine if the equation gives results that are close to reality, the data obtained was analyzed by means of a hypothesis test in Z distribution for two independent samples in which the results obtained with the EUPS were compared with the erosion registered in the plots of runoff.

With the EUPS a soil loss was estimated for the first phenological stage (first third) of 9.16 T / ha, for the second phenological stage (second third) a loss of 23.41 T / ha and for the third phenological stage (third third) a loss of 19.07 T / ha, with the plots of runoff it was determined that for the first stage phenology there is a loss of 0.5529 T / ha, for the second phenological stage it has a loss of 1.1088 T / ha and the third phenological stage has a loss of 1.5748 T / ha.

It was determined that if there is a difference between the erosion calculated by the two methodologies and that the EUPS overestimated water erosion in sugarcane cultivation.

RESUMEN

La presente investigación se realizó en el cultivo de la caña de azúcar (*Saccharum officinarum*) entre el Instituto Privado de Investigación Sobre Cambio Climático (ICC) y el Ingenio Pantaleón S.A. en finca San Bonifacio, Santa Lucia Cotzumalguapa, Escuintla.

Para la validación de la EUPS se utilizaron parcelas de escorrentía instaladas en el cultivo de la caña de azúcar (*Saccharum officinarum*), en la variedad CP-72-2086, se midieron los factores correspondientes a la EUPS para estimar la erosión y se midió la erosión a través de parcelas de escorrentía en cada evento de lluvia.

La medición de la erosión se efectuó en tres etapas fenológicas diferentes del cultivo que corresponden a la programación de su cosecha (tercio de cosecha).

Para determinar si la ecuación brinda resultados apegados a la realidad se analizaron los datos obtenidos por medio de una prueba de hipótesis en distribución de Z para dos muestras independientes en la que se comparó los resultados obtenidos con la EUPS y la erosión registrada en las parcelas de escorrentía.

Con la EUPS se estimó una pérdida de suelo para la primer etapa fenológica (primer tercio) de 9.16 T/ha, para la segunda etapa fenológica (segundo tercio) una pérdida de 23.41 T/ha y para la tercer etapa fenológica (tercer tercio) una pérdida de 19.07 T/ha, con las parcelas de escorrentía se determinó que para la primera etapa fenológica se tiene una pérdida de 0.5529 T/ha, para la segunda etapa fenológica una pérdida de 1.1088 T/ha y la tercer etapa fenológica tiene una pérdida de 1.5748 T/ha.

Se determinó que si existe diferencia entre la erosión calculada por las dos metodologías y que la EUPS sobreestimó la erosión hídrica en el cultivo de la caña de azúcar.

I. INTRODUCCIÓN

La Ecuación Universal de Pérdida de Suelos, fue publicada por Wischmeier & Smith en 1978, como una metodología para la estimación de la erosión láminar en parcelas pequeñas. Luego de varias modificaciones la ecuación se presenta como una metodología útil en la planificación de obras de conservación de suelo.

Ingenio Pantaleón S.A. es una organización agroindustrial dedicada al cultivo y procesamiento responsable de caña de azúcar (*Saccharum officinarum*) para la producción de azúcar, mieles, alcoholes y energía eléctrica. El departamento de ingeniería agrícola de Ingenio Pantaleón S.A entre los procesos responsables realizan estimaciones de pérdida de suelo a través de la EUPS, para programar el diseño de prácticas de conservación de suelo, las prácticas implementadas por el departamento de ingeniería agrícola en el cultivo de caña de azúcar son acequias de ladera, cultivos en contorno y terrazas de banda ancha.

El experimento se llevó a cabo en finca San Bonifacio la cual es administrada por Ingenio Pantaleón S.A. y se ubica en el km 86.5 carretera al Pacífico en el municipio de Santa Lucía Cotzumalguapa, del departamento de Escuintla, a una altitud de 250 msnm, situándose en un estrato medio, tiene una clasificación de erosión de extremadamente severa (ICC, 2015) y es dedicada al cultivo de caña de azúcar

Por tal motivo la validación de la EUPS es importante para su aplicación en las fincas de la empresa debido a que la misma fue generada en condiciones diferentes a las existentes en el cultivo de la caña de azúcar en la costa sur de Guatemala, Sin embargo no se tiene certeza sobre la precisión de las estimaciones de la EUPS.

Para la validación de la EUPS se compararon datos generados a través de parcelas de escorrentía instaladas en diferentes etapas fenológicas del cultivo basándonos en los tercios de cosecha del cultivo de la caña de azúcar versus datos estimados mediante la EUPS, se contó con diversos escenarios de la fenología del cultivo de la caña de azúcar para su comparación, los resultados obtenidos se presentan, analizan y discuten en esta investigación.

II. REVISION DE LITERATURA

1. Marco conceptual

1.1. Proceso de la erosión hídrica

La erosión es el desgaste que se produce en la superficie del suelo por la acción de agentes externos (como el viento o el agua) o por la fricción continua de otros cuerpos. La erosión hídrica es el proceso por el cual se produce el desprendimiento, transporte y depósito de las partículas de suelos por acción de los siguientes agentes principales:

- La energía cinética de la gota de lluvia: La energía de la lluvias se disipa sobre la superficie del suelo produciendo la ruptura de los terrones y agregados, generando una salpicadura (erosión por salpicadura) que desprende partículas que luego son arrastradas pendiente abajo.
- La esorrentía en movimiento: Este agente erosivo produce el desprendimiento de nuevo suelo y el transporte del suelo removido, en una magnitud proporcional al caudal escurrido y a la velocidad que adquiere el flujo de agua sobre la superficie. Este agente produce los fenómenos erosivos más visibles (por ejemplo cárcavas), y es el responsable del movimiento de las partículas de suelo removidas. Pueden distinguirse dentro de la esorrentía dos tipos de flujos: el flujo laminar (erosión laminar), que se mueve con una velocidad lenta, y el flujo turbulento/concentrado o flujo en surcos (erosión en surcos), con una velocidad que puede llegar a 4m/s, y que es el responsable de la mayor parte del transporte de sedimentos (Morgan, 1995).
- La gravedad: La sola acción de la gravedad es capaz de mover el suelo, especialmente cuando esta mojado y en ambientes de altas pendientes. Los movimientos en masa, deslizamientos de laderas, erosión lateral de ríos, deslave son ejemplos de la acción de la gravedad en procesos erosivos (Troeh, 1991).

1.2. Principales causas y consecuencias de la erosión hídrica

La erosión hídrica es un proceso complejo, multicausal, dinámico, de tipo episódico y sujeto a un conjunto de causas que ocurren en un sistema de producción

La complejidad del proceso deriva de que puede ser visto a diferentes escalas de tiempo y espacio. En la escala temporal el proceso se da por eventos, es decir en forma episódica, con un grado de probabilidad determinado por el comportamiento del factor climático y la ocurrencia de tormentas de alta energía, coincidentes con momentos de alta susceptibilidad del suelo y relieve a la ocurrencia del fenómeno. (Cisneros et al, 2012)

En una escala de tiempo mayor la paulatina pérdida de suelo genera efectos de retroalimentación en la erosión a través de la pérdida de horizontes de suelo de mayor resistencia, lo cual hace que el proceso no sea lineal en el tiempo, sino que frecuentemente es acelerado en el tiempo. Es el caso de la erosión de laderas de montaña, en la cual a medida que se pierde el suelo sobre la roca, se incrementan las tasas de escorrentía y por lo tanto se acelera la pérdida de suelo en un ciclo de retroalimentación positiva, hasta que el suelo desaparece por completo y queda la roca expuesta. Otro ejemplo es la retroalimentación que ocurre con la erosión en cárcavas, que van creciendo en profundidad, en ancho y en ramificaciones, a medida que el proceso avanza (Cisneros et al, 2012).

En la escala espacial la erosión puede ser considerada a escala de lote o parcela, en la cual se pueden analizar las formas más elementales de erosión: salpicadura, laminar y en surcos. A esta escala es posible controlar estos procesos erosivos básicos mediante la aplicación de técnicas de conservación de suelos.

En una escala de cuenca pueden visualizarse otros procesos erosivos como cárcavas y erosión de márgenes de ríos y arroyos, y es necesario

considerar una visión más amplia del problema, no registrable sólo a escala de lote. La resolución de estos procesos requiere una mayor participación de los involucrados en la cuenca, como así también del conjunto de decisores con incumbencia en el ámbito de la cuenca (poblaciones, organismos públicos, consorcios, etc.).

En una escala aún mayor la erosión se relaciona con los procesos de inundación-sedimentación, de la cual forma parte esencial, por ocurrir en los sectores altos de las cuencas. El control de la erosión a esta escala, permite el abordaje de los efectos extra-prediales del fenómeno y que generan daños (externalidades negativas) que pueden observarse cíclicamente en fenómenos de rotura de infraestructura de rutas y caminos, desborde de arroyos, sedimentación de depresiones, etc. (Cisneros et al, 2012).

A continuación se analizan brevemente las principales causas de la erosión hídrica.

1.2.1. Clima

El principal factor climático que influye en la erosión hídrica es la precipitación pluvial, y su energía cinética. En relación a su origen, las tormentas pueden clasificarse en los siguientes tipos:

- **Ciclónicas:** Son las provocadas por los frentes de masas de aire con diferente temperatura y humedad y se caracterizan por abarcar grandes extensiones de territorio.
- **Convectivas:** Se producen por el ascenso repentino de masas de aire caliente, son de extensión más localizada y frecuentemente de alta intensidad.
- **Orográficas:** Se presentan cuando masas de aire húmedo son obligadas a ascender al encontrar una barrera montañosa. Su distribución también es errática, y de alta intensidad.

El estudio de las precipitaciones es importante dentro de cualquier estudio referido al manejo de la erosión hídrica, ya sea a nivel de una cuenca, como así también a nivel regional. Dentro de la caracterización de las lluvias interesa conocer:

- Cantidad y distribución: Es el registro más fácil de obtener en estaciones del ferrocarril, servicio meteorológico, aeropuertos, estaciones experimentales, etc. La precipitación media y su distribución indica los períodos críticos en cuanto a la ocurrencia de tormentas erosivas.
- Intensidad: La intensidad de una precipitación define la energía cinética que desencadena los procesos de desprendimiento y escurrimiento (Morgan, 1995).

1.2.2. Relieve

Dentro del relieve el principal parámetro a tener en cuenta en los procesos de erosión hídrica es el grado o inclinación de la pendiente, la que se puede expresar en porcentaje o en grados sexagesimales, siendo el porciento de pendiente igual a la tangente del ángulo de inclinación de la misma (una pendiente del 5 % corresponde a un ángulo de inclinación de aproximadamente 3°; una pendiente de 100 % corresponde a una inclinación de 45°).

La longitud de la pendiente es otro factor que define la cantidad de erosión de una ladera y la velocidad terminal de la escorrentía. La exposición solar de la pendiente tiene importancia en zonas de montaña, ya que influye sobre la insolación, temperatura y humedad del suelo y por lo tanto, sobre la posibilidad de instalación de la vegetación y la susceptibilidad a erosión. Por último la complejidad de la pendiente hace referencia a la mayor o menor uniformidad de gradientes, direcciones y longitudes, y es un parámetro importante de considerar al momento de planificar el control de la erosión mediante técnicas de manejo del relieve (Morgan R.P.C. y R. J. Rickson, 1995).

1.2.3. Suelo

La erosionabilidad o erodabilidad del suelo es una medida de la susceptibilidad al desprendimiento y transporte por los agentes de la erosión. La erodabilidad es un efecto integrado de los procesos que regulan la absorción de la lluvia y la resistencia de las partículas del suelo al desprendimiento y posterior transporte. Estos procesos están influidos por las propiedades del suelo tales como tamaño de partículas, estabilidad de agregados, materia orgánica, cantidad y tipo de arcillas o por características edáficas que afectan la estructura del suelo y la transmisión de agua (Morgan R.P.C. y R. J. Rickson, 1995).

1.3. Tipos de erosión hídrica

Atendiendo a la forma como tiene lugar la erosión, cabe distinguir los siguientes procesos de erosión hídrica, los cuales se discuten a continuación:

- Salpicadura.
- Erosión laminar.
- Erosión por surcos.
- En cárcavas.

1.3.1. Erosión por salpicadura

Se debe al impacto de las gotas de lluvia sobre los agregados de un suelo desnudo. Se producen pequeños cráteres de impacto, con liberación de partículas, que se desplazan en un radio máximo de 150 cm, siendo las arenas finas las más afectadas. Puede dar origen a un sello o costra superficial que influirá negativamente en las velocidades iniciales de infiltración.

Se relaciona directamente con la intensidad de la lluvia y su energía cinética, e inversamente con la estabilidad de los agregados superficiales y la cobertura de residuos. La presencia de vegetación arbórea puede

incrementar este tipo de erosión por la formación de gotas más grandes a partir del flujo de hojas (Cisneros, et al, 2012).

1.3.2. Erosión laminar

Es una forma de erosión superficial que se produce por acción del escurrimiento, perdiéndose una fina y uniforme capa de toda la superficie del suelo en forma de lámina.

Este proceso produce una mayor pérdida neta de suelo que la erosión por salpicadura, siendo el tamaño de partículas más afectado el que se desprende debido a la energía de la lluvia.

Es un tipo de erosión poco perceptible por el productor, no obstante es una importante vía de pérdida de suelo en condiciones de baja pendiente y suelos con infiltración disminuida (Fangmeier et al, 2006).

1.3.3. Erosión por surcos

Conforme se incrementan los caudales, la altura del agua y su velocidad, se pasa de un flujo de tipo laminar a uno concentrado, definido por el micro topografía del lote. Este tipo de escorrentía concentrada tiene una mayor capacidad de desprendimiento y de transporte que el flujo laminar, con lo cual las tasas de erosión por este mecanismo se incrementan, pasando el flujo de tipo subcrítico a supercrítico. Suele denominarse a la erosión en surcos como aquella que el productor puede “borrar” con los implementos de labranza, luego de que ocurre, definición que intenta clarificar la diferencia entre erosión en surcos y en cárcavas.

El mecanismo de erosión en surcos requiere la formación de una pequeña “cabecera” que produce una erosión retrocedente (en sentido contrario al flujo). La velocidad de avance del surco depende de la cohesividad del material de suelo, la altura del salto de agua en la cabecera del surco y el caudal y velocidad del flujo (Fangmeier et al, 2006)

1.3.4. Erosión en cárcavas

Las cárcavas (también llamadas zanjas) son la manifestación más visible y llamativa del proceso erosivo. Se desarrollan a partir de la acción del escurrimiento sobre la superficie, luego de que se alcanza un cierto caudal y velocidad del flujo, y se considera una cárcava como aquella forma de erosión que no puede ser borrada por las labranzas (Fangmeier et al, 2006).

La tasa de erosión en cárcavas depende del potencial de generación de escurrimiento de la cuenca, del área de drenaje que recibe la cárcava, del material del suelo y subsuelo, de la forma que toma la sección y de la pendiente del terreno (Cisneros et al, 2012).

1.4. La ecuación universal de pérdidas de suelos (EUPS)

La EUPS corresponde al resultado de múltiples esfuerzos teóricos y de campo incentivados por el Departamento de Agricultura de Estados Unidos (USDA), en la primera mitad del siglo 20. Los estudios fueron compilados por los investigadores Walter Wischmeier y Dwight Smith, quienes presentaron el modelo elaborado de EUPS en 1954, como un esfuerzo conjunto entre USDA y la Universidad de Purdue (Mancilla, 2008).

A pesar del carácter “universal” que se le asignó, el modelo EUPS basó sus datos y calibraciones en los distintos suelos encontrados en Estados Unidos, incluyendo los territorios de Hawái y Puerto Rico. En total, se estima que fueron utilizadas más de 10.000 parcelas por año, para la elaboración del modelo.

El modelo EUPS cobró notoriedad en Estados Unidos, donde comenzó a ser utilizado con propiedad para la predicción de pérdidas de suelo y la planificación de actividades agrícolas. Asimismo, diversos investigadores a nivel mundial aplicaron la EUPS a respectivas situaciones locales, lo cual permitía, además de probar la calidad de las estimaciones en latitudes diferentes de las que fue establecida.

La Ecuación Universal de Pérdidas de Suelo permite predecir la pérdida anual de suelo por hectárea y de acuerdo a los resultados, precisar las técnicas más apropiadas para el laboreo del suelo. El modelo EUPS contó con un fundamento empírico consistente en un amplio número de parcelas de escurrimiento. La mayor parte de dichas parcelas se mantenían en barbecho y constaban de 22,1 metros de longitud y 3,6 metros de ancho, sobre un terreno con 9% de pendiente (Mancilla, 2008) (CORTOLIMA, 2007). De esta manera, USLE utiliza como base dicho modelo de parcela, efectuando sus estimaciones en torno a la proporción de pérdida de suelo que ocurriría en las condiciones que el usuario presenta, respecto a la situación base especificada (Mancilla, 2008).

La USLE se expresa, en el sistema métrico internacional, como:

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

Donde:

A. es la pérdida de suelo en t/ha.año.

R. es el factor erosividad de la lluvia en Mjmm/ha.año.

K. es el factor erosionabilidad del suelo en (t/ha)/(Mj.mm/ha.h)

L. es el factor longitud del terreno (adimensional).

S. es el factor pendiente del terreno (adimensional).

C. es el factor cobertura y manejo de la vegetación (adimensional).

P. es el factor prácticas de conservación (adimensional).

El cálculo de la erosión actual se obtiene a través de la EUPS, efectuando la multiplicación de todos los factores que la conforman: $R * K * LS * C * P$.

En cuanto a la erosión potencial se puede obtener a través de EUPS multiplicando sólo tres de sus factores $R * K * LS$ (CORTOLIMA, 2007).

La estimación de la erosión hídrica requiere de información temática como suelos, clima, pendiente y cobertura y uso de la tierra, la cual, se automatiza a través del sistema de información geográfico y mediante análisis espacial

(superposición) se obtiene un mapa resultante que indica los rangos de erosión (CORTOLIMA, 2007).

1.4.1. Factor R

El factor erosividad de la lluvia es un índice numérico que expresa la capacidad de la lluvia para erosionar el suelo, se define como la suma del producto de la energía total de la precipitación por su máxima intensidad en treinta minutos para todos los eventos importantes de precipitación en un área durante un año promedio (Wischmeier & Smith, 1978).

Wischmeier & Smith, (1978), consideran que el término de R en forma de producto, es el mejor parámetro de la precipitación que refleja la interacción entre el potencial combinado del impacto de lluvias y la turbulencia del escurrimiento para transportar las partículas desprendidas.

El factor R de erosividad corresponde a la sumatoria de los productos de las energías de todos los eventos de lluvias erosivas anuales con sus respectivas intensidades máximas en 30 minutos, lo cual da una idea de la agresividad con que la precipitación influye en el proceso de degradación del suelo por erosión hídrica. Como un evento de lluvia erosiva se considera a toda precipitación igual o mayor que 12,7 milímetros de agua caída, separada por al menos 6 horas del evento anterior o posterior (Mancilla, 2008).

1.4.2. Factor K

El factor K representa la erosionabilidad del suelo, es decir, muestra su vulnerabilidad a la acción del agua; es una característica inherente a los suelos, que es función de la acción individual y/o combinada de sus propiedades físicas, químicas y biológicas, así como también del manejo que de ellos se haga. El método más completo para estimar K es el Nomograma de Wischmeier y Smith, (1978), el cual requiere datos sobre porcentaje de limo, porcentaje de arena muy fina, porcentaje de arena, porcentaje de contenido de materia orgánica, estructura y permeabilidad.

El factor de erodabilidad del suelo puede ser estimado de manera directa a través de una ecuación, o bien de manera gráfica. Para ambos métodos es necesario, efectuar determinaciones previas de ciertas propiedades que se revisan a continuación:

- Textura. Montos de arena, limo, arcilla y arenas muy finas (entre 0,05 y 0,1 mm de diámetro). De acuerdo a los manuales originales de EUPS, para efectos de la erosión del suelo la arena muy fina se comporta similar al limo.
- Materia orgánica.

Según EUPS, el porcentaje de materia orgánica oscila entre 0 y 4%, con valores de números enteros. Si el contenido fijado es más que el rango especificado, se asume un 4%.

- Estructura del suelo.
- Permeabilidad del suelo.

El factor K en el Sistema Internacional de unidades es expresado en $(t/ha)/(Mj.mm/ha.h)$, que expresa la resistencia del suelo en superficie y tiempo, respecto a la energía de la lluvia (Mancilla, 2008).

1.4.3. Factor “LS”

El factor topográfico LS es la relación entre el suelo perdido en un terreno cualquiera con pendiente p y longitud λ , y la correspondiente a la parcela piloto utilizada en el desarrollo de la EUPS. Se refiere entonces al efecto combinado de la pendiente y la longitud de los terrenos expuestos a la erosión laminar y en surcos. Su valor se obtiene por multiplicación de dos sub factores: longitud (L) y pendiente (S) (Wischmeier y Smith, 1978).

