

**UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
CENTRO UNIVERSITARIO DEL NORTE
CARRERA DE INGENIERÍA EN GESTIÓN AMBIENTAL LOCAL**

TRABAJO DE GRADUACIÓN



TESIS

**EVALUACIÓN DE TRES PRÁCTICAS AGRÍCOLAS EN LA
INCIDENCIA DE EROSIÓN E INFILTRACIÓN EN EL CULTIVO DE
MAÍZ (*Zea mays*) EN AGRICULTURA DE SUBSISTENCIA EN LAS
ZONAS POTENCIALES DE RECARGA HÍDRICA EN LA
SUBCUENCA DEL RÍO TZUNUTZ, SAN PEDRO CARCHÁ, ALTA
VERAPAZ**

SERGIO ALFONSO IBARRA WINTER

COBÁN, ALTA VERAPAZ, OCTUBRE DE 2018

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
CENTRO UNIVERSITARIO DEL NORTE
CARRERA DE INGENIERÍA EN GESTIÓN AMBIENTAL LOCAL

TRABAJO DE GRADUACIÓN

TESIS

EVALUACIÓN DE TRES PRÁCTICAS AGRÍCOLAS EN LA
INCIDENCIA DE EROSIÓN E INFILTRACIÓN EN EL CULTIVO DE
MAÍZ (*Zea mays*) EN AGRICULTURA DE SUBSISTENCIA EN LAS
ZONAS POTENCIALES DE RECARGA HÍDRICA EN LA
SUBCUENCA DEL RÍO TZUNUTZ, SAN PEDRO CARCHÁ, ALTA
VERAPAZ

PRESENTADO AL HONORABLE CONSEJO DIRECTIVO DEL
CENTRO UNIVERSITARIO DEL NORTE

POR

SERGIO ALFONSO IBARRA WINTER
CARNÉ 201245661

COMO REQUISITO PREVIO A OPTAR POR EL TÍTULO DE
INGENIERO EN GESTIÓN AMBIENTAL LOCAL

COBÁN, ALTA VERAPAZ, OCTUBRE 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 Mandredy Jom Hernández
Br. Karla Vanessa Barrera Rivera

COORDINADOR ACADÉMICO

Ing. Ind. Francisco David Ruíz Herrera

COORDINADOR DE LA CARRERA

Ing. Agr. Julio Oswaldo Méndez Morales

COMISIÓN DE TRABAJOS DE GRADUACIÓN

COORDINADOR: Ing. Agr. M.A. Marcos Rafael Flores Delgado
SECRETARIA: Ing. Qco. Karen Elizabeth Vásquez Villeda
VOCAL: Ing. Agr. Julio Oswaldo Méndez Morales

REVISORA DE REDACCIÓN Y ESTILO

Lcda. T.S. Nadia Mariana Muñoz Castro

REVISOR DEL TRABAJO DE GRADUACIÓN

Ing. Agr. Antony Ranffery Gómez Herrera

ASESOR

Ing. Agr. M.A. Luis Humberto Ortiz Castillo

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS
DE GUATEMALA



**CENTRO UNIVERSITARIO
DEL NORTE (CUNOR)
CARRERA IGAL**

Código Postal 16001 – Cobán, Alta Verapaz
PBX: 79 566600 Ext. 224
Finca Sachamach, Km. 110.5 Ruta Cobán, A.V.
Guatemala, C. A.
c. e.: igal_cunor@hotmail.com

Ref. No. 15-IGAL-136-2018

Cobán, 26 de octubre 2018

Señores Miembros
Comisión de Trabajos de Graduación
Carrera de Ingeniería en Gestión Ambiental Local
Centro Universitario del Norte –CUNOR-
Cobán Alta Verapaz

Respetables señores:

Atentamente hago de su conocimiento, que he revisado el Plan de Trabajo de graduación titulado: *EVALUACIÓN DE TRES PRÁCTICAS AGRÍCOLAS EN LA INCIDENCIA DE EROSIÓN E INFILTRACIÓN EN EL CULTIVO DE MAÍZ (Zea mays) EN AGRICULTURA DE SUBSISTENCIA EN LAS ZONAS POTENCIALES DE RECARGA HÍDRICA EN LA SUBCUENCA DEL RÍO TZUNUTZ, SAN PEDRO CARCHÁ ALTA VERAPAZ*
Elaborado por el estudiante Sergio Alfonso Ibarra Winter, carné número 201245661.

Atentamente.

"Id y Enseñad a Todos"

A handwritten signature in blue ink, appearing to read 'Luis Humberto Ortiz Castillo'.

Ing. Luis Humberto Ortiz Castillo
Asesor principal

c. c. Archivo.

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS
DE GUATEMALA



**CENTRO UNIVERSITARIO
DEL NORTE (CUNOR)
CARRERA IGAL**

Código Postal 16001 – Cobán, Alta Verapaz
PBX: 79 566600 Ext. 224
Finca Sachamach, Km. 110.5 Ruta Cobán, A.V.
Guatemala, C. A.
c. e.: igal_cunor@hotmail.com

Ref. No. 15-IGAL-114-2018

Cobán, 02 de octubre 2018

Señores Miembros
Comisión de Trabajos de Graduación
Carrera de Ingeniería en Gestión Ambiental Local
Centro Universitario del Norte –CUNOR–
Cobán Alta Verapaz

Respetables señores:

Atentamente hago de su conocimiento, que he revisado el Informe Final de graduación titulado: *EVALUACIÓN DE TRES PRÁCTICAS AGRÍCOLAS EN LA INCIDENCIA DE EROSIÓN E INFILTRACIÓN EN EL CULTIVO DE MAÍZ (Zea mays) EN AGRICULTURA DE SUBSISTENCIA EN LAS ZONAS POTENCIALES DE RECARGA HÍDRICA EN LA SUBCUENCA DEL RÍO TZUNUTZ, SAN PEDRO CARCHÁ ALTA VERAPAZ*
Elaborado por el estudiante Sergio Alfonso Ibarra Winter, carné número 201245661.

Tomando en cuenta que se cumplió con revisión; respetuosamente solicito darle el trámite correspondiente, para los efectos consiguientes.

Atentamente.

"Id y Enseñad a Todos"

Ing. Antony Ranffery Gómez Herrera
Docente Revisor

c. c. Archivo.

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS
DE GUATEMALA



**CENTRO UNIVERSITARIO
DEL NORTE (CUNOR)
CARRERA IGAL**

Código Postal 16001 – Cobán, Alta Verapaz
PBX: 79 566600 Ext. 224
Finca Sachamach, Km. 110.5 Ruta Cobán, A.V.
Guatemala, C. A.
c. e.: igal_cunor@hotmail.com

Ref. No. 15-IGAL-138-2018

Cobán, 26 de octubre 2018

Señores Miembros
Comisión de Trabajos de Graduación
Carrera de Ingeniería en Gestión Ambiental Local
Centro Universitario del Norte –CUNOR-
Cobán Alta Verapaz

Respetables señores:

Atentamente hago de su conocimiento, que he finalizado la revisión en cuanto a redacción y estilo del trabajo de graduación titulado: *EVALUACIÓN DE TRES PRÁCTICAS AGRÍCOLAS EN LA INCIDENCIA DE EROSIÓN E INFILTRACIÓN EN EL CULTIVO DE MAÍZ (Zea mays) EN AGRICULTURA DE SUBSISTENCIA EN LAS ZONAS POTENCIALES DE RECARGA HÍDRICA EN LA SUBCUENCA DEL RÍO TZUNUTZ, SAN PEDRO CARCHÁ ALTA VERAPAZ* elaborado por el estudiante Sergio Alfonso Ibarra Winter carné número 201245661.

El trabajo en mención cumple con los requisitos establecidos por el Centro Universitario del Norte de la Universidad de San Carlos de Guatemala; por tanto, se remite a esa instancia para que continúe con el trámite correspondiente.

Atentamente.

"Id y Enseñad a Todos"


Lcda. T. S. Nadia Mariana Muñoz Castro
Revisora de Redacción y Estilo

c. c. Archivo.



UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS
DE GUATEMALA



**CENTRO UNIVERSITARIO
DEL NORTE (CUNOR)
CARRERA IGAL**

Código Postal 16001 – Cobán, Alta Verapaz
PBX: 79 566600 Ext. 224
Finca Sachamach, Km. 110.5 Ruta Cobán, A.V.
Guatemala, C. A.
c. e.: igal_cunor@hotmail.com

Ref. No. 15-IGAL-139-2018

Cobán, 26 de octubre 2018

Licenciado

Lic. Zoot. Erwin Gonzalo Eskenasy Morales
Director del CUNOR
Cobán Alta Verapaz

Licenciado Eskenasy:

Luego de conocer los dictámenes favorables del asesor, revisor de trabajos de graduación y de la revisora de redacción y estilo; esta Comisión da el visto bueno al trabajo de graduación titulado: *EVALUACIÓN DE TRES PRÁCTICAS AGRÍCOLAS EN LA INCIDENCIA DE EROSIÓN E INFILTRACIÓN EN EL CULTIVO DE MAÍZ (Zea mays) EN AGRICULTURA DE SUBSISTENCIA EN LAS ZONAS POTENCIALES DE RECARGA HÍDRICA EN LA SUBCUENCA DEL RÍO TZUNUTZ, SAN PEDRO CARCHÁ ALTA VERAPAZ* elaborado por el estudiante Sergio Alfonso Ibarra Winter, carné número 201245661, previo a optar al título de Ingeniero en Gestión Ambiental Local.

Atentamente.

