

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA  
CENTRO UNIVERSITARIO DEL NORTE  
CARRERA TÉCNICO EN PRODUCCIÓN AGRÍCOLA

TRABAJO DE GRADUACIÓN



CUANTIFICACIÓN DE LA VARIACIÓN DE LA EROSIÓN HÍDRICA  
EN DIFERENTES RANGOS DE PENDIENTE, EN LA FINCA SAN  
FRANCISCO DEL MUNICIPIO DE PURULHÁ, B.V.

NESTOR MANUEL ALEJANDRO GÓMEZ SIERRA

COBÁN, ALTA VERAPAZ, SEPTIEMBRE DE 2018

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA  
CENTRO UNIVERSITARIO DEL NORTE  
CARRERA DE TÉCNICO EN PRODUCCIÓN AGRÍCOLA

TRABAJO DE GRADUACIÓN

CUANTIFICACIÓN DE LA VARIACIÓN DE LA EROSIÓN HÍDRICA  
EN DIFERENTES RANGOS DE PENDIENTE, EN LA FINCA SAN  
FRANCISCO, PURULHÁ, B.V.

PRESENTADO AL HONORABLE CONSEJO DIRECTIVO DEL  
CENTRO UNIVERSITARIO DEL NORTE

POR

NESTOR MANUEL ALEJANDRO GÓMEZ SIERRA

CARNÉ: 201345801

COMO REQUISITO PREVIO A OPTAR AL TÍTULO DE TÉCNICO  
EN PRODUCCIÓN AGRÍCOLA

COBÁN, ALTA VERAPAZ, SEPTIEMBRE DE 2018

## **AUTORIDADES UNIVERSITARIAS**

### **RECTOR MAGNÍFICO**

Ing. MSc. Murphy Olympo Paiz Recinos

### **CONSEJO DIRECTIVO**

PRESIDENTE: Lic. Zoot. Erwin Gonzalo Eskenasy Morales

SECRETARIA: Lcda. T.S. Floricelda Chiquin Yoj

REPRESENTANTE DOCENTES: Ing. Geól. César Fernando Monterroso Rey

REPRESENTANTE EGRESADOS: Lic. Abg. Not. Edwin Alcides Barrios Sosa

REPRESENTANTES  
ESTUDIANTILES: PEM. Disraely Dárin Manfredy Jom Hernández

Br. Karla Vanessa Barrera Rivera

### **COORDINADOR ACADÉMICO**

Ing. Ind. Francisco David Ruiz Herrera

### **COORDINADORA DE LA CARRERA**

Inga. Agr. MSc Sandra Anabella Tello Coutiño

### **COMISIÓN DE TRABAJOS DE GRADUACIÓN**

COORDINADOR: Ing. Agr. MSc Edgar Armando Ruiz Cruz

SECRETARIA: Inga. Agr. Lisbeth Johana Paredes Matta

VOCAL: Inga. Agr. MSc Sandra Anabella Tello Coutiño

### **REVISOR DE REDACCIÓN DE ESTILO**

Ing. Civil MSc Julio Enrique Reynosa Mejía

### **REVISOR DE TRABAJOS DE GRADUACIÓN**

Inga. Agr. Lisbeth Johana Paredes Matta

### **ASESOR**

Ing. Agr. MSc Edgar Armando Ruiz Cruz



**USAC**  
TRICENTENARIA  
Universidad de San Carlos de Guatemala

**CENTRO UNIVESITARIO DEL  
NORTE – CUNOR –  
CARRERA AGRONOMÍA**

Código Postal 16001 – Cobán, Alta Verapaz  
PBX 79 56 66 00 Ext. 208  
Finca Sachamach, Km. 110.5 Ruta Cobán, A.V.  
Guatemala, C. A.  
E-mail: [agrocunor@gmail.com](mailto:agrocunor@gmail.com)

Cobán, A.V., 18 de enero de 2017.  
Ref. 15-A-008/2017.

Señores:  
Miembros de la Comisión de  
Trabajos de Graduación de  
Práctica Profesional Supervisada  
Carrera Agronomía  
CUNOR.

**Estimados señores:**

Me dirijo a ustedes para informarles que he revisado el trabajo de graduación titulado:  
**“Cuantificación de la variación de la erosión hídrica en diferentes rangos de  
pendiente, en la finca San Francisco del municipio Purulhá, B. V.”**

Al respecto como asesor puedo indicar que a mi juicio, el informe reúne las calidades  
requeridas por la Carrera, por lo que recomiendo se le dé el trámite respectivo para ser  
aprobado como Informe Final de Práctica Profesional Supervisada, del estudiante  
**Nestor Manuel Alejandro Gómez Sierra.**

Atentamente,

*“Id y enseñad a todos”*

Ing. Agr. Edgar Armando Ruiz Cruz  
Asesor Principal



c.c. archivo



**USAC**  
TRICENTENARIA  
Universidad de San Carlos de Guatemala

**CENTRO UNIVESITARIO DEL  
NORTE - CUNOR -  
CARRERA AGRONOMÍA**

Código Postal 16001 - Cobán, Alta Verapaz  
PBX 79 56 66 00 Ext. 208  
Finca Sachamach, Km. 110.5 Ruta Cobán, A.V.  
Guatemala, C. A.  
E-mail: [agrocunor@gmail.com](mailto:agrocunor@gmail.com)

Cobán, A.V., 10 de abril de 2018  
Ref. 15-A-073//2018

Señores:  
Miembros de la Comisión de  
Trabajos de Graduación de  
Práctica Profesional Supervisada  
Carrera Agronomía  
CUNOR.

Estimados señores:

Por este medio remito el Informe Final de Investigación de Práctica Profesional Supervisada titulado: **“Cuantificación de la variación de la erosión hídrica en diferentes rangos de pendiente, en la finca San Francisco del municipio Purulhá, B. V.”**

Dicho trabajo es presentado por el estudiante **Nestor Manuel Alejandro Gómez Sierra** y de acuerdo a mi opinión cumple con las sugerencias y/o correcciones formuladas por la Comisión de PPS, por lo que se solicita continuar con el trámite respectivo.

Atentamente,

*“Id y enseñad a todos”*

Inga. Agr. Lisbeth Johana Paredes Matta  
Revisor de Informes Finales Trabajos de Graduación a Nivel Técnico  
Carrera Agronomía  
CUNOR- USAC



c.c. archivo



**USAC**  
TRICENTENARIA  
Universidad de San Carlos de Guatemala

**CENTRO UNIVESITARIO DEL  
NORTE – CUNOR –  
CARRERA AGRONOMÍA**

Código Postal 16001 – Cobán, Alta Verapaz  
PBX 79 56 66 00 Ext. 208  
Finca Sachamach, Km. 110.5 Ruta Cobán, A.V.  
Guatemala, C. A.  
E-mail: [agrocunor@gmail.com](mailto:agrocunor@gmail.com)

Cobán, A.V., 20 de agosto de 2018  
Ref. 15-A-154/2018

Señores:  
Miembros de la Comisión de  
Trabajos de Graduación de  
Práctica Profesional Supervisada  
Carrera Agronomía  
CUNOR.

Estimados señores:

Por este medio remito el Informe Final de Investigación de Práctica Profesional Supervisada titulado: **“Cuantificación de la variación de la erosión hídrica en diferentes rangos de pendiente, en la finca San Francisco del municipio Purulhá, B. V.”**

Dicho trabajo es presentado por el estudiante **Nestor Manuel Alejandro Gómez Sierra** y de acuerdo a mi opinión cumple satisfactoriamente con las normas de redacción y estilo; por lo que se solicita continuar con el trámite respectivo.

Atentamente,

*“Id y enseñad a todos”*



Ing. Civil MSc. **Julio Enrique Reynosa Mejía**  
Revisor de Redacción y Estilo

Informes Finales Trabajos de Graduación a Nivel Técnico  
Carrera Agronomía –CUNOR–



**USAC**  
TRICENTENARIA  
Universidad de San Carlos de Guatemala

**CENTRO UNIVESTARIO DEL  
NORTE – CUNOR –  
CARRERA AGRONOMÍA**

Código Postal 16001 – Cobán, Alta Verapaz  
PBX 79 56 66 00 Ext. 208

Finca Sachamach, Km. 110.5 Ruta Cobán, A.V.  
Guatemala, C. A.

E-mail: [agrocunor@gmail.com](mailto:agrocunor@gmail.com)

Cobán, A.V., 20 de septiembre de 2018  
Ref. 15-A-177/2018

**Licenciado Zootecnista:**  
**Erwin Gonzalo Eskenasy Morales**  
**Director del Centro Universitario del Norte,**  
**CUNOR - USAC**

Señor Director:  
Saludos cordiales

Adjunto remito el Trabajo de Graduación del Informe de Práctica Profesional Supervisada titulado **“Cuantificación de la variación de la erosión hídrica en diferentes rangos de pendiente, en la finca San Francisco del municipio Purulhá, B. V.”**

Dicho trabajo es presentado por estudiante **Nestor Manuel Alejandro Gómez Sierra** y de acuerdo a la opinión de las diferentes comisiones responsables de su revisión y del suscrito, cumple con los requisitos para ser aceptado como tesis de pre-grado; por lo que solicito se le dé el trámite correspondiente a fin de que el estudiante Gómez Sierra, pueda someterse al examen para optar al título de Técnico en Producción Agrícola.

Atentamente,

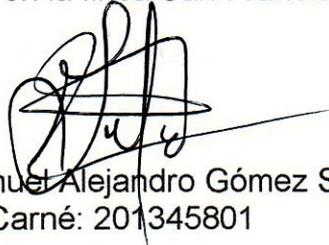
*“Id y enseñad a todos”*

Ing. Agr. MSc. Edgar Armando Ruiz Cruz  
Coordinador Comisión de Trabajos de Graduación a Nivel Técnico  
Carrera de Agronomía  
CUNOR- USAC



## HONORABLE COMITÉ EXAMINADOR

En cumplimiento a lo establecido por los estatutos de la Universidad de San Carlos de Guatemala, presento a consideración de ustedes el trabajo de graduación titulado: cuantificación de la variación de la erosión hídrica en diferentes rangos de pendiente, en la finca San Francisco, Purulhá, B.V.



Nestor Manuel Alejandro Gómez Sierra  
Carné: 201345801

## **RESPONSABILIDAD**

“La responsabilidad del contenido de los trabajos de graduación es: Del estudiante que opta al título, del asesor y del revisor; la Comisión de Redacción y Estilo de cada carrera, es la responsable de la estructura y la forma”.

Aprobado en punto SEGUNDO, inciso 2.4, subinciso 2.4.1 del Acta No. 17-2012 de Sesión extraordinaria de Consejo Directivo de fecha 18 de julio del año 2012.