La inclusión de los factores topográficos agrega matices importantes en el modelo EUPS. En términos simples, el grado de inclinación de un terreno (S) entrega el componente de gravedad necesario para comenzar el movimiento del flujo concentrado y otorgarle velocidad, mientras que la

longitud de la pendiente (L) es un factor que condiciona el volumen de agua que fluye en una ladera determinada, y por lo tanto el esfuerzo de corte que el flujo tiene (Mancilla, 2008).

1.4.4. Factor C

Este factor indica el efecto de la cubierta vegetal en la pérdida de suelo. Se expresa como la relación entre la pérdida de suelo de un área o parcela con una vegetación dada y sistemas de manejo específicos, y la pérdida de suelo en una parcela en barbecho continuo, limpia y arada, en el sentido de la pendiente, a intervalos regulares.

La determinación de C se hace a partir de valores tabulados según se trate de cultivos agrícolas o vegetación forestal. Wischmeier y Smith, (1978), publicaron numerosas tablas del factor C por tipos de cultivos, etapa de desarrollo y sistemas de manejo. Así como también una tabla para vegetación de gramínea-arbustal y otra para bosque.

El factor C de EUPS representa el grado de protección que un determinado tipo de cubierta vegetal ofrece al suelo, en oposición al resto de las variables que facilitan la erosión hídrica. En otras palabras, en este componente están representados los efectos del porcentaje de cubrimiento de la vegetación, el efecto protector de los residuos vegetales incluidos en la hojarasca y la acción de agregación que tienen las raíces en el suelo. En sí, el factor C aparece como el más subjetivo, especialmente en materias de índole forestal, puesto que su determinación aún cuenta con antecedentes puntuales de investigaciones, más que datos resultantes de una planificación seria y constante. Diferente es el caso de los suelos de aptitud agrícolas, dado que EUPS fue establecida primordialmente para este tipo de terrenos y la gran mayoría de los datos y parámetros existentes derivan de ellos. El factor C para cultivos agrícolas incluye los efectos de labores anexas, tales como preparación del sitio, época de siembra y rotaciones usuales para diferentes tipos de clima y suelo (Mancilla, 2008).

En general, para estimar el factor C solo existen tabulaciones. Lo anterior radica en el hecho de concentrar los resultados de las diversas parcelas que originalmente se distribuyeron en Estados Unidos para calibrar la ecuación. Como se mencionó, para terrenos agrícolas las tabulaciones para C pueden considerarse más precisas, puesto que poseen mayor número de datos (Mancilla, 2008).

1.4.5. Factor P

El factor P es la relación de pérdida de suelo entre una parcela donde se han aplicado prácticas mecánicas de conservación de suelos (contornos, terrazas, cultivos en fajas, etc.) para el control de la erosión, y las pérdidas que se producen en una parcela si tales prácticas no se utilizan y el laboreo se efectúa en el sentido de la pendiente. Cuando las prácticas de conservación no se aplican o son muy pocas el valor de P es igual a 1 (Wischmeier y Smith, 1978).

Muchas veces la presencia de vegetación no evita la producción de escurrimiento superficial. En este sentido, el empleo de prácticas de conservación en el suelo minimiza el efecto del flujo de agua. Al respecto, EUPS incluye el factor P de prácticas de conservación para tres situaciones:

- El empleo de labranza siguiendo las curvas de nivel (cultivo en contorno)
- El empleo de fajas de cultivo en contorno
- El empleo de terrazas

1.5. Parcelas de escorrentía

Son porciones de terreno de tamaño variable, limitadas por paredes que aíslan completamente el agua de escorrentía, evitando el paso de ésta tanto hacia afuera como hacia adentro de la parcela. El agua que escurre es concentrada en un embudo colocado en la base, de donde por medio de

un canal pasa a uno o varios tanques donde se recolectan las muestras para el análisis (León, 2007).

Su tamaño más frecuente es de 44 m² (2m x 22 m) y 9% de pendiente, aunque pueden ser utilizados otros tamaños. Se sugiere la adopción de una longitud mínima de 10 m para la evaluación de la escorrentía superficial, pudiendo ser sustancialmente mayor en el caso de evaluaciones relativas a prácticas de conservación y cultivo (León, 2007).

La parcela debe evitar el paso del agua hacia adentro y hacia afuera, para lo cual son establecidos límites con bandas de metal, madera, plástico u otro material, cuya disposición se hace de canto en la tierra; sus bordes deben extenderse cuando menos 15-20 cm por sobre el nivel de la superficie del suelo (León, 2007).

1.6. Variedad de caña de azúcar CP-72-2086

Durante el período de 1990/2010 en la composición varietal de la Agroindustria Azucarera Guatemalteca, se observó un predominio de las variedades CP provenientes de la Estación Experimental de Canal Point, Florida. Destaca la variedad CP72-2086 que en la zafra 2002/2003, ocupó el 75 por ciento del área sembrada.

A la variedad CP72-2086 se le ha denominado “supervarietad” porque ha ocupado más del 40 por ciento del área sembrada durante más de 10 años y, con más de 8 toneladas de azúcar por hectárea. Casos similares se registraron en Brasil en la década de 1980 con la variedad NA5679; en la década de 1990 con la variedad LCP85-845; en Australia, en la década de 1990 con la Q124, y en la actualidad Colombia con la variedad CC85-92 (CENGICAÑA, 2012).

A continuación se describe las características de la variedad.

1.6.1. Aspecto de planta

- Hábito de crecimiento de tallos semierecto.
- Poco deshoje natural.
- Cantidad de follaje intermedio (Orozco et al, 2004).

1.6.2. Entrenudo

- Color verde amarillento con manchas negras.
- Forma de crecimiento cilíndrico y ligeramente curvado al costado de la yema (Orozco et al, 2004).

1.6.3. Nudo

- Forma de crecimiento obconoidal.
- Yema redonda con alas, de base angosta.
- Anillo de crecimiento protuberante (Orozco et al, 2004).

1.6.4. Vaina

- Desprendimiento intermedio.
- Color rosado y quebradizo por el centro.
- Presencia de afate intermedio.

1.6.5. Lamina foliar

- Borde aserrado (Orozco et al, 2004).

1.6.6. Aurícula y lígula

- Aurícula forma transicional ascendente.
- Lígula generalmente deltoides con rombo (CENGICAÑA, 2004).

1.6.7. Cuello

- Color café.
- Superficie semilisa (Orozco et al, 2004).

1.7. Tercios de cosecha

La caña de azúcar en Guatemala se cosecha en la época seca (verano), de noviembre a abril, aunque en algunos casos dependiendo de los volúmenes de producción puede extenderse hasta mediados de mayo.

La cosecha o zafra está dividida en tercios, debido a las diferencias en productividad de azúcar en el transcurso de la zafra. La caña de azúcar del primer tercio es la que se cosecha en los meses noviembre y diciembre, el segundo tercio de cosecha en enero y febrero, y el último tercio en los meses de marzo y abril (ocasionalmente a mediados de mayo). (CENGICAÑA, 2012)

1.8. Etapa fenológica

CENGICAÑA reconoce cuatro etapas fenológicas del cultivo de la caña de azúcar (*S. officinarum*), las cuales se presentan a continuación:

El cuadro uno muestra el número de etapas fenológicas con las que cuenta el cultivo, el nombre de las etapas fenológicas, la duración de cada etapa fenológica y el acumulado en días para un ciclo de 360 días para el desarrollo del cultivo y su posterior cosecha.

Cuadro 1. Etapas fenológicas del cultivo de la caña de azúcar (*S. officinarum*).

Etapas fenológicas de la caña de azúcar y su duración				
No	ETAPA FENOLOGICA		DURACION (días)	Ta (días)
1	Iniciación (EF-1)		45	45
2	Macollamiento (EF-2)		90	135
3	Elongación	Elongación Etapa I (EF-3)	115	250
		Elongación Etapa II (EF-4)	65	315
4	Maduración (EF-5)		45	360

Fuente: CENGICAÑA, (2012).

El cuadro dos muestra los meses de duración de cada etapa fenológica de los diferentes tercios de cosecha del cultivo de la caña de azúcar.

Cuadro 2. Duración de las diferentes etapas fenológicas según tercio de cosecha.

Etapa Fenológica		1er. Tercio	2do. Tercio	3er. Tercio
		Meses		
Iniciación (EF-1)		Dic a Ene	Feb a Mar	Abr a May
Macollamiento (EF-2)		Feb a Abr	Abr a Jun	Jun a Ago
Elongación	Elongación Etapa II (EF-3)	May a Ago	Jul a Oct	Sep a Dic
	Elongación Etapa I (EF-4)	Ago a Oct	Oct a Dic	Dic a Feb
Maduración (EF-5)		Nov a Dic	Ene a Feb	Mar a Abr

Fuente: CENGICAÑA, (2012).

2. Marco referencial

2.1. Ubicación geográfica

Finca San Bonifacio está bajo la administración de Ingenio Pantaleón S.A. Se ubica en el km 86.5 carretera al Pacífico en el municipio de Santa Lucía Cotzumalguapa, del departamento de Escuintla, se ubica a 14.2833 latitud norte y -91.0333 longitud oeste a una altitud de 250 msnm, siendo sus colindancias al norte con Finca Pantaleón, al sur con parcelamiento Agrario El Cajón, al este con Finca El Bálsamo y al oeste con el municipio de Santa Lucía Cotzumalguapa, del departamento de Escuintla. (Velásquez, 1999).

2.2. Extensión

Finca San Bonifacio cuenta con un área de 2,231.46 hectáreas las que son cultivadas con Caña de Azúcar (Velásquez, 1999).

2.3. Clima

Finca San Bonifacio se encuentra localizada a 250 msnm, cuenta con una humedad relativa promedio anual de 70%, una precipitación pluvial media anual de 3776 mm, días de lluvia promedio anual 210, temperatura mínima promedio anual de 21.16⁰ C, temperatura máxima anual de 32.25⁰C, oscilación térmica promedio anual 11.09⁰C, horas sol promedio anual 2,471 y una evaporación promedio anual a la intemperie de 1545 mm (Velásquez, 1999).

2.4. Zona de vida

Finca San Bonifacio se encuentra ubicada en la zona de vida Bmh-s (C) Bosque Muy Húmedo Subtropical (Cálido) (Velásquez, 1999).

2.5. Características edáficas

Finca San Bonifacio se encuentra localizada en una unidad geomorfológica correspondiente a la planicie fluviovolcánica de pie de monte. Conformado por encontrarse en el cuerpo de abanico, por lahares y derrames de materiales coluvio-aluviales, de origen volcánico (cenizas, pómez, lapilli, escorias); con un relieve plano y ligeramente inclinado. Son de tipo aluvial formados a partir de bancos de arena y grava de donde se han originado los suelos actuales (Velásquez, 1999).

Según la Clasificación taxonómica, de acuerdo al Sistema Soil Taxonomy describe estos suelos en el orden de los Andisoles, Sub orden Udans, gran grupo Melanudands, sub grupo y familia Pathic Malanudands Medial.

Los suelos son de textura Franco Arenoso, poseen una pendiente de 3 a 7%, suelos moderadamente profundos, generan una erosión moderada, el suelo contenido un alto valor de materia orgánica estando por arriba del 7%, el drenaje es bueno, pero con una leve capacidad de retención de agua, debido a vetas de arena presente en la finca (Velásquez, 1999)

La figura uno muestra el plano de finca San Bonifacio elaborado por el departamento de Ingeniería Agrícola de Ingenio Pantaleón S.A. el cual muestra los lotes en los cuales fueron instaladas las parcelas de escorrentía

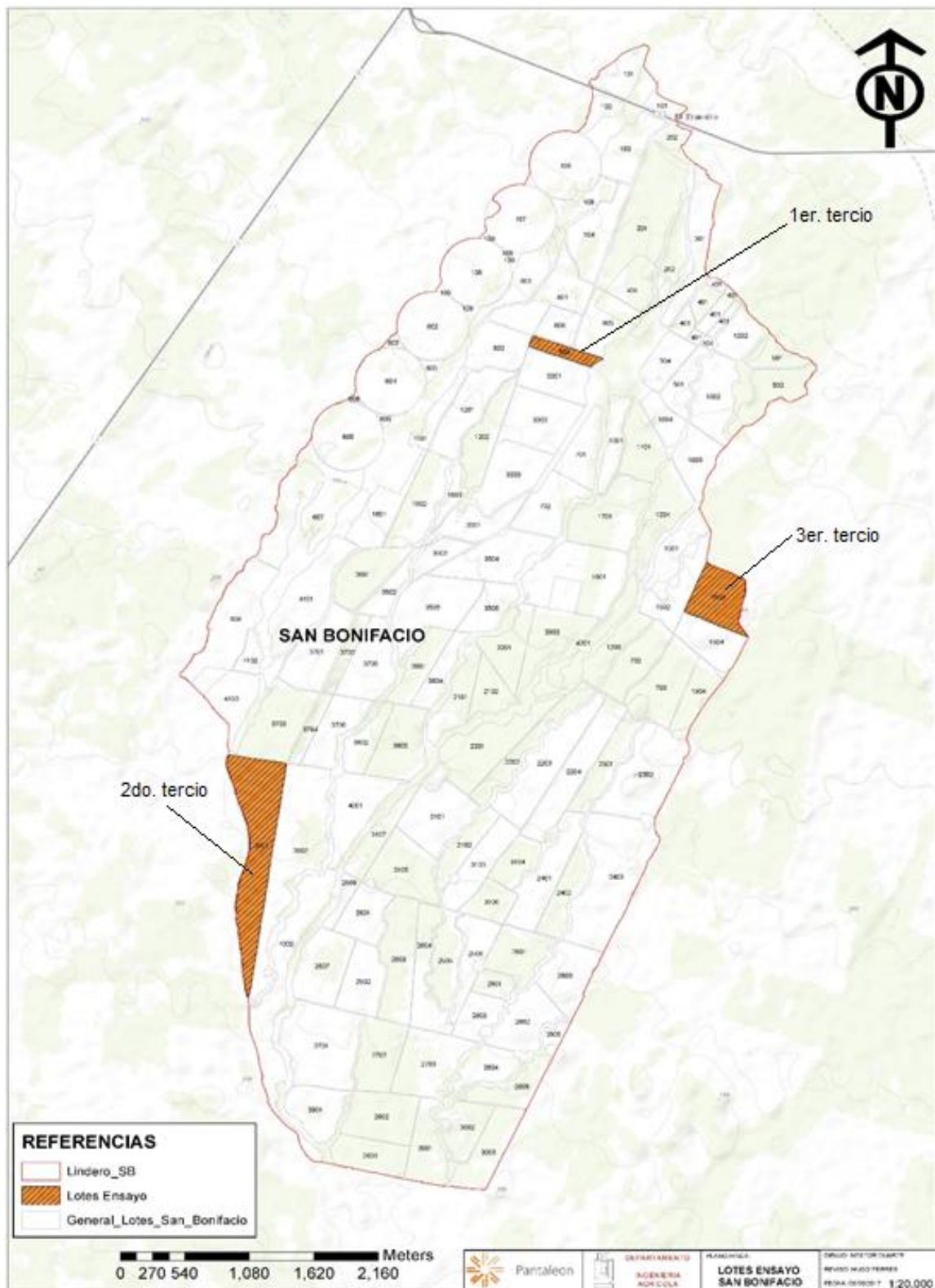


Figura 1. Plano Finca San Bonifacio Santa Lucía Cotzumalguapa, Escuintla y ubicación de los sitios experimentales.

Fuente: Pantaleón, (2017)

2.6. Manejo agronómico

A continuación se describen las labores realizadas en el cultivo de la caña de azúcar.

2.6.1. Preparación del terreno

2.6.1.1. Arado: consistió en introducir en el suelo cuerpos parabólicos separados a 0.45 m entre cada uno, a una profundidad no mayor de 0.45 m en suelos franco y 0.30 m en suelos arcillosos. El equipo utilizado se llama arado de cinceles. Esta actividad conforma un sustrato del suelo en el que las plantas de caña de azúcar se puedan desarrollar apropiadamente. El arado de cinceles efectúa una labranza vertical, cuya principal característica es aflojar el suelo a profundidades mayores que los arados de discos, sin invertir ni mezclar las distintas capas de su perfil, lo que favorece conservar la estructura interna del suelo.

2.6.1.2. Volteo: esta actividad se realizó con el implemento llamado “rastro arado”. Consiste en cortar, levantar y voltear el suelo, con el propósito de destruir el cultivo anterior, ayudar a controlar las malezas existentes, las plagas del suelo y laborar el suelo a profundidades mayores de 0.20 m, para permitir el establecimiento y desarrollo del cultivo. La profundidad de esta labor debe ser mayor en por lo menos 0.05 m a la profundidad del surcado, para garantizar que la semilla quedara sobre suelo laborado.

2.6.1.3. Pulido: se realizó con el implemento conocido como “rastra”. El objetivo de esta labor es roturar y fraccionar los terrones producidos en el volteo o en el subsuelo, destruir e incorporar residuos vegetales y ayudar en el control de plagas del suelo. Esta actividad garantiza una buena germinación de la semilla, así mismo una alta efectividad de los herbicidas. La principal función es desmenuzar los terrones que quedan después de las actividades anteriores, ayudar a destruir las cepas del cultivo anterior, a controlar las plagas del suelo, las

malezas, hasta cierto punto ayuda a emparejar las protuberancias que quedan de las labores anteriores y a laborar el suelo entre 0.15 y 0.21 m para conformar una cama de suelo, en la que la semilla pueda germinar y emerger sin mayor dificultades.

2.6.1.4. Subsolado: para esta actividad se utilizó el implemento conocido como “Subsolador”. Es una labor que tiene como finalidad romper las capas impermeables del suelo situadas por debajo de la profundidad normal del cultivo, con ello se persigue mejorar la infiltración de agua, el drenaje y la penetración de las raíces, lo cual conlleva a aumentar los rendimientos de la cosechas en forma efectiva.

2.6.1.5. Surcado: El surcado se realizó con el implemento llamado “surcador”. Consiste en abrir surcos paralelos, distribuidos en líneas recta o siguiendo curvas previamente diseñadas y establecidas por el departamento de diseño agrícola, a distancias de 1.5 m o 1.75 m, y a profundidades de 0.15 o 0.25 m, el propósito es preparar una cama de suelo, en el que la semilla pueda acomodarse, germinar, emerger adecuadamente y permitir el desarrollo del cultivo.

2.6.2. Siembra

El cultivo comercial de la caña de azúcar se caracteriza por producir varios años, y consiste en la distribución y tapado manual de los esquejes de semilla de la caña de azúcar en los surcos, la cual se describe a continuación:

2.6.2.1. Siembra: se utilizó el método de surco simple, el cual consiste en la utilización de paquetes de semilla de 30 esquejes con longitud 0.60 m y de preferencia con 3-4 yemas por esqueje. La siembra se realizó manualmente distribuyendo los esquejes en cadena doble traslapada, esto para garantizar aproximadamente 15 yemas viables por metro lineal cuando la semilla es de buena calidad.

2.6.2.2. Tapado de la semilla: La profundidad de siembra oscila entre 0.20 m y 0.35 m. En la siembra tradicional, la semilla debe quedar tapada aproximadamente con 0.05 m de suelo,

2.6.2.3. Primer riego de germinación: se realizó 1 día después de la siembra.

2.6.2.4. Segundo riego de germinación: se realizó 10 días después del primer riego.

2.6.3. Control de malezas

Para el control de malezas se utilizó el método químico que consistió en la aplicación de un herbicida pre-emergente dos días después del segundo riego de germinación, la mezcla utilizada fue en función del inventario de malezas de la finca, se realizó una segunda aplicación de herbicidas (pos-emergente), esta aplicación se hizo después de las labores de fertilización.

2.7. Investigaciones relacionadas

En Guatemala existen estudios relacionados a la determinación de erosión hídrica a través de diversas metodologías como lo son parcelas de escorrentía o clavos de erosión como forma directa de medición y utilizando ecuaciones para estimar la pérdida de forma indirecta, una de las ecuaciones es la ecuación universal de pérdidas de suelo. A continuación se presentan investigaciones relacionadas con el tema de investigación.

2.7.1. Determinación de la erosión hídrica para diferentes rangos de pendientes en finca Santa Albina, municipio de Colomba Costa Cuca, departamento de Quetzaltenango

En la investigación realizada obtuvieron registros de erosión de suelo para diferentes rango de pendiente con cobertura de cultivo de café (*Coffea arábica* L.), a la información le realizaron un Análisis de Varianza para confirmar la diferencia de suelo erosionado entre cada pendiente, posteriormente realizaron una prueba de medias de Tukey a 5% nivel de

significancia para determinar en qué pendiente se pierde menor cantidad de suelo.

A continuación en el cuadro tres, se presentan los resultados que obtuvieron en la investigación:

Cuadro 3. Cantidad de suelo erosionado para diferentes rangos de pendiente en finca Santa Albina, Colomba Costa Cuca, Quetzaltenango (t/ha/año).