“D y Enseñad a Todos”

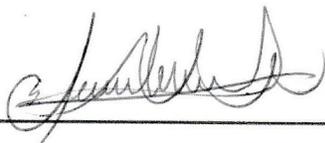

Ing. Agr. M. A. Marcos Rafael Flores Delgado
Coordinador Comisión de Trabajos de Graduación



c. c. archivo.

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 "Evaluación de tres prácticas agrícolas en la incidencia de erosión e infiltración en el cultivo de maíz (*Zea mays*) en agricultura de subsistencia en las zonas potenciales de recarga hídrica en la subcuenca del río Tzunutz, San Pedro Carchá Alta Verapaz", como requisito previo a optar al título profesional de Ingeniero en Gestión Ambiental Local.



Sergio Alfonso Ibarra Winter
Carné 201245661

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 forma”.

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

ACTO QUE DEDICO

A

DIOS

Por su gracia divina con la que me ha bendecido grandemente toda la vida, en múltiples ocasiones mostrándome su fidelidad, ante cualquier situación adversa.

MIS PADRES

Sergio Ibarra y Dassy Winter, por todo el apoyo permanente a base de esfuerzos y sacrificios, guiándome con amor y valores morales a la superación personal.

MIS HERMANAS

Por todo su amor, Darlene Andrea por su paciencia y bondad; Sara María para motivarla a nunca rendirse en alcanzar sus metas personales.

MI SOBRINO

Adrián Majus para alentarle a que se prepare académicamente en la vida.

MI NOVIA

Karla Hasse por su compañía, paciencia y creer siempre en mí incondicionalmente.

MIS FAMILIARES

Abuelos, tíos y primos, por ser parte fundamental de mi vida.

MIS AMIGOS

Francis Salguero, Leslie García, Pedro Ibáñez, Lisbeth Paredes por su honesta amistad a lo largo de mi vida.

AGRADECIMIENTOS

A

DIOS

Por nunca abandonarme en cada etapa de mi vida y demostrarme que tengo un propósito.

MIS PADRES

Por brindarme todo lo que estuvo en sus posibilidades para alcanzar esta meta.

A MIS PADRINOS

Ing. Francis Salguero e Inga. Lisbeth Paredes por toda su amistad y guía durante todas las etapas de mi formación académica.

A MI ASESOR

Ing. Luis Ortiz por el acompañamiento en esta investigación.

A LOS CATEDRÁTICOS DE LA UNIVERSIDAD

Ing. Ángel Arce, Ing Néstor Caal por su colaboración en aspectos metodológicos.

A MIS AMIGOS Y COMPAÑEROS

Porque siempre estuvieron dispuestos a compartir momentos importantes conmigo.

A LOS DOCENTES DE LA CARRERA

Por compartir todos sus conocimientos con profesionalismo y dedicación.

DIRECTOR CUNOR

Lic. Gonzalo Eskenasy por su gran aporte a la comunidad académica al mando de CUNOR.

A LA UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA

Por ser la casa de estudios encargada de formarme como profesional.

ÍNDICE GENERAL

	Páginas
LISTADO DE ABREVIATURAS Y SIGLAS	i
RESUMEN	iii
INTRODUCCIÓN	1
OBJETIVOS	3
CAPÍTULO 1	
MARCO TEÓRICO	
1.1 Antecedentes	5
1.2 Revisión de la literatura	6
1.2.1 Erosión	6
1.2.2 Tipología de procesos erosivos	7
1.2.3 Erosión por uso del suelo	8
1.2.4 Infiltración	8
1.2.5 Infiltración básica	9
1.2.6 El uso del suelo y la infiltración	9
1.2.7 Prácticas de conservación de suelos en la agricultura	10
a. Labranza	10
b. Cultivo múltiple	10
c. Barreras vivas	11
d. Acequias	11
e. Terraza	11
f. Curvas de nivel	11
1.2.8 Distribución en bloques al azar	12

1.3 Marco Referencial	12
1.3.1 Ubicación y extensión de la subcuenca	12
1.3.2 Zona de vida	13
1.3.3 Aspecto social	14
1.3.4 Situación económica	14
1.3.5 Zonas potenciales de recarga hídrica	15
a. Pendientes	16
b. Tipos de suelo	17
c. Uso del suelo	17
d. Precipitación	18
1.4 Hipótesis	19

CAPÍTULO 2 METODOLOGÍA

2.1 Generalidades	21
2.1.1 Definición del problema	21
2.1.2 Justificación	24
2.1.3 Tipo de la investigación	25
2.2 Metodología de la experimentación	26
2.2.1 Distribución en bloques al azar	26
2.2.2 Análisis de resultados con varianza	26
2.2.3 Prueba de significancia	27
a. Prueba de <i>Tukey</i> (comparación múltiple)	27
2.2.4 Esquema experimental	27
2.2.5 Variables respuesta	28
2.2.6 Manejo del experimento	29
2.3 Metodología para incorporación de curvas a nivel	29
2.4 Metodología para incorporación de barreras vivas	29
2.5 Método pozos de sedimentación con cubierta de plástico	30
2.6 Profundidad del suelo	31
2.7 Clase textural por el método <i>Bouyoucus</i>	32
2.7.1 Toma de muestras	32

2.7.2 Proceso en el laboratorio	32
2.8 Precipitación	33
2.9 Pendiente	33
2.10 Infiltración del suelo por medio del ensayo de <i>Porchet</i>	34
a) Procedimiento	34

CAPÍTULO 3

ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

3.1 Profundidad efectiva	37
3.2 Pendiente	38
3.3 Clase textural	38
3.4 Precipitación	39
3.5 Erosión	40
3.5.1 Análisis de varianza de suelo (kg/ 150m ²)	43
3.6. Infiltración	45
3.6.1 Análisis de varianza	48
3.6.2 Prueba de <i>Tukey</i>	48
CONCLUSIONES	51
RECOMENDACIONES	53
ANEXOS	55
BIBLIOGRAFÍA	65

ÍNDICE DE CUADROS

1	Clasificación de procesos erosivos	7
2	Variables e indicadores ambientales de los puntos de muestreo	35
3	Profundidad efectiva de suelo en las unidades experimentales	37
4	Clase textural por el método de <i>Bouyucus</i>	38
5	Registro de la precipitación en milímetros	39
6	Suelo erosionado en kilogramos	40
7	Cuadro de resultados de la erosión en kilogramos	41
8	Análisis de varianza de la erosión	43
9	Infiltración básica en centímetros/hora	45

10	Cuadro de resultados de la infiltración básica en cm/hr	46
11	Análisis de varianza de la infiltración	48

ÍNDICE DE GRÁFICAS

1	Comportamiento de suelo erosionado bloque I en kg	60
2	Comportamiento de suelo erosionado bloque II en kg	60
3	Comportamiento de suelo erosionado bloque III en kg	61
4	Comportamiento de suelo erosionado bloque IV en kg	61
5	Comportamiento de infiltración básica bloque V en cm/h	62
6	Comportamiento de infiltración básica bloque VI en cm/h	62
7	Comportamiento de infiltración básica bloque VII en cm/h	63
8	Comportamiento de infiltración básica bloque VIII en cm/h	63

ÍNDICE DE IMAGENES

1	Diagrama esquemático de métodos para tratamientos de erosión de <i>Howeler</i> 1987 y pozos de sedimentación	31
2	Diagrama del perfil del cilindro de <i>Porchet</i>	34
3	Unidad experimental	57
4	Pozos de sedimentación con cubierta plástica	57
5	Secado de muestras de suelo erosionado	59
6	Elaboración de <i>Bouyucos</i>	59

ÍNDICE DE MAPAS

1	Subcuenca del río Tzunutz en mapa de Guatemala	13
2	Zonas potenciales de recarga hídrica de la subcuenca del río Tzunutz	16
3	Ubicación de bloques	58

LISTADO DE ABREVIATURAS Y SIGLAS

A.V	Alta Verapaz.
cm	Centímetros.
Et al.	Literalmente.
FAO	Organización de Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura.
gr	Gramos.
h	Profundidad.
hr	Hora.
Ibídem	En el mismo lugar.
INAB	Instituto Nacional de Bosques.
kg	Kilogramos.
m	Metros.
m ²	Metros cuadrados.
MAGA	Ministerio de Agricultura Ganadería y Alimentación.
mm	Milímetros.
N.S	No hay significancia.
R	Radio.
S	Significancia.
UTM	<i>Universal Transverse Mercator.</i>

RESUMEN

La investigación se desarrolló en las zonas potenciales de recarga hídrica en la subcuenca del río Tzunutz, del municipio San Pedro Carchá Alta Verapaz, donde se identificó el uso del suelo para agricultura en poblados rurales ubicados dentro de la delimitación de dichas zonas, por lo que se procedió a la evaluación de tres prácticas agrícolas en la incidencia de erosión e infiltración en el cultivo de maíz (*Zea mays*) en agricultura de subsistencia para estas zonas.

Dichas prácticas fueron: tratamiento tradicional sin conservación de suelos, tratamiento de curvas a nivel y tratamiento de curvas a nivel más té de limón (*Cymbopogon citratus*) como barrera viva; mediante el establecimiento de un experimento estadístico en pendientes del 15% a 32%, bajo el modelo de bloques al azar, para luego realizar un análisis de varianza y una comparación con la prueba de *Tukey*.

La erosión del suelo fue una variable respuesta, que tuvo como resultado de 182.94 kg/600m² en el tratamiento tradicional, en el tratamiento de curvas a nivel fue 117.87kg/600m² y para el tratamiento de curvas a nivel más té de limón (*Cymbopogon citratus*) como barrera viva fue 89.32kg/600m²; lo cual muestra que el tratamiento con prácticas de conservación más intensivas redujo dos veces y medio la erosión como impacto ambiental sobre el suelo en el cual se cultiva maíz (*Zea mays*) para fines de autoconsumo, sin embargo al ser analizados estadísticamente (alfa= 0.05%) no presentaron diferencia significativa.