## **AGRADECIMIENTOS A:**

<b>Dios</b>	Por darme la vida y la felicidad, por guiarme siempre por el buen camino de la paz y la salvación.
<b>Mis padres</b>	Víctor Manuel Gómez y Nancy Sierra, por su Apoyo moral, económico y práctico en la culminación de la carrera.
<b>Mis hermanos, tíos, primos</b>	Didier Gómez, Nancy Gómez, Ilse Sierra, Consuelo Sierra, Tarcila Sierra, Víctor Villela, Amaury Martínez, Abigail Guevara.
<b>Mis docentes de la Carrera</b>	Por hacernos soñar en hacer posible lo imposible
<b>Mis compañeros de estudio</b>	Freddy Aguilar, Charlotte Fraatz, William Pec, Luis Guerra, Carlos Meléndez, Darwin Pacay, Cristian Teni, Nancy Guzmán, .
<b>Mi asesor y coordinador de PPS</b>	Ing.Agr. <i>MSc</i> Armando Ruiz Cruz
<b>La gloriosa y tricentenaria Universidad de San Carlos de Guatemala (USAC)</b>	Grande entre las del mundo Por la oportunidad de estudiar una carrera profesional



## ÍNDICE

RESUMEN	vii
INTRODUCCIÓN	1
DEFINICIÓN DEL PROBLEMA	3
JUSTIFICACIÓN	5
HIPÓTESIS	7
OBJETIVOS	9

### CAPÍTULO 1 MARCO TEÓRICO

1.1	Antecedentes	11
1.2	Revisión de literatura	12
1.2.1	Erosión	12
1.2.2	Escorrentía	12
1.2.3	Escorrentía superficial	12
1.2.4	Erosión hídrica	13
	a) Preparación del material	13
	b) Transporte	13
	c) Sedimentación	13
1.3	Tipos de erosión	13
1.3.1	Erosión laminar	13
1.3.2	Erosión en surcos	14
1.3.3	Erosión en cárcavas	14
1.4	Factores que influyen en la erosión del suelo	14
1.4.1	Factores de lluvia	14
1.4.2	Factores topográficos	15
1.5	Metodología para cuantificar la escorrentía y erosión	17
1.5.1	Métodos indirectos	17
	a) Ecuación universal de la pérdida de suelos	17
	b) Erosividad de la lluvia (factor R)	18
	c) Erodabilidad del suelo (factor K)	18
	d) Longitud de pendiente (L)	19
	e) Inclinación de la pendiente (S)	20
	f) Factor de manejo de la cobertura (C)	21
	g) Prácticas de control de la erosión (P)	21
1.5.2	Métodos directos para la medición de erosión	22
	a) Método de clavos y rondanas	22
	b) Método de medición de erosión por escorrentía	23

### CAPÍTULO 2

## **MARCO REFERENCIAL**

2.1	Características generales del área	25
2.2	Características climáticas	25
2.3	Características ecológicas	26
2.4	Características topográficas	26
2.5	Suelos	26
	a) Material original	27
	b) Textura del suelo	27
	c) Tipo de pendiente según la metodología USDA	27

## **CAPÍTULO 3 METODOLOGÍA**

3.1	Marco metodológico	31
	3.1.1 Selección del área experimental	31
	3.1.2 Selección de los tratamientos	31
3.2.	Diseño de estudio	32
	3.2.1 Diseño experimental	32
	3.2.2 Modelo estadístico	32
	3.2.3 Variables respuesta	33
	3.2.4 Medición de las variables	33
	a) Proceso de recolección de datos	33
3.3	Establecimiento del experimento	34
	3.3.1 Instalación de las parcelas experimentales	34
	3.3.2 Sistema colector de agua y sedimentos	35
	a) Canales colectores	36
	b) Recipientes colectores	36
	c) Medición de precipitación	36
	d) Toma de datos	37
3.4	Insumos	37
	3.4.1 Recursos humanos	37
	a) Recursos de infraestructura del proyecto	37

## **CAPÍTULO 4 PRESENTACIÓN Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS**

4.1	Resultados	39
	4.1.1 Precipitación	39
	a) Precipitación pluvial total semanal	39
	4.1.2 Escorrentía	42
	a) Cantidad de escorrentía	42
	b) Porcentaje de escorrentía	45
	4.1.3 Suelo erosionado	46
	a) Cantidad de suelo erosionado en (ton/ha)	46
	b) Modelo matemático de regresión lineal	48

CONCLUSIONES	51
RECOMENDACIONES	53
BIBLIOGRAFÍA	55
ANEXOS	57

## ÍNDICE DE CUADROS

	Pag.
1 Rangos de pendiente	16
2 Clasificación de la pérdida de suelos la FAO-PNUMA-UNESCO	16
3 Variables de investigación	34
4 Precipitación semanal del pluviómetro en el área de estudio para los meses de junio y octubre	41
5 Escorrentía superficial para los tratamientos y repeticiones para el sitio experimental en el 2016	43
6 Prueba de medias (Tukey), para la cantidad de volumen de escorrentía	43
7 Prueba de medias (Tukey), para la cantidad de volumen de escorrentía	44
8 Cantidad (m <sup>3</sup> /ha) y porcentaje de escorrentía para los diferentes tratamiento	45
9 Cantidad de suelo erosionado (ton/ha) en el sitio de ensayo con diferentes rangos de pendiente	46
10 Prueba de medias (Tukey), para la cantidad de suelo erosionado	47
11 Cantidad de suelo erosionado en los diferentes rangos de pendiente	49
12 Análisis de varianza del volumen de escorrentía	57
13 Análisis de varianza del suelo erosionado	57
14 Cronograma de actividades	61

## ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

	Pag.
1 Varillas para medir el cambio del nivel de la superficie	23
2 Parcela de escorrentía y erosión	24
3 Mapa de ubicación del municipio de Purulhá, Baja Verapaz	28
4 Mapa de pendientes de Guatemala	29
5 Regresión lineal	33
6 Esquema de una parcela de escorrentía	36
7 Preparación del suelo para la instalación de los tratamientos	58
8 Instalación de las parcelas de escorrentía	58

9	Instalación del canal	59
10	Toma de datos de la escorrentía superficial	59

## ÍNDICE DE GRÁFICAS

	Pag.
1 Pluviograma de las lluvias en los meses de junio a octubre del 2016	42
2 Volumen de escorrentía para los tratamientos y repeticiones para el sitio experimental en 2016	44
3 Cantidad m <sup>3</sup> /ha y porcentaje de escorrentía para los diferentes tratamiento	46
4 Cantidad de suelo erosionado (ton/ha) en la finca San Francisco, Purulha, Baja Verapaz	47
5 Modelo de regresión lineal para predicción de pérdida de suelos en diferentes rangos de pendiente	48

## ABREVIATURAS Y SÍMBOLOS DE SI UTILIZADOS EN ESTE TRABAJO

Abrev.	Significado
°C	grado centígrado
B.V.	Baja Verapaz
FAO	Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura
ha	hectárea
m	metro
m/ha	metro por hectárea
m <sup>2</sup>	metro cuadrado
m <sup>3</sup>	metro cúbico
mm	milímetro
msnm	metro sobre el nivel del mar
nylon	Poliamida, Semi-Aromática
PNUMA	Programa de las Naciones Unidas para el Ambiente
PVC	Plastic Vinyl Construction
SI	Sistema Internacional de Unidades
ton/ha	tonela por hectárea
UNESCO	Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura
USDA	Departamento de Agricultura de los Estados Unidos

## RESUMEN

La presente investigación fue realizada durante la época lluviosa en la finca San Francisco Purulhá, Baja Verapaz, con el propósito de cuantificar la erosión hídrica en los diferentes rangos de pendiente del lugar; en los meses de julio a octubre de 2016.

La cuantificación de la erosión hídrica fue determinada en diferentes rangos de pendientes seleccionada en el área, las cuales fueron: 11 %, 26 %, 40 % y 46 %. Con estos porcentajes de pendiente se determinó la cantidad de suelo erosionado en el área. Y con ella se determinó el riesgo de erosión relacionado con el patrón de precipitación a causa de las características del suelo y la topografía.

En la investigación se utilizó un diseño de regresión lineal, con cuatro tratamientos y tres repeticiones. Cada unidad experimental la constituyó una parcela de escorrentía de 7 m de longitud y 2 m de ancho. En cada una de las parcelas se midió la cantidad de escurrimiento y el porcentaje de suelo erosionado. Con los datos de la precipitación se determinó la cantidad de precipitación pluvial durante el tiempo del estudio.

Los resultados obtenidos indican que en la parcelas con pendiente de 46 % se obtuvo una media de 2 205,16758 m<sup>3</sup>/ha; de escorrentía superficial, seguido de las parcelas con una pendiente de 40 % con una media 2 109,74148 m<sup>3</sup>/ha; continuando las parcelas con 26 % de pendiente con una media 1 999,96896 m<sup>3</sup>/ha; el menor valor fue para el tratamiento con una pendiente 11 % con una media de 1 890,32598 m/ha.

Los valores de suelo erosionado que se obtuvieron fueron en su orden: pendiente de 46 % con una media de 15,66 m<sup>3</sup>/ha; las de 40 %, con un valor medio de 11,16 m<sup>3</sup>/ha; las parcelas con el 26 % con un valor intermedio de 8,82 m<sup>3</sup>/ha y por último el área experimental con 11 % con un valor 5,75 m<sup>3</sup>/ha. Los datos durante el periodo de investigación indicaron diferencia estadística en los tratamientos y sus variables de estudio.

## INTRODUCCIÓN

La producción agrícola es la principal actividad económica en la finca San Francisco, municipio de Purulhá B.V., donde la pérdida de suelos debido a la erosión hídrica es uno de los problemas ambientales que más afectan las actividades productivas agrícolas.

La erosión es definida como el fenómeno compuesto por tres procesos: a) el desprendimiento de las partículas del suelo; b) su transporte por el agente erosivo y c) la sedimentación. Las pérdidas económicas a causa de la erosión del suelo pueden alcanzar niveles significativos, por lo que es necesario tomar medidas oportunas, que contribuyan a mejorar los procesos asociados o disminuyan sus consecuencias negativas.<sup>1</sup>

La presente propuesta se basó en los factores topográficos, ya que la pérdida de suelo debido a la erosión hídrica es causante de problemas tales como la reducción de la fertilidad y pérdida de uno de los recursos renovables de más importancia para la producción agrícola.

La cuantificación de la pérdida de suelos, se puede hacer de varias maneras; la más precisa es la medición directa de los sedimentos a través de parcelas de escorrentía en las cuales por medio de recipientes colectores se puede determinar la cantidad de suelo erosionado de un área de una región y tipo de suelo específico para una estación lluviosa en particular.

---

<sup>1</sup> Estimación de los riegos y niveles de erosión hídrica en la microcuenca del Rio Negro, Chimaltenango [http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/01/01\\_1767.pdf](http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/01/01_1767.pdf) (16 de marzo de 2016).

La propuesta planteada se basó en un aspecto que fue la topografía, que permitió cuantificar el efecto de diferentes rangos de pendiente sobre la erosión hídrica del suelo en la finca San Francisco (caserío Pantín), Purulhá, Baja Verapaz, durante la época lluviosa.

## **DEFINICIÓN DEL PROBLEMA**

Los procesos erosivos del suelo en la finca San Francisco, municipio de Purulhá B.V., son uno de los problemas más palpables que ocasionan deterioro en el suelo. Las causas principales son la inclinación y longitud de las pendientes ya que son factores que influyen de manera importante en la erosión y disminución progresiva en su capacidad de retención de agua y nutrientes disponibles para las plantas, situación que provoca inconveniente en la rentabilidad y producción; en algunos casos llega a imposibilitar el establecimiento de cultivos.



## JUSTIFICACIÓN

En Guatemala se han realizado diferentes estudios para estimar la pérdida de suelo por efecto de la erosión hídrica, lo cual causa el incremento de escurrimiento superficial y la pérdida de material edáfico, que conlleva una baja rentabilidad en la labor agrícola.

Esta investigación tiene como objetivo principal determinar la cantidad de suelo erosionado. El área de investigación se caracteriza por poseer relieve accidentado, así como lluvias intensas, que es principal problemática así como los tipos de suelo es muy erosionable. A estas condiciones físicas y naturales se le suman las presiones antropogénicas como cambio de uso que incide en una baja fertilidad del suelo.