Tratamiento	Repetición I	Repetición II	Repetición III	Repetición IV	Repetición V
I= 1% - 10%	25.27	21.85	20.86	21.83	22.68
II=11% - 20%	36.15	16.82	19.33	22.84	20.14
III= 21% - 30%	40.91	23.33	23.66	21.07	26.06
IV= 31% - 40%	38.63	20.52	32.21	30.02	30.02

Fuente: Santos Velásquez, (2010).

Como se puede observar en el cuadro tres (Santos Velásquez, 2010) realizó cuatro clasificaciones de pendiente tomándolas como tratamientos, en cada clasificación de pendiente realizó cinco repeticiones obteniendo los valores que se presentan en dicho cuadro.

A los datos que obtuvo de los tratamientos le realizó un análisis de varianza obteniendo los resultados que se presentan en el cuadro cuatro.

Cuadro 4. Análisis de Varianza para suelos erosionados para diferentes rangos de pendiente.

Fuente de variación	Grados de Libertad	Suma de Cuadrados	Cuadrados Medios	F	Significancia al 5%
TRATAMIENTO	3	199.625	66.541664	4.6255	*
BLOQUES	4	494.412109	123.603027	8.592	*
ERROR	12	172.629883	14.385823		
TOTAL	19	866.666992			

Fuente: Santos Velásquez, (2010).

El análisis de varianza presentado en el cuadro cuatro, muestra que si existe diferencia estadística entre los tratamientos, es decir que mostraron un efecto diferente en la cantidad de suelo erosionado en los diferentes

rangos de pendiente del terreno, por lo que fue necesario efectuar una prueba múltiple de medias utilizando el comparador de Tukey al 5%, la cual se representa en el cuadro cinco.

Cuadro 5. Medias para la cantidad de suelo erosionado (t/ha) en los tratamientos.

TRATAMIENTO	PROMEDIO		
IV= 31% - 40%	30.28	A	
III= 21% - 30%	27.006	A	
II= 11% - 20%	23.056		B
I= 1% - 10%	22.498		B

Fuente: Santos Velásquez, (2010).

Luego de realizar la prueba múltiple de medias presentada en el cuadro cinco, se pudo determinar que el tratamiento en el cual la pérdida de suelo es menor es en el rango de 1 – 10% de pendiente, como era de esperarse; con similares resultados estadísticamente se tiene el tratamiento número dos, es decir el rango de 11 – 20% de pendiente y el rango de 21 – 30% es la que ocupa un segundo lugar en cuanto a la pérdida de suelo casi similar a la primera que es el rango con mayor grado de pendiente. La mayor cantidad de suelo erosionado ocurre en suelos con pendientes entre 31 – 40%.

2.7.2. Estudio de la erosión hídrica en la parte alta de la zona cañera, microcuenca los Sujuyes, Santa Lucía Cotzumalguapa, Escuintla, Guatemala, C.A.

En esta investigación se comparó la erosión hídrica mediante dos métodos de estimación, se utilizó un método directo que consistió en parcelas de escorrentía y un método indirecto utilizando la Ecuación Universal de Pérdida de Suelo Modificada (MUSLE) en cuatro tipos de cobertura en la microcuenca los Sujuyes obteniendo los resultados que se presentan en el cuadro seis.

Cuadro 6. Tasa de erosión de suelo estimada por MUSLE (T/HA/AÑO) en comparación con las tasas de erosión (T/HA/AÑO) obtenidas a través de las parcelas de escurrimiento, microcuenca Los Sujuyes 2013.

Mes	Pp (mm)	Cultivo anual		Cultivo forestal		Sistema agroforestal	
		Erosión	Erosión estimada	Erosión	Erosión estimada	Erosión	Erosión estimada
Mayo	559,00*	3,67	1,85	0,73	0,92	ND**	2,76
Junio	935,00*	9,00	5,16	4,63	3,00	ND**	6,75
Julio	616,00*	3,71	2,65	3,32	1,47	ND**	3,55
Agosto	944,00*	2,17	6,02	2,04	4,77	3,80	9,47
Septiembre	1247,00*	5,26	8,27	3,75	5,29	7,86	11,82
Octubre	1123,00*	1,57	4,90	0,44	2,28	3,59	5,89
Total	5424,00*	25,38	28,83	14,91	17,73	15,25	40,23

Fuente: Santos Pérez, (2014).

* Datos de pluviometría proporcionados por el Ingenio Pantaleón, zona el Baúl

** Datos no determinados

Como se puede observar en el cuadro seis el modelo MUSLE subestima la tasa de erosión en los diferentes tipos de cobertura, pero a partir de agosto sucede lo contrario, es decir sobreestima la tasa de erosión. La evaluación de estos métodos muestra diferencia significativa entre la tasa de erosión obtenida por el método directo y el método indirecto. (Santos Velásquez, 2010).

III. OBJETIVOS

1. General

Validar la Ecuación Universal de Pérdida de Suelo (EUPS), en el cultivo de caña de azúcar (*Saccharum officinarum*), para finca San Bonifacio, Santa Lucía Cotzumalguapa, Escuintla.

2. Específicos

- 2.1.** Estimar la tasa de erosión hídrica a través de la Ecuación Universal de Pérdida de Suelo (EUPS).
- 2.2.** Determinar la tasa de erosión hídrica a través de parcelas de escorrentía.
- 2.3.** Comparar la tasa de erosión hídrica a través de parcelas de escorrentía (método directo) con la Ecuación Universal de Pérdida de Suelo (EUPS) (método indirecto).

IV. HIPÓTESIS

La estimación de la erosión hídrica a través de la Ecuación Universal de Pérdida de Suelo (EUPS – método indirecto) en Finca San Bonifacio en condiciones de cultivo de caña de azúcar (*Saccharum officinarum*), es igual a la erosión medida en parcelas de escorrentía (método directo).

V. MATERIALES Y MÉTODOS

1. Materiales y equipo

1.1. Materiales

- 100 m de nylon color negro
- 48 botellas de 1 L para muestras
- 48 toneles de 0.2 m³ de capacidad
- Estacas
- Escoba
- Costales
- Libreta de campo
- Lapicero
- 12 m de tubo PVC de 0,0508 m de diámetro
- 12 Rótulos
- Papel filtro
- Pita negra

1.2. Equipo

- Computadora
- 3 pluviómetros
- Vehículo
- Horno de convección
- Balanza analítica
- Cinta métrica
- Metro
- Cubetas
- Palas
- Machete
- Piocha
- Embudos
- Beaker
- Martillo

2. Tratamientos

Con el fin de evaluar las diferentes etapas fenológicas del cultivo de la caña de azúcar durante la época lluviosa se instalaron parcelas de esorrentía en cañaverales con edades correspondientes a los diferentes tercios de cosecha, con el fin de obtener diversos escenarios de fenología del cultivo durante el periodo de investigación (época lluviosa), y así poder determinar y estimar las tasas de erosión hídrica en cada condición de desarrollo del cultivo de la caña de azúcar, tomando como base las etapas fenológicas del cultivo. La figuras 2, 3 y 4 muestran las etapas fenológicas evaluadas según el tercio de cosecha que corresponda.

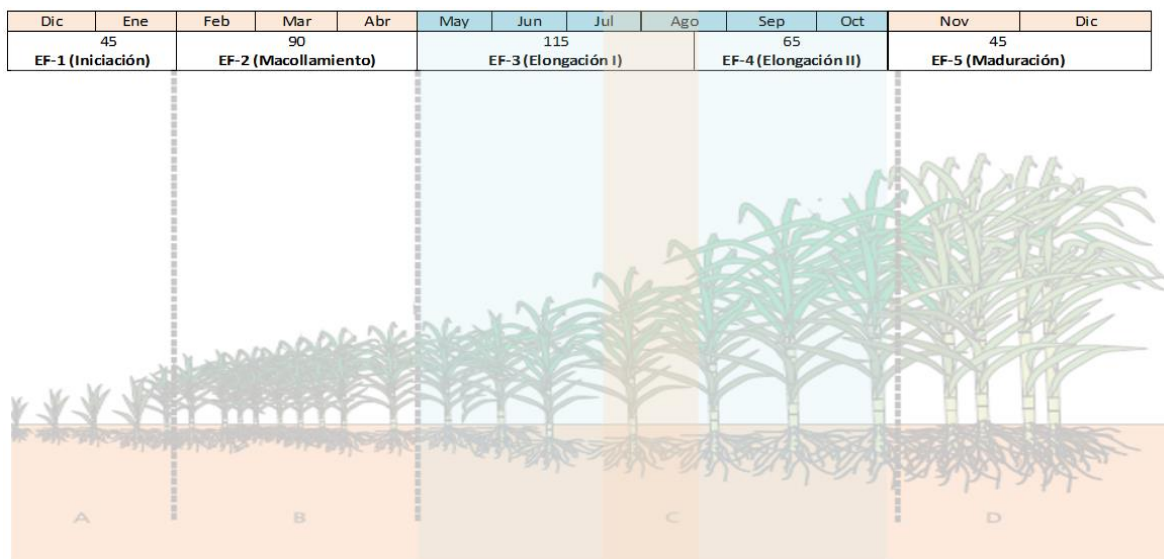


Figura 2. Etapa fenológica del cultivo de la caña de azúcar (*Saccharum officinarum*), correspondientes al primer tercio de cosecha.
Fuente: (CENGICAÑA, 2012).

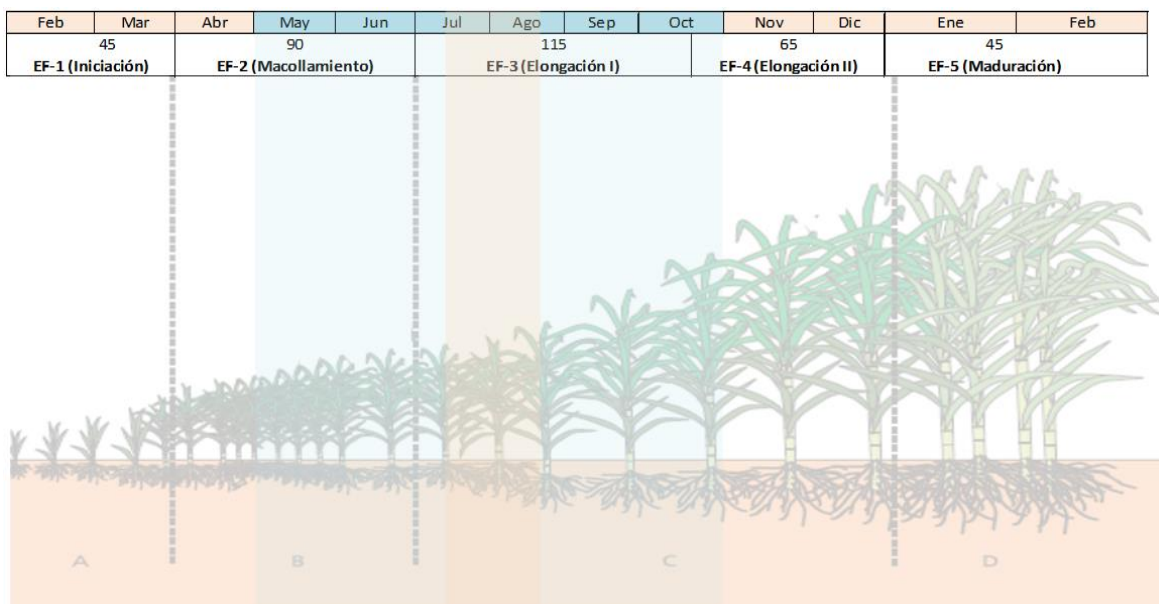


Figura 3. Etapa fenológica del cultivo de la caña de azúcar (*Saccharum officinarum*), correspondientes al segundo tercio de cosecha.
Fuente: (CENGICAÑA, 2012).

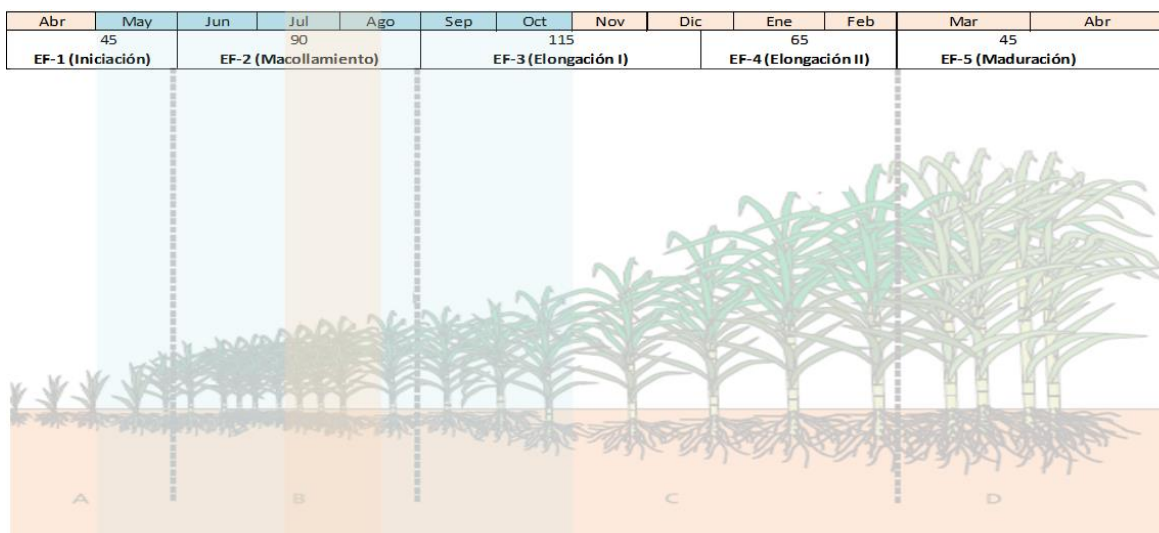


Figura 4. Etapa fenológica del cultivo de la caña de azúcar (*Saccharum officinarum*), correspondientes al tercer tercio de cosecha.

Fuente: (CENGICAÑA, 2012).

Las imágenes muestran la secuencia de desarrollo de cada tercio de cosecha en los diferentes meses del año, como se observa se cuenta con diferente etapa fenológica en un mismo mes, lo que nos ayuda a identificar la etapa fenológica en la que se genera menos erosión.

El cuadro siete resumen las etapas fenológicas de cada tercio de cosecha del cultivo de la caña de azúcar.

Cuadro 7. Etapas fenológicas de la variedad CP 72-2086 según tercio de cosecha.

Época de cosecha	Etapa fenológica					
	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre
Primer tercio	EF-3	EF-3	EF-3	EF-3 EF-4	EF-4	EF-4
Segundo tercio	EF-2	EF-2	EF-3	EF-3	EF-3	EF-3 EF-4
Tercer tercio	EF-1	EF-2	EF-2	EF-2	EF-3	EF-3

Notas: EF-1: Iniciación, EF-2: Macollamiento, EF-3: Elongación etapa I, EF-4: Elongación etapa II

3. Metodología Ecuación Universal de Pérdida de Suelo (EUPS) método indirecto

La Ecuación Universal de Pérdida de Suelo se expresa, en el sistema métrico internacional, como:

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

Donde:

A. es la pérdida de suelo en t/ha.año.

R. es el factor erosividad de la lluvia en Mjmm/ha.año.

K. es el factor erosionabilidad del suelo en (t/ha)/(Mj.mm/ha.h)

L. es el factor longitud del terreno (adimensional).

S. es el factor pendiente del terreno (adimensional).

C. es el factor cobertura y manejo de la vegetación (adimensional).

P. es el factor prácticas de conservación (adimensional).

3.1. Determinación del factor erosividad de la lluvia (R)

Para la determinación del factor R se utilizó el modelo exponencial generado para la estación meteorológica El Bálsamo, el cual explica la relación entre erosividad de la lluvia en función a datos diarios de precipitaciones, R (MJ/Ha*mm/h). (ICC, 2015)

$$R = 0.1799x^{2.0837}$$

Donde:

R= Factor erosividad de la lluvia (R)

x= Precipitación (mm)

Para lluvias mayores a los 94 mm se tomarán como factor R el valor de 2,325 MJ/Ha*mm/h.

3.2. Determinación del factor erodabilidad de los suelos (K)

Para la determinación del factor K se necesitó establecer cuatro propiedades:

- Materia orgánica.
- Granulometría (porcentaje de arena, limo, arcilla y textura).
- Tipo de estructura.
- Permeabilidad.

Para determinar materia orgánica y granulometría se realizó un muestreo de suelo de cada uno de los lotes en estudio, utilizando la siguiente metodología:

- Se realizó un agujero en forma de “V” a una profundidad de 30 centímetros.
- Se realizó un corte de suelo con una pala en una de las orillas de agujero realizado.
- Se eliminó las orillas de suelo cortado por la pala formando un cuadro de suelo.
- Se introdujo el suelo en forma de cuadro a una cubeta.
- Se tomaron 10 muestras de suelo al azar dentro del lote, las cuales se mezclaron en un recipiente para tomar una sub-muestra de un kilogramo (ICTA, 1986).

Esta metodología se aplicó en los tres lotes en estudio generando tres sub-muestras, las cuales fueron enviadas al laboratorio de suelos de CENGICAÑA en donde fueron analizados los siguientes parámetros de materia orgánica y granulometría:

- **Materia orgánica:** para la determinación de este parámetro el laboratorio de CENGICAÑA utilizó el método de análisis de Walkey-Black.
- **Granulometría:** para la determinación de este parámetro el laboratorio de CENGICAÑA utilizó el método de análisis de Bouyoucos.
- **Tipo de estructura:** se determinó mediante observación visual y tacto haciendo coincidir el tipo de estructura de los diferentes lotes con los códigos propuestos por la EUPS.

De acuerdo a la EUPS, las categorías y códigos empleados son cuatro los cuales se muestran en la figura 5:

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

Figura No. 5. Código de estructura del suelo de EUPS.

Fuente: Mancilla (2008).

La figura 5 muestra los códigos de la EUPS según el tipo de estructura que pueda conformar cada lote en estudio.

- 1. Permeabilidad:** La permeabilidad se determinó a través de tablas según textura del suelo generado por la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO, por sus siglas en ingles).

El cuadro ocho muestra los valores de permeabilidad de los diferentes lotes en estudio según tipo de textura determinado por el laboratorio de CENGICAÑA (2016).

Cuadro 8. Permeabilidad media para los lotes en estudio.

Tercio	Textura	Permeabilidad (cm/hora)
1er.	Franco arenoso	2.5
2do.	Franco arenoso	2.5
3er.	Franco	1.3

Fuente: FAO (2010).

El laboratorio de CENGICAÑA determinó que los lotes de 1er y 2do tercio poseen un tipo de textura franco arenoso mientras que el lote de 3er tercio tiene textura franco.

En la EUPS, se asignan seis valores o códigos diferentes de acuerdo a la permeabilidad de un suelo determinado, para el caso de dicha investigación la permeabilidad se encuentra en una categoría moderada utilizando el código EUPS No. 3. (Mancilla, 2008)

Para la determinación del factor K se utilizó el nomograma de Wischmeier & Smith figura seis; ingresando los valores de granulometría, materia orgánica y los códigos de estructura y permeabilidad.

Para efecto de la erosión del suelo la arena muy fina se comporta similar al limo. (Mancilla, 2008).

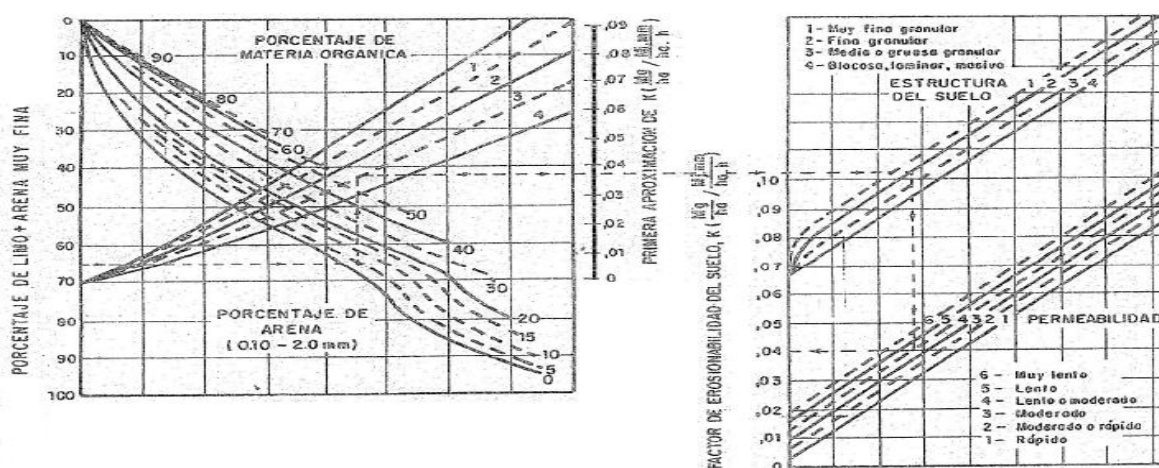


Figura 6. Nomograma de Wischmeier & Smith.

Fuente: Mancilla, (2008).