La segunda variable respuesta fue infiltración básica, para cada tratamiento las medias fueron: tratamiento tradicional 2.53cm/h, tratamiento de curvas a nivel 2.015cm/h y en el tratamiento de curvas a nivel más te de limón (*Cymbopogon citratus*) como barrera viva 2.005cm/h; resultados que al ser analizados estadísticamente (alfa =0.05%) si presentaron diferencia significativa, por lo que se identificó que el tratamiento llega a reducir la infiltración básica de un 8.26% a 30.35%.

INTRODUCCIÓN

Según la Dirección Municipal de Planificación en el año 2017, San Pedro Carchá, A.V. está irrigado por 26 ríos, 13 riachuelos y 4 quebradas, el río Cahabón es más el importante del municipio. Dentro de las fuentes hídricas están: Quixal, San Lucas, Sequila, Chirubiquim, Chitepey, San Vicente Ulpán, Sequixpur, Xicacao, Chicabnab, Chaimal, Sebas, Sesajal, Campur y Caquipec, esta última forma parte de la subcuenca del río Tzunutz; en el resto del territorio del municipio se presentan: escasas fuentes de agua aptas para el uso de la población, acceso limitado al recurso hídrico y uso por completo de agua de lluvia para subsistir.

La existencia de agua dulce es de vital importancia para la supervivencia de la mayoría de los seres vivos en el desarrollo de los ecosistemas que habitan, entre ellos las plantas, los animales y en especial las personas. Las recargas de los acuíferos se deben de proteger mediante la restauración de las zonas boscosas que favorecen la infiltración de manera natural, toda la flora que se encarga de evitar el escurrimiento, que a la vez se encuentran en constante amenaza por la agricultura, urbanización, entre otras actividades.

Sin embargo en la actualidad las actividades productivas van de la mano con el uso de los recursos naturales, con respecto a la economía dentro de las sociedades, porque sin estos dos elementos las personas quienes las conforman no tendrían la manera de obtener alimentos, viviendas y recursos necesarios para suplir las necesidades básicas; por lo que se requiere promover la sostenibilidad ambiental.

Es por esta razón que la presente investigación, indica el comportamiento de la erosión e infiltración, en el desarrollo del cultivo de maíz (*Zea mays*) en agricultura de subsistencia, cuando se emplean prácticas tradicionales y estructuras de conservación de suelos, en la zonas potenciales de recarga hídrica de la subcuenca del río Tzunutz, que se encuentra bajo la administración municipal de San Pedro Carchá, departamento de Alta Verapaz.

OBJETIVOS

General

Evaluar tres prácticas agrícolas en la incidencia de erosión e infiltración en el cultivo de maíz (*Zea mays*) en agricultura de subsistencia en las zonas potenciales de recarga hídrica en la subcuenca del río Tzunutz, San Pedro Carchá Alta Verapaz.

Específicos

Describir el comportamiento de la erosión e infiltración bajo tres prácticas agrícolas en el cultivo de maíz (*Zea mays*).

Determinar cuál práctica agrícola a evaluar reduce el grado de erosión en el cultivo del maíz (*Zea mays*) en agricultura de subsistencia.

Identificar cuál práctica agrícola en el cultivo del maíz (*Zea mays*) en agricultura de subsistencia a evaluar presenta suelos mayormente cargados de agua según su tasa de infiltración.

CAPÍTULO 1

MARCO TEÓRICO

1.1 Antecedentes

En la publicación llamada: *Medición sobre el terreno de la erosión del suelo y de la escorrentía*: emitida por la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura FAO afirma que en el año 1976, se emplearon en Indonesia pozos pequeños en dos cuencas para medir la cantidad de sedimento en dos terrazas paralelas para la siembra de arroz (*Oryza sativa*), en una de ellas se construyeron terrazas y en la otra no, esto sirvió para indicar a los campesinos que se fijaran en la cantidad de sedimento recolectado en los pozos donde las parcelas no se encontraban terraplenadas, con relación a las que no contenían técnica de conservación.

La publicación anterior también afirma que en el año 1980, en Japón se realizó el mismo experimento en un área con reforestación en comparación a un área sin cobertura, empleando el método de pozos de sedimentación, para saber la cantidad de suelo que se pierde en áreas deforestadas y cuanto de erosión reducen las especies forestales de ese país.

María de los Ángeles Choc Cheguen en el año 2015 elaboro su tesis en la carrera de Agronomía: *Zonas potenciales de recarga hídrica de la microcuenca la Isla, Santa Cruz Alta Verapaz*; para ello empleo el ensayo de *Porchet* con el objetivo de determinar la capacidad de infiltración del suelo y emplear dicho dato para estimar la precipitación efectiva en la cuenca,

y expreso que dividió los resultados obtenidos según el uso que se le daba al suelo, debido a que el parámetro evaluado de factor infiltración de aguas en el suelo, es diferente en cada uso de suelo presente.

Además, María de los Ángeles Choc, recomendó dentro de los usos del suelo, el empleo de la agricultura de subsistencia para la siembra de cultivos anuales como maíz (*Zea mays*), frijol (*Phaseolus vulgaris*) y cultivos perennes, indicó que las técnicas de conservación de suelo eran el manejo adecuado para reducir su pérdida constante, por consecuencia de la falta de vegetación permanente en la zona.

En el año 2015 Marlon Coy Figueroa determinó las zonas potenciales de recarga hídrica de la cuenca del río Tzunutz, en donde indicó que únicamente el 35.68% del área de la cuenca tiene una capacidad alta de recarga, además la importancia que tiene el contemplar medidas de protección y conservación para dichas áreas.

1.2 Revisión de la literatura

1.2.1 Erosión

La Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura FAO, en su publicación *Erosión de suelos en América Latina*, en 2016, describe que la erosión del suelo es conocida por la desagregación a causa del transporte y deposición de partículas del mismo, se debe a agentes erosivos dinámicos, que suelen ser la lluvia y el escurrimiento superficial en caso de erosión hídrica.

El impacto de la gota de lluvia sobre el suelo, logra humedecerlo y provoca que se disgreguen sus partículas, que sumadas a la esorrentía son transportadas por aspersion.

1.2.2 Tipología de procesos erosivos

La erosión se presenta en todas partes del mundo bajo distintos comportamientos, por lo que se ha podido clasificar en:

CUADRO 1 CLASIFICACIÓN DE PROCESOS EROSIVOS

Nombre	Característica
Erosión laminar	Pérdida de suelo generada por circulación superficial difusa del agua de escorrentía.
Erosión en surcos	Suelo arrastrado por el flujo del agua que se canaliza y jerarquiza generando surcos.
Erosión en cárcavas	Suelo arrastrado por el agua que al generar cárcavas (estas suelen comenzar en forma de surcos).
Erosión en “ <i>Badlands</i> ”	Erosión en cárcavas profundas generalizada, que llega a eliminar toda la capa de suelo dando lugar a un paisaje “abarrancado”.
Erosión por sufusión (<i>Piping</i>)	Desarrollo de una red de drenaje sub-superficial que termina por colapsarse. Suele acompañar a los paisajes de “ <i>bandalnds</i> ”.
Erosión mecánica	Pérdida de suelo causada por las labores de la labranza.
Nivelamiento del terreno	Pérdida de suelo debida a la modificación humana del perfil original de una ladera o la construcción de terrazas.
Erosión eólica o deflación	Pérdida del suelo debido al efecto erosivo del viento el consiguiente arrastre de los materiales edáficos arrancados.

Fuente. <http://www.madrimasd.org/blogs/universo/2006/03/11/15557>. Año 2006.

“Usualmente, la erosión es considerada como un proceso más de la degradación de los suelos. Sin embargo, en términos más rigurosos, debería diferenciarse entre los mecanismos de degradación o deterioro y los de pérdida del recurso”.¹

¹ Ibañez, Juan José, *La Erosión del Suelo: Tipos de Procesos Erosivos*. Visto. <http://www.madrimasd.org/blogs/universo/2006/03/11/15557>. Madrid, España, 11 de marzo de 2006, (25 de octubre de 2017).

1.2.3 Erosión por uso del suelo

Tyler Miller G.JR. en su libro *Ecología y Medio Ambiente* publicado en el año 1994, publicó que el suelo, en especial el superficial se clasifica como un recurso lentamente renovable que se regenera de manera continua por procesos naturales, por lo que es importante realizar prácticas de manejo que eviten su degradación.

Hugo Marelli, en su publicación *Área Suelos y Producción Vegetal* del sitio *web* Agrolluvia en el año 2004, expresó que la erosión es uno de los principales problemas a nivel global, más allá de impactar directamente las áreas empleadas para su realización, causa efectos negativos y repercusiones en lugares que se ubican en sus cercanías debido al arrastre de sedimentos y contaminación. Sin mencionar que anualmente se estima que el suelo cultivable se pierde entre 5 y 7 millones de hectáreas por año.

1.2.4 Infiltración

“La infiltración es el proceso por el cual el agua en la superficie de la tierra entra en el suelo. La tasa de infiltración, en la ciencia del suelo, es una medida de la tasa a la cual el suelo es capaz de absorber la precipitación o la irrigación, se mide en pulgadas por hora o milímetros por hora. Las disminuciones de tasa hacen que el suelo se sature. Si la tasa de precipitación excede la tasa de infiltración, se producirá escorrentía a menos que haya alguna barrera física.”²

“Factores que afectan la infiltración, relacionados con el suelo son: textura, estructura, contenido inicial de agua, cobertura, pendiente, profundidad del perfil, grietas y costras.”³

² Ciclo Hidrológico.com. visto. https://www.ciclohidrologico.com/infiltracin_del_agua. Visto. (28 de octubre de 2017).