Esto puede ser útil para generar información e implementar metodologías para la estimación de áreas con riesgos de erosión hídrica y desarrollar planes de conservación de suelos eficientes, que se acoplen a las condiciones climáticas y edáficas del medio. Además de ser un instrumento para la planificación del uso de la tierra en unidades fisiográficas naturales y mejorar la rentabilidad en la labor agrícola del de la finca San Francisco.

La importancia de esta investigación radica, entonces, en el impacto de conocer el estado de erosión hídrica que se da en las diferentes pendientes del área con el fin de dar recomendaciones para controlar la pérdida de suelos a límites permisibles y así evitar su degradación



## **HIPÓTESIS**

La escorrentía superficial y la erosión hídrica causadas por la precipitación pluvial, provocarán un menor daño al suelo en pendientes con bajos porcentajes de inclinación. Pues entre más pronunciada sea la pendiente, ocasionará una mayor cantidad de escorrentía y la velocidad con que escurre.



## **OBJETIVOS**

### **Generale**

Cuantificar la variación de la erosión hídrica en diferentes rangos de pendiente de la finca San Francisco del municipio Purulhá, Baja Verapaz.

### **Específicos**

- a) Determinar el efecto de la inclinación de la pendiente en la erosión de suelos de la finca San Francisco del municipio Purulhá, Baja Verapaz.
- b) Conocer la cantidad de escurrimiento superficial generado por el porcentaje de inclinación de la pendiente de la finca San Francisco del municipio Purulhá, Baja Verapaz.



# CAPÍTULO 1

## MARCO TEÓRICO

### 1.1. ANTECEDENTES

Existen muchos estudios sobre erosión de suelos que se han realizado en Guatemala, los cuales constituyen una herramienta general para el manejo de los procesos erosivos, ya que es un área con pendientes pronunciadas lo cual favorece la escorrentía superficial y crea un riesgo por erosión hídrica. Sin embargo, para el caso de la finca San Francisco en el municipio de Purulhá, Baja Verapaz, pueden generarse alternativas específicas para la conservación de los suelos.

Motta Franco en su investigación titulada “Estudio de erosión hídrica del suelo, microcuenca Itzapa Chimaltenango de 1994 a 1996”, estudió factores de manejo y cobertura vegetal evaluados durante 3 años en una pendiente de 40 % en la parte alta de dicha microcuenca. Concluyó que la cobertura de pasto es la que reduce gradualmente la cantidad de suelo erosionado.<sup>2</sup>

Carrera Escobar en su investigación “Evaluación del efecto de la precipitación pluvial sobre la escorrentía superficial y erosión hídrica, en tres diferentes usos de suelo en la finca Río Frío, Santa Cruz Verapaz en el año 2006”; evaluó tres tratamientos en tres diferentes usos de suelo (uso forestal, uso agrícola y uso pecuario). Se concluyó que el tratamiento que

---

<sup>2</sup> Estudio de erosión hídrica del suelo, Microcuenca del Río Itzapa Chimaltenango de 1994 a 1996 [http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/01/01\\_1767.pdf](http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/01/01_1767.pdf) (4 de marzo de 2016).

resultó dar una mayor protección al suelo en cuanto a escorrentía fue el de pastos pues proporcionó una mejor protección al suelo.<sup>3</sup>

## **1.2. Revisión de literatura**

### **1.2.1. Concepto de erosión**

La erosión de suelo es un proceso de degradación y transporte acelerado de materiales donde el suelo sufre una pérdida de su fertilidad y nutrientes disponibles. La principal causa es el agua que en conjunto con factores topografía (pendientes pronunciadas), ocasiona escurrimiento superficial.<sup>4</sup>

### **1.2.2. Escorrentía**

La escorrentía superficial es la parte de la precipitación que se escapa de la infiltración y de la evapotranspiración y que, consecuentemente, circula por la superficie (arroyamiento en superficie).<sup>5</sup>

### **1.2.3. Escorrentía superficial o directa**

La escorrentía superficial o directa es la precipitación que no se infiltra en algún momento y llega a la red de drenaje moviéndose sobre la superficie del terreno por la acción de la gravedad.<sup>6</sup>

---

<sup>3</sup> Evaluación del efecto de la precipitación pluvial sobre la escorrentía superficial y erosión hídrica, entre tres diferentes usos de suelo en la finca rio frio, Santa Cruz Verapaz. [http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/01/01\\_2334.pdf](http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/01/01_2334.pdf) (4 de marzo de 2016).

<sup>4</sup> Erosión de suelos en América Latina. Italia. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO) <http://www.fao.org> (4 de marzo 2016).

<sup>5</sup> *Ibíd.*

<sup>6</sup> *Ibíd.*

#### **1.2.4. Erosión hídrica**

Los procesos de erosión hídrica incluyen todos aquellos en los que el agua es el agente responsable del arranque, transporte y sedimentación de los materiales del suelo. El proceso de erosión incluye tres etapas que son:

##### **a) Preparación del material**

Se produce la alteración de la estructura superficial del suelo, destrucción de agregados, alteración, infiltración, escurrimiento y pérdida de fertilidad del suelo (pérdida de materia orgánica y de nutrientes).

##### **b) Transporte**

Se completa la pérdida de las partículas del suelo (materiales coloidales como materia orgánica y humus, nutrientes) iniciada en la etapa anterior, se genera el escurrimiento superficial del agua que produce distintas formas de erosión.

##### **c) Sedimentación**

Se produce el depósito de las partículas de suelo. Este depósito puede destruir cultivos.<sup>7</sup>

### **1.3. Tipos de erosión**

#### **1.3.1. Erosión laminar**

Es provocada por el impacto de las gotas de lluvia, la inadecuada aplicación del riego y por el viento: se

---

<sup>7</sup> *Ibíd.*

<sup>8</sup> Lic. Edwing Roberto García Módulo de Control de la Erosión de los Suelos” dirigido a los estudiantes del Instituto Nacional de Educación Básica de Telesecundaria, Aldea Las Escobas, San Martín Jilotepeque, Chimaltenango. pdf (29 de marzo 2016).

<sup>9</sup> *Ibíd.*

caracteriza por el desprendimiento más o menos uniforme de las partículas de la capa superior del suelo. Pérdida de suelo generada por circulación superficial difusa del agua de escorrentía.<sup>8</sup>

### **1.3.2. Erosión en surcos**

Ésta es provocada por efecto del agua, y puede ser de lluvia o riego. Es el resultado de corrientes abundantes que desprenden y arrastran mayor cantidad de suelo, caracterizada por la aparición de pequeños canales.

### **1.3.3. Erosión en cárcavas**

Es provocada por efectos de agua. Es consecuencia de fuertes precipitaciones en terrenos con altas pendientes, causadas por la concentración de aguas circundantes. Este tipo de erosión se presenta, generalmente, cuando hay gran concentración de agua en determinadas áreas del terreno, en las cuales, año tras año; los pequeños canales van ampliándose, hasta formar grandes cárcavas o zanjones que, posteriormente, pueden causar derrumbes.<sup>9</sup>

## **1.4. Factores que influyen en la erosión del suelo**

### **1.4.1. Factores de lluvia**

La lluvia es uno de los factores climáticos más importantes que influyen sobre la erosión. El volumen y la velocidad de la escorrentía dependen de la intensidad, la

---

<sup>10</sup> Lic. Edwing Roberto García Módulo de Control de la Erosión de los Suelos” dirigido a los estudiantes del Instituto Nacional de Educación Básica de Telesecundaria, Aldea Las Escobas, San Martín Jilotepeque, Chimaltenango. pdf (29 de marzo 2016).

<sup>11</sup> *Ibíd.*

duración y la frecuencia de la lluvia. De estos factores la intensidad es la más importante y las pérdidas por la erosión aumentan con las intensidades más altas de las lluvias, la duración de la lluvia es un factor complementario.

Las gotas de lluvia contribuyen la erosión de varias maneras:

- a) Aflojan y rompen las partículas de suelo en lugar del impacto.
- b) Transportan las partículas así aflojadas.
- c) Proporcionan energía bajo forma de turbulencia al agua en la superficie.

Para prevenir la erosión es necesario, por lo tanto evitar que las partículas de suelo sean aflojadas por el impacto de las gotas de la lluvia cuando golpean el suelo.<sup>10</sup>

#### **1.4.2. Factores topográficos**

La topografía se caracteriza por los ángulos de la pendiente y por la longitud y forma de las mismas. La topografía es un importante factor para determinar la erosión del suelo, las prácticas de control de erosión y las posibilidades de labranza mecanizada del suelo y tiene una influencia primaria sobre la aptitud agrícola de la tierra.

Cuan mayor es el ángulo de la pendiente del suelo y la longitud de esta pendiente, mayor será la erosión del suelo. Un aumento del ángulo de la pendiente causa un aumento de la velocidad de esorrentía y por ello la energía cinética del agua causa una mayor erosión. Las pendientes largas llevan

---

<sup>12</sup> Manual de prácticas integradas de manejo y conservación de suelos: <ftp://ftp.fao.org/agl/agll/docs/w8s.pdf> (29 de marzo 2016).

intensificación de la escorrentía, aumentando su volumen y causan así una erosión más seria.

Además de los problemas de erosión, las áreas con pendientes agudas también presentan menor potencial de uso agrícola. Esto es debido a la mayor dificultad o la imposibilidad de la labranza mecánica o al transporte en o el campo, en este tipo de pendientes.<sup>11</sup>

**Cuadro 1**  
**Rangos de pendiente**

<b>Clases de pendiente</b>	<b>Factor topográfico</b>	<b>Pendiente (%)</b>
S <sub>1</sub> Baja	<b>0 – 2</b>	<b>0 – 10</b>
S <sub>2</sub> Moderada	<b>2 – 4</b>	<b>10 – 20</b>
S <sub>3</sub> Alta	<b>4 – 6</b>	<b>20 – 30</b>
S <sub>4</sub> Muy alta	<b>Mayor que 6</b>	<b>Mayor que 30</b>

Fuente: Manual de prácticas integradas de manejo y conservación de suelos

**Cuadro 2**  
**Clasificación de la pérdida de suelos la FAO-PNUMA-UNESCO**

<b>Pérdida de suelos (t/ha/año)</b>	<b>Intensidad</b>
<10	Ligera
10 – 15	Moderada
50 – 200	Alta
>200	Muy alta

Fuente: Manual de prácticas integradas de manejo y conservación de suelos

---

<sup>13</sup> Manual de prácticas integradas de manejo y conservación de suelos: [ftp://ftp.fao.org/agl/a\\_gll/docs/lw8s.pdf](ftp://ftp.fao.org/agl/a_gll/docs/lw8s.pdf) (29 de marzo 2016).

## 1.5. METODOLOGÍA PARA CUANTIFICAR ESCORRENTÍA Y EROSIÓN (MÉTODOS DIRECTOS E INDIRECTOS)

### 1.5.1. Métodos indirectos

#### a) Ecuación universal de la pérdida de suelos.

Expresa las pérdidas de suelos, en peso, por unidad de superficie y de tiempo, que ocurrirían al presentarse una combinación determinada de condiciones de un terreno. Fernando Suarez (1979).