Existen diversos nomogramas expresados en los diferentes sistemas de medidas, en el caso de esta investigación el nomograma presentado se expresa en el sistema de medidas internacional.

3.3. Determinación del factor longitud y pendiente (LS)

El factor de longitud fue la distancia que separa el punto donde el escurrimiento superficial se originó hasta el lugar donde el agua de esorrentía ingresó al drenaje, en este caso fue el largo de las parcelas, se utilizó la siguiente fórmula para la determinación del factor longitud:

$$L = (\text{longitud de la pendiente en el campo}/22.1)^{0.4}$$

Donde:

L= Factor longitud de la pendiente (L)

Longitud de la pendiente= Largo de las parcelas en campo (10 m)

La pendiente se determinó a través de la diferencia de altura entre dos puntos (distancia de un metro) expresados en porcentaje y el factor S se estimó utilizando la siguiente ecuación:

$$S = 0.065 + 0.045 s + 0.0065 s^2$$

Donde:

S = Valor del factor pendiente

s = Inclinación de la pendiente expresada en porcentaje.

L y S, pueden ser calculados de forma individual o conjuntamente, utilizando la expresión siguiente:

$$LS = (\text{longitud de la pendiente en el campo}/22.1)^{0.4} * (0.065 + 0.045 S + 0.0065 S^2)$$

3.4. Determinación del factor cobertura (C)

Durante las investigaciones realizadas en conjunto ICC e Ingenio Pantaleón S.A. utilizando la EUPS han tomado como factor de cobertura (C) 0.2258 dicho valor ha sido utilizado en la investigación. (-ICC-, 2015)

3.5. Determinación del factor prácticas de conservación (P)

Existen diferentes valores según el método de conservación de suelo utilizada, para el caso de esta investigación se contaba con prácticas de cultivo en contorno, el valor asignado para el factor P para el rango de pendiente de 3 a 5 % y para esta práctica de conservación es de 0.5 y para el caso del lote sin prácticas de conservación el valor utilizado fue 1. (Mancilla, 2008).

4. Metodología de parcelas de escorrentía (método directo)

4.1. Selección de lotes para instalación de parcelas de escorrentía

La instalación de las parcelas de escorrentía se basó en los siguientes aspectos: a) se seleccionó lotes con la variedad CP-72-2082, b) se seleccionó lote de cultivo de caña de menos de un año de edad, c) lotes con características homogéneas, d) lotes entre el rango predominante de pendiente de la finca, e) se seleccionó un lote por cada tercio de cosecha y f) fácil acceso.

4.2. Instalación de parcelas de escorrentía

Se instalaron cuatro parcelas de escorrentía por cada tercio de cosecha, en total se instalaron 12 parcelas de escorrentía las cuales estuvieron activas durante seis meses, a continuación se describe la metodología utilizada en la instalación de las parcelas (Santos Pérez, 2014):

4.2.1. Delimitación de parcelas: Por cada parcela de escorrentía se delimitó un área de 75 m² (10 metros de largo a favor de la pendiente * 7.5 metros de ancho paralelo a la pendiente), la delimitación se realizó con estacas de bambú (*Bambusa sativa*) circuladas con pita y revestido con nylon,

formando una pared de 0.20 metros de alto, esto con el fin de evitar el ingreso de escorrentía a la parcela.

4.2.2. Instalación de canal colector: por cada parcela de escorrentía se construyó una zanja de 0.10 metros de profundidad, 0.40 metros de ancho y 7.5 metros de largo, se colocó en forma perpendicular a la pendiente del terreno, en la parte baja de la parcela. Estas fueron recubiertas con nylon para facilitar la conducción de la escorrentía y los sedimentos, esto para evitar que la escorrentía de las parcelas se infiltraran en el suelo, el canal colector fue delimitado en la parte baja con costales con arena para evitar el ingreso de sedimentos que no pertenezcan a la parcela.

4.2.3. Instalación de sistema colector: por cada parcela de escorrentía se instaló una batería de cuatro toneles para colectar la escorrentía y los sedimentos, el sistema colector tuvo una capacidad de 0.8 m³ de escorrentía, los toneles fueron instalados por debajo del nivel más bajo de la parcela.

4.2.4. Identificación de parcelas: se identificaron los lotes de 1er, 2do y 3er tercio de cosecha, se enumeraron las parcelas y los toneles de la manera en que se presentan en el cuadro nueve:

Cuadro 9. Identificación de parcelas según el tercio de la cosecha correspondiente.

Tercio	Parcela	Tonel	Tercio	Parcela	Tonel	Tercio	Parcela	Tonel
1er.	1	1 a 4	2do.	5	17 a 20	3er.	9	33 a 36
	2	5 a 8		6	21 a 24		10	37 a 40
	3	9 a 12		7	25 a 28		11	41 a 44
	4	13 a 16		8	29 a 32		12	45 a 48

4.2.5. Instalación de pluviómetros: se instalaron tres pluviómetros, un pluviómetro por cada tercio de cosecha para determinar la precipitación por cada evento de lluvia.

4.2.6. Calibración de toneles: Para determinar la cantidad de escorrentía colectada por cada tonel se calibró cada tonel instalado, a los cuales se le determinó el área con la siguiente formula.

$$\text{Área} = \pi r^2$$

4.2.7. Distribución de las parcelas de escorrentía: Las parcelas se distribuyeron uniformemente basándose en la pendiente predominante del lote, tratando de ajustar condiciones homogéneas para las cuatro parcelas instaladas en cada tercio de cosecha.

4.3. Monitoreo de parcelas de escorrentía

El monitoreo de las parcelas se realizó un día después de cada evento de lluvia iniciando el muestreo a las 6:00 am, la metodología empleada en el monitoreo se describe a continuación (Santos Pérez, 2014):

4.3.1. Medición de precipitación: el monitoreo de las parcelas inició con la medición de los pluviómetros, determinando la cantidad de precipitación del evento de lluvia.

4.3.2. Medición de altura de espejo de agua: se midió el volumen de agua colectada por cada tonel midiendo la altura del espejo de agua por cada tonel, esto con el fin de determinar la cantidad de escorrentía colectada por tonel.

4.3.3. Limpieza del canal conductor: los sedimentos que se encontraron en el canal colector se trasladaron hacia los toneles colectores con ayuda de una escoba.

4.3.4. Toma de muestra: para la toma de la muestra se agitó el agua de cada tonel durante un minuto con el fin de que los sedimentos de suelo se encuentren en suspensión y poder tomar una muestra homogénea, la toma de muestra se realizaba antes de los 20 segundos después de haber finalizado de agitar el agua del tonel, la muestra tomada es de aproximadamente de un litro por cada tonel, la cual se almacenaba e identificaba (fecha, número de lote, número de parcela, número de tonel,

altura del espejo de agua y precipitación), en recipientes reciclados de plástico.

4.3.5. Mantenimiento de parcelas: en el mantenimiento de las parcelas se vació el agua de los toneles y del pluviómetro para que estuvieran disponibles para el próximo evento de lluvia, en el mantenimiento de las parcelas se realizaban trabajos como arreglo de parcelas, cambio de costales deteriorados, etc.

4.4. Análisis de muestra

El análisis de las muestras se realizó en el laboratorio de suelos del Centro Guatemalteco de Investigación y Capacitación de la Caña de Azúcar (CENGICAÑA).

Metodología empleada en el análisis de muestras:

4.4.1. Llenado de boleta de laboratorio: se ingresaron los datos de fecha, número de tonel y altura del espejo de agua en la boleta de laboratorio.

4.4.2. Peso papel filtro: se identificó el papel filtro con la fecha y número de tonel, posteriormente se determina el peso del papel filtro y se ingresa el dato a la boleta de laboratorio.

4.4.3. Medición de muestra: con la ayuda de un Beaker se determinó la cantidad de agua de cada muestra.

4.4.4. Filtro de muestra: se filtró el agua de cada muestra con el fin de separar los sedimentos con el agua.

4.4.5. Secado de muestra: se secaron las muestras en el horno de laboratorio a una temperatura de 105⁰ centígrados durante 24 horas.

4.4.6. Peso de muestra: después de las 24 horas de secado se sacaron las muestras del horno, se pesaron y se apuntó en la boleta de laboratorio el dato obtenido.

4.5. Calculo de escorrentía y sedimentos

Para determinar la cantidad de escorrentía y sedimentos se utilizó la siguiente metodología; mediante la siguiente fórmula:

4.5.1. Escorrentía por tonel: Para calcular la escorrentía por tonel se utilizó la fórmula de volumen de un cilindro:

$$V = \pi r^2 h$$

Donde:

V= Escorrentía (m³/tonel)

πr^2 = Área del tonel

h= Altura del espejo de agua

4.5.2. Escorrentía por hectárea: Para este cálculo se realizó una relación entre escorrentía por parcela (75 m²) y escorrentía en una hectárea (10,000 m²):

$$Eh = 10,000 * \frac{Ep}{75}$$

Donde:

Eh= Escorrentía por hectárea (m³/Ha)

Ep= Escorrentía por parcela

4.5.3. Porcentaje de infiltración: Se calculó la capacidad de infiltración y el porcentaje de infiltración de los lotes de estudio con la siguiente formula:

Conversión mm a m³/ha

$$1mm = 10 \text{ m}^3/\text{ha}$$

Cálculo capacidad de infiltración

$$I = P - E$$

Donde:

I= Infiltración (m³/ha).

P= Precipitación (m³/ha).

E= Escorrentía (m³/ha).

Cálculo porcentaje de infiltración

$$\% I = \left(\frac{I}{P} \right) * 100$$

4.5.4. Sedimentos por muestra: Para el cálculo de sedimentos por muestra se utilizó la siguiente fórmula:

$$Sm = Pms - Ppf$$

Donde:

Sm= Sedimentos por muestra (g)

Ms= Peso de muestra seca (g)

Ppm= Peso papel filtro (g)

4.5.5. Sedimentos por tonel: Para calcular el sedimento por tonel se realizó una relación directamente proporcional entre sedimentos por muestra y sedimentos por tonel:

Relación sedimentos por muestra y sedimentos por tonel

$$St = (Et * \frac{Sm}{Vm}) / 1,000$$

Donde:

St= Sedimento por tonel (kg)

Et= Escorrentía por tonel (m³)

Sm= Sedimentos por muestra (g)

Vm= Volumen de muestra (m³)

4.5.6. Sedimentos toneladas por hectárea: Para calcular el sedimento por hectárea se realizó una relación directamente proporcional entre sedimentos por tonel y sedimentos en toneladas por hectárea generados por cada evento de lluvia:

Relación sedimentos por tonel y sedimentos por una hectárea

$$Sha = \left(\frac{St}{7.5} \right)$$

Donde:

Sha= Sedimentos por hectárea (Tm/ha)

St= Sedimentos por tonel (kg)

5. Comparación de las tasas de erosión hídrica de un método directo (parcelas de escorrentía) y un método indirecto (EUPS)

Se realizó una prueba de hipótesis estadística acerca de dos medias poblacionales independientes, provenientes de muestras grandes, se utilizó la estadística z de la distribución normal, para obtener el valor observado o calculado de z se utilizó la ecuación de Reyes Castañeda, (1990).

VI. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

1. Ecuación Universal de Pérdida de Suelo (EUPS) método indirecto

1.1. Precipitaciones

En el cuadro 10 y figura siete se presentan las precipitaciones mensuales captadas durante el periodo de investigación en los diferentes tercios de cosecha, y la precipitación mensual promedio histórica de la estación meteorológica El Bálsamo.

Cuadro 10. Precipitación pluvial mensual en los sitios experimentales.

MESES	Histórica	1er. Tercio	2do. Tercio	3er. Tercio
Mayo	452.73	140.8	116.0	59.3
Junio	485	480.6	415.1	457.0
Julio	400.05	284.0	292.3	273.0
Agosto	567.86	550.0	512.6	578.5
Septiembre	572.28	286.7	239.9	274.7
Octubre	601.85	221.3	198.3	209.4

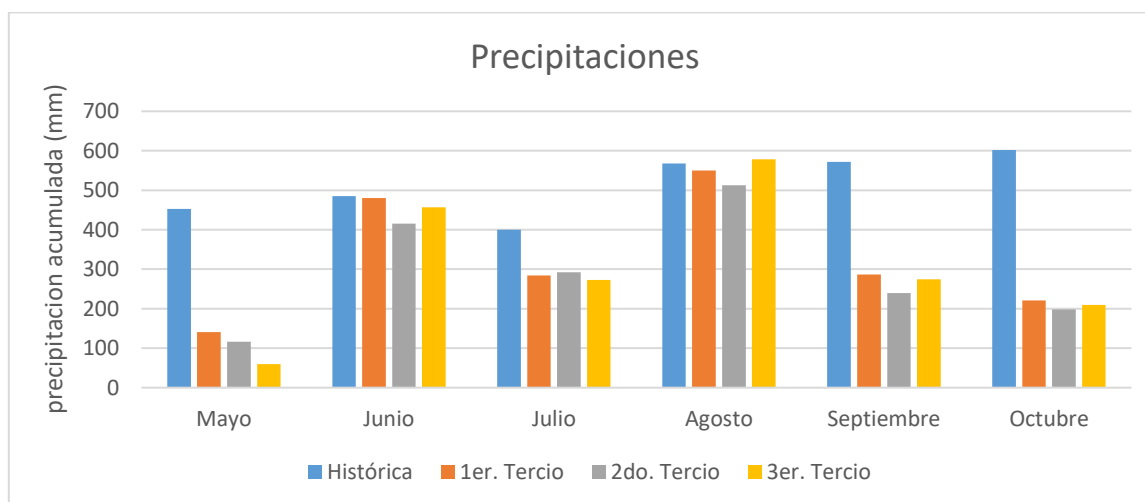


Figura 7. Precipitación pluvial en los sitios experimentales.

En las parcelas con cultivo de caña de azúcar destinada para su cosecha en el primer tercio se iniciaron las mediciones el 2 de mayo, las parcelas instaladas en el segundo tercio de cosecha empezaron las mediciones el 9

de mayo y las parcelas instaladas en el tercer tercio de cosecha generaron mediciones a partir del 16 de mayo de 2016 lo que explica el comportamiento de los registros de la precipitación pluvial para este mes.

Todas las parcelas de esorrentía registraron datos hasta la segunda semana de octubre lo que explica la diferencia entre los datos registrados y la precipitación media mensual histórica.

En los meses de junio y agosto la precipitación registrada en los sitios experimentales se comportó similar a los registros históricos.

Sin embargo en los meses de julio y septiembre se notan menores precipitaciones de los datos históricos, lo que puede atribuirse a que durante el año 2016, Guatemala fue afectada por el fenómeno de El Niño, con cambios en las temperaturas, se considera como uno de los tres fenómenos meteorológicos más fuertes en 66 años, los efectos para Guatemala son el incremento de la temperatura ambiente en la época seca entre noviembre y marzo, mientras que en la temporada de lluvias se registra una disminución en las precipitaciones (SEGURA, 2016).

1.2. Factor erosividad de la lluvia (R)

1.2.1. Factor erosividad de la lluvia (R) para el primer tercio de cosecha

Se estimó el factor R por cada evento de lluvia de los diversos meses de estudio, del primer tercio de cosecha, al inicio de la investigación el cultivo se encontraba en la etapa fenológica de Elongación I y al finalizar la investigación se encontraba finalizando la etapa fenológica de Elongación II.

A continuación en el cuadro 11 se presenta la estimación del factor erosividad de la lluvia (R) de los diferentes eventos de lluvia captados durante la investigación para el primer tercio de cosecha:

Cuadro 11. Estimación del factor R para el cultivo de caña de azúcar destinado a cosechar del primer tercio.

No.	Fecha	pp (mm)	Factor (R)	No.	Fecha	pp (mm)	Factor (R)	No.	Fecha	pp (mm)	Factor (R)
1	14/05/2016	13	38	20	9/07/2016	5.1	5	39	29/08/2016	45.2	506
2	19/05/2016	45	501	21	12/07/2016	27.3	177	40	31/08/2016	54.2	738
3	23/05/2016	28	186	22	13/07/2016	16.5	62	41	3/09/2016	16.4	61
4	27/05/2016	45.8	520	23	21/07/2016	52	677	42	7/09/2016	27.1	174
5	28/05/2016	9	18	24	22/07/2016	4.8	5	43	9/09/2016	20.3	95
6	1/06/2016	40	392	25	25/07/2016	73.6	1397	44	12/09/2016	38.7	366
7	2/06/2016	37.2	337	26	29/07/2016	7	10	45	13/09/2016	3.3	2
8	6/06/2016	67	1148	27	30/07/2016	5.3	6	46	17/09/2016	45.4	510
9	9/06/2016	67	1148	28	1/08/2016	9.2	18	47	21/09/2016	20.7	99
10	13/06/2016	24	135	29	3/08/2016	7	10	48	22/09/2016	18.7	80
11	14/06/2016	17.6	71	30	4/08/2016	53.8	727	49	23/09/2016	46.6	539
12	16/06/2016	51.5	664	31	8/08/2016	30.8	227	50	28/09/2016	13.2	39
13	18/06/2016	25	147	32	12/08/2016	52.8	699	51	30/09/2016	36.3	320
14	23/06/2016	35.7	309	33	16/08/2016	30	215	52	1/10/2016	54.3	741
15	28/06/2016	115.6	2,325	34	18/08/2016	73.6	1397	53	3/10/2016	59.6	900
16	4/07/2016	19.8	91	35	22/08/2016	56	790	54	5/10/2016	34.8	293
17	5/07/2016	39.2	376	36	23/08/2016	73.1	1377	55	6/10/2016	22.3	116
18	7/07/2016	15.4	54	37	26/08/2016	30.8	227	56	7/10/2016	50.3	632
19	8/07/2016	18	74	38	27/08/2016	33.5	271				

El factor R se estimó en función a la precipitación por cada evento de lluvia, durante el periodo de investigación se captaron 56 eventos de lluvia para el primer tercio, la mayor cantidad de eventos captados se dio en el mes de agosto captando 13 eventos mientras que en el mes de junio se presentó el máximo valor de R siendo 2,325 MJ/Ha*mm/h, eso debido a que el modelo exponencial solo estima precipitaciones menores o igual a 94 mm.

1.2.2. Factor R para el segundo tercio de cosecha

Por cada evento de lluvia se estimó el factor R de los diversos meses de estudio, para el segundo tercio de cosecha, al inicio de la investigación el cultivo se encontraba en la etapa fenológica de Macollamiento y al

finalizar la investigación se encontraba iniciando la etapa fenológica de Elongación II

A continuación en el cuadro 12 se presenta la estimación del factor erosividad de la lluvia R para los diferentes eventos de lluvia captados durante la investigación para el segundo tercio:

Cuadro 12. Estimación del factor R para el cultivo de caña de azúcar destinado a cosechar en el segundo tercio.

No.	Fecha	pp (mm)	Factor (R)	No.	Fecha	pp (mm)	Factor (R)	No.	Fecha	pp (mm)	Factor (R)
1	19/05/2016	34	279	19	8/07/2016	3.5	2	37	29/08/2016	78.2	1585
2	23/05/2016	34	279	20	9/07/2016	4.4	4	38	30/08/2016	5.7	7
3	27/05/2016	27.3	177	21	12/07/2016	23.6	131	39	31/08/2016	32.7	258
4	28/05/2016	20.7	99	22	13/07/2016	5.9	7	40	7/09/2016	27.1	174
5	1/06/2016	25.3	151	23	21/07/2016	73.1	1377	41	9/09/2016	12.8	36
6	2/06/2016	25.3	151	24	22/07/2016	13.2	39	42	12/09/2016	26.9	171
7	6/06/2016	106	2325	25	25/07/2016	80.6	1688	43	13/09/2016	3.1	2
8	9/06/2016	20.7	99	26	30/07/2016	26.4	165	44	17/09/2016	22.8	121
9	13/06/2016	32.6	256	27	1/08/2016	20.7	99	45	21/09/2016	41.8	430
10	14/06/2016	41	413	28	4/08/2016	34.4	286	46	22/09/2016	27	173
11	16/06/2016	15.6	55	29	8/08/2016	36.7	328	47	23/09/2016	28.6	195
12	18/06/2016	48.5	586	30	12/08/2016	22	113	48	28/09/2016	6.3	8
13	23/06/2016	48.5	586	31	16/08/2016	32.8	259	49	30/09/2016	43.5	467
14	28/06/2016	46.3	532	32	18/08/2016	93.4	2294	50	1/10/2016	47.1	551
15	29/06/2016	5.3	6	33	22/08/2016	63	1010	51	3/10/2016	71.4	1311
16	4/07/2016	22.2	115	34	23/08/2016	46.3	532	52	5/10/2016	20.3	95
17	5/07/2016	20.5	97	35	26/08/2016	18.9	82	53	6/10/2016	41.9	432
18	7/07/2016	18.9	82	36	27/08/2016	27.8	184	54	7/10/2016	17.6	71

En el cuadro 12 se puede observar que en el segundo tercio de cosecha se captaron 54 eventos de lluvia, la mayor cantidad de eventos captados se dio en el mes de agosto captando 13 eventos y en el mes de junio se presentó el máximo valor de R siendo 2,325 MJ/Ha*mm/h, eso debido a que el modelo exponencial solo estima precipitaciones menores o igual a 94 mm.