³ *Ibíd.*

1.2.5 Infiltración básica

Para el año 2011, Roberto Marano P. publicó el documento *Relación suelo-agua*. Afirmó que infiltración básica se obtiene en el momento donde el suelo llega a su estabilización, luego que la atmósfera produce los efectos sobre la percolación en el suelo y alcanza la velocidad de infiltración básica que corresponde al instante en que el valor de la infiltración es igual o menor a 10% entre dos intervalos de tiempo.

Infiltración básica según la clase textural del suelo, en milímetros por hora según su clase textural:

- a. Arenoso grueso 25 a 60.
- b. Arenoso fino 18 a 25.
- c. Franco arenoso 14 a 18.
- d. Franco limoso 10 a 14.
- e. Franco arcilloso 7 a 10.
- f. Arcillo limoso 4 a 7.
- g. Arcilloso compacto 2 a 5.

1.2.6 El uso del suelo y la infiltración

El uso del suelo tiende a modificar la cobertura vegetal, esto a su vez puede dar paso a que los suelos se desplacen por arrastre hídrico, pierdan su calidad de infiltración al degradarse las capas superficiales donde la textura es arenosa y dejar al descubierto suelos con texturas arcillosas que se saturan con menor cantidad de agua, que al estar saturados provocan escurrimiento.

“Si bien la influencia de la vegetación sobre la erosión hídrica varía con la época del año, cultivo, grado de cobertura, desarrollo de raíces, etc., podemos considerar que su efecto se relaciona directamente con la intercepción, velocidad de escurrimiento e infiltración.”⁴

1.2.7 Prácticas de conservación de suelos en la agricultura

Según el estudio, *Agricultura Sostenible*, del autor Rafael Solórzano G. en el año 1994, Dentro de los principales objetivos de la agricultura de conservación es el de mantener, mejorar de la capacidad de reacción del suelo contra la sequía, entre otros riesgos, al mismo tiempo proteger y estimular su funcionamiento biológico.

Solórzano G. Rafael enlistó las prácticas de conservación de suelos, que se pueden encontrar distintas variedades yendo desde el establecimiento de estructuras, hasta formas de sembrar y cosechar los cultivos, algunas de estas son:

a. Labranza

Se refiere a las acciones mecánicas que generan las condiciones físicas de los suelos que permiten mantenerlos bajo las condiciones más favorables para la adaptación del cultivo.

b. Cultivo múltiple

Se define como la utilización de la unidad productiva de territorio, para la producción de dos cultivos que se desarrollan intercalados, y también recibe el nombre de: cultivos asociados.

⁴ Roberto, Marano P., *Relación suelo-agua*. <https://dytaguas.files.wordpress.com/2011/10/1-agua-en-suelo-marano-2011.pdf>. Visto (29 de octubre de 2017).

c. Barreras vivas

Son filas de plantas arbustas o macollas, sembradas a lo ancho de la pendiente, a la dirección del viento, o en contorno. Esta práctica tiene como finalidad disminuir el poder erosivo por parte del escurrimiento.

d. Acequias

Son estructuras en forma de zanjas que se trazan de forma transversal a los cultivos, en donde se pretende captar todo el escurrimiento de los cultivos, para luego ser liberado de forma controlada, evitando la erosión hídrica.

e. Terraza

Es una estructura muy efectiva para controlar la erosión y a la vez una de las obras más estéticas. Sin embargo, sus mayores limitantes para ser aplicadas son su costo relativamente alto y su requisito de suelos profundos, consta en terraplenar las pendientes en forma de bloques, para establecer cultivos.

f. Curvas de nivel

Son líneas que trazadas de forma perpendicular a la pendiente de forma transversal en el terreno, de esta manera forman cotas del a distintas alturas paralelas. De esta forma indican los declives del terreno, y la dirección de máxima pendiente del terreno, con agudos de 90° de la base de cada curva, hasta el vértice de su orilla.

1.2.8 Distribución en bloques al azar

“Esta distribución de los tratamientos es la de mayor uso en el diseño de experimentos tiene grandes ventajas cuando el número de tratamientos no excede 15 y cuando es posible agrupar las unidades experimentales en estratos o bloques uniformes, de tal manera que la variabilidad entre unidades experimentales es mínima aun cuando la variación entre estratos o bloques sea alta.”⁵

“En el manejo del experimento los trabajos deberán hacerse por repeticiones y bloques; de tal forma que en un mismo día se hagan repeticiones completas. No se deben efectuar trabajos que dejen repeticiones incompletas. Cada repetición se debe manejar uniformemente.”⁶

La distribución es tan flexible, que si una repetición o bloque se pierde, es posible que se utilicen los resultados del resto de bloques, o bien si en uno de los bloques los resultados incoherentes según los antecedentes o el conocimiento teórico, debido a un manejo inadecuado, sus valores obtenidos deberán ser desechados.

1.3 Marco Referencial

1.3.1 Ubicación y extensión de la subcuenca

La subcuenca del río Tzunutz está ubicada entre los territorios departamentales de San Pedro Carchá y San Juan Chamelco, ambos de Alta Verapaz, dentro de las coordenadas UTM: al norte Y791375, X17113629; al oeste Y790117, X17118904; al sur Y794727,

⁵ Pedro Reyes Castañeda. *Diseños de experimentos aplicados*. Editorial trillas. (México, Iztapalapa, 1984). Pág. 51

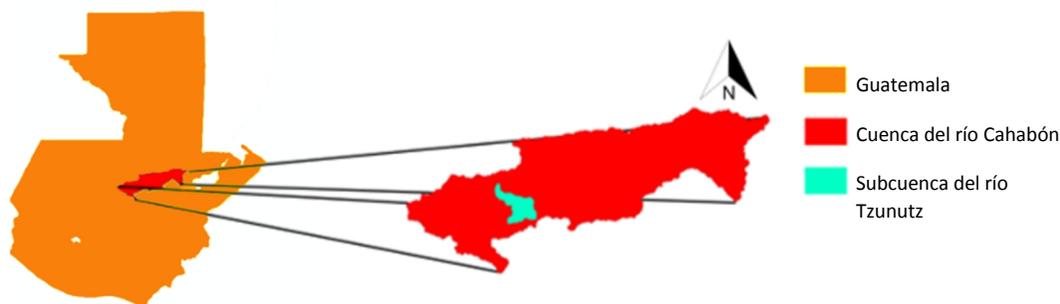
⁶ *Ibidem*,. 53.

X1701559; y al este Y803727, X1703980, la administración de la cuenca está a cargo de la municipalidad de San Pedro Carchá puesto que alrededor del 53% del territorio de la cuenca pertenece a este municipio.

El cauce principal posee una longitud de 20 kilómetros de largo, es alimentado por los riachuelos Queqxibal y Santo Tomas, además cuenta con un área de 75 kilómetros cuadrados.

La subcuenca del río Tzunutz forma parte de la cuenca del río Cahabón, cuya vertiente es hacia el mar Caribe.

MAPA 1 SUBCUENCA DEL RÍO TZUNUTZ EN MAPA DE GUATEMALA



Fuente: Elaboración propia. Año 2017.

1.3.2 Zona de vida

La zona de vida en que se encuentra ubicada la subcuenca del río Tzunutz, según la base de datos espaciales del Ministerio de Agricultura Ganadería y Alimentación MAGA, es bosque muy húmedo subtropical frío en la escala de zonas de vida de *Holdridge*.

Por lo que se puede indicar que su promedio de precipitación anual se encuentra entre los 2 284 milímetros de lluvia anuales, y posee una biotemperatura con un índice de oscilación entre 16 a 23 grados centígrados, con una altura que se encuentra en un rango de 1 100 a 1 800 metros sobre el nivel del mar.

1.3.3 Aspecto social

Según registros del departamento de asistencia técnica del centro de salud de San Pedro Carchá, la zona está habitada por alrededor de 15 comunidades de éste municipio, sin mencionar las comunidades que puede registrar el municipio de San Juan Chamelco, que posee el 47% de su territorio, se estima que un promedio de 175 a 180 viviendas, por lo que alrededor de 1 000 personas pertenecientes a Carchá habitan dicha área y ostentan presión sobre los recursos naturales que allí se encuentra.

El área de coordinación de proyectos de Plan Internacional, por medio de su investigación titulada *Comunidades del área del río Tzunutz, Qeqxibaal y Cahabón San Pedro Carchá*, en 2016 de acuerdo a una muestra de 6 comunidades rurales del municipio de San Pedro Carcha, Alta Verapaz, ubicadas en zonas potenciales de recarga hídrica de la subcuenca del río Tzunutz, la cantidad promedio de miembros por familia es de 5 a 6 personas.

1.3.4 Situación económica

Según Plan Internacional en el municipio de por medio de su análisis social titulado *Comunidades del área del río Tzunutz, Qeqxibaal y Cahabón San Pedro Carchá*, en 2016 el área económica se puede identificar que la mayor ocupación para los hombres son los

jornales, y de las mujeres que ocupan su tiempo en oficios caseros y ventas informales de productos agrícolas. El pago por jornal ronda entre los Q.20.00 y Q.40.00 quetzales por día.