Siendo:  $A=RKLSCP$

Donde

**A**=promedio anual de pérdidas de suelos en ton/ha;

**R**=capacidad erosiva de las lluvias, determinada por la intensidad máxima en 30 min y la energía cinética de los aguaceros;

**K**=erodabilidad de los suelos, calculada al combinar las cinco características que atrás se señalaron (limo más arenas muy fina; arena fina a muy gruesa; materia orgánica; estructura y permeabilidad);

**L**=factor que mide el efecto de la longitud de la pendiente, determinado empíricamente;

**S**=factor que mide el efecto de la inclinación (grado de la pendiente), determinado también empíricamente;

**C**=factor clase de cultivo o cobertura el cual mide el efecto de la cobertura y de su manejo, determinado empíricamente (tiene valor 1 cuando el suelo está en desnudo y preparado en dirección de la pendiente);

**P**=factor de control de la erosión, se toma como punto de referencia la situación de un terreno arado y sembrado en dirección de la pendiente (las prácticas de conservación reducirán el valor máximo 1 de este factor).<sup>12</sup>

**b) Erosividad de la lluvia (Factor R)**

Es el potencial erosivo de la lluvia que afecta el proceso de erosión del suelo. La erosión por gotas de lluvia incrementa con la intensidad de la lluvia. Una suave y prolongada lluvia puede tener la misma energía total que una lluvia de corta duración y más intensa.

**c) Erodabilidad del suelo (Factor K)**

Es una compleja propiedad que se la entiende como la facilidad con la cual el suelo es desprendido por el salpicamiento, durante una lluvia o por flujo superficial. Esta propiedad del suelo está relacionada al efecto integrado de la lluvia, escurrimiento e infiltración.

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 (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.

Otra variable topográfica relevante es la forma de la pendiente. En efecto, la convexidad o concavidad de una

---

<sup>14</sup> Fernando Suárez de Castro, F. 1979. Conservación de suelos. 3 ed. San José, Costa Rica, IICA. 315 p.

ladera puede determinar el aumento de velocidad del flujo concentrado, o bien su reducción y estancamiento.

La influencia del relieve puede ser determinante de la cantidad de suelo perdido a consecuencia de una lluvia por dos motivos principales<sup>13</sup>:

El ángulo de la pendiente modifica el tiempo de permanencia de la lámina de agua que circula por la superficie del terreno, independiente del volumen de escorrentía generado. En los terrenos llanos o con poca inclinación el agua tiene más posibilidad de infiltrarse que en las zonas inclinadas, en las que la escorrentía circula más rápidamente hacia las zonas de menor cota.

Cuanto mayor sea la longitud y el ángulo de inclinación de una ladera mayor será la energía cinética que alcanzará el agua circulante por su superficie, por lo que mayor será su capacidad de desagregación y transporte (y por tanto su poder erosivo).<sup>14</sup>

#### **d) Longitud de pendiente (L)**

La longitud de pendiente es definida como la distancia horizontal desde el origen de un flujo hasta el punto, donde:

- a) El gradiente de la pendiente reduce lo suficiente para que la deposición comience.
- b) El escurrimiento llega a ser concentrado en un canal definido

---

<sup>15</sup> Modelo de la ecuación universal de pérdida de suelos revisado (RUSLE) <http://www.umss.edu.bo/epubs/earts/downloads/66.pdf>(4 de marzo de 2016).

<sup>16</sup> Ibid.

$$L = (N72,6)^m$$

Dónde:

L = Factor de longitud de pendiente

N= Longitud de la pendiente [pies]

m = Exponente de la longitud de la pendiente

72,6 = Longitud de parcela unitaria RUSLE

La longitud de pendiente es la proyección horizontal, no la distancia paralela a la superficie del suelo.

El exponente de longitud de pendiente m, determina la relación entre erosión en surcos (causada por flujo) y erosión entresurcos (causado por impacto de gotas de lluvia), puede ser calculado con la siguiente ecuación:

$$m = 0,1342 \times \text{LN}(\theta) + 0,192$$

Dónde:

m = Exponente de la longitud de la pendiente

$\theta$  (%) = Ángulo de pendiente [%]<sup>15</sup>

#### e) **Inclinación de la pendiente (S)**

El factor de inclinación de la pendiente refleja la influencia de la gradiente de la pendiente en la erosión. El potencial de erosión se incrementa con la inclinación de la pendiente.

Para pendientes con longitudes mayores a 5 m se debe usar las siguientes ecuaciones:

$$S = 10,5 \times \text{sen}\theta + 0,03 \quad \text{cuando } \leq 9 \%$$

$$S = 16,8 \times \text{sen}\theta - 0,5 \quad \text{cuando } \geq 9 \%$$

Dónde:

---

<sup>17</sup> Modelo de la ecuación universal de pérdida de suelos revisado (RUSLE) <http://www.umss.edu.bo/epubs/earts/downloads/66.pdf> (4 de marzo de 2016).

$S$  = Factor de inclinación de pendiente

$S$  = Inclinación de pendiente [%]

$\Theta$  (%) = Ángulo de pendiente [ $^\circ$ ]<sup>16</sup>

**f) Factor de manejo de cobertura (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. Los valores de C son pequeños cuando el suelo está protegido del impacto del agua de lluvia y de la acción de la escorrentía superficial, y viceversa; es decir, a mayor valor de C, menor es la cobertura del suelo, es decir, hay menor protección.<sup>17</sup>

**g) Prácticas de control de la erosión (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.<sup>18</sup>

---

<sup>18</sup> *Ibíd.*

<sup>19</sup> Potencial, en la Cuenca Mayor del Río Totare, a través de la Ecuación Universal de Pérdida de Suelos USLE) [https://www.cortolima.gov.co/sites/default/files/images/stories/centro\\_documento/pom\\_totare/diagnostico/m\\_212perdida\\_de\\_suelos\\_totare.pdf](https://www.cortolima.gov.co/sites/default/files/images/stories/centro_documento/pom_totare/diagnostico/m_212perdida_de_suelos_totare.pdf) (4 de marzo de 2016).

<sup>20</sup> Potencial, en la Cuenca Mayor del Río Totare, a través de la Ecuación Universal de Pérdida de Suelos USLE) [https://www.cortolima.gov.co/sites/default/files/images/stories/centro\\_documento/pom\\_totare/diagnostico/m\\_212perdida\\_de\\_suelos\\_totare.pdf](https://www.cortolima.gov.co/sites/default/files/images/stories/centro_documento/pom_totare/diagnostico/m_212perdida_de_suelos_totare.pdf) (4 de marzo de 2016).

## **1.5.2. Métodos directos para la medición de erosión**

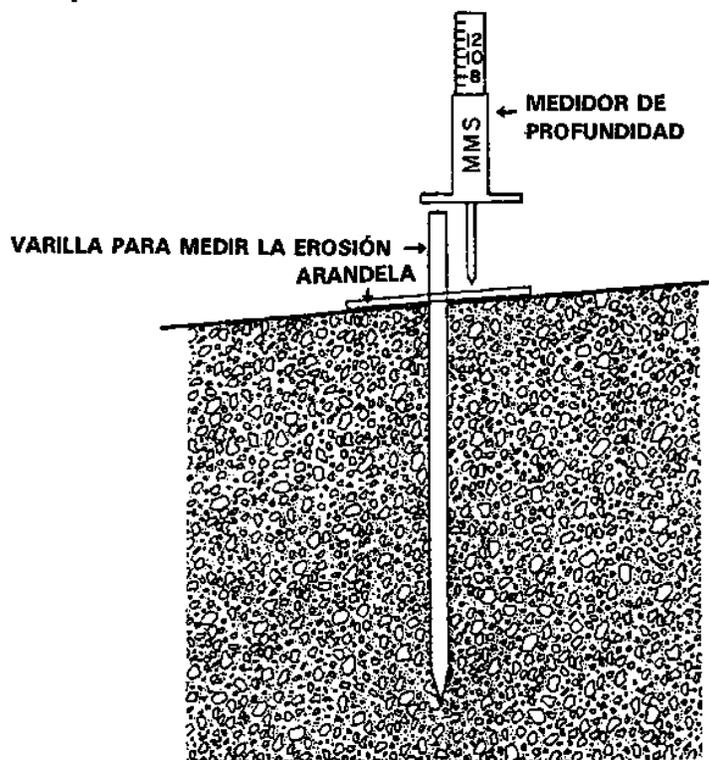
### **a) Método de clavos y rondanas**

El método de clavos y rondanas puede considerarse uno de los más sencillos y fáciles de aplicar para cuantificar las pérdidas de suelo ocasionadas por la erosión hídrica. El método consiste en utilizar clavos con rondanas, colocados a lo largo de un transecto a intervalos regulares. La rondana se coloca de manera que descansa sobre la superficie del suelo, tocando ligeramente la cabeza del clavo. El propósito de la rondana es marcar cortes en el terreno ocasionados por erosión y de esta forma medir el espesor de la capa de suelo perdido.

Es un método que consiste en parcelas a las cuales se les instala “clavos” que marcan la línea inicial del suelo, cuya medición se efectúa luego de ocurrida la lluvia con el objetivo de evaluar la erosión o sedimentación producida.<sup>19</sup>

## Ilustración 1

### Varillas para medir el cambio del nivel de la superficie



Fuente: Manual de prácticas integradas de manejo y conservación de suelos:

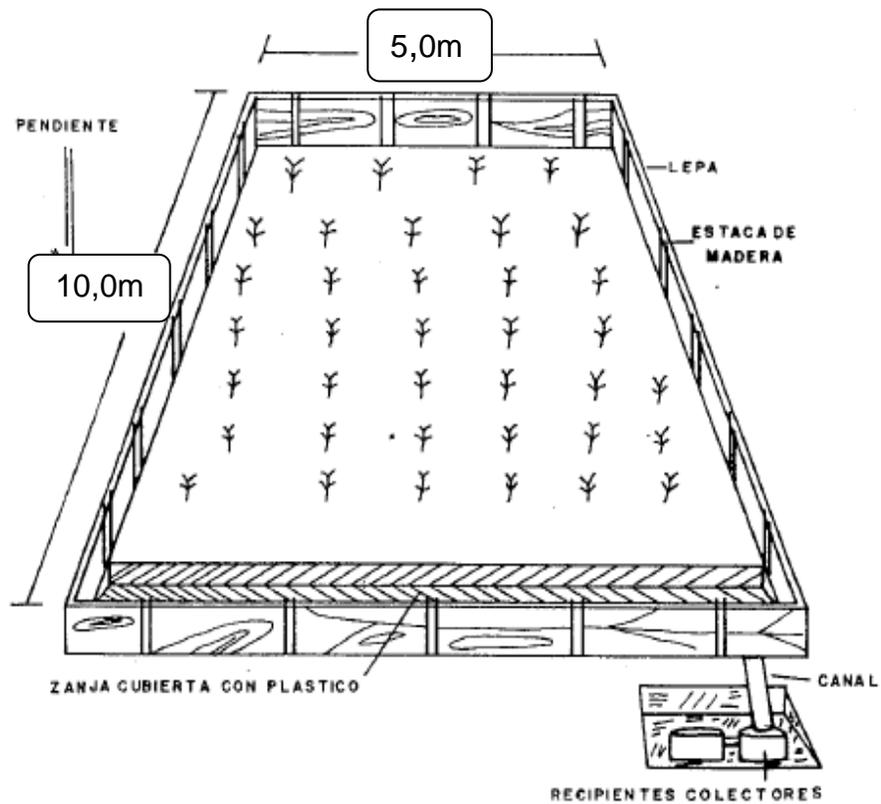
#### b) Métodos de medición de erosión por escorrentía

Uno de los mejores usos de las parcelas de escorrentía es la demostración, cuando la finalidad es demostrar hechos conocidos. Entre otros ejemplos, para mostrar a los agricultores que se está produciendo una erosión grave o mostrarles que la erosión es mucho menor en una parcela que está cubierta de vegetación que en una parcela desnuda. En este caso las magnitudes reales de la erosión no son importantes por lo que no es necesario proceder a repeticiones ni recurrir

a sistemas colectores complicados que tratan de captar toda la pérdida de suelo.<sup>20</sup>

## Ilustración 2

### Parcela de escorrentía y erosión



Fuente: Manual de prácticas integradas de manejo y conservación de suelos:

## **CAPÍTULO 2**

### **MARCO REFERENCIAL**

#### **2.1. Características generales del área**

La investigación se llevó a cabo en finca San Francisco, municipio de Purulhá departamento de Baja Verapaz, situada en las coordenadas:

- Latitud norte: 15°14'58,5"
- Longitud oeste: 90°16'47,1"
- A una altitud de 1 610 msnm

#### **2.2. Características climáticas**

Dada la altitud a que se encuentra sobre el nivel del mar, y a lo exuberante de su vegetación y la proximidad de las montañas que lo rodean, posee un clima frío húmedo; contribuyen a que se goce de una temperatura agradable y saludable por excelencia. (La temperatura oscila entre los 16 °C y 22 °C).