1.2.3. Factor R para el tercer tercio de cosecha

Se estimó el factor R por cada evento de lluvia en los diversos meses de estudio del tercer tercio de cosecha, al inicio de la investigación el cultivo se encontraba en la etapa fenológica de Iniciación y al finalizar la investigación se encontraba en la etapa fenológica de Elongación I.

A continuación en el cuadro 13 se presenta la estimación del factor erosividad de la lluvia (R) para los diferentes eventos de lluvia captados durante la investigación para el tercer tercio de cosecha.

Cuadro 13. Estimación del factor R para el cultivo de caña de azúcar destinado a cosechar en el tercer tercio.

No.	Fecha	pp (mm)	Factor (R)	No.	Fecha	pp (mm)	Factor (R)	No.	Fecha	pp (mm)	Factor (R)
1	27/05/2016	43.4	465	19	22/07/2016	7.5	12	36	31/08/2016	52	677
2	28/05/2016	15.9	57	20	25/07/2016	79.7	1649	37	3/09/2016	12.7	36
3	1/06/2016	28.6	195	21	29/07/2016	10.1	22	38	7/09/2016	26.3	164
4	2/06/2016	29.5	208	22	30/07/2016	7	10	39	9/09/2016	17.3	68
5	6/06/2016	103.1	2325	23	1/08/2016	11.5	29	40	12/09/2016	37.4	341
6	9/06/2016	76.2	1501	24	3/08/2016	3.2	2	41	13/09/2016	3.7	3
7	13/06/2016	51.5	664	25	4/08/2016	62.6	997	42	17/09/2016	36.1	317
8	14/06/2016	20.7	99	26	8/08/2016	54.2	738	43	21/09/2016	14.1	45
9	16/06/2016	43	456	27	12/08/2016	30.8	227	44	22/09/2016	30.7	226
10	23/06/2016	22.5	118	28	16/08/2016	26.4	165	45	23/09/2016	52.9	702
11	28/06/2016	81.9	1745	29	18/08/2016	49.3	606	46	28/09/2016	12	32
12	4/07/2016	7.9	13	30	22/08/2016	66.5	1130	47	30/09/2016	31.5	238
13	5/07/2016	21.1	103	31	23/08/2016	39.2	376	48	1/10/2016	64.3	1054
14	7/07/2016	23.4	128	32	26/08/2016	24.2	138	49	3/10/2016	60.8	938
15	8/07/2016	3.7	3	33	27/08/2016	52	677	50	5/10/2016	28.1	188
16	12/07/2016	31.9	245	34	29/08/2016	98.7	2325	51	6/10/2016	15.2	52
17	13/07/2016	10.6	25	35	30/08/2016	7.9	13	52	7/10/2016	41	413
18	21/07/2016	70.1	1262								

En el tercer tercio se captaron 52 eventos de lluvia, la mayor cantidad de eventos captados se dio en el mes de agosto captando 14 eventos de lluvia y en el mes de junio y agosto se presentó el máximo valor de R

siendo 2,325 MJ/Ha*mm/h, esto debido a que en estos meses se presentaron precipitaciones mayores a los 94 mm.

1.2.4. Comparación de factor R histórico y factor R de cada tercio de cosecha

Se compara los valores de factores R calculados por dos métodos diferentes, el factor R histórico calculado a través de pluviógrafo es la metodología propuesta por Wischmeier & Smith, (1978) la cual está en función de la intensidad máxima de lluvia en 30 min consecutivos y la energía cinética por evento de lluvia, mientras que el factor R de cada tercio de cosecha fue calculado a través de pluviómetros para él, se utilizó el modelo exponencial de la estación meteorológica El Bálsamo generado por el ICC el cual está en función de la precipitación (lamina de lluvia) diaria, en el caso de esta investigación se utilizó el modelo exponencial creado por el ICC ya que su finalidad es validar los datos utilizados por el ICC para la estimación de la erosión hídrica. Los resultados obtenidos se presentan en el cuadro 14.

Cuadro 14. Comparación del factor R histórico y los factores R de cada tercio de cosecha.

Meses	Factor R			
	Histórico	Primer tercio	Segundo Tercio	Tercer Tercio
Mayo	5004	1262	835	522
Junio	5684	6677	5159	7311
Julio	4621	2933	3707	3472
Agosto	6463	7203	7036	8101
Septiembre	6118	2287	1778	2170
Octubre	7153	2682	2460	2644

En el cuadro 14 se observa que los valores R históricos son mayores a los factores R de cada tercio de cosecha, esto se debe a que las lluvias captadas durante el periodo de investigación fueron lluvias menores en los meses de julio y septiembre en comparación con las lluvias captadas

para generar el factor R histórico, en los casos que el valor de R histórico fue menor a los R de cada tercio, indica que las lluvias captadas durante los meses de junio y agosto fueron mayores en comparación con las lluvias históricas.

1.3. Factor erodabilidad del suelo (K)

A continuación se presenta los resultados del análisis de suelo realizado por el laboratorio de CENGICAÑA y los códigos de la EUPS para determinar los valores del factor K:

1.3.1. Factor K para los tercios evaluados

A continuación en el cuadro 15 se presenta el valor del factor K para los diferentes lotes en estudio, ingresando los valores de granulometría, materia orgánica y los códigos de EUPS al nomograma

Cuadro 15. Valores del factor K para los diversos tercios de cosecha.

Tercio	Materia orgánica	Arena	Limo	Arcilla	Código Estructura	Código Permeabilidad	Factor K (ton/ha*ha.h/MJ.mm)
	%	%					
1er.	4	68.58	23.9	7.56	3	3	0.016
2do.	4	68.37	21.9	9.73	3	3	0.015
3er.	4	50.66	32.9	16.45	3	4	0.024

En anexos, en las figuras 27, 28 y 29 se puede observar los nomogramas de cada lote para la estimación del factor K, los lotes de primer y segundo tercio poseen el mismo tipo de textura de suelo franco arenoso lo cual da valores similares para factor K, mientras que el lote de tercer tercio posee una textura de suelo franco.

En los suelos francos no predomina claramente ningún de los tres tipos de partículas, presentan una mezcla de arena, limo y arcilla en proporciones equilibradas, estos suelos son los mejores para el crecimiento de la mayoría de las plantas, este suelo tienen una alta

capacidad de retención de agua, los suelos franco arenosos son suelos si predomina la partícula de arena lo cual hace que este tipo de textura sean menos erosionados debido al tamaño de sus partículas.

1.4. Factor longitud (L) y pendiente (S)

El grado de inclinación de un terreno (S) entrega el componente de gravedad necesario para comenzar el movimiento del flujo concentrado y otorgarle velocidad, mientras que la longitud de la pendiente (L) es el factor que condiciona el volumen de agua que fluye en una ladera determinada, y por lo tanto el esfuerzo de corte que el flujo tiene.

En el cuadro 16 se muestran los valores de L y S para cada tercio en estudio:

Cuadro 16. Factor longitud (L) y pendiente (S) de los lotes en estudio.

Tercio	Pendiente (%)	Factor (L)	Factor (S)
1er.	3.5	0.728187	0.302125
2do.	5		0.4525
3er.	4.5		0.399125

El valor de L para los tratamientos en estudio es constante ya que la longitud de la pendiente tomada fue el largo de las parcelas de escorrentía instaladas (10 metros), mientras que el valor de S varía ya que los lotes poseen diferente porcentaje de pendiente.

1.5. Factor cobertura (C)

El factor C representa el grado de protección que el cultivo de la caña de azúcar ofrece al suelo como cubierta vegetal, en general el Instituto Privado de Investigación Sobre Cambio Climático ha utilizado el valor de 0.2258 como factor C para la estimación de la erosión hídrica a través de la EUPS (-ICC-, 2015).

1.6. Factor práctica de conservación (P)

La presencia de vegetación no evita la producción de escurrimiento superficial, por lo tanto, el empleo de prácticas de conservación de suelos minimiza el efecto del flujo de agua, al respecto se determinó este valor, para los lotes con prácticas de conservación de suelos, lotes sembrados en contorno se asignó el valor de 0.5, mientras que para el lote sembrado a favor de la pendiente, se utilizó el valor de 1 (Mancilla, 2008).

1.7. Estimación de la erosión hídrica

La estimación de la erosión hídrica a través de la EUPS es el resultado de la multiplicación de cada uno de los factores que conforman la ecuación:

Representación matemática de la EUPS:

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

1.7.1. Estimación de la erosión hídrica a través de la EUPS para el primer tercio de cosecha

A continuación en el cuadro 17 se presenta la estimación de la erosión hídrica a través de la EUPS para el primer tercio de cosecha por cada evento de lluvia captado durante el periodo de investigación:

Cuadro 17. Estimación de la erosión hídrica a través de la EUPS para el cultivo de caña de azúcar cosechada en el primer tercio.

Evento	Fecha	Erosión Estimada (Tm/Ha/día)	Evento	Fecha	Erosión Estimada (Tm/Ha/día)	Evento	Fecha	Erosión Estimada (Tm/Ha/día)
1	14/05/2016	0.01498	5	9/07/2016	0.00213	12	29/08/2016	0.20095
2	19/05/2016	0.19910	6	12/07/2016	0.07028	13	31/08/2016	0.29337
3	23/05/2016	0.07408	7	13/07/2016	0.02461	1	3/09/2016	0.02430
4	27/05/2016	0.20655	8	21/07/2016	0.26910	2	7/09/2016	0.06921
5	28/05/2016	0.00696	9	22/07/2016	0.00188	3	9/09/2016	0.03791
1	1/06/2016	0.15577	10	25/07/2016	0.55499	4	12/09/2016	0.14541
2	2/06/2016	0.13391	11	29/07/2016	0.00412	5	13/09/2016	0.00086
3	6/06/2016	0.45632	12	30/07/2016	0.00231	6	17/09/2016	0.20281
4	9/06/2016	0.45632	1	1/08/2016	0.00729	7	21/09/2016	0.03948
5	13/06/2016	0.05373	2	3/08/2016	0.00412	8	22/09/2016	0.03195
6	14/06/2016	0.02815	3	4/08/2016	0.28887	9	23/09/2016	0.21414
7	16/06/2016	0.26373	4	8/08/2016	0.09036	10	28/09/2016	0.01546
8	18/06/2016	0.05850	5	12/08/2016	0.27780	11	30/09/2016	0.12725
9	23/06/2016	0.12291	6	16/08/2016	0.08554	1	1/10/2016	0.29449
10	28/06/2016	0.92402	7	18/08/2016	0.55499	2	3/10/2016	0.35757
1	4/07/2016	0.03599	8	22/08/2016	0.31403	3	5/10/2016	0.11654
2	5/07/2016	0.14935	9	23/08/2016	0.54717	4	6/10/2016	0.04610
3	7/07/2016	0.02132	10	26/08/2016	0.09036	5	7/10/2016	0.25109
4	8/07/2016	0.02950	11	27/08/2016	0.10765			

En el primer tercio de cosecha la mayor tasa de estimación de erosión hídrica fue de 0.92402 toneladas por hectárea por día, las cuales se dieron en el mes de junio, se enumeran los eventos de lluvia captados durante cada mes de estudio.

Durante el periodo de investigación (mayo-octubre) se estimó que se pierde un total de 11.08 toneladas de suelo por hectárea en terrenos cultivados con caña de azúcar en el primer tercio de cosecha.

1.7.2. Estimación de la erosión hídrica a través de la EUPS para el segundo tercio de cosecha.

A continuación en el cuadro 18 se presenta la estimación de la erosión hídrica a través de la EUPS para el segundo tercio de cosecha de los diferentes eventos de lluvia captados durante el periodo de investigación:

Cuadro 18. Estimación de la erosión hídrica a través de la EUPS para el cultivo de caña de azúcar cosechada en el segundo tercio.

Fecha	Evento	Erosión (Tm/Ha/día)	Fecha	Evento	Erosión (Tm/Ha/día)	Fecha	Evento	Erosión (Tm/Ha/día)
19/05/2016	1	0.31178	8/07/2016	4	0.00273	29/08/2016	11	1.76841
23/05/2016	2	0.31178	9/07/2016	5	0.00440	30/08/2016	12	0.00755
27/05/2016	3	0.19735	12/07/2016	6	0.14570	31/08/2016	13	0.28746
28/05/2016	4	0.11087	13/07/2016	7	0.00811	7/09/2016	1	0.19435
1/06/2016	1	0.16842	21/07/2016	8	1.53657	9/09/2016	2	0.04072
2/06/2016	2	0.16842	22/07/2016	9	0.04342	12/09/2016	3	0.19137
6/06/2016	3	2.59487	25/07/2016	10	1.88338	13/09/2016	4	0.00212
9/06/2016	4	0.11087	30/07/2016	11	0.18404	17/09/2016	5	0.13559
13/06/2016	5	0.28563	1/08/2016	1	0.11087	21/09/2016	6	0.47946
14/06/2016	6	0.46054	4/08/2016	2	0.31947	22/09/2016	7	0.19286
16/06/2016	7	0.06149	8/08/2016	3	0.36560	23/09/2016	8	0.21744
18/06/2016	8	0.65356	12/08/2016	4	0.12587	28/09/2016	9	0.00930
23/06/2016	9	0.65356	16/08/2016	5	0.28929	30/09/2016	10	0.52099
28/06/2016	10	0.59331	18/08/2016	6	2.56047	1/10/2016	1	0.61487
29/06/2016	11	0.00648	22/08/2016	7	1.12718	3/10/2016	2	1.46305
4/07/2016	1	0.12826	23/08/2016	8	0.59331	5/10/2016	3	0.10645
5/07/2016	2	0.10864	26/08/2016	9	0.09172	6/10/2016	4	0.48185
7/07/2016	3	0.09172	27/08/2016	10	0.20496	7/10/2016	5	0.07906

En el cuadro 18 se puede observar que para el caso del segundo tercio la mayor tasa de erosión hídrica fue de 2.594865 toneladas por hectárea por día, el cual se dio en el mes de junio, comparando la mayor tasa de erosión hídrica por día del primer tercio que fue de 0.92402 toneladas por hectárea por día, el segundo tercio estima en 280% más la erosión hídrica con respecto al primer tercio, esto influenciado por la pendiente

del lote (ver cuadro 16) y la orientación de siembra de los surcos a favor de la pendiente.

Durante el periodo de investigación se estimó que se pierde un total de 23.40 toneladas de suelo por hectárea en terrenos cultivados con caña de azúcar en el segundo tercio de cosecha.

1.7.3. Estimación de la erosión hídrica a través de la EUPS para el tercer tercio de cosecha.

A continuación en el cuadro 19 se presenta la estimación de la erosión hídrica a través de la EUPS para el tercer tercio de cosecha de los diferentes eventos de lluvia captados durante el periodo de investigación:

Cuadro 19. Estimación de la erosión hídrica a través de la EUPS para el cultivo de caña de azúcar cosechada en el tercer tercio.

Fecha	Evento	Erosión (Tm/Ha/día)	Fecha	Evento	Erosión (Tm/Ha/día)	Fecha	Evento	Erosión (Tm/Ha/día)
27/05/2016	1	0.36587	21/07/2016	7	0.99360	30/08/2016	13	0.01051
28/05/2016	2	0.04515	22/07/2016	8	0.00943	31/08/2016	14	0.53324
1/06/2016	1	0.15343	25/07/2016	9	1.29825	3/09/2016	1	0.02827
2/06/2016	2	0.16367	29/07/2016	10	0.01754	7/09/2016	2	0.12884
6/06/2016	3	1.83103	30/07/2016	11	0.00817	9/09/2016	3	0.05383
9/06/2016	4	1.18227	1/08/2016	1	0.02299	12/09/2016	4	0.26834
13/06/2016	5	0.52261	3/08/2016	2	0.00160	13/09/2016	5	0.00216
14/06/2016	6	0.07823	4/08/2016	3	0.78489	17/09/2016	6	0.24927
16/06/2016	7	0.35888	8/08/2016	4	0.58133	21/09/2016	7	0.03515
23/06/2016	8	0.09307	12/08/2016	5	0.17905	22/09/2016	8	0.17784
28/06/2016	9	1.37404	16/08/2016	6	0.12986	23/09/2016	9	0.55265
4/07/2016	1	0.01051	18/08/2016	7	0.47717	28/09/2016	10	0.02512
5/07/2016	2	0.08141	22/08/2016	8	0.89023	30/09/2016	11	0.18764
7/07/2016	3	0.10100	23/08/2016	9	0.29595	1/10/2016	1	0.82996
8/07/2016	4	0.00216	26/08/2016	10	0.10833	3/10/2016	2	0.73860
12/07/2016	5	0.19264	27/08/2016	11	0.53324	5/10/2016	3	0.14790
13/07/2016	6	0.01940	29/08/2016	12	1.83103	6/10/2016	4	0.04111
						7/10/2016	5	0.32497

La mayor tasa de erosión hídrica para el tercer tercio fue de 1.83 toneladas por hectárea por día, las cuales se dieron en el mes de junio y agosto, el aumento de la estimación de la erosión está influenciado por la pendiente del lote el cual posee 1% de pendiente más en comparación del primer tercio de cosecha (ver cuadro 16).

Durante el periodo de investigación se estimó que se pierde un total de 19.07 toneladas de suelo por hectárea en el tercer tercio.

1.7.4. Comportamiento de la erosión hídrica estimada

Para poder comprender de mejor manera los resultados de la estimación de la erosión hídrica a través de la EUPS en los diferentes tercios de cosecha se presenta la figura cinco:

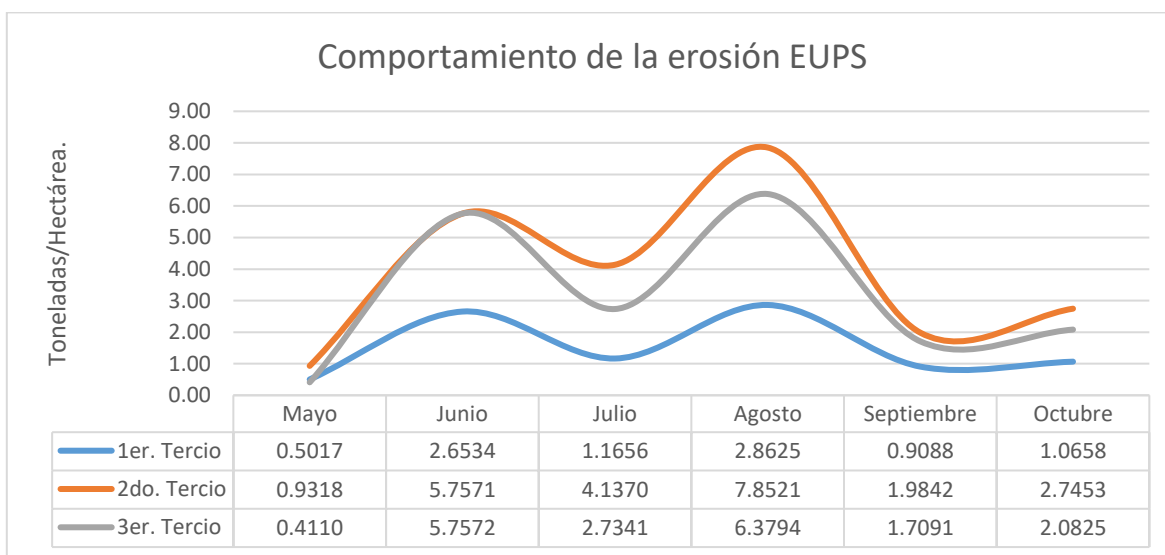


Figura No. 8. Comportamiento de la estimación de la erosión hídrica.

La grafica presentada en la figura ocho, muestra el comportamiento de la estimación de la erosión hídrica a través de la EUPS en los diferentes tercios de cosecha.

Para los tres tercios de cosecha se presentaron las mayores tasas de erosión en los mes de junio y agosto lo que coincide con los meses más lluviosos del año 2016.

Las menores tasas de erosión se presentaron en los meses de julio y septiembre lo que coincide con los meses menos lluviosos en relación con las precipitaciones históricas y comparadas con los datos registrados en los meses de junio y agosto.

El primer tercio de cosecha presentó la máxima tasa de erosión en el mes de agosto estimando una pérdida de 2.8625 Tm/Ha.

Para el caso del segundo y tercer tercio de cosecha se presentó la máxima estimación de la erosión en el mes de agosto estimando para el segundo tercio una erosión de 7.8521 Tm/Ha y 6.3794 Tm/Ha para el tercer tercio de cosecha. El segundo tercio de cosecha presentó mayor estimación de la erosión hídrica en comparación con los otros tercios de cosecha, esto debido a que en el segundo tercio de cosecha no se tomó en cuenta el factor de prácticas de conservación (factor P) ya que los surcos del cultivo de la caña de azúcar se encontraban sembrados a favor de la pendiente (norte-sur), este sistema de siembra favorece el flujo de la escorrentía y no tiene efecto en la disminución de la tasa de erosión.