Dicho estudio afirma que dentro de las actividades productivas, existen las agrícolas, que en la mayoría de estas comunidades, son parte de sus tradiciones y costumbres, lo que se suele sembrar con poca tecnificación es: maíz (*Zea mays*) únicamente para autoconsumo, frijol (*Phaseolus vulgaris*) y café (*Coffea*) que solo en el 20% se logra comercializa.

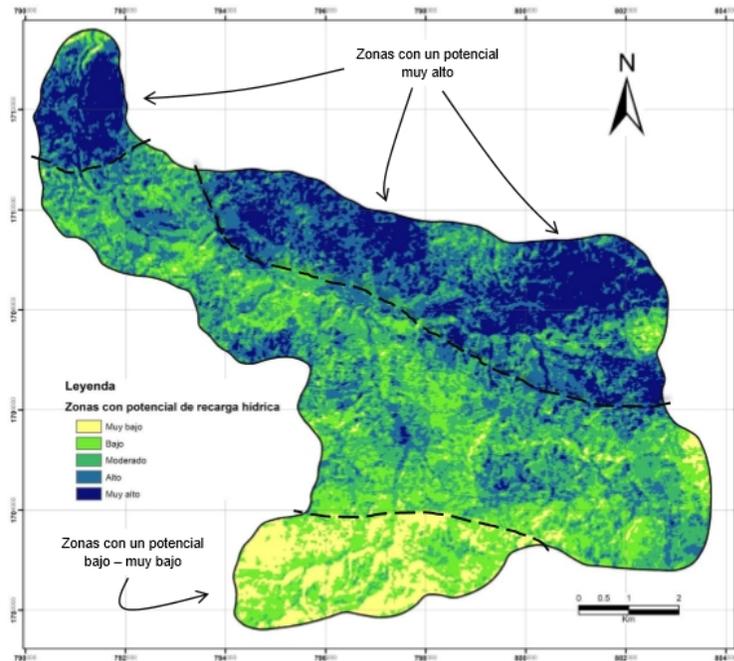
A pesar que el clima de la zona es frío, se registran cultivos de cardamomo (*Elettaria cardamomum*) por ser de interés financiero, estrictamente para el comercio de los agricultores.

1.3.5 Zonas potenciales de recarga hídrica

Marlon Coy Figueroa en el año 2015, en la tesis para la carrera de Geología, *Identificación de zonas potenciales de recarga hídrica de la subcuenca del río Tzunutz*, concluye que tras evaluar a fondo las condiciones naturales y antrópicas, que existen zonas con un buen potencial para la recarga de la unidad hidrográfica.

Coy Figueroa estableció dichas zonas potenciales de recarga hídrica fueron mediante parámetros de uso del suelo, topografía, geología y eventos atmosféricos, posteriormente ponderados, cuyos datos registrados fueron digitalizados empleando sistemas de información geográfica, para luego ser procesados mediante álgebra de mapas, para dar como resultado su delimitación en el siguiente mapa.

MAPA 2 ZONAS POTENCIALES DE RECARGA HÍDRICA DE LA SUBCUENCA DEL RÍO TZUNUTZ



Fuente: Marlon Coy Figueroa. Año 2015.

a. Pendientes

Para la identificación de las zonas potenciales de recarga hídrica se establecieron distintos rangos de pendiente, este es un parámetro fundamental para la recarga en una cuenca, porque a menores pendientes menores el agua carece de corriente, lo que permite se infiltre en el suelo, por el contrario cuando la pendiente es mayor provoca escorrentía superficial.

Particularmente en esta cuenca Coy Figueroa, identificó dentro de zonas potenciales de recarga de esta cuenca pendientes con porcentajes que van desde 0 a 45, que tienen la cualidad de permeabilidad muy alta, alta y moderada.

b. Tipos de suelo

Los tipos de suelo descritos en el año 2015 por Marlon Joaquín Coy Figueroa, en la cuenca se han identificado según su clase textural, bajo un criterio de geología relacionado al nivel de meteorización de la roca dominante en la región.

Además menciona que las texturas presentes en estas áreas, se puede asumir que en su mayoría las zonas potenciales de recarga hídrica de la subcuenca del río Tzunutz poseen las características de: espaciamiento de partículas, compacidad y fracturamiento de agregados; idóneas para indicar que favorecen a la recarga hídrica.

Las muestras para el estudio se tomaron a una escala de 4 km², a lo largo de toda la subcuenca, y se identificaron bajo el método de *Bouyoucus* en donde se obtuvo que las texturas localizadas eran en su mayoría: franco arenoso, franco arcillosas y arcillosas.

Por lo que en zonas potenciales de recarga hídrica se identificaron suelos franco arenosos y franco arcilloso, debido a que la relación que existe entre la clase textural y la capacidad de infiltración en el suelo, la cual es menor en suelos arcillosos por su impermeabilización.

c. Uso del suelo

Los niveles de vegetación y ubicación de poblados determinan las dinámicas del suelo y su capacidad de absorción, a pesar que las actividades con mejor potencial de recarga hídrica registran la presencia de zonas boscosas y pastos naturales, es una realidad

que, en las comunidades rurales ubicadas a lo largo de las zonas potenciales de recarga hídrica, se lleva a cabo la agricultura de subsistencia.

Según Plan Internacional para 2016, los poblados del área de Tzunutz con los que ellos trabajan indicaron que la agricultura se realiza de forma tradicional sin tecnificaciones, por lo que se asumen que carece de prácticas que impulsen una agricultura responsable.

Coy Figueroa contaba con registros del potencial de recarga en la cuenca según el uso del suelo en el año 2006, para efecto de su tesis ya mencionada, en donde afirma que existe cierto balance en general de la relación entre agricultura y bosques.

d. Precipitación

Coy Figueroa, en el año 2015, en la tesis de la carrera de geología, decidió analizar dato de precipitación del área, mediante registros de 20 años atrás, para la identificación del gradiente de lluvias en la zona de interés, los cuales carecen de una referencia que indique el periodo de retorno.

En dicho estudio se nota que para la subcuenca del río Tzunutz las precipitaciones van en aumento desde el sur hacia el norte, que es donde se identificaron las zonas potenciales de recarga hídrica.

1.4 Hipótesis

Las prácticas de conservación del suelo: curvas de nivel y barreras vivas, en el cultivo de maíz (*Zea mays*) en agricultura de subsistencia, puede reducir la erosión e incrementar la infiltración, en comparación con las prácticas tradicionales de este cultivo en las zonas potenciales de recarga hídrica de la subcuenca del río Tzunutz, Carchá Alta Verapaz.

CAPÍTULO 2

METODOLOGÍA

2.1 Generalidades

Se establecieron 12 parcelas dentro de cultivos de maíz (*Zea mays*) pertenecientes a la subcuenca del río Tzunutz, donde se compararon tres tratamientos, dos de ellos poseían prácticas de conservación de suelo como: curvas de nivel, curvas de nivel con barreras vivas de té de limón (*Cymbopogon citratus*), a diferencia del tratamiento testigo que incorporó prácticas tradicionales de la región.

En el experimento propuesto se implementó bloques al azar con cuatro repeticiones, donde la unidad experimental posee medidas de 10 x 15 metros para cada práctica de conservación con el cultivo de maíz (*Zea mays*), se implementó un área total de 600 m² para todo el experimento, con el objetivo de medir la cantidad de suelo erosionado, además de registrar el comportamiento de la infiltración, en cada tratamiento a evaluar mediante análisis de varianza estadística.

2.1.1 Definición del problema

La subcuenca del río Tzunutz está ubicada en medio de los municipios de San Pedro Carchá y San Juan Chamelco, forma parte de la cuenca del río Cahabón, el cual es el río más importante para el municipio.

En la subcuenca del río Tzunutz en el año 2015, Marlon Joaquín Coy Figueroa elaboró su tesis en la carrera de geología llamada: *Identificación de zonas potenciales de recarga hídrica en la subcuenca del río Tzunuz*, en donde identificó las áreas que tienen mayor probabilidad de contar con una recarga de agua muy bajo, bajo, moderado, alto y muy alto; para ello evaluó las variables: tipo de suelo, uso del suelo, cobertura vegetal, pendiente, densidad de lineamientos, densidad de depresiones kársticas, escorrentía superficial y precipitación local.

En las zonas potenciales de recarga hídrica se ubican 8 comunidades rurales que son: Tzunutz, La Esperanza, Sehubub, Chisón, Chirrucbiquim, Chinasis, Queqxibal, Secochoy y Tipulcan, pertenecientes a San Pedro Carchá.

En estas comunidades rurales, se realizan actividades agrícolas, como el cultivo del maíz (*Zea mays*) en agricultura de subsistencia, al emplear técnicas rudimentarias que han sido transferidas de manera cultural, tales como: roza agrícola, surcos a favor de la pendiente, siembra de cuatro semillas por postura, etc, sin soporte técnico que evite los efectos de la erosión como por ejemplo: no establecen estructuras de conservación de suelos, el uso de barreras vivas, acequias, entre otras.

Lo anterior podría llegar a presentar efectos tales como: “disminuir hasta en un 50% la recarga de un acuífero por la actividad humana”⁷, el emplear el suelo para cultivos anuales se presenta una recarga baja, que a su vez es posible que se produzca a efecto de la erosión a consecuencia de malas prácticas agrícolas.

⁷ Oscar Matus et. Al. *Guía para la identificación de zonas con potencial de recarga hídrica*. 2009 <http://orton.catie.ac.cr/repdoc/A5974E/A5974.Epdf> (8 de febrero de 2017).