El patrón de lluvia varía de 2,045 mm a 2,514 mm que promedia 2,284 mm de precipitación total anual.

De acuerdo a Thornthwaite , el clima del área es BA (húmedo cálido), lo que indica que el clima es húmedo, normalmente con vegetación natural a boscosa y con estación seca definida.

### **2.3. Características ecológicas**

Según la clasificación de Holdridge, la finca San Francisco se encuentra dentro de la zona de vida bh-S (t), correspondiente a Bosque húmedo subtropical templado, que en general se caracteriza por una amplia diversidad de flora y fauna y con terrenos de topografía accidentada.<sup>21</sup>

### **2.4. Características topográficas**

El municipio posee en su mayoría terrenos montañosos pero al sur son kársticos, cuya denominación son Tierras Calizas Altas del Norte, y en su mayoría las pendientes sobrepasan el 50 %, por lo cual el 50 % del territorio es considerado de vocación forestal, el 20 % es propicio para cultivos hortícolas y el 30 % para cultivos agro-forestales.<sup>22</sup>

### **2.5. Suelos**

Los suelos según el MAGA (ministerio de Agricultura Ganadería y Alimentación) son: Inceptisoles para el área de Purulhá, tienen un aprovechamiento forestal pero también son suelos de praderas o tierras de cultivo. Son buenos suelos para pastos siempre que la humedad no falte, y también sustentar el aprovechamiento agrícola razonablemente (con frecuencia presentan reacción ácida y para ser productivos requieren encalados y fertilización). Cuando se localizan en pendientes un aprovechamiento idóneo es el bosque

---

<sup>21</sup> Monografía de Purulhá [http://municipurulha.gob.gt/index.php?option=com\\_content&view=article&id=100&Itemid=70](http://municipurulha.gob.gt/index.php?option=com_content&view=article&id=100&Itemid=70) (16 Marzo de 2016)

<sup>22</sup> Monografía de Purulhá, OMP Purulhá B.V. 20042004 [http://www.biblioteca.usac.edu.gt/EP/S/07/07\\_0587.pdf](http://www.biblioteca.usac.edu.gt/EP/S/07/07_0587.pdf) (16 Marzo de 2016).

pero la pérdida de la vegetación frecuentemente conduce a una erosión preocupante.<sup>23</sup>

#### **a) Material original**

El material original de los suelos del municipio es aluvión (0,19 %), piedra caliza (45 %), ceniza volcánica (0,68 %), esquisto (41,31 %), serpentina (11,89 %) y suelos no diferenciados (0,92 %). La piedra caliza es de las rocas sedimentarias, el esquisto y la serpentina son rocas metamórficas, la ceniza volcánica es de origen volcánico.

#### **b) Textura del suelo**

La textura del suelo se encuentra en la mayoría de los suelos en la categoría de franco arcillosa, o sea, que la relación de arena, arcilla y limo en los suelos es casi igual, pero la presencia de arcilla es un poco más grande, sin modificar la categoría de franca.

#### **c) Tipo de pendientes según la metodología de *USDA***

El área de Purulhá se encuentra entre el rango de pendientes mayor al 32 % (fuertemente inclinado).<sup>24</sup>

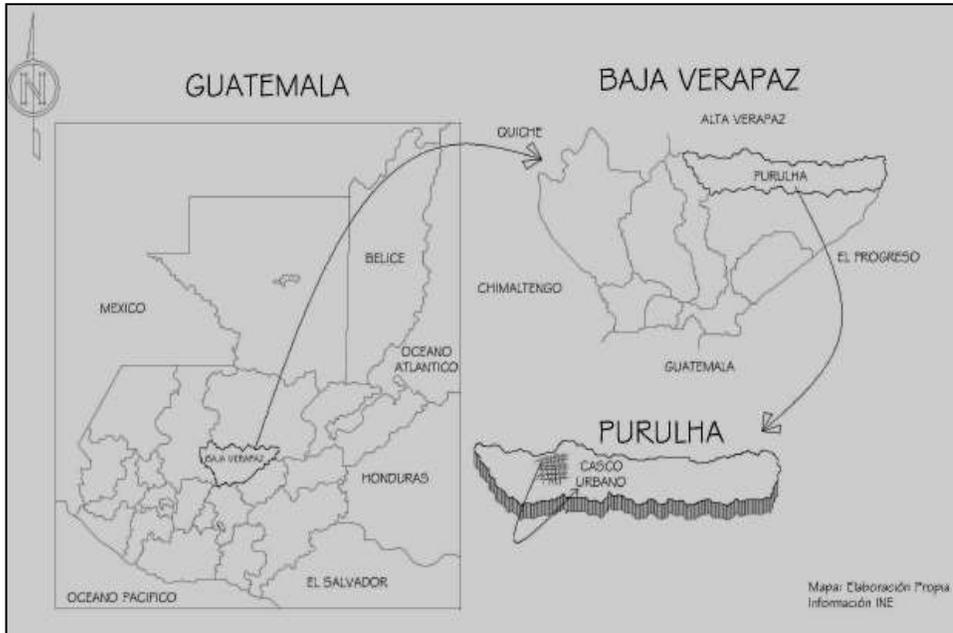
---

<sup>23</sup> Mapa de clasificación de suelos primera aproximación de Guatemala MAGA.<http://web.Maga.gob.gt/>(16 Marzo de 2016).

<sup>24</sup> Mapa de pendientes agrupadas según la metodología USDA Guatemala MAGA. [\\_http://web.Maga.gob.gt/](http://web.Maga.gob.gt/) (16 Marzo de 2016).

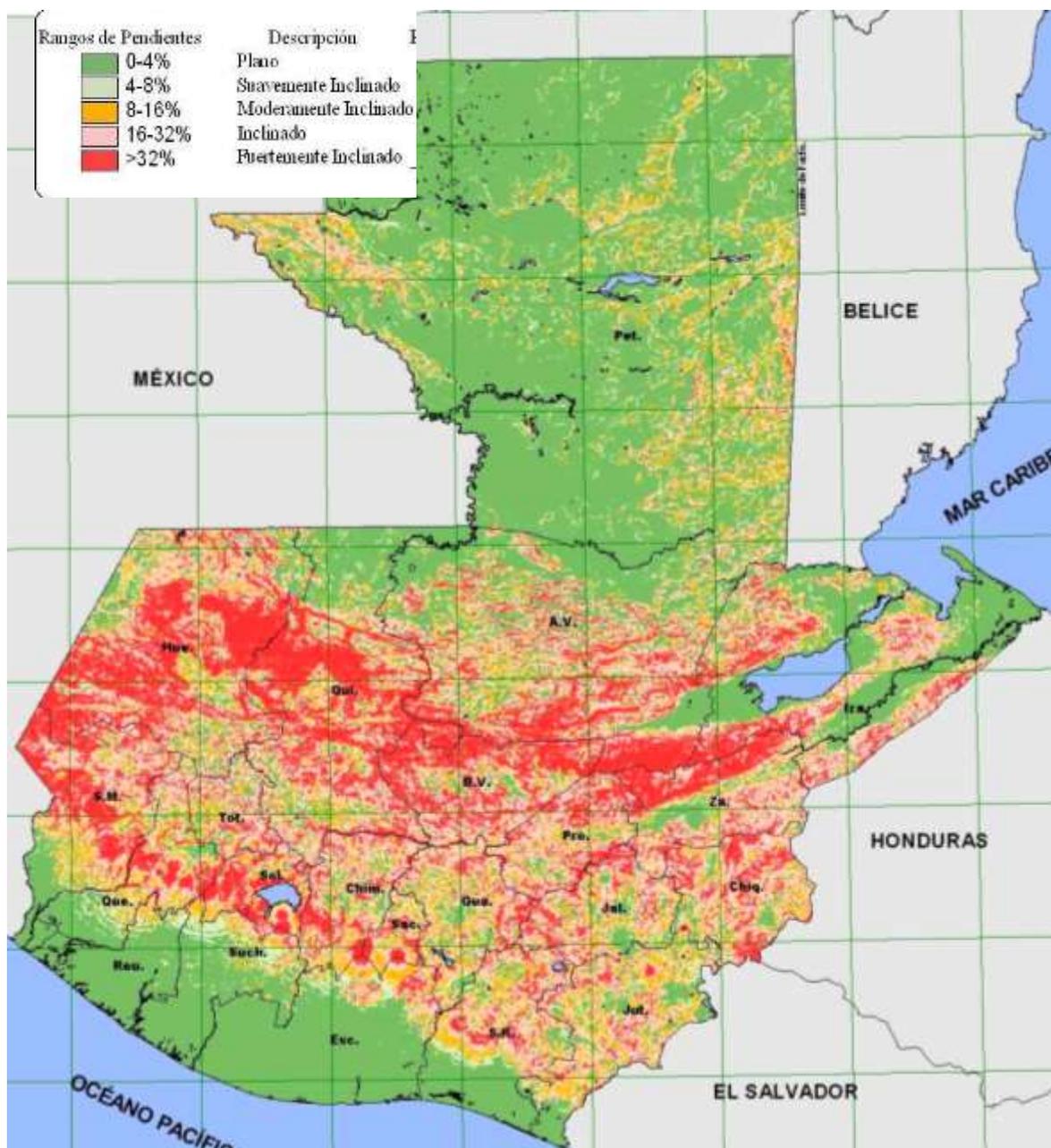
### Ilustración 3

## Mapa de ubicación del municipio de Purulhá, Baja Verapaz



**Fuente:** Monografía de Purulhá [http://munipurulha.gob.gt/index.php?option=com\\_content&view=article&id=100&Itemid=70](http://munipurulha.gob.gt/index.php?option=com_content&view=article&id=100&Itemid=70) (16 Marzo de 2016).

## Ilustración 4 Mapa de pendientes de Guatemala



**Fuente:** Mapa de clasificación de suelos primera aproximación de Guatemala MAGA.  
<http://web.maga.gov.gt/>(16 Marzo de 2016).



## **CAPÍTULO 3**

### **METODOLOGÍA**

#### **3.1. Marco metodológico**

##### **3.1.1. Selección del área experimental**

La investigación se realizó en la finca San Francisco, en el caserío de Pantín, municipio de Purulhá, en el departamento de Baja Verapaz, Latitud norte: 15°14'58,5" Longitud oeste: 90°16'47,1" a una altitud aproximada de 1 610 msnm.

Se seleccionó esta área experimental por su topografía accidentada ya que se considera un área crítica de erosión de la misma.