Las condiciones edáficas influyen en la erosión hídrica, para el primer y segundo tercio de cosecha se contaba con una textura franco arenoso mientras que el tercer tercio poseía una textura franco, esto influyó en la determinación del factor K el cual es mayor para suelos con textura franco, a esto se le suma el porcentaje de pendiente de los sitios experimentales que para el primer tercio la pendiente era de 3.5%, para el segundo tercio era de 5% y para el tercer tercio era de 4.5% lo que influyó en las diferentes tasas de erosión entre los tercios de cosecha.

2. Parcelas de escorrentía método directo

A continuación se presentan las tasas de erosión hídrica captada por las parcelas de escorrentía por cada evento de lluvia en los diversos tercios de cosecha en investigación:

2.1. Erosión primer tercio de cosecha

En el cuadro 20 se presenta la erosión hídrica (Tm/ha) generada por cada evento de lluvia captadas por las parcelas de escorrentía instaladas en el primer tercio de cosecha:

Cuadro 20. Erosión hídrica en el primer tercio de cosecha método directo.

No.	Fecha	Erosión (Tm/ha)	No.	Fecha	Erosión (Tm/ha)	No.	Fecha	Erosión (Tm/ha)
1	14/05/2016	0.01150	20	9/07/2016	0.00010	39	29/08/2016	0.02930
2	19/05/2016	0.01159	21	12/07/2016	0.00230	40	31/08/2016	0.01613
3	23/05/2016	0.01158	22	13/07/2016	0.00044	41	3/09/2016	0.00025
4	27/05/2016	0.02839	23	21/07/2016	0.00361	42	7/09/2016	0.00097
5	28/05/2016	0.00096	24	22/07/2016	0.00040	43	9/09/2016	0.00088
6	1/06/2016	0.00651	25	25/07/2016	0.00751	44	12/09/2016	0.02239
7	2/06/2016	0.02185	26	29/07/2016	0.00086	45	13/09/2016	0.00001
8	6/06/2016	0.00175	27	30/07/2016	0.00002	46	17/09/2016	0.00264
9	9/06/2016	0.02102	28	1/08/2016	0.00240	47	21/09/2016	0.00288
10	13/06/2016	0.06548	29	3/08/2016	0.00029	48	22/09/2016	0.00083
11	14/06/2016	0.01308	30	4/08/2016	0.00520	49	23/09/2016	0.01032
12	16/06/2016	0.01238	31	8/08/2016	0.00733	50	28/09/2016	0.00029
13	18/06/2016	0.00376	32	12/08/2016	0.00125	51	30/09/2016	0.00596
14	23/06/2016	0.01352	33	16/08/2016	0.00213	52	1/10/2016	0.01309
15	28/06/2016	0.10653	34	18/08/2016	0.00851	53	3/10/2016	0.01668
16	4/07/2016	0.00421	35	22/08/2016	0.00763	54	5/10/2016	0.00170
17	5/07/2016	0.00602	36	23/08/2016	0.00533	55	6/10/2016	0.00103
18	7/07/2016	0.01172	37	26/08/2016	0.00201	56	7/10/2016	0.01211
19	8/07/2016	0.00334	38	27/08/2016	0.00210			

En el cuadro 20 se puede observar las fechas de los eventos de lluvia captados por el lote de primer tercio y la erosión provocada por cada evento de lluvia, la mayor tasa de erosión provocada por un evento de lluvia en el periodo de investigación fue de 0.106528 toneladas de suelo por hectárea, cuyo evento fue captado en el mes de junio, en los 56 eventos se tuvo una

erosión hídrica total de 0.5529 toneladas de suelo por hectárea en el primer tercio calculado en base al método directo.

2.2. Erosión segundo tercio de cosecha

Se presenta en el cuadro 21 la tasa de erosión hídrica (Tm/Ha) generada por cada evento de lluvia captadas por las parcelas de esorrentía instaladas en el segundo tercio de cosecha.

Cuadro 21. Erosión hídrica en el segundo tercio de cosecha método directo.

No.	Fecha	Erosión (Tm/ha)	No.	Fecha	Erosión (Tm/ha)	No.	Fecha	Erosión (Tm/ha)
1	19/05/2016	0.05842	19	8/07/2016	0.00131	37	29/08/2016	0.18531
2	23/05/2016	0.00728	20	9/07/2016	0.00459	38	30/08/2016	0.00001
3	27/05/2016	0.01125	21	12/07/2016	0.00265	39	31/08/2016	0.04468
4	28/05/2016	0.01218	22	13/07/2016	0.00023	40	7/09/2016	0.00006
5	1/06/2016	0.00424	23	21/07/2016	0.02297	41	9/09/2016	0.00878
6	2/06/2016	0.01141	24	22/07/2016	0.00772	42	12/09/2016	0.00640
7	6/06/2016	0.05141	25	25/07/2016	0.06300	43	13/09/2016	0.00002
8	9/06/2016	0.01314	26	30/07/2016	0.00944	44	17/09/2016	0.01036
9	13/06/2016	0.00870	27	1/08/2016	0.00178	45	21/09/2016	0.01757
10	14/06/2016	0.00422	28	4/08/2016	0.00193	46	22/09/2016	0.05629
11	16/06/2016	0.00606	29	8/08/2016	0.00184	47	23/09/2016	0.02026
12	18/06/2016	0.00129	30	12/08/2016	0.00056	48	28/09/2016	0.00002
13	23/06/2016	0.04664	31	16/08/2016	0.00578	49	30/09/2016	0.05785
14	28/06/2016	0.00947	32	18/08/2016	0.04821	50	1/10/2016	0.05993
15	29/06/2016	0.00114	33	22/08/2016	0.01952	51	3/10/2016	0.08288
16	4/07/2016	0.00218	34	23/08/2016	0.02503	52	5/10/2016	0.03498
17	5/07/2016	0.00209	35	26/08/2016	0.00484	53	6/10/2016	0.03143
18	7/07/2016	0.00227	36	27/08/2016	0.00638	54	7/10/2016	0.01083

En el cuadro 21 se puede observar que en el segundo tercio se captaron 54 eventos de lluvia los cuales generaron una erosión hídrica total de 1.1088 toneladas de suelo por hectárea, el evento que provocó mayor erosión se dio en el mes de agosto erosionando 0.18531 toneladas de suelo por hectárea, en el segundo tercio se produjo el doble de erosión en

comparación con el primer tercio, esto debido al efecto de la orientación de los surcos que ocasionó el aumento de flujo de agua y el porcentaje de cobertura proporcionada por cada etapa fenológica del cultivo.

2.3. Erosión tercer tercio de cosecha

En el cuadro 22 se presenta la tasa de erosión hídrica generada por cada evento de lluvias captadas por las parcelas de escorrentía instaladas en el tercer tercio de cosecha.

Cuadro 22. Erosión hídrica en el tercer tercio de cosecha método directo.

No.	Fecha	Erosión (Tm/ha)	No.	Fecha	Erosión (Tm/ha)	No.	Fecha	Erosión (Tm/ha)
1	27/05/2016	0.15347	19	22/07/2016	0.00588	36	31/08/2016	0.00211
2	28/05/2016	0.04444	20	25/07/2016	0.04063	37	3/09/2016	0.00006
3	1/06/2016	0.03924	21	29/07/2016	0.00167	38	7/09/2016	0.00019
4	2/06/2016	0.12197	22	30/07/2016	0.00009	39	9/09/2016	0.00151
5	6/06/2016	0.23098	23	1/08/2016	0.00346	40	12/09/2016	0.00609
6	9/06/2016	0.20009	24	3/08/2016	0.00059	41	13/09/2016	0.00002
7	13/06/2016	0.17194	25	4/08/2016	0.00866	42	17/09/2016	0.00112
8	14/06/2016	0.02363	26	8/08/2016	0.01313	43	21/09/2016	0.00116
9	16/06/2016	0.08678	27	12/08/2016	0.00186	44	22/09/2016	0.00418
10	23/06/2016	0.06277	28	16/08/2016	0.00279	45	23/09/2016	0.00560
11	28/06/2016	0.13312	29	18/08/2016	0.01032	46	28/09/2016	0.00005
12	4/07/2016	0.00466	30	22/08/2016	0.00399	47	30/09/2016	0.00172
13	5/07/2016	0.00877	31	23/08/2016	0.01274	48	1/10/2016	0.00413
14	7/07/2016	0.07527	32	26/08/2016	0.00124	49	3/10/2016	0.00194
15	8/07/2016	0.00537	33	27/08/2016	0.00282	50	5/10/2016	0.00036
16	12/07/2016	0.03385	34	29/08/2016	0.01310	51	6/10/2016	0.00035
17	13/07/2016	0.00056	35	30/08/2016	0.00001	52	7/10/2016	0.00261
18	21/07/2016	0.02175						

En el cuadro 22 se puede observar que en el tercer tercio de cosecha se captaron 52 eventos de lluvia los cuales generaron una erosión hídrica total de 1.5748 toneladas de suelo por hectárea, esto significa un aumento de erosión de 184% en comparación con el primer tercio esto se debe al efecto

de la cobertura, en el tercer tercio de cosecha el cultivo posee menor cantidad de cobertura vegetal lo que influye en el aumento de la erosión ya que la gota de agua impacta directamente en el suelo, el evento que provocó mayor erosión se dio en el mes de junio erosionando 0.2309 toneladas de suelo por hectárea.

2.4. Comportamiento de la erosión hídrica

Para poder comprender de mejor manera los resultados de la erosión hídrica determinada a través de parcelas de escorrentía utilizando el método directo en los diferentes tercios de cosecha se presenta la figura nueve:

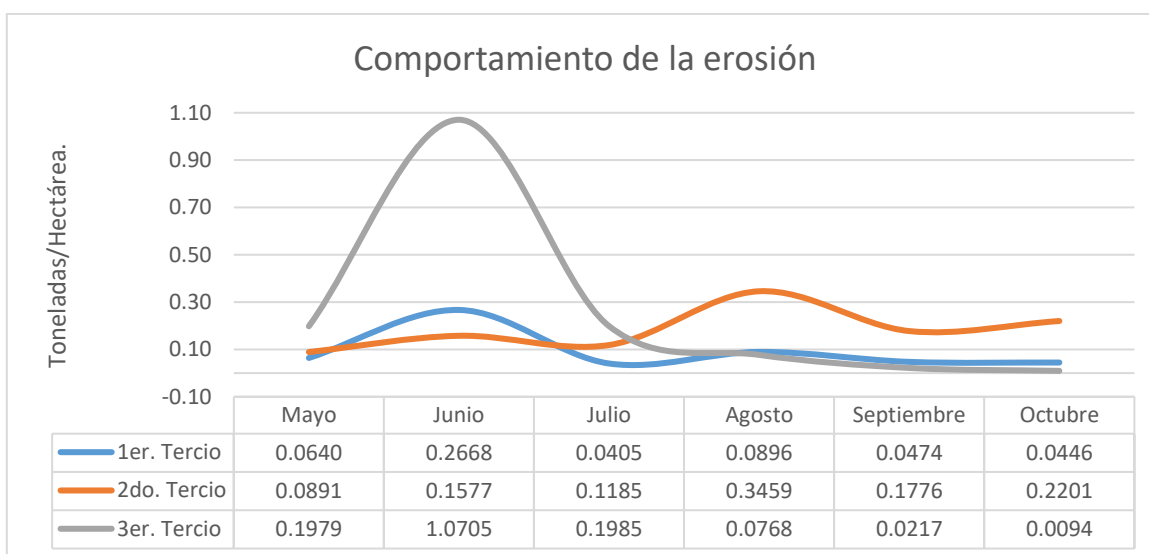


Figura 9. Comportamiento de la erosión hídrica.

La grafica presentada en la figura nueve muestra el comportamiento de la erosión hídrica determinada a través de parcelas de escorrentía de los diferentes tercios de cosecha.

Para el cultivo de la caña de azúcar destinada a cosechar en el primer tercio de cosecha se determinó la máxima tasa de erosión en el mes de junio provocando una pérdida de 0.2668 Tm/Ha, esto debido al estado de desarrollo del cultivo el cual se encontraba en la etapa fenológica de elongación I, en esta etapa se empieza a cerrar el follaje lo que ocasiona

que todavía la gota de lluvia impacte directamente al suelo, se observa que la tasa de erosión disminuye al transcurrir el desarrollo del cultivo ya que el cultivo brinda una mayor protección al suelo.

El segundo tercio de cosecha presenta en el mes de agosto la máxima tasa de erosión hídrica provocando una pérdida de 0.3459 Tm/Ha en este tercio de cosecha la erosión no disminuyó a través del desarrollo del cultivo debido a que el cultivo estaba establecido con surcos a favor de la pendiente lo que favoreció la escorrentía en especial en los meses más lluviosos y conforme el suelo se encontraba más húmedo.

El tercer tercio de cosecha presentó en el mes de junio su máxima tasa de erosión 1.0705 Tm/Ha, debido a que el cultivo se encontraba iniciando la etapa fenológica de macollamiento la que brindaba poca protección, por lo que la lluvia impactó en forma directa al suelo, sin embargo con el crecimiento del cultivo se nota una reducción de la erosión a pesar de que agosto fue uno de los meses más lluviosos en este mes el cultivo pasó a la etapa fenológica de elongación I.

De acuerdo al comportamiento de la erosión hídrica en las diferentes etapas fenológicas se puede decir que con el incremento de la cobertura vegetal del cultivo de la caña de azúcar disminuye la erosión hídrica, por lo que el factor C de la EUPS debería de variar en función a de la etapa fenológica del cultivo.

3. Escorrentía

A continuación se presentan las tasas de escorrentía captada por las parcelas por cada evento de lluvia en los diversos tercios de investigación:

3.1. Escorrentía primer tercio de cosecha

A continuación en el cuadro 23 se presenta la escorrentía (m^3/ha) generada por cada evento de lluvia captadas por las parcelas de escorrentía instaladas en el primer tercio de cosecha:

Cuadro 23. Escorrentía captada en el primer tercio de cosecha.

No.	Fecha	Escorrentía (m ³ /ha)	No.	Fecha	Escorrentía (m ³ /ha)	No.	Fecha	Escorrentía (m ³ /ha)
1	14/05/2016	17.27	20	9/07/2016	1.79	39	29/08/2016	63.93
2	19/05/2016	22.44	21	12/07/2016	14.76	40	31/08/2016	42.29
3	23/05/2016	28.98	22	13/07/2016	8.13	41	3/09/2016	6.15
4	27/05/2016	36.43	23	21/07/2016	12.77	42	7/09/2016	13.87
5	28/05/2016	5.35	24	22/07/2016	2.03	43	9/09/2016	10.34
6	1/06/2016	40.52	25	25/07/2016	29.09	44	12/09/2016	80.69
7	2/06/2016	16.52	26	29/07/2016	2.25	45	13/09/2016	1.3
8	6/06/2016	42.09	27	30/07/2016	1.59	46	17/09/2016	22.16
9	9/06/2016	37	28	1/08/2016	3.44	47	21/09/2016	11.73
10	13/06/2016	33.4	29	3/08/2016	2.85	48	22/09/2016	5.72
11	14/06/2016	8.38	30	4/08/2016	21.55	49	23/09/2016	34.93
12	16/06/2016	23.44	31	8/08/2016	31.12	50	28/09/2016	5.58
13	18/06/2016	35.81	32	12/08/2016	24.46	51	30/09/2016	20.79
14	23/06/2016	16.34	33	16/08/2016	11.48	52	1/10/2016	46.65
15	28/06/2016	53.14	34	18/08/2016	54.9	53	3/10/2016	82.94
16	4/07/2016	5.97	35	22/08/2016	29.69	54	5/10/2016	14.51
17	5/07/2016	14.31	36	23/08/2016	49.96	55	6/10/2016	14.93
18	7/07/2016	5.26	37	26/08/2016	13.84	56	7/10/2016	54.19
19	8/07/2016	6.81	38	27/08/2016	27.29			

En el cuadro 23 se puede observar que en el primer tercio se captaron 56 eventos de lluvia durante el periodo de investigación se generó una escorrentía de 1,325.11 m³/ha el mes en el cual se captó la mayor cantidad de escorrentía fue en el mes de agosto captando 376.78 m³/ha el cual representó el 28% de la escorrentía total.

3.2. Escorrentía segundo tercio de cosecha

A continuación en el cuadro 24 se presenta la escorrentía (m³/ha) generada por cada evento de lluvia captadas por las parcelas de escorrentía instaladas en el segundo tercio de cosecha:

Cuadro 24. Escorrentía captada en el segundo tercio de cosecha.

No.	Fecha	Escorrentía (m ³ /ha)	No.	Fecha	Escorrentía (m ³ /ha)	No.	Fecha	Escorrentía (m ³ /ha)
1	19/05/2016	42.0182	19	8/07/2016	1.267706	37	29/08/2016	107.703
2	23/05/2016	8.141665	20	9/07/2016	1.320859	38	30/08/2016	0.701332
3	27/05/2016	11.71224	21	12/07/2016	10.27353	39	31/08/2016	94.80158
4	28/05/2016	12.27927	22	13/07/2016	1.660696	40	7/09/2016	3.561134
5	1/06/2016	14.79948	23	21/07/2016	58.2773	41	9/09/2016	5.886146
6	2/06/2016	9.951471	24	22/07/2016	5.266561	42	12/09/2016	12.09739
7	6/06/2016	98.46931	25	25/07/2016	91.53871	43	13/09/2016	1.305413
8	9/06/2016	7.804577	26	30/07/2016	11.35751	44	17/09/2016	8.582342
9	13/06/2016	13.21973	27	1/08/2016	6.992439	45	21/09/2016	27.07167
10	14/06/2016	26.30745	28	4/08/2016	6.68959	46	22/09/2016	31.75332
11	16/06/2016	5.503709	29	8/08/2016	10.92767	47	23/09/2016	20.63058
12	18/06/2016	13.6472	30	12/08/2016	6.211151	48	28/09/2016	1.503134
13	23/06/2016	29.37765	31	16/08/2016	13.84934	49	30/09/2016	64.48905
14	28/06/2016	50.29896	32	18/08/2016	109.7692	50	1/10/2016	67.29545
15	29/06/2016	2.985859	33	22/08/2016	45.88692	51	3/10/2016	92.1416
16	4/07/2016	8.640296	34	23/08/2016	91.17992	52	5/10/2016	17.30981
17	5/07/2016	7.943096	35	26/08/2016	7.4062	53	6/10/2016	38.49408
18	7/07/2016	9.659958	36	27/08/2016	14.52354	54	7/10/2016	12.8021

En el cuadro 24 se puede observar que en el segundo tercio de cosecha se captaron 54 eventos de lluvia durante el periodo de investigación se generó una escorrentía de 1,475.28 m³ por hectárea, el mes en el cual se captó la mayor cantidad de escorrentía fue en el mes de agosto captando 516.64 m³ por hectárea el cual representó el 35% de la escorrentía total.

3.3. Escorrentía tercer tercio de cosecha

A continuación en el cuadro 25 se presenta la escorrentía (m³/ha) generados por cada evento de lluvia captados por las parcelas de escorrentía instaladas en el lote 1503 pertenecientes al tercer tercio de cosecha.

Cuadro 25. Escorrentía captada en el tercer tercio de cosecha.

No.	Fecha	Escorrentía (m ³ /ha)	No.	Fecha	Escorrentía (m ³ /ha)	No.	Fecha	Escorrentía (m ³ /ha)
1	27/05/2016	42.73436	19	22/07/2016	10.68272	36	31/08/2016	102.6229
2	28/05/2016	14.92118	20	25/07/2016	109.3785	37	3/09/2016	0.522232
3	1/06/2016	26.98574	21	29/07/2016	12.46439	38	7/09/2016	1.001547
4	2/06/2016	58.99997	22	30/07/2016	0.98396	39	9/09/2016	21.24834
5	6/06/2016	84.87015	23	1/08/2016	7.433909	40	12/09/2016	93.46591
6	9/06/2016	75.60111	24	3/08/2016	0.998936	41	13/09/2016	0.891973
7	13/06/2016	83.32564	25	4/08/2016	100.2473	42	17/09/2016	21.61803
8	14/06/2016	18.04353	26	8/08/2016	75.66216	43	21/09/2016	16.99565
9	16/06/2016	79.30501	27	12/08/2016	17.02929	44	22/09/2016	77.6984
10	23/06/2016	25.36612	28	16/08/2016	8.069453	45	23/09/2016	95.11703
11	28/06/2016	74.30233	29	18/08/2016	110.3235	46	28/09/2016	1.876098
12	4/07/2016	3.030749	30	22/08/2016	100.215	47	30/09/2016	24.35832
13	5/07/2016	14.3609	31	23/08/2016	61.33034	48	1/10/2016	107.2567
14	7/07/2016	55.8993	32	26/08/2016	13.39904	49	3/10/2016	87.40083
15	8/07/2016	3.010863	33	27/08/2016	99.49944	50	5/10/2016	6.960367
16	12/07/2016	61.41487	34	29/08/2016	109.3296	51	6/10/2016	4.22218
17	13/07/2016	3.702281	35	30/08/2016	0.537809	52	7/10/2016	81.27039
18	21/07/2016	85.44116						

En el cuadro 25 se puede observar que en el tercer tercio de cosecha se captaron 52 eventos de lluvia durante el periodo de investigación se generó una escorrentía de 2,393.43 m³ por hectárea, al igual que los demás tercios en estudio el mes en el que se captó mayor cantidad de escorrentía fue en el mes de agosto captando 806.70 m³ por hectárea el cual representó el 33% de la escorrentía total, en el tercer tercio se encuentra la mayor cantidad de escorrentía captada esto se debió a que el porcentaje de cobertura vegetal era menor en comparación con el primer y segundo tercio que la protección vegetal era mayor, lo que favorecía el flujo del agua y aumento de la escorrentía.