Por lo tanto incorporar estructuras de conservación de suelo, probablemente reduzca la pérdida de este recurso a consecuencia del arrastre hídrico, provocado por el impacto de la gota de lluvia sobre las partículas de suelo expuesto en terrenos con cierto ángulo de inclinación; al frenar la erosión que se presenta según: la precipitación, la pendiente, la cobertura y los mantos o capas del suelo.

“Una severa erosión del suelo superficial reduce la capacidad de retención del agua en un suelo”⁸. Es porque la capa superior del suelo por lo general suele tener una estructura que favorece la infiltración del agua de lluvia hacia capas con mayor capacidad de retención y aporte para la recarga hídrica de la cuenca.

Por lo anterior es importante cuantificar la erosión e infiltración que se produce bajo una agricultura de subsistencia sin y con prácticas de conservación de suelos para responder las siguientes preguntas:

¿Existe una pérdida de infiltración generada por las prácticas agrícolas en la siembra de maíz (*Zea mays*) en la subcuenca del río Tzunutz?, ¿Cuánto suelo se puede erosionar al implementar las prácticas tradicionales en la siembra de maíz (*Zea mays*) en dicha subcuenca? y ¿Cuál de los tres tratamientos evaluados presenta una mayor sostenibilidad en cuanto a su nivel de erosión y calidad de infiltración en el cultivo de maíz (*Zea mays*) bajo agricultura de subsistencia en las zonas potenciales de recarga hídrica del río Tzunutz?.

⁸ Tyler Miller G.JR. *Ecología y Medio Ambiente*, Grupo Editorial Iberoamérica. Pág. 345 (México, 1994).

2.1.2 Justificación

Es necesario estudiar las actividades agrícolas actuales en las zonas con potenciales de recarga hídrica alta y muy alta del río Tzunutz de San Pedro Carchá, A.V, para indicar como se da el aprovechamiento del recurso suelo. A partir de esto generar información sobre acerca de los impactos de esas prácticas en la agricultura, si se centran los esfuerzos en zonas con alto y muy alto potencial de recarga hídrica, esto representaría un mejor aprovechamiento de dicho recurso en esta unidad hidrográfica.

De acuerdo a las variables desarrolladas para definir las zonas potenciales de recarga hídrica en la subcuenca del río Tzunutz, la variable uso del suelo determina los posibles impactos ambientales que el hombre puede causar por su intervención en la subcuenca, al no contemplar el empleo de prácticas agrícolas sostenibles sobre cada recurso natural que interviene en la producción de maíz (*Zea mays*). Es importante observar el impacto sobre el recurso suelo y su relación con la infiltración debido a las actividades involucradas en el cultivo de granos básicos para la subsistencia, en los distintos poblados localizados dentro de las zonas con buen potencial de recarga.

Es necesario elaborar un experimento en áreas que las familias utilicen para establecer agricultura de subsistencia en la actualidad, para evaluar mediante una comparación del desgaste de la lámina de suelo que se presenta por la erosión, al emplear tratamientos tradicionales con respecto a tratamientos que incluyan técnicas de conservación de suelos; con el fin de indicar si existen diferencias importantes.

Además él estudiar el comportamiento de la infiltración en los distintos tratamientos, para determinar el tiempo promedio en que se satura el suelo a lo largo de un ciclo de siembra de maíz (*Zea mays*), mientras se presenta el fenómeno de la erosión en esta áreas.

Con el fin de registrar la dinámica del impacto de la erosión y el comportamiento de la infiltración, como consecuencia del empleo de la agricultura tradicional, que no previenen este impacto para las zonas con alto y muy alto potencial de recarga de la subcuenca.

De esta manera generar información que indique si alguno de los tratamientos evaluados conserva el suelo en mayor medida y garantiza una mayor sostenibilidad de este recurso en la subcuenca del río Tzunutz. Se espera recomendar un tratamiento con prácticas de conservación para el uso del suelo a nivel rural en las ocho distintas comunidades que se encuentran dentro de las zonas potenciales de recarga hídrica y que mantenga las condiciones que ya se identificaron como buenas para la recarga.

2.1.3 Tipo de la investigación

La investigación es de naturaleza cuantitativa explicativa mediante un diseño experimental, que pretende explicar la relación entre las variables clase textural, pendiente, precipitación y profundidad con el impacto de la erosión e infiltración del suelo.

2.2 Metodología de la experimentación

2.2.1 Distribución en bloques al azar

Se utilizó esta distribución estadística porque se cumplían las condiciones del número de tratamientos máximos permitidos y el número mínimo de bloques evaluado por día.

2.2.2 Análisis de resultados con varianza

Pedro Reyes Castañeda, en su texto *Diseños experimentales* del año 1984, dijo que el análisis de varianza consiste en separar la variabilidad capturada por cada uno de los factores que influyentes sobre los tratamientos que componen el experimento.

Mediante el siguiente modelo:

$$Y_{ij} = \mu + A_i + E_{ij}$$
$$i = 1, 2, 3 \quad J = 1, 2, 3, 4$$

Y_{ij} = Variable respuesta; en μ condiciones del i tratamiento observación de j repeticiones.

μ = Condiciones homogéneas de las unidades experimentales dentro de cada bloque: pendiente, precipitación, clase textural y profundidad de suelo.

A_i = Efecto del i esimo tratamiento.

E_{ij} = Error experimental, presente en cada unidad experimental en j esimas repeticiones.

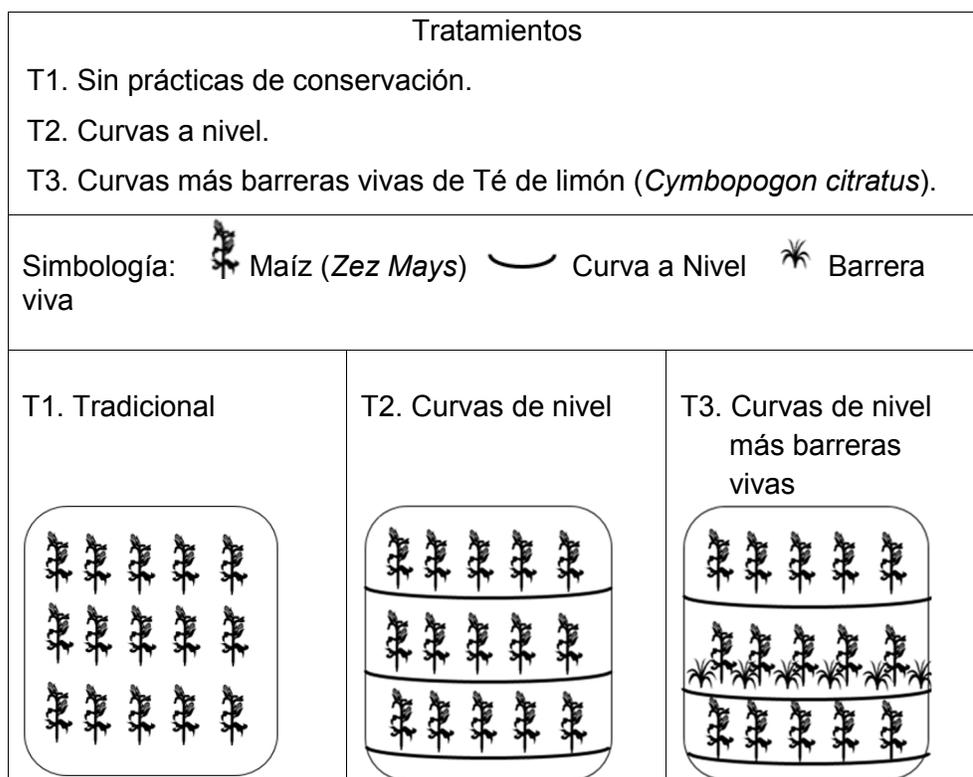
2.2.3 Prueba de significancia

a. Prueba de *Tukey* (comparación múltiple)

“Este método se emplea para hacer todas las comparaciones múltiples que son posibles con los tratamientos. El procedimiento consiste en calcular un valor teórico común o diferencia mínima significativa.”⁹

“En caso contrario, las medias se deben considerar iguales o equivalentes, o la diferencia observada estima a cero y por lo tanto estadísticamente no significativas.”¹⁰

2.2.4 Esquema experimental

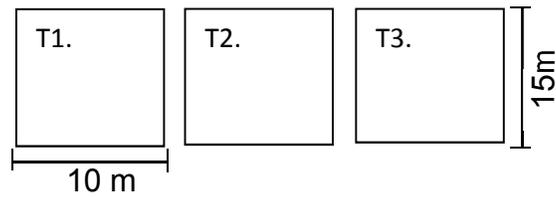


Fuente. Elaboración propia. Año 2018.

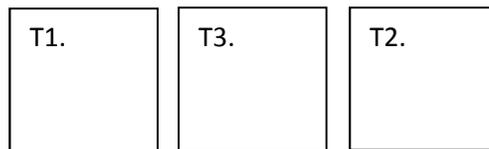
⁹ Ibidem,. 109.

¹⁰ Ibidem,. 110.

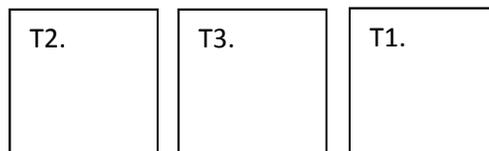
Bloque I ubicado en pendientes del 15% al 19%.



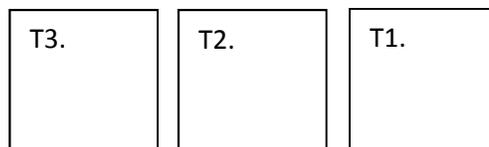
Bloque II ubicado en pendientes del 20% al 24%.