##### **3.1.2. Selección de los tratamientos**

Los tratamientos que fueron seleccionados fueron de acuerdo al rango de pendiente que se encontraron en el área de estudio; donde se seleccionó una pendiente en específico para conocer la cantidad de erosión en cada tratamiento. Los tratamientos de pendiente fueron evaluados:

- I. 11 %
- II. 26 %
- III. 40 %
- IV. 46 % >

## 3.2. Diseño del estudio

### 3.2.1. Diseño experimental

El experimento se constituyó en un modelo de regresión lineal simple, a través de tres repeticiones en cuatro tratamientos, conformando un total de 12 parcelas experimentales.

### 3.2.2. Modelo estadístico

Se utilizó el análisis de regresión simple, el cual pretende encontrar una relación lineal entre la variable independiente (% de pendiente) y la variable dependiente (grado de erosión) en base a datos muestrales se encontró un modelo matemático que relacione las dos variables descritas para fines de predicción.

$$Y=ax+b+\varepsilon$$

Y=variable dependiente (suelo erosionado en ton/ha)

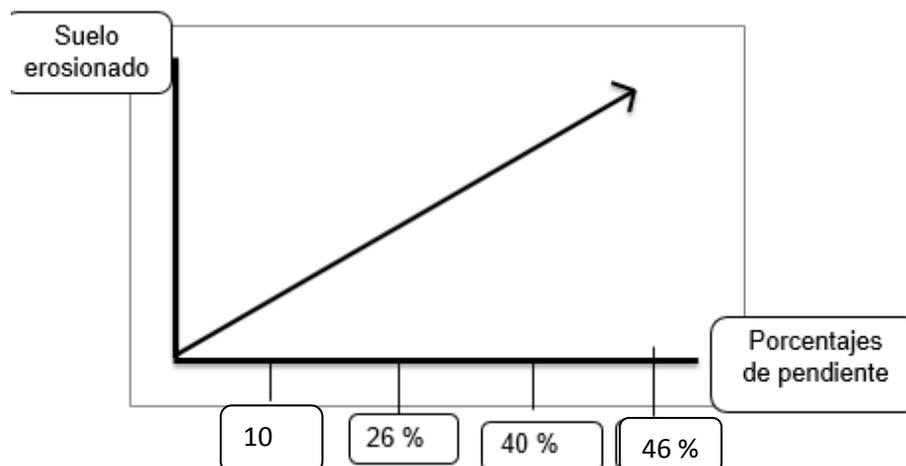
a=pendiente

x=variable independiente (porcentaje de inclinación)

b=constante

$\varepsilon$ =error de la erosión

### Ilustración 5 Gráfica de regresión lineal



Fuente: elaboración propia 2016

#### 3.2.3. Variables respuesta

- Volumen de escurrimiento superficial total en  $m^3/ha$  y porcentaje de escorrentía.
- Cantidad de suelo erosionado en  $ton/ha$ .

#### 3.2.4. Medición de las variables

##### a) Proceso de recolección de datos:

Medición de la altura (h) de la mezcla de escorrentía y sedimentos en cada recipiente. Se tomó como constante el área transversal de cada recipiente para calcular el volumen de escorrentía (VE) a través de la siguiente fórmula:

$$\text{En donde: } VE = \pi \cdot R^2 \cdot h$$

VE= volumen de escorrentía

$\pi$ = constante con valor de 3,1416

R= radio del recipiente

$h$ = altura de la mezcla de escorrentía en el recipiente

Después de la toma de datos se procedió a la toma de la altura de escorrentía en cada recipiente, se procedió al muestreo de la mezcla de escorrentía y sedimentos.

Esto consistió en agitar la mezcla en cada recipiente y coleccionar una muestra de volumen conocido, la cual se analizó en laboratorio, se midió el volumen de escorrentía con una probeta y se dejó sedimentar por 3 d, la muestra se filtró para separar el agua de escorrentía y los sedimentos, los sedimentos fueron trasladados a un recipiente metálico y se secaron en un horno durante 24 h a 105 °C, para luego ser pesados y así obtener el peso seco de los sedimentos.

### **Cuadro 3**

#### **Variables de investigación**

<b>Variable independiente</b>	<b>Variable dependiente</b>
Cantidad de lluvia	Cantidad de suelo erosionado
Volumen de escorrentía	

Fuente: Elaboración Propia 2016

### **3.3. Establecimiento del experimento**

#### **3.3.1. Instalación de las parcelas experimentales**

Para la instalación de las parcelas de escorrentía, las cuales fueron las unidades experimentales, se utilizaron tablas de 0,25 m de ancho que delimitó la unidad experimental, cada una de ellas con el fin de evitar la penetración de escorrentía superficial de áreas aledañas.

Estas se introdujeron en el suelo hasta una profundidad de 0,15 m; (0,15 m de la tabla sobre el nivel del suelo). El tamaño de las parcelas fue de 7 m de longitud (a lo largo de la pendiente) 2 m de ancho (transversal a la pendiente), que totaliza 14 m<sup>2</sup> por parcela.

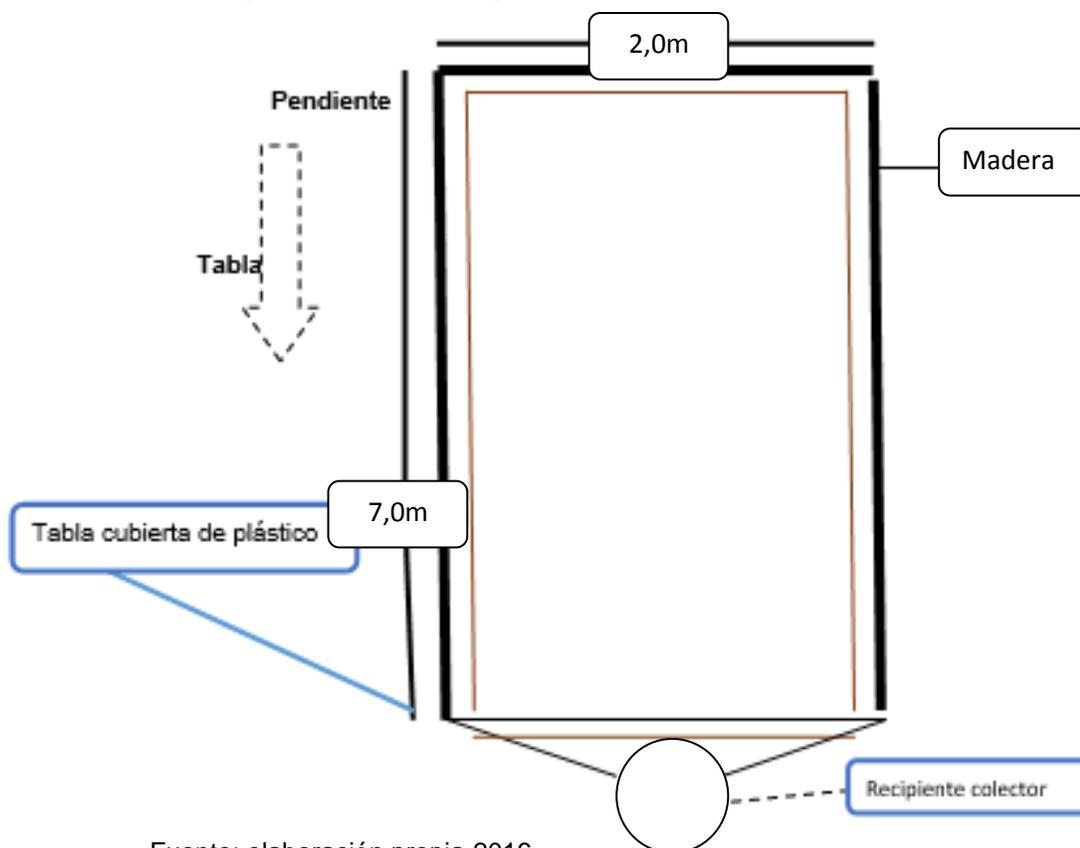
### 3.3.2. Sistema colector de agua y sedimentos

#### a) Canales colectores

Consistió en forrar tablas con polietileno para que escurriera a cada lado de las tablas y se depositara en los recipientes.

### Ilustración 6

#### Esquema de una parcela de escorrentía



Fuente: elaboración propia 2016

**b) Recipientes colectores**

Se utilizaron recipientes de plástico de 5 galones de capacidad, dos por cada unidad experimental conectados en su parte superior por un tubo *PVC*  $\frac{3}{4}$ " de grosor. Los recipientes se ubicaron a 0,10 m debajo del nivel del canal.

**c) Medición de la precipitación**

Se establecieron dispositivos recolectores (pluviómetros móviles), los cuales se monitorearon con el objetivo de captar la precipitación de toda el área experimental. De los datos obtenidos se calculó una media para establecer la cantidad de lluvia recogida durante la duración de la investigación.

**d) Toma de datos**

Se llevó un registro de las variaciones de erosión en las distintas pendientes del área.

**3.4. Insumos****3.4.1. Recursos humanos**

Para el desarrollo del experimento, se requiere una persona (estudiante del Centro Universitario del Norte), el cual se encargó de cumplir con lo propuesto en la metodología, realización del procedimiento y anotaciones de datos.

**a) Recursos de infraestructura del proyecto**

- I. Lepa
- II. Botes de plástico
- III. Tubo *PVC*
- IV. Tela *nylon*
- V. Embudo
- VI. Probeta



## **CAPÍTULO 4**

### **PRESENTACIÓN Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS**

#### **4.1. Resultados**

Se obtuvo resultados en los cuales los tratamientos propuestos fueron diferentes rangos de pendiente y que permitieron conocer la cantidad de suelo erosionado y con ello se logró hacer predicciones del total del suelo erosionado en ton/ha.

Se elaboró el cuadro 4 donde se observan los valores de la precipitación registrados en el área de estudio; según estos, los más altos se registraron en los meses de agosto a septiembre ocasionando más escurrimiento superficial.

##### **4.1.1. Precipitación**

###### **a) Precipitación pluvial total semanal**

En el cuadro 4 se representan los valores de la precipitación semanal para el periodo de estudio que fueron 5 meses. Datos tomados del pluviómetro colocado en el área de estudio. Que fue entre los meses de junio y octubre del 2016.

**Datos generales**

- **Sitio del establecimiento del pluviómetro:** finca San Francisco, Purulhá, Baja Verapaz.
- **Año de la toma de la precipitación pluvial:** 2016
- **Nombre de la persona encargada:** Néstor Manuel Alejandro Gómez Sierra.
- **Fecha de inicio de toma de datos:** 9 de junio.
- **Fecha de finalización de toma de datos:** 8 de octubre.