3.4. Comportamiento de la escorrentía

La escorrentía superficial se genera por la saturación del suelo ocasionada por la precipitación lo que a su vez genera la erosión hídrica la escorrentía provoca el arrastre de las partículas del suelo, las partículas más grandes tiende a precipitar o a sedimentarse a pequeñas distancias de transporte, mientras que las partículas diminutas pueden recorrer muchas distancias suspendidas en la columna de agua.

Para poder comprender de mejor manera el comportamiento de la escorrentía en los diferentes tercios de cosecha se presenta la figura diez:

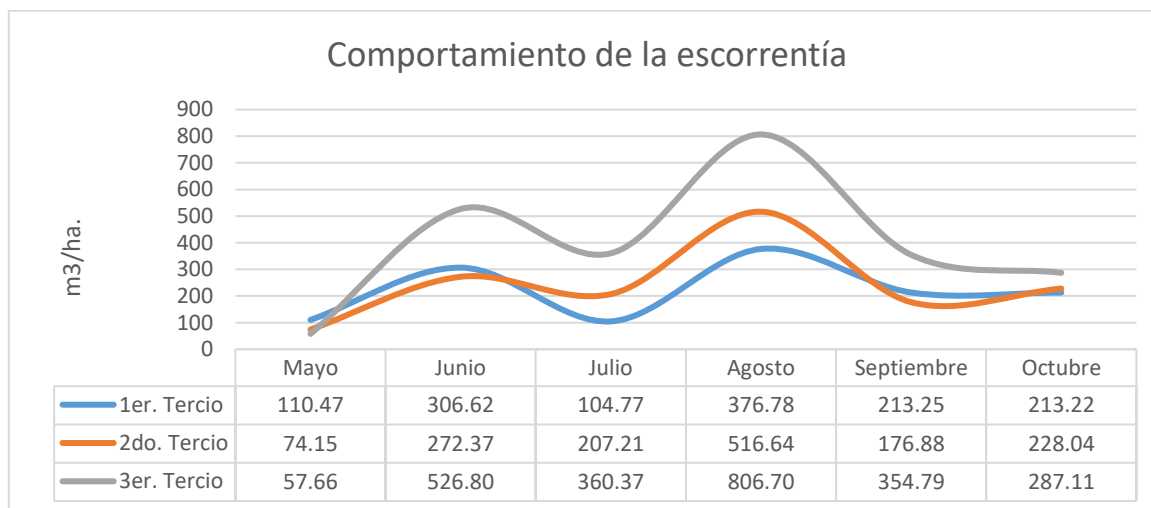


Figura 10. Comportamiento de la escorrentía en los diversos tercios de cosecha.

La grafica presentada en la figura 10 muestra el comportamiento de la escorrentía determinada a través de parcelas de escorrentía para los diferentes tercios de cosecha.

Para el caso de los tres tercios se presentó la máxima tasa de escorrentía en el mes de agosto captando para el primer tercio una escorrentía de 376.78 m³/ha, para el segundo tercio una escorrentía de 516.64 m³/ha, para el tercer tercio se captó una escorrentía de 806.70 m³/ha.

La escorrentía está influenciada por la precipitación como se puede observar en la figura cuatro precipitaciones pluviales en los sitios

experimentales, en el mes de agosto se presentaron las mayores tasas de precipitación y por ende la escorrentía aumentó.

La escorrentía en el tercer tercio de cosecha sobresale debido a que en este tercio se presentan las condiciones críticas de desarrollo del cultivo, ya que el cultivo brinda poca protección al suelo.

4. Infiltración

Se presentan los resultados de la capacidad y el porcentaje de infiltración de los tercios en estudio, para ello se convirtió la precipitación acumulada de cada mes a m³/ha, se determinó la capacidad y el porcentaje de infiltración de cada lote de la investigación:

4.1. Infiltración primer tercio de cosecha

Se presenta la capacidad y el porcentaje de infiltración de los diferentes meses de estudio para el primer tercio de cosecha, los resultados obtenidos se presentan en el cuadro 26.

Cuadro 26. Capacidad y porcentaje de infiltración para el primer tercio de cosecha.

Primer tercio	Escorrentía (m3/Ha)	Precipitación (M3/Ha)	Infiltración (M3/Ha)	Infiltración (%)
Mayo	110.4731	1408	1297.5269	92.15
Junio	308.2977	4806	6166.7023	95.24
Julio	104.7695	2840	2735.2305	96.31
Agosto	383.5365	5500	5283.4635	93.23
Septiembre	213.2486	2867	2653.7514	92.56
Octubre	213.2164	2213	1999.7836	90.37
Total	1333.5418	19634	20136.4582	93.79

Como se presentó anteriormente en el cuadro 26, el primer tercio de cosecha posee una textura de suelo franco arenoso, en el mes de julio se presentó el mayor porcentaje de infiltración siendo un 96%, esto se debió a que en dicho mes se tuvieron bajas cantidades de precipitaciones, lo cual

favorecía la infiltración, en la figura 11 se puede observar de manera objetiva su comportamiento.

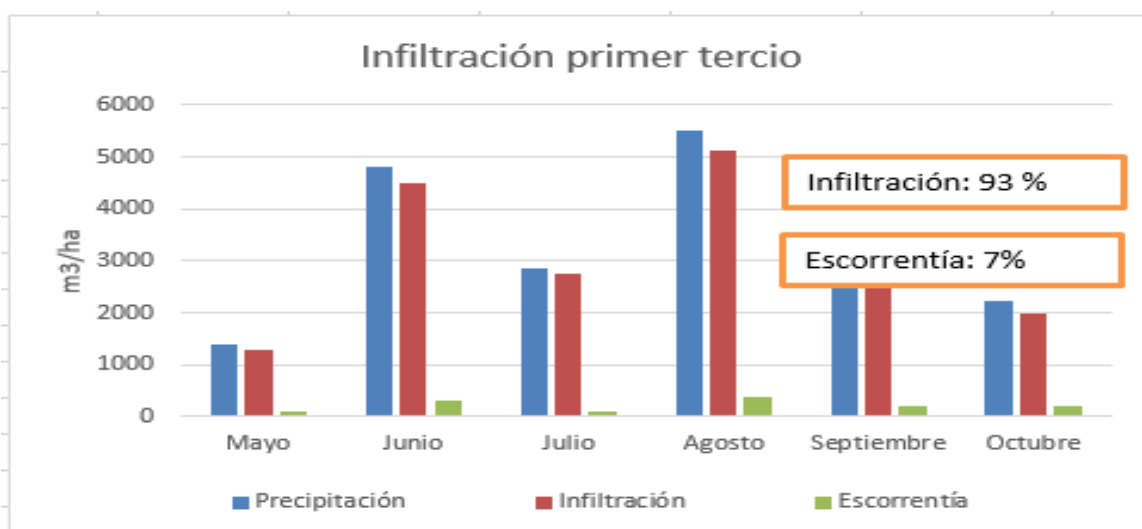


Figura 11. Infiltración primer tercio de cosecha.

Se determinó que durante el periodo de investigación en el primer tercio se infiltró el 93.79% de la precipitación, mientras que el 6.21% de la precipitación se convirtió en escorrentía, la cual generó la erosión hídrica en el primer tercio.

4.2. Infiltración segundo tercio de cosecha

En el cuadro 27 se presenta la capacidad y el porcentaje de infiltración de los diferentes meses de estudio para el segundo tercio de cosecha.

Cuadro 27. Capacidad y porcentaje de infiltración para el segundo tercio de cosecha.

Segundo tercio	Escorrentía (m³/Ha)	Precipitación (M³/Ha)	Infiltración (M³/Ha)	Infiltración (%)
Mayo	74.1514	1160	1085.8486	93.61
Junio	272.3654	4151	3878.6346	93.44
Julio	207.2062	2923	2715.7938	92.91
Agosto	516.6419	5126	4609.3581	89.92
Septiembre	176.8802	2399	2222.1198	92.63
Octubre	228.043	1983	1754.957	88.5

El segundo tercio de cosecha posee una textura de suelo franco arenoso, en el cuadro 27 se puede observar que en el mes de mayo se presentó el mayor porcentaje de infiltración siendo de 93.61%, esto debido a las bajas intensidades de lluvia presente en el mes lo que favoreció la infiltración y disminución de la escorrentía; los resultados se presentan en forma objetiva en la figura nueve.

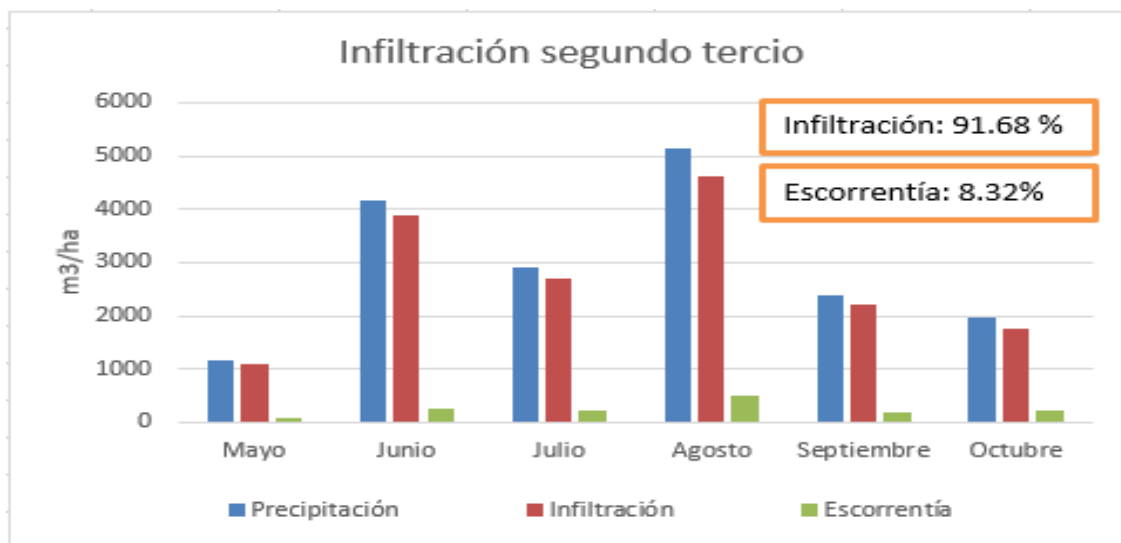


Figura 12. Infiltración segundo tercio de cosecha.

Como se puede observar en la figura 12 que se determinó que en el segundo tercio se infiltra el 91.68% de la precipitación captada por el lote durante la investigación, mientras que el 8.32% de la precipitación se convierte en escorrentía la cual generó la erosión hídrica en el segundo tercio.

4.3. Infiltración tercer tercio de cosecha

En el cuadro 28 se presenta la capacidad y el porcentaje de infiltración de los diferentes meses de estudio para el tercer tercio de cosecha.

Cuadro 28. Capacidad y porcentaje de infiltración para el tercer tercio de cosecha.

Tercer tercio	Escorrentía (m ³ /Ha)	Precipitación (M ³ /Ha)	Infiltración (M ³ /Ha)	Infiltración (%)
Mayo	57.6555	593	535.3445	90.28
Junio	526.7996	4570	4043.2004	88.47
Julio	360.3697	2730	2369.6303	86.8
Agosto	806.6987	5785	4978.3013	86.06
Septiembre	354.7935	2747	2392.2065	87.08
Octubre	287.1105	2094	1806.8895	86.29
Total	2393.4275	18519	16125.5725	87.08

En el cuadro 28 se puede observar que el tercer tercio de cosecha posee una textura de suelo franco, en el mes de mayo se presentó el mayor porcentaje de infiltración siendo de 90.28%, su comportamiento se puede observar objetivamente en la figura 13.

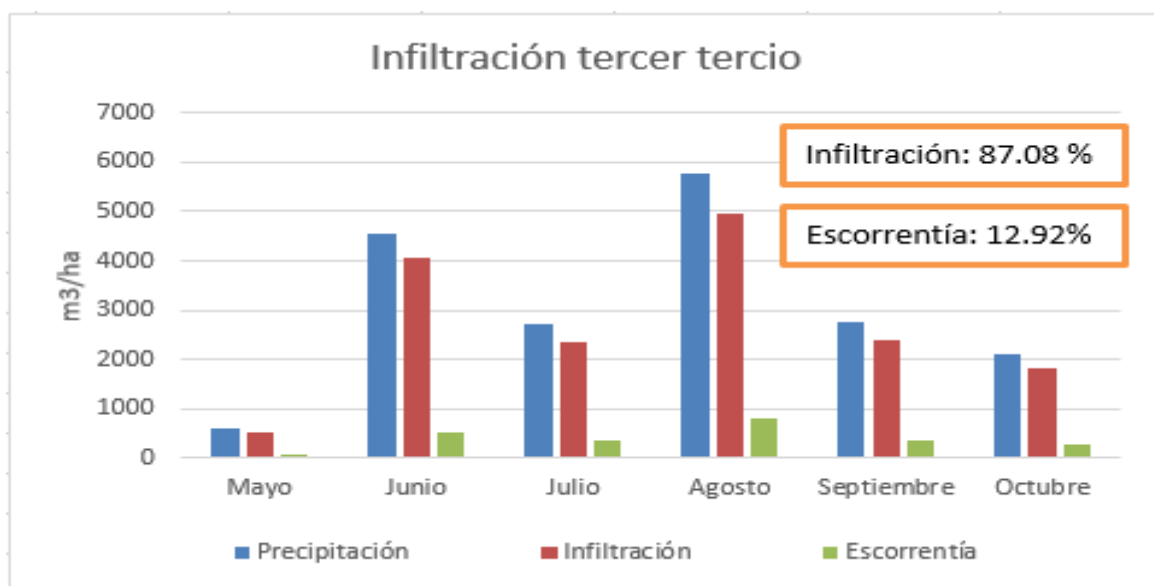


Figura 13. Infiltración tercer tercio de cosecha.

Se puede observar en la figura 13 que se determinó que en el tercer tercio se infiltra el 87.08% de la precipitación captada por el lote durante el periodo de investigación, mientras que el 12.92% de la precipitación se convierte en escorrentía la cual generó la erosión hídrica en el tercer tercio de cosecha.

5. Validación de la Ecuación Universal de Pérdida de Suelo

Se comparó la tasa de erosión determinada a través de parcelas de escorrentía (método directo) y la tasa de erosión estimada a través de la Ecuación Universal de Pérdida de Suelo (método indirecto) con el fin de validar dicha ecuación.

Se realizaron pruebas de medias de z para dos muestras independientes para cada tercio de cosecha en investigación.

5.1. Prueba de medias

A continuación en el cuadro 29 se presenta el resultado de la prueba de z para dos muestras independientes, entre la EUPS y parcelas de escorrentía:

Cuadro 29. Resultados de prueba de z .

		Media	Varianza	Obs.	z calculado	z tabulado	P dos colas
1er. Tercio	Parcelas	0.0099	0.0003	56	-7.5276	1.9599	5.1736E-14
	EUPS	0.1979	0.0538				
2do. Tercio	Parcelas	0.0205	0.0009	54	-5.5814	1.9600	2.3864E-08
	EUPS	0.4335	0.3706				
3er. Tercio	Parcelas	0.0303	0.0031	52	-17.8797	1.9600	0.000000
	EUPS	0.3668	0.2139				

En el cuadro 29 se puede observar que estadísticamente y con un nivel de significancia del 5% se determinó que, si existe diferencia significativa entre la estimación de la erosión hídrica mediante la Ecuación Universal de Pérdida de Suelo y la erosión hídrica determinada a través de parcelas de escorrentía ya que $z_{cal} > z_{tab}$, y p dos colas es menor que 0.05, por lo que se acepta la hipótesis alternativa así que la erosión desarrollada por EUPS no es igual a la erosión determinada con parcelas de escorrentía en condiciones de desarrollo fenológico correspondientes a los tres tercios de cosecha.

5.2. Comparación de resultados entre EUPS y parcelas de escorrentía

La EUPS es una metodología indirecta que estima las tasas de erosión hídrica la cual está influenciada por la precipitación y las parcelas de escorrentía es una metodología directa que determina las tasas de erosión.

La finalidad de dicha investigación es determinar si la EUPS estima la erosión hídrica cercana a la realidad, sobrestima o subestima las tasas de erosión para poder determinarlo, se comparó los resultados de erosión determinados a través de parcelas de escorrentía con los resultados de erosión estimados con la EUPS las gráficas a, b y c presentadas en la figuras 14 muestran el comportamiento para cada tercio de cosecha del cultivo de la caña de azúcar:

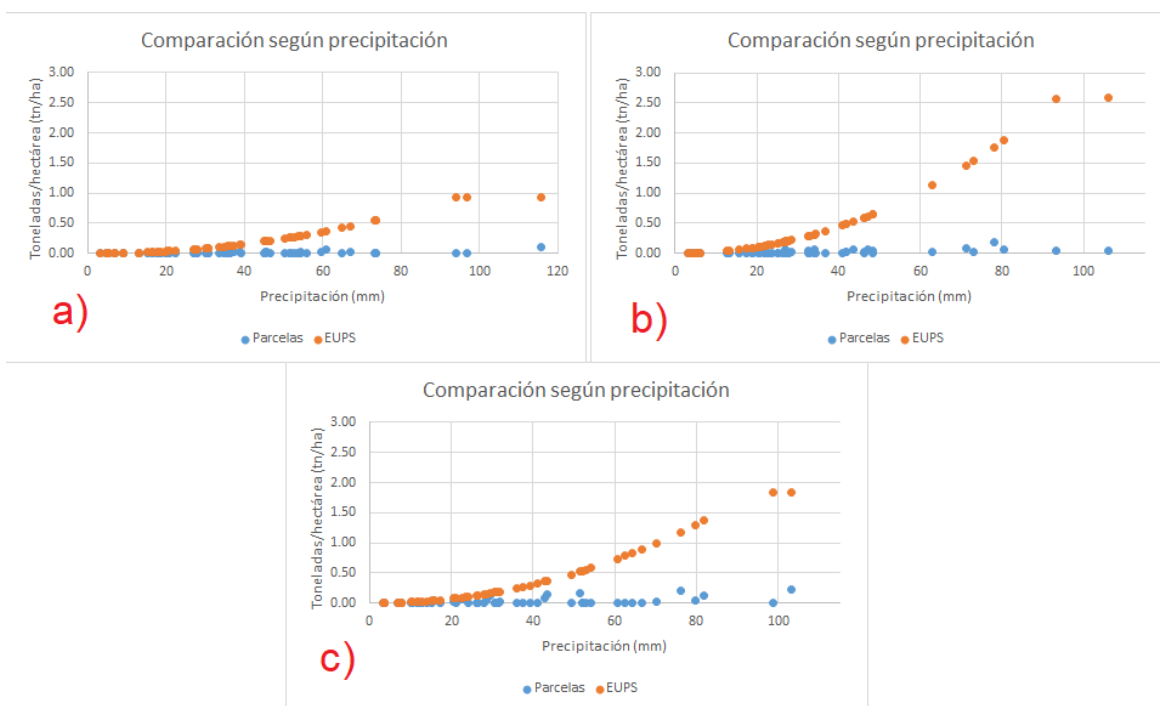


Figura 14. Comparación de EUPS con parcelas de escorrentía a) primer tercio de cosecha, b) segundo tercio de cosecha y c) tercer tercio de cosecha del cultivo de la caña de azúcar.

Se ordenaron los resultados según precipitaciones de menor a mayor, posteriormente se compararon las tasas de erosión calculadas por las dos metodologías en la cual se determinó que la EUPS sobreestima la erosión

hídrica en los tres tercios de cosecha como se puede observar en la figura 14 incisos a, b y c, que mientras mayor fue la precipitación mayor fue la estimación de la erosión, las tasas de erosión estimada por la EUPS para el segundo tercio de cosecha se elevan debido a que en este tercio no se está tomando en cuenta el factor P ya que no cuenta con ninguna practica de conservación, el primer y tercer tercio se encuentran sembrados en contorno, dicha práctica disminuye en un 50% la estimación de la erosión hídrica en el cultivo de la caña de azúcar (Wischmeier & Smith, 1978).