Bloque III ubicado en pendientes del 25% al 28%.



Bloque IV ubicado en pendientes del 29% al 32%.



Fuente. Elaboración propia. Año 2018

2.2.5 Variables respuesta

Las variables de respuesta se registraron cada 15 días, durante el periodo que duró el experimento siendo estas:

- 1) Erosión: kilogramos / metro cuadrado.
- 2) Infiltración: centímetros / hora.

2.2.6 Manejo del experimento

Para la realización del estudio se delimitaron áreas de 10 x 15 metros con un total de 150 m² para cada tratamiento, por lo cual se necesitaron 600 m² por bloque con un total de 1 800 m² dentro del área de zonas potenciales de recarga hídrica.

El manejo agronómico de todos los tratamientos fue el utilizado tradicionalmente por los pobladores en cuanto a fertilización, labranza, calzado de plantas, control de malezas, ahoyado y número de semillas por hoyo. Se obviaron los procedimientos tradicionales referentes a curvas de nivel e implementación de barreras vivas, debido a que estas son las variables del estudio.

2.3 Metodología para incorporación de curvas a nivel

Se realizaron las curvas de nivel con un nivel "A" o agronivel, el cual constó con 2 metros de apertura. Cada vértice obtenido por medio del agronivel, se marcó con una estaca, posteriormente se establecieron las curvas de forma perpendicular a la pendiente con herramientas agrícolas utilizadas por los pobladores. Las mediciones comenzaron en la parte alta de las unidades experimentales hasta la parte bajo.

2.4 Metodología para incorporación de barreras vivas

Como barreras vivas se utilizaron plantas de té de limón (*Cymbopogon citratus*), debido a que son fáciles de obtener, se adecuan a las características climáticas presentes en la zona, puede ser aprovechada

comercialmente, presenta un buen anclaje e infiltración gracias a su sistema radicular y su estructura en forma de macolla permite reducir eficazmente la velocidad de escorrentía.

Fueron dispuestas en campo a cada 0.75 m, sobre una curva a nivel, con una separación de 7 m del límite superior de cada parcela.

2.5 Método pozos de sedimentación con cubierta de plástico

Se estableció un pozo de sedimentación en cada parcela para determinar erosión debido a que es un método de bajo costo para la medición del movimiento relativo del suelo.

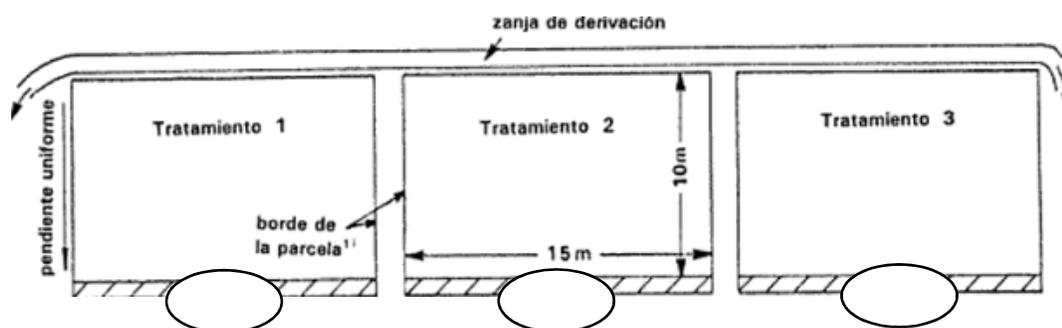
“Cuando el sedimento procede de un suelo de grano fino como el limo depositado por el viento, o una arcilla aluvial, el sedimento puede estar casi totalmente en suspensión”¹¹.

Esto se presenta al momento de que el suelo es expuesto ante una corriente de agua que no ha sido absorbida por el suelo.

Por lo que se trata de captar todos los sedimentos provenientes de un área delimitada, por medio de la excavación de un pozo y un sistema de canales recubiertos de plástico, lo suficientemente grandes para que se pueda captar todo el movimiento del suelo a través de la pendiente del terreno, en los distintos tratamientos de cada parcela.

¹¹ *Sedimentación del suelo*. Visto. <http://www.fao.org/docrep/T0848S/t0848s07.htm#TopOfPage>. (19/07/2017).

IMAGEN 1
DIAGRAMA ESQUEMÁTICO DE MÉTODOS PARA
TRATAMIENTOS DE EROSIÓN DE HOWELER 1987 Y POZOS
DE SEDIMENTACIÓN



Fuente: <http://www.fao.org/docrep/T0848S/t0848s0h.gif>, Año 2017.

Por lo que los sedimentos que se conduzcan hacia los pozos deberán ser recabados, secados y pesados, para obtener la cantidad total en kilogramos, de suelo erosionado por efectos del arrastre que tiene la escorrentía superficial del agua que no se infiltra al suelo.

2.6 Profundidad del suelo

Según el Instituto Nacional de Bosques INAB, en su guía *Clasificación de Tierras por Capacidad de Uso Aplicación de una Metodología para Tierras de la república de Guatemala*, publicada desde 1996, es aquella profundidad efectiva del suelo en donde las raíces de las plantas pueden crecer de manera vertical fácilmente para obtener agua y nutrientes.

Para esta región se mide en función de la presencia de un cuerpo edáfico distinto al horizonte "O" el cual es conocido como humus, está formado por material orgánico acumulado en la superficie del suelo que se compacta por la fuerza de gravedad y presión atmosférica, por esta razón es la capa con mejor grado de compactación que posee la mayor permeabilidad.

Para medir la profundidad se realizó una calicata por la cual se midió el perfil de manera vertical desde la superficie hasta el primer cambio de horizonte visible en color y textura.

2.7 Clase textural por el método *Bouyoucus*

2.7.1 Toma de muestras

Se tomó una muestra de cada unidad experimental, para comparar y observar el tipo de clase textural que posee su horizonte superior, a 30 centímetros de profundidad.

2.7.2 Proceso en el laboratorio

Se trabajó en laboratorio E1 de ciencias biológicas de la carrera de agronomía en el Centro Universitario del Norte de Cobán, Alta Verapaz, al inicio se pesó una cierta cantidad de suelo seco tamizado, y se le agregó un dispersante, se deja reposar durante unos minutos y se agitó por 2 horas de forma manual o mecánica.

El suelo que quedó suspendido se introdujo en una probeta de 1000 ml con agua destilada, el nivel del agua se mide con el hidrómetro dentro del cilindro, se volvió a agitar la solución, para después introducir el hidrómetro a los 40 segundos y se tomó la lectura de las partículas en suspensión y además la temperatura con un termómetro, luego se dejó reposar en el recipiente en una superficie plana y pasadas 2 horas se volvieron a tomar las lecturas.

2.8 Precipitación

La precipitación fue medida por medio de un pluviómetro de lectura directa instalado en la cuenca, donde se realizaron lecturas diarias cada 12 horas, a lo largo de la duración del experimento.

2.9 Pendiente

Para iniciar la medición del nivel de inclinación en las parcelas, se preparó el nivel en “A” con 2 metros de apertura entre sus puntas para luego fijarlas al clavarles una vara horizontal graduada, a un metro de altura desde el suelo, que formó un triángulo equilátero con una plomada que colgaba desde su vértice superior, la cual registraba los grados de inclinación entre ambas puntas.

Como lo indicó el Carlos Ordoñez en su guía práctica sobre el *Trazado de curvas de nivel*, en el año 2016, se empleó un “nivel A” o agronivel, para ello se puso una estaca en la cima del terreno como punto de partida para hacer la medición de la pendiente.

Luego se colocó un extremo del nivel A en el suelo, se giró y el otro extremo se suspendió en el aire hasta que el aparato estaba nivelado, se procedió a medir la distancia que tenía el extremo que se encontraba suspendido al aire desde su base hasta el suelo, para obtener un triángulo equilátero, y calcular el ángulo de pendiente.

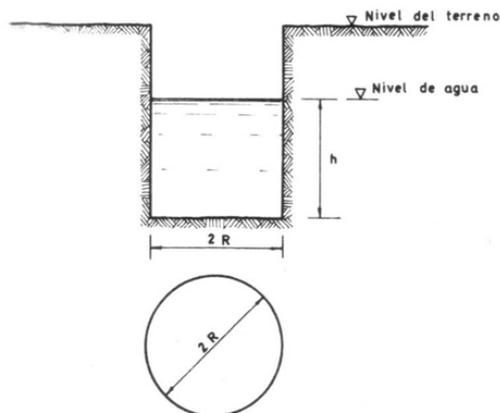
2.10 Infiltración del suelo por medio del ensayo de *Porchet*

2.10.1 Procedimiento

Se siguió la metodología que sugirió Ángel Arce Canahuí, en su guía *Determinación de la velocidad de infiltración a través método del Infiltrómetro de Doble Cilindro y el método de Porchet*, por lo que los ensayos de *Porchet* consistieron en excavar en la tierra un cilindro de radio (R) y profundidad conocida (h), para luego llenarlo con agua hasta el tope del cilindro con una lámina impermeabilizante y retirar la cubierta de plástico, y medir el tiempo en que se infiltraba el agua, haciéndolo en repetidas ocasiones, hasta alcanzar la saturación básica, en donde la infiltración se da a un ritmo menor de manera notable.

A lo largo del experimento se elaboró este ensayo en aproximadamente 108 ocasiones, 9 veces en cada unidad experimental.