### Cuadro 4

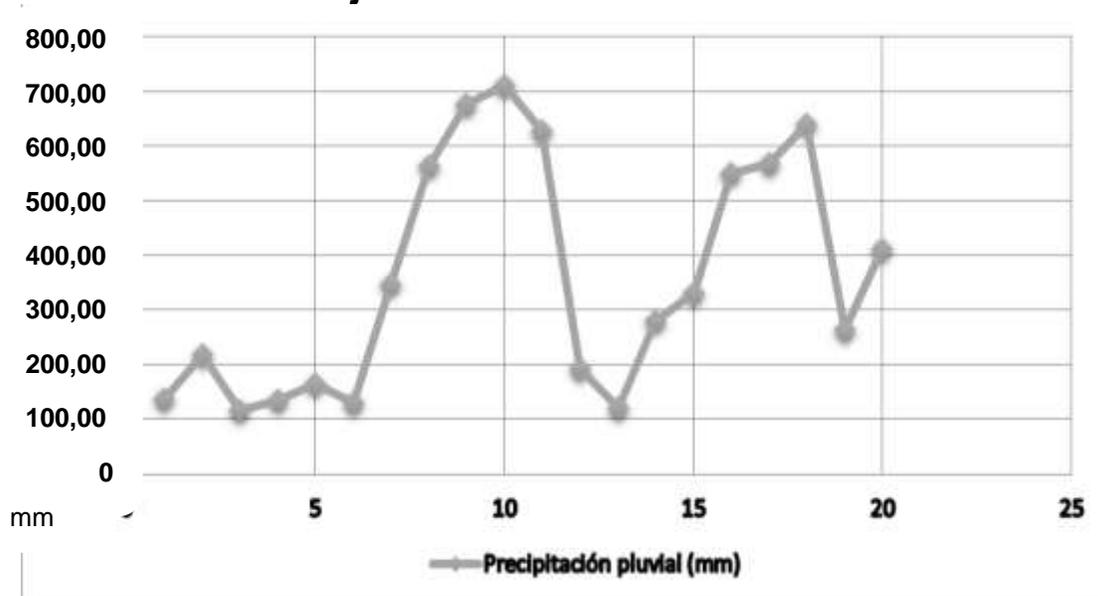
#### Precipitación semanal de pluviómetro en el área de estudio para los meses de junio y octubre

Fecha	Precipitación pluvial (mm)
9 de junio - 15 de junio	137,78
16 de junio - 22 de junio	217,78
23 de junio -30 de junio	117,04
1 de julio - 6 de julio	136,30
7 de julio - 11 de julio	164,44
12 de julio - 18 de julio	131,85
19 de julio - 23 de julio	348,15
24 de julio - 1 de agosto	562,96
2 de agosto - 4 de agosto	675,56
5 de agosto - 8 de agosto	711,11
9 de agosto - 12 de agosto	626,67
13 de agosto - 17 de agosto	192,59
17 de agosto - 19 de agosto	121,48
20 de agosto - 27 de agosto	28,00
28 de agosto - 4 de septiembre	331,85
5 de septiembre - 10 de septiembre	549,63
11 de septiembre - 21 de septiembre	568,89
22 de septiembre - 27 de septiembre	638,52
28 de septiembre - 1 de octubre	263,70
2 de octubre - 8 de octubre	411,85

Fuente: investigación de campo 2016

En el cuadro 4 y gráfica 1, se observa que los valores de precipitación registrados en el año 2016, en el área de la investigación (finca San Francisco), son junio a octubre fue el lapso de tiempo donde ocurrió un escurrimiento mayor de suelo y un aumento en volumen de escorrentía.

**Gráfica 1**  
**Pluviograma de las lluvias en los meses**  
**de junio a octubre del 2016**



Fuente: investigación de campo 2016

#### 4.1.2. Escorrentía

##### a) Cantidad de escorrentía

En el cuadro 5, se representan los volúmenes medios de escorrentía superficial en metros  $m^3/ha$  por hectárea, que se obtuvieron en el experimento; en dicho cuadro se observa que de los cuatro tipos de pendiente, las parcelas con pendiente mayores a 45 % reportan mayor volumen de escorrentía ya que hay mayor inclinación y por consecuencia mayor velocidad de escorrentía.

El tratamiento en el que se obtuvo menor escorrentía fue del pendientes en el rango de 0 % a 15 % (11 % en específico).

### Cuadro 5

#### Escorrentía superficial (m<sup>3</sup>/ha) para los tratamientos y repeticiones para el sitio experimental en 2016

Volumen de escorrentía				
Tratamientos	Bloques			
	I	II	III	Media
<b>T1</b>	1 846,318 32	1 784,821 5	1 796,838 12	1 809,325 98
<b>T2</b>	2 088,064 44	1 911,349 4	1 802,493	1 933,968 96
<b>T3</b>	2 207,523 78	2 105,735 9	2 015,964 7	2 109,741 48
<b>T4</b>	2 274,675 48	2 295,174 4	2 045,652 8	2 205,167 58

Fuente: investigación de campo 2016

Al hacer la prueba de Tukey (cuadro 6), a los datos obtenidos de volumen de escorrentía se encontró diferencia significativa entre tratamientos, a un nivel de 0,001 6 % de significancia.

### Cuadro 6

#### Prueba de medias (Tukey) para el volumen de escorrentía

Tratamiento	Medias	Tukey		
<b>11 %</b>	53,38	A		
<b>26 %</b>	57,06	A	B	
<b>40 %</b>	62,24		B	C
<b>46 %</b>	65,06			C

Fuente: investigación de campo 2016

En los datos del cuadro 6, se observa que todos los tratamientos produjeron escorrentía con valores que son diferentes estadísticamente al 0,0016 % de significancia. Esto indica que los porcentajes de pendiente del 11 %, 26 %, 40 y 46 % produjeron diferencia en las cantidades de escorrentía superficial.

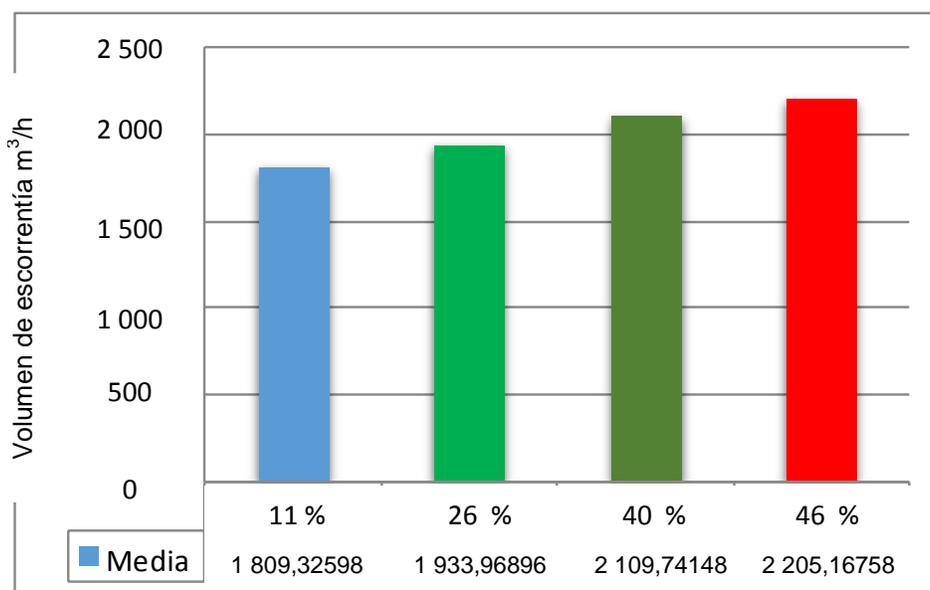
**Cuadro 7**  
**Prueba de medias (Tukey) para cada bloque experimental**

Bloque	Medias	Tukey	
3	56,5	A	
2	59,72	A	B
1	62,08		B

Fuente: investigación de campo 2016

Al hacer análisis de varianza (cuadro 7), a los datos obtenidos de volumen de escorrentía se encontró diferencia significativa en los bloques, a un nivel de 0,001 6 % de significancia y el uso de la prueba de Tukey.

**Gráfica 2**  
**Volumen de escorrentía para los tratamientos y repeticiones para el sitio experimental en 2016**



En los cuadros 5 como en el cuadro 6, gráfica 2, las pendientes mayores a 46 % fueron las que tuvieron mayor escurrimiento, ya que la precipitación más la inclinación ocasionaron más velocidad de escurrimiento y más pérdida de suelo.

### b) Porcentaje de escorrentía

El total de la precipitación durante los meses de la investigación fue de 6 936,15 mm, el cual es equivalente a 3 389,71 m<sup>3</sup>/ha

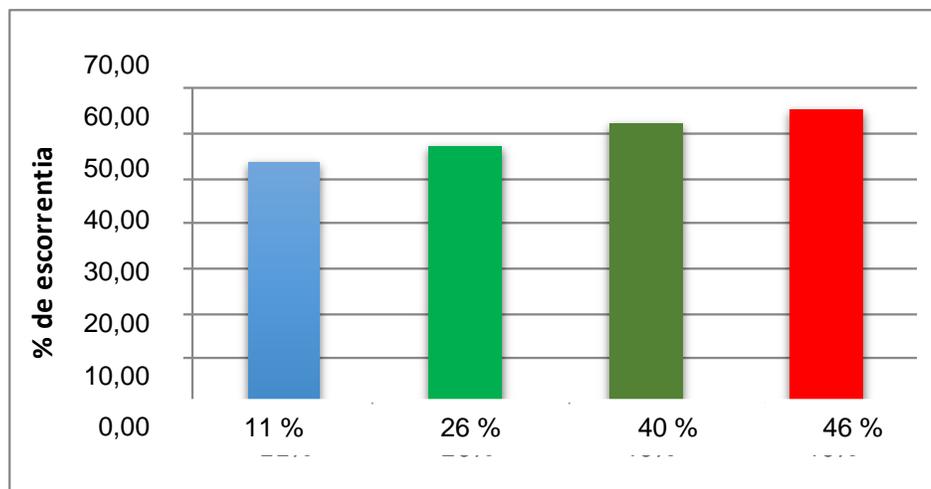
### Cuadro 8

#### Cantidad (m<sup>3</sup>/ha) y porcentaje de escorrentía para los diferentes tratamientos.

Tratamientos	Volumen de escorrentía m <sup>3</sup> /ha	Porcentaje de escorrentía
11 %	1 809,32598	53,38
26 %	1 933,96896	57,05
40 %	2 109,74148	62,24
46 %	2 205,16758	65,05

Fuente: investigación de campo 2016

En el cuadro 8 y gráfica 3, se observa que la pendiente con 11 % fue de los valores más bajos de escorrentía esto se debe a que la pendiente era baja y disminuía en gran proporción la velocidad de escurrimiento del agua y así su capacidad erosiva. Al contrario con la pendiente más alta que es de 46 %, incrementa el escurrimiento lo cual ocasiona una mayor velocidad del escurrimiento del agua.

**Gráfica 3****Cantidad (m<sup>3</sup>/ha) y porcentaje de escorrentía para los diferentes tratamientos**

Fuente: Fuente: investigación de campo 2016

**4.1.3. Suelo erosionado****a) Cantidad de suelo erosionado en (ton/ha)****Cuadro 9****Cantidad de suelo erosionado (ton/ha) en el sitio de ensayo con diferentes rangos de pendiente**

<b>Suelo erosionado (ton/ha)</b>				
<b>Tratamientos</b>	<b>Bloques</b>			
	I	II	III	Media
<b>T1</b>	5,87	5,68	5,71	5,75
<b>T2</b>	9,52	8,72	8,22	8,82
<b>T3</b>	1,68	11,14	10,66	11,16
<b>T4</b>	16,15	16,30	14,52	15,66

Fuente: Fuente: investigación de campo 2016

Al hacer análisis de medias (cuadro 9), a los datos obtenidos de suelo erosionado se encontró diferencia entre cada bloque con la interacción de los

tratamientos, lo cual determinó el nivel de erosividad de cada parcela experimental y con el resultado de medias se calculó la parcela que perdió más material edáfico.