VII. CONCLUSIONES

1. Estadísticamente y con un nivel de significancia del 5% se determinó que, si existe diferencia significativa entre la estimación de la erosión hídrica mediante la Ecuación Universal de Pérdida de Suelo y la erosión hídrica determinada a través de parcelas de escorrentía, por lo que se acepta la hipótesis alternativa, así pues que la erosión desarrollada por la EUPS no es igual a la erosión determinada con parcelas de escorrentía en condiciones de desarrollo fenológico correspondientes a los tres tercios de cosecha del cultivo de la caña de azúcar.
2. Con la Ecuación Universal de Pérdida de suelo EUPS, se estimó que para el cultivo de la caña de azúcar cosechada en el primer tercio de la zafra una pérdida de 9.16 toneladas de suelo por hectárea, para el cultivo de caña de azúcar cosechada en el segundo tercio de zafra una pérdida de 23.41 toneladas de suelo por hectárea y para el cultivo de caña de azúcar cosechada en el tercer tercio de zafra una pérdida de 19.07 toneladas de suelo por hectárea.
3. Se determinó mediante parcelas de escorrentía para el cultivo de la caña de azúcar cosechada el primer tercio de zafra generó una erosión hídrica de 0.5529 toneladas de suelo por hectárea, para el cultivo de la caña de azúcar cosechada el segundo tercio de zafra generó una erosión hídrica de 1.1088 toneladas de suelo por hectárea y para el cultivo de la caña de azúcar cosechada el tercer tercio de zafra generó una erosión hídrica de 1.5748 toneladas de suelo por hectárea.
4. Existe diferencia significativa estadísticamente entre la estimación de la erosión hídrica mediante la Ecuación Universal de Pérdida de suelo EUPS y la erosión determinada a través de parcelas de escorrentía en el cultivo de la caña de azúcar en finca San Bonifacio por lo que se dice que la EUPS sobreestima la erosión hídrica.

VIII. RECOMENDACIONES

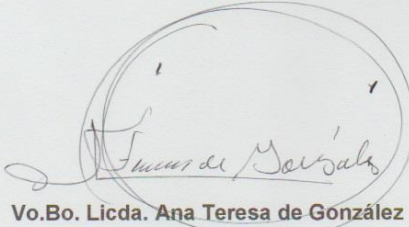
1. Para una mejor estimación del factor erosividad de la lluvia, utilizar datos provenientes de pluviógrafo, ya que estos datos dan la intensidad de lluvia a cada 15 o 30 minutos, esto para una estimación de la erosión más precisa.
2. Se recomienda calibrar el factor C para las diferentes etapas fenológicas del cultivo.
3. Comparar los datos de erosión hídrica con otros modelos indirectos o ecuaciones que estiman la erosión hídrica como Ecuación Universal de Pérdida de Suelo Modificada.
4. Medir el comportamiento de la erosión hídrica en diferentes años de producción del ciclo del cultivo (socas) de la caña de azúcar.

IX. Referencias bibliográficas

1. CENGICAÑA. (2012). *El Cultivo de la Caña de Azúcar en Guatemala*. Guatemala, GT.: Artemis Edinter, S.A. Documento en PDF.
2. Cisneros, J., Cholaky, C., González, J., Reynero, M., Diez, A., & Bergesio, L. (2012). *Erosión hídrica principios y técnicas de manejo*. Universidad Nacional de Río Cuarto. Servicio de conservación y ordenamiento de tierras. Córdoba, AR.: UniRío. Documento en PDF.
3. CORTOLIMA. (2007). *"Plan de ordenamiento y manejo de cuenca hidrográfica mayor del río totare"*. Universidad del Tolima. Tolima Ibagué, CO.: Corporación Autónoma Regional de Tolima. Documento en PDF.
4. Fangmeier, D., Elliot, W., Workman, S., & Huffman, R. (2006). *Soil and Water Conservation Engineering*. (5ta. edición). EUA.:Thomson Delmar Learning.
5. FAO. (s.f.). *Permeabilidad de los suelos*. Recuperado el 20 de Junio de 2016, de ftp://ftp.fao.org/fi/cdrom/fao_training/FAO_Training/General/x6706s/x6706s09.htm
6. -ICC-. (2015). *Riesgo potencial a erosión hídrica para la planificación de manejo y conservación de suelos de la agroindustria azucarera guatemalteca*. Instituto Privado de Investigación Sobre Cambio Climático, Santa Lucía Cotzumalguapa, Escuintla. GT. Documento en PDF.
7. -ICTA-. (1986). *Muestreo de suelos e interpretación de resultados de análisis*. Instituto de Ciencia y Tecnología Agrícola. Guatemala, GT. Documento en PDF.
8. León, P. (2007). *Métodos experimentales para el seguimiento y estudio de la erosión hídrica*. Universidad Nacional de Colombia. Investigación Medellín, CO. Documento en PDF.
9. Mancilla, G. (2008). *Uso de la ecuación universal de pérdidas de suelo (USLE)*. Silvicultura. Universidad de Chile. Santiago de Chile, CL. Documento en PDF.

10. Morgan R.P.C. y Rickson, R.J. (1995). *Slope Stabilization and Erosion Control- A Bioengineering Approach*. E & FN Spon. Inglaterra. Documento en PDF.
11. Morgan, R. (1995). *Soil Erosion and Conservation*. Longman Group. (Second Edition). Documento en PDF.
12. Orozco Vásquez, H., Catalán Palma, M., Quemé De León, J. L., & Castro García, O. (2004). *Catálogo de variedades promisorias de caña de azúcar de la agroindustria azucarera guatemalteca*. CENGICAÑA, Morfología y Productividad, Santa Lucía Cotzumalguapa, Escuintla. GT. Documento en PDF.
13. Reyes Castañeda, P. (1990). *Bioestadística aplicada: Biología, agronomía y química*. México, D.F.: Trillas. Documento en PDF.
14. Salguero, M. (2010). *Ecuación Universal de Pérdida de Suelo por Erosión Hídrica (EUPS)*. Universidad de San Carlos de Guatemala. Facultad de Agronomía. Guatemala, GT. Documento en PDF.
15. Santos Pérez, A. (2014). *Estudio de la erosión hídrica en la parte alta de la zona cañera, microcuenca los suyues, Santa Lucía Cotzumalguapa, Escuintla, Guatemala, C.A.* (Tesis Agronomía). Universidad San Carlos de Guatemala. Facultad de Agronomía. Guatemala, GT. Documento en PDF.
16. Santos Velásquez, A. A. (2010). *Determinación de la erosión hídrica para diferentes rango de pendientes en finca Santa Albina, municipio de Colomba Costa Cuca, departamento de Quetzaltenango*. (Tesis Agronomía). Universidad Rafael Landívar. Facultad de Ciencias Ambientales y Agrícolas. Guatemala, GT. Documento en PDF.
17. Segura, J. L. (13 de Enero de 2016). Fenómeno El Niño afecta fuertemente a Guatemala. *Diario Gestión*. Recuperado 20/06/2017 de <https://gestion.pe/tendencias/fenomeno-nino-afecta-fuertemente-guatemala-108889>.

18. Tayupanta, J. (1993). *La erosión hídrica: procesos, factores y formas*. Boletín Divulgativo No. 229. Quito, EC. Documento en PDF.
19. Troeh, F. (1991). *Soil and Water Conservation*. (Second edition). EUA: Prentice Hall, Inc.
20. Velásquez, S. (1999). *Determinación del efecto de siete frecuencias de riego en el rendimiento de la caña de azúcar (Saccharum Officinarum) en finca San Bonifacio, Pantaleón S.A.* (Documento de Graduación Agronomía). Universidad San Carlos de Guatemala. Facultad de Agronomía. Guatemala, GT. Documento en PDF.
21. Wischmeier, W., & Smith, D. (1978). *Predicting reinfall erosion loss to conservation planning*. Predicting rainfall erosion losses-A guide to planning. Documento en PDF.



Vo.Bo. Licda. Ana Teresa de González

Bibliotecaria CUNSUROC.



X. ANEXOS



Figura 15. Instalación de parcelas de escorrentía.



Figura 16. Delimitación de parcelas de escorrentía.



Figura 17. Instalación de canal conductor.



Figura 18. Instalación del sistema colector.



Figura 19. Limpieza de canal colector para la toma de muestra.



Figura 20. Toma de muestra del sistema colector.



Figura 21. Muestras en laboratorio para su posterior análisis.



Figura 22. Filtrado de muestra en laboratorio.



Figura 23. Muestras filtradas y secado de muestras en laboratorio.



Figura 24. Peso de muestras secas.



Figura 25. Mantenimiento a parcelas de escorrentía.



Figura 26. Gira de campo con personal de Ingenio Pantaleón e ICC a parcelas de escorrentía.

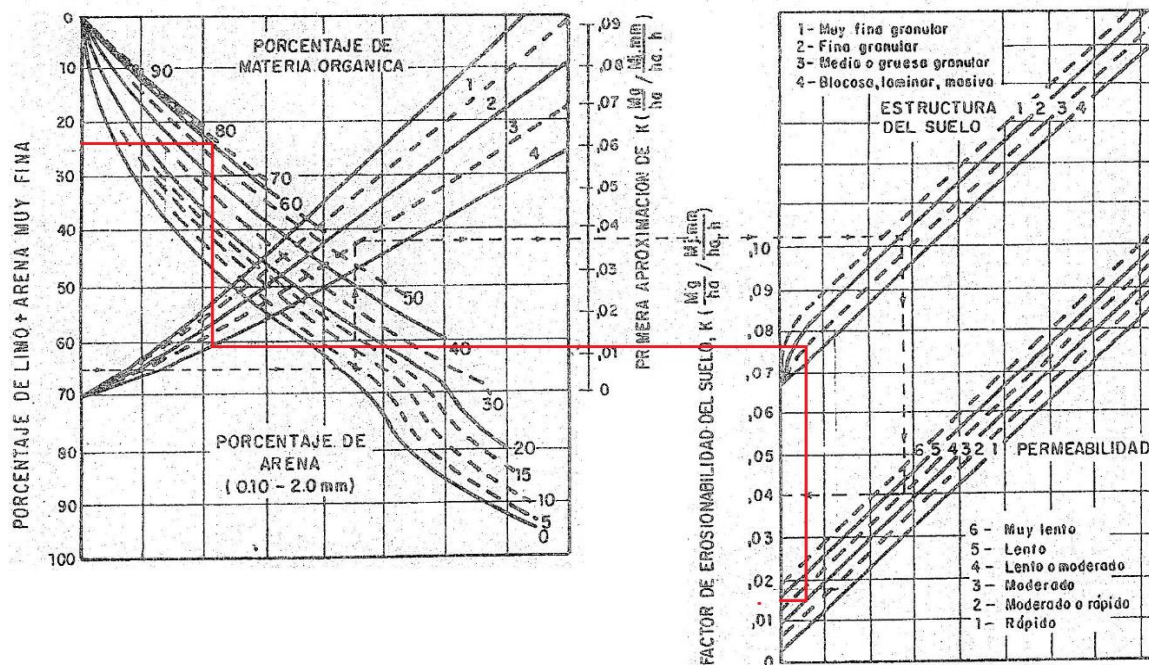


Figura 27. Nomograma para determinación factor K del primer tercio de cosecha.

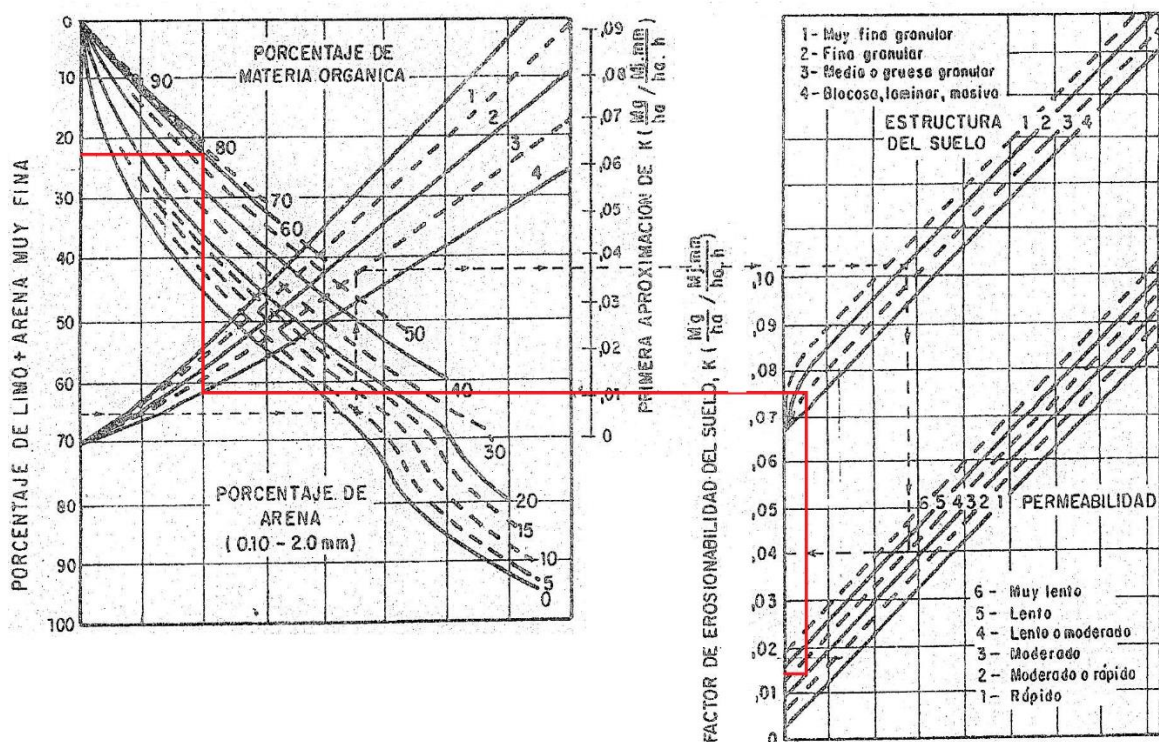


Figura 28. Nomograma para determinación factor K del segundo tercio de cosecha.

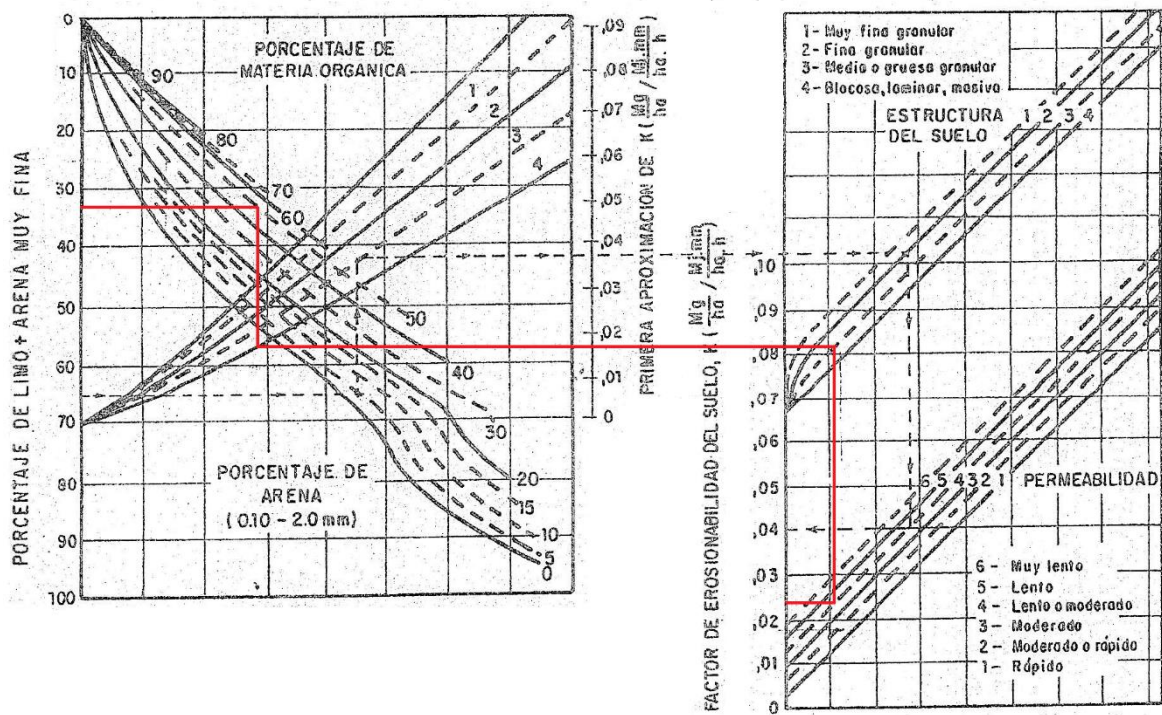


Figura 29. Nomograma para determinación factor K del tercer tercio de cosecha.



USAC
TRICENTENARIA
Universidad de San Carlos de Guatemala

Mazatenango, Suchitepéquez febrero de 2018

Ing. Agr. Edgar Guillermo Ruiz Recinos
Coordinador de la Carrera de Agronomía Tropical
Centro Universitario de Sur Occidente
Universidad de San Carlos de Guatemala

Respetable Ingeniero:

Atentamente me dirijo a usted deseándole éxitos en sus labores diarias.

El motivo de la presente es para informarle que he concluido con la revisión del trabajo de graduación del T.P.A. KEVIN RIGOBERTO AVILA SANTOS, Carné 201144520 para optar al título de Ingeniero Agrónomo, titulado: **"Validación de la Ecuación Universal de Pérdida de Suelo (EUPS), para el cultivo de la caña de azúcar (Saccharum officinarum) en finca San Bonifacio, Santa Lucía Cotzumalguapa, Escuintla"** el cual cumple con los requisitos establecidos en el normativo respectivo.

Atentamente:

"ID Y ENSEÑAD A TODOS"

Dr. Milton Leonel Chan Santisteban

Supervisor y Revisor



Mazatenango, febrero de 2018

Dr.
Guillermo Vinicio Tello Cano
Director Centro Universitario de Sur Occidente

Respetable Director

Atentamente me dirijo a usted deseándole éxitos en sus labores diarias.

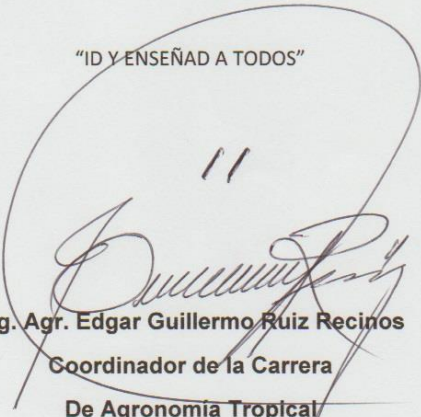
La presente es para informarle que he revisado el Informe Final de Investigación Inferencial elaborado por el estudiante **T.P.A. Kevin Rigoberto Avila Santos, carné 201144520** titulado **"Validación de la Ecuación Universal de Pérdida de Suelo (EUPS), para el cultivo de la caña de azúcar (*Saccharum officinarum*) en finca San Bonifacio, Santa Lucía Cotzumalguapa, Escuintla."**

Como coordinador de la carrera de Agronomía Tropical, hago constar que el estudiante Kevin Rigoberto Avila Santos ha cumplido con el normativo del trabajo de graduación, por lo cual someto a consideración el documento para que continúe con el trámite correspondiente

Me suscribo de usted.

"ID Y ENSEÑAD A TODOS"

Atentamente


Ing. Agr. Edgar Guillermo Ruiz Recinos
Coordinador de la Carrera
De Agronomía Tropical

Universidad de San Carlos de Guatemala
Centro Universitario de Sur Occidente

AGRONOMÍA





UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
CENTRO UNIVERSITARIO DEL SUR OCCIDENTE
MAZATENANGO, SUCHITEPEQUEZ
DIRECCIÓN DEL CENTRO UNIVERSITARIO

CUNSUROC/USAC-I-03-2018

DIRECCION DEL CENTRO UNIVERSITARIO DEL SUROCCIDENTE,
Mazatenango, Suchitepéquez, dieciocho de abril de dos mil dieciocho.-----

Encontrándose agregados al expediente los dictámenes del asesor y revisor, SE
AUTORIZA LA IMPRESIÓN DEL TRABAJO DE GRADUACIÓN TITULADO:
"VALIDACIÓN DE LA ECUACIÓN UNIVERSAL DE PÉRDIDA DE SUELO
(EUPS), PARA EL CULTIVO DE LA CAÑA DE AZÚCAR (*Saccharum officinarum*)
EN FINCA SAN BONIFACIO, SANTA LUCÍA COTZUMALGUAPA, ESCUINTLA",
del estudiante: **Kevin Rigoberto Avila Santos**, carné **201144520** de la carrera Ingeniería
en Agronomía Tropical.

"ID Y ENSEÑAD A TODOS"

A handwritten signature in blue ink, appearing to read "Guillermo Vinicio Tello Cano".

Dr. Guillermo Vinicio Tello Cano
Director



/gris