### Cuadro 10

#### Prueba de medias (Tukey) para la cantidad de suelo erosionado

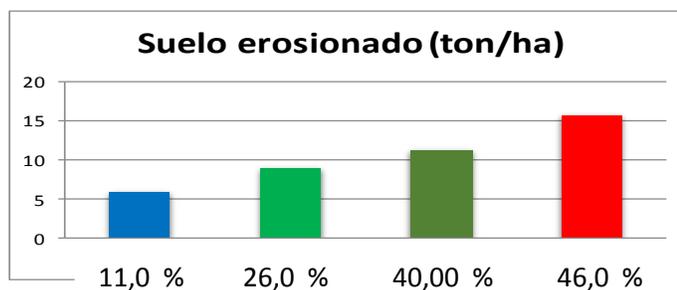
Tratamiento	Medias ton/ha	Tukey			
11 %	5,75	A			
26 %	9,02		B		
40 %	11,39			C	
46 %	16,04				D

Fuente: Fuente: investigación de campo 2016

En el cuadro 10 y gráfica 4, se observa que en la parcela con pendiente de 46 % es donde se tuvo la mayor pérdida de suelo siendo 16,04 ton/ha, seguido de valores de 11,39 ton/ha, 9,02 ton/ha y 5,75 ton/ha, para pendientes de 40 %, 26% y 11 % respectivamente.

### Gráfica 4

#### Cantidad de suelo erosionado en (ton/ha) en la finca San Francisco Purulhá, Baja Verapaz



Fuente: Fuente: investigación de campo 2016

## b) Modelo matemático de regresión lineal

### Ecuación de la pérdida de suelo

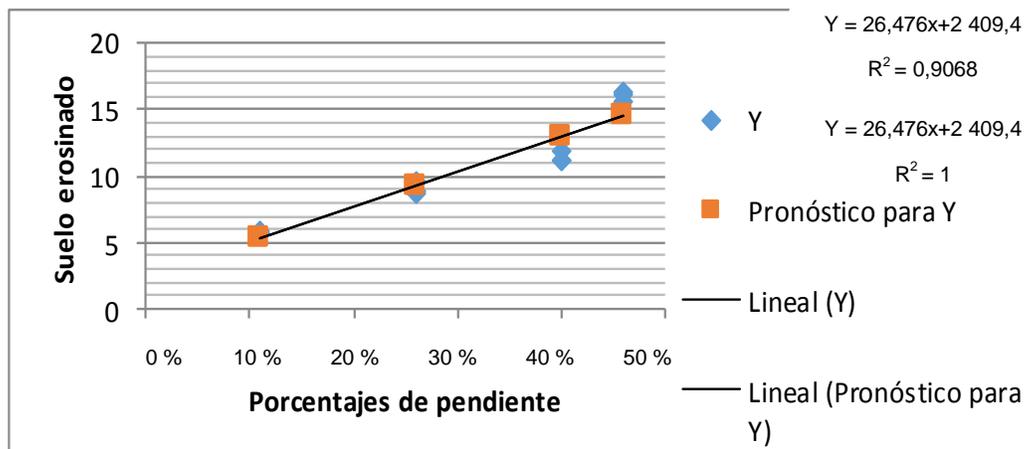
$$\text{Suelo erosionado} = 26,476x + 2\,409,4$$

X = porcentaje de pendiente

A partir del modelo propuesto es entonces posible hacer predicciones de pérdida de suelos en diferentes pendientes en el área de estudio y poder determinar qué cantidad en toneladas por hectárea.

### Gráfica 5

#### Modelo de regresión lineal para predicción de pérdida de suelos en diferentes rangos de pendiente



Fuente: Fuente: investigación de campo 2016

**CUADRO 11**  
**Cantidad de suelo erosionado en los diferentes rangos de pendiente**

<b>Pendiente (%)</b>	<b>Suelo erosionado (ton/ha)</b>
11	5,87
26	9,52
40	11,88
46	16,15
11	5,68
26	8,72
40	11,14
46	16,3
11	5,71
26	8,82
40	11,16
46	15,66

Fuente: Fuente: investigación de campo 2016

De acuerdo a la gráfica 5, la pérdida de suelos en pendientes mayores de 45 % donde hay más escurrimiento superficial y como tal más erosión en los tratamientos utilizados.

De acuerdo a los resultados del cuadro 11, el suelo erosionado en los diferentes rangos de pendiente varió de acuerdo a su inclinación y la velocidad de escorrentía ya que ello es generado ha consecuencia de las altas pendientes y la pendiente con 46 % fue una de las que mayor suelo erosionado presentó en todo el proceso de la investigación.



## CONCLUSIONES

- a) La escorrentía superficial en las parcelas con una pendiente de 46 % fue uno de los valores más altos de agua escurrida, con una medida de 2 205,167 58 m<sup>3</sup>/ha, luego las de 40 % con una media 2 109,741 48 m<sup>3</sup>/ha, la de 26 % con 1 933,968 96 m<sup>3</sup>/ha y por último las parcelas con pendientes de 11 % presentaron una media de 1 809,325 98 m<sup>3</sup>/ha.
  
- b) El tratamiento de 46 % de pendiente fue el de mayor pérdida de suelo a causa de la erosión hídrica con una pérdida de 16,15 m<sup>3</sup>/ha. En su orden le sigue la de pendiente de 40 % con una pérdida del perfil edáfico de 11,39 m<sup>3</sup>/ha. Las parcelas con 26 % de pendiente tuvieron 9,02 m<sup>3</sup>/ha. Y el tratamiento con menor pérdida de suelos fue el de 11 % con 5,75 m<sup>3</sup>/ha.
  
- c) Con el análisis de regresión lineal se determinó un modelo matemático que predice la cantidad de erosión de suelos, en diferentes pendientes encontradas en el área y determinar la cantidad total de suelo erosionado.



## RECOMENDACIONES

- a) Utilizar el modelo matemático generado como referencia de predicción al incremento de erosión hídrica en el área y hacer un plan de conservación de suelos para disminuir la pérdida del material edáfico.
- b) Realizar una investigación sobre el efecto de las diferentes longitudes de pendiente en el área para cuantificar sin influencia y determinar cuál genera más velocidad de escorrentía.
- c) Implementar prácticas de conservación de suelos en el área de la finca San Francisco, para disminuir la cantidad de suelo perdido a causa de la erosión.
- d) Adecuar una estrategia a nivel local para evitar el establecimiento de cultivos en tierras con fuertes pendientes, para cultivos limpios que puedan ofrecer poca protección al suelo, ya que esto hace que se presente gran susceptibilidad a la erosión hídrica.
- e) Orientar, concientizar y capacitar a los agricultores del área de la necesidad y ventajas de la conservación de suelos, ya que de esta manera se obtendrá la preservación del material edáfico de los suelos del área y de los que están deteriorados.



## BIBLIOGRAFÍA

- Argueta Medina, Juan Carlos. *Estimación de los riegos y niveles de erosión hídrica en la microcuenca del río negro, Chimaltenango*. [http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/01/01\\_1767.pdf](http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/01/01_1767.pdf) (16 de marzo de 2016).
- Carrera Escobar, Rafael. *Evolución del efecto de la precipitación pluvial sobre la escorrentía superficial y erosión hídrica, entre tres diferentes usos de suelo en la finca río frío, Santa Cruz Verapaz*. <http://fausac.usac.edu.gt/tesario/tesis/T-02496.pdf> (16 de marzo de 2016).
- Cruz, Jorge René de la. *Clasificación de zonas de vida de Guatemala a nivel de reconocimiento*. <https://es.scribd.com/doc/96064621/Clasificacion-de-Zonas-de-Vida>. (16 de marzo de 2016).
- Evaluación de la erosión hídrica superficial por parcelas experimentales en suelos desnudos de la región de Coquimbo*. [https://www.CortOlimago.gov.co/sites/default/files/images/stories/centro\\_documentos/pom\\_totare/diagnostico/m\\_212perdida\\_de\\_suelos\\_totare.pdf](https://www.CortOlimago.gov.co/sites/default/files/images/stories/centro_documentos/pom_totare/diagnostico/m_212perdida_de_suelos_totare.pdf) (4 de marzo 2016).
- Manual de prácticas integradas de manejo y conservación de suelos*. <http://ftp.fao.org/agl/agll/docs/lw8s.pdf> (29 de marzo 2016).
- Mapa de pendientes agrupadas según la metodología USDA*. <http://web.Maga.gob.gt/> (16 marzo de 2016).
- Modelo de la ecuación universal de pérdida de suelos RUSLE*. <http://www.Umss.edu.bo/epubs/earts/downloads/66.pdf> (4 de marzo de 2016).
- Monografía de Purulhá*. [http://municipurulha.gob.gt/index.php?option=com\\_content&view=article&id=100&Itemid=70](http://municipurulha.gob.gt/index.php?option=com_content&view=article&id=100&Itemid=70) (16 marzo de 2016).
- Mota Franco, Erick Leonel. *Estudio de erosión hídrica del suelo, microcuenca del río Itzapa Chimaltenango de 1994 a 1996*. [http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/01/01\\_1767.pdf](http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/01/01_1767.pdf) (4 de marzo de 2016).
- Perez José, Yol. *Monografía de Purulhá, Purulhá B.V.* [http://www.biblioteca.usac.edu.gt/EPS/07/07\\_0587.pdf](http://www.biblioteca.usac.edu.gt/EPS/07/07_0587.pdf) (16 marzo de 2016).

Suárez de Castro, Fernando. *Conservación de suelos*. San José, Costa Rica: Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura, 1979.



V.º B.º  
*[Handwritten signature]*

Adán García Véliz  
Licenciado en Pedagogía e Investigación Educativa  
BIBLIOTECARIO



## ANEXOS

**Cuadro 12**  
**Análisis de varianza del volumen de escorrentía**

<b>Análisis de varianza</b>					
<b>F.V.</b>	<b>SC</b>	<b>GI</b>	<b>CM</b>	<b>F</b>	<b>p-valor</b>
<b>Bloque</b>	62,6	2	31	8	0,0228
<b>Tratamiento</b>	245,44	3	82	20	0,0016
<b>Error</b>	24,77	6	4		
<b>Total</b>	332,8	11			

Fuente: investigación de campo 2016

**Cuadro 13**  
**Análisis de varianza de suelo erosionado**

<b>Análisis de varianza</b>					
<b>F.V.</b>	<b>SC</b>	<b>gl</b>	<b>CM</b>	<b>F</b>	<b>p-valor</b>
<b>Bloque</b>	0,59	2	0	4	0,0655
<b>Tratamiento</b>	168,49	3	56	853	0,0001
<b>Error</b>	0,4	6	0		
<b>Total</b>	169,47	11			

Fuente: investigación de campo 2016

## **Ilustración 7** **Preparación del suelo para la instalación de los tratamientos**



Tomada por: Néstor Gómez 2016

## **Ilustración 8** **Instalación de las parcelas de escorrentía**



Tomada por: Néstor Gómez 2016

### **Ilustración 9 Instalación del canal**



Tomada por: Néstor Gómez 2016

### **Ilustración 10 Toma de datos de la escorrentía superficial**



Tomada por: Néstor Gómez 201

No. 217-2018

El Director del Centro Universitario del Norte de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer los dictámenes de la Comisión de Trabajos de Graduación de la carrera de:

**TÉCNICO EN PRODUCCIÓN AGRÍCOLA**

Al trabajo titulado:

**CUANTIFICACIÓN DE LA VARIACIÓN DE LA EROSIÓN HÍDRICA EN DIFERENTES RANGOS DE PENDIENTE, EN LA FINCA SAN FRANCISCO DEL MUNICIPIO DE PURULHÁ, B.V.**

Presentado por el (la) estudiante:

**NESTOR MANUEL ALEJANDRO GÓMEZ SIERRA**

Autoriza el

**IMPRIMASE**

Cobán, Alta Verapaz 21 de Septiembre de 2018.

  
Lic. Erwin Gonzalo Eskenasy Morales  
DIRECTOR