IMAGEN 2 DIAGRAMA DEL PERFIL DEL CILINDRO DE *PORCHET*



Fuente. <http://walterbardalesrecursoshidricos.blogspot.com/2017/10/prueba-de-infiltracion.html>. Año 2017

CUADRO 2
VARIABLES E INDICADORES AMBIENTALES DE LOS PUNTOS
DE MUESTREO

Variables	Indicadores	Dimensional
Suelo	Grosor del primer horizonte.	cm
	Clase textural	Porcentaje de arena, arcillas y limo
Infiltración	Velocidad de infiltración.	mm/hora.
Pendiente	Porcentaje de pendiente	%
Precipitación	Cantidad de lluvia	mm/día
Erosión	Suelo erosionado.	kg/m ²

Fuente: Elaboración propia. Año 2017.

CAPÍTULO 3

ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

3.1 Profundidad efectiva

La profundidad efectiva de las unidades experimentales se midió con una cinta métrica donde se obtuvieron los siguientes resultados:

CUADRO 3
PROFUNDIDAD EFECTIVA DE SUELO EN LAS UNIDADES EXPERIMENTALES

Bloque Tratamiento	Bloque 1 15% a 19% de pendiente	Bloque 2 20% a 24% de pendiente	Bloque 3 25% a 28% de pendiente	Bloque 4 29% a 32% de pendiente
Tratamiento 1 Sin conservación	53 cm	50 cm	38 cm	49 cm
Tratamiento 2 Curvas a nivel	55 cm	55 cm	40 cm	44 cm
Tratamiento 3 Curvas a nivel más barreras vivas	61 cm	51 cm	44 cm	47 cm

Fuente. Elaboración propia. Año 2018.

La profundidad efectiva promedio del experimento es de 48.97 cm, para lo cual el Instituto Nacional de Bosques INAB, da una clasificación agrologica de: cultivos anuales con mejoras y agroforestería, y agricultura de cultivos permanentes, para conservar el suelo ya que estamos en las tierras calizas del norte.

3.2 Pendiente

Las pendientes que se obtuvieron mediante el empleo del agronivel fueron para bloque 1: 15% al 19%, para bloque 2: 20% a 24%, bloque 3: 25% a 28% y bloque 4: 29% a 32%.

3.3 Clase textural

Para definir la clase textural del suelo se empleó el método de *Bouyucus*, descrito en la metodología, los resultados fueron los siguientes.

CUADRO 4
CLASE TEXTURAL POR EL MÉTODO DE *BOUYUCUS*

Partes	Tratamiento		Tratamiento 1	Tratamiento 2	Tratamiento 3
	Bloque				
Arena	Bloque 1		18.98%	30.18%	25.74%
Arcilla			5.54%	6.84%	9.06%
Limo			75.49%	62.98%	65.20%
Arena	Bloque 2		33.71%	28.79%	37.76%
Arcilla			17.60%	19.76%	8.10%
Limo			48.70%	51.45%	54.14%
Arena	Bloque 3		48.26%	56.74%	51.45%
Arcilla			8.86%	14.05%	12.79%
Limo			42.88%	29.21%	35.76%
Arena	Bloque 4		30.43%	25.51%	21.70%
Arcilla			0.19%	0.18%	0.21%
Limo			69.38%	74.31%	78.09%

Fuente: Elaboración propia. Año 2018.

Se determinó que el suelo, dentro de cada bloque poseía homogeneidad; el tercero presentó suelos franco arenosos, a diferencia del resto cuya clase textural fue de franco limosos, ambos buenos para la recarga hídrica por su estructura granulométrica, que posee 30% a 50% mayor capacidad de infiltración que los suelos franco arcillosos.

3.4 Precipitación

Según la precipitación registrada en el área en donde se implementó el experimento, durante el mes de julio al mes de octubre, las cantidades de lluvia fueron las siguientes:

**CUADRO 5
REGISTRO DE LA PRECIPITACIÓN EN MILÍMETROS**

Día	Mes 1	Mes 2	Mes 3	Mes 4	Mes 5
1	2	36	0	14	4
2	10	4	12	54	0
3	16	16	4	35	1
4	2	0	5	4	3
5	4	12	15	57	0
6	0	33	22	80	---
7	0	10	0	4	9
8	0	0	0	4	3
9	0	58	9	22	4
10	0	0	7	9	3
11	6	12	51	0	10
12	23	12	77	1	1
13	0	1	12	5	16
14	4	1	37	0	28
15	6	8	0	0	0
16	0	0	14	2	60
17	8	0	12	54	58
18	0	3	28	18	8
19	2	---	15	4	2
20	14	16	0	0	16
21	39	27	0	0	2
22	0	29	0	5	4
23	12	48	1	75	34
24	0	0	2	9	0
25	0	0	3	42	0
26	0	0	3	35	0
27	0	0	0	1	
28	0	0	6	1	7
29	0	4	77	2	5
30	10	9	15	4	0
31	19	---		1	

Fuente: Elaboración propia con base en trabajo de campo. Año 2017.

La precipitación en el área, representó una sumatoria total de 1 763 milímetros de lluvia, durante el tiempo que se llevó a cabo el experimento. En el mismo periodo de tiempo la estación Cobán registró 1 478 milímetros de lluvia, lo que indica que en la cuenca se obtuvo un incremento del 16.13% de lluvia.

3.5 Erosión

La erosión se obtuvo con el método de pozos de sedimentación con cubierta plástica, en los tratamientos: T1 (sin conservación) T2 (curvas a nivel) y T3 (curvas a nivel más barreras vivas de té de limón (*Cymbopogon citratus*); luego del periodo en que se desarrolló el experimento y el resultado fue el siguiente:

CUADRO 6
SUELO EROSIONADO EN KILOGRAMOS

Repetición	Lectura 1	Lectura 2	Lectura 3	Lectura 4	Lectura 5	Lectura 6	Lectura 7	Lectura 8	Lectura 9	Total
Bloque 1										
T3	2.9665	2.3587	2.3315	0.5080	0.5080	0.7031	0.9525	0.5897	2.2680	13.1859
T2	2.3133	1.6329	2.3904	1.2380	0.5443	0	0.4536	1.2066	0.4536	10.2330
T1	3.5335	1.9504	2.7216	0.6350	0.4536	0.4990	0.4540	1.0251	0.6804	11.9522
Bloque 2										
T3	6.8039	1.9504	7.4389	2.7352	2.2680	2.3042	2.8123	4.1640	1.0433	31.5201
T2	3.8555	3.8102	6.1870	3.9463	3.3657	4.6040	1.0886	1.1703	0.9979	29.0254
T1	6.5771	5.5338	7.3482	5.6971	3.2568	1.1340	0.9052	0.9092	1.3608	32.7221
Bloque 3										
T3	2.3179	2.9982	6.7132	0.9525	0.5536	0.9062	0.9172	0.9299	1.2728	17.5404
T2	8.3733	4.0823	1.8325	7.5659	4.7174	2.1772	4.5359	5.5157	0.9072	39.7074
T1	15.4221	9.1399	26.6440	0.5690	1.6329	1.9414	5.5338	9.5354	1.3527	71.7673
Bloque 4										
T3	3.5289	2.7216	3.3747	0.9072	0.7756	0.4536	4.2456	9.7069	1.3608	27.0749
T2	11.5666	5.1256	5.5883	3.7784	2.8213	3.8555	1.5876	3.6741	0.9072	38.9046
T1	12.2923	5.5701	13.6259	4.2184	2.9483	5.2163	7.1123	12.7913	2.7216	66.4966

Fuente: Elaboración propia. Año 2018.

Al momento en que se pesaba el suelo erosionado, se extraían muestras de 100 gr, que se utilizaban para ser pesadas con la humedad que conservaban en los pozos, luego fueron secados al sol para volverse a pesar y de esa manera obtener una lectura más exacta de suelo erosionado.

CUADRO 7
CUADRO DE RESULTADOS DE LA EROSIÓN EN
KILOGRAMOS

Tratamientos Bloques	T1 Sin Conservación	T2 Curvas a nivel	T3 Curvas a nivel más barreras vivas	\bar{X}_i
Bloque 1 15% – 19%	11.95	10.23	13.19	35.37
Bloque 2 20% – 24%	32.71	29.03	31.52	93.27
Bloque 3 25% – 28%	71.77	39.71	17.54	129.02
Bloque 4 29% – 32%	66.50	38.90	27.07	132.46
\bar{X}_i	182.94	117.87	89.32	

Fuente: Elaboración propia. Año 2018.

Al observar los resultados del cuadro 7 se puede notar en el bloque uno 15% a 19% que el tratamiento con curvas a nivel presentó la erosión más baja 10.23 kg/150m², el cual redujo la erosión en 2.91 kg/150m² al compararlo con el tratamiento de curvas a nivel más té de limón (*Cymbopogon citratus*) como barreras vivas y en 1.72 kg/150m² con respecto al tratamiento tradicional.

Al observar los resultados en el bloque dos 20% a 24% de pendiente se obtuvo que nuevamente el tratamiento con curvas a nivel presenta la menor erosión con 29.02 kg/150 m², además redujo la erosión en 2.45 kg/150m² en

comparación al tratamiento de curvas a nivel más té de limón (*Cymbopogon citratus*) como barreras vivas y en 3.69 kg/150m² con relación al tratamiento sin estructuras de conservación.

La clase textural de los bloques 1 y 2 fue franco limoso, su estructura de tipo granular compuesta por partículas semi-finas que sumada a una pendiente poco limitante, evitaron que la erosión del tratamiento sin conservación fuese demasiado intensa en comparación a los tratamientos con prácticas de conservación.

En el cuadro 7 el resultado de la erosión para el bloque uno fue 35.37 kg/450 m², en el bloque dos la erosión resulto ser 93.27 kg/450 m² es decir que presentó un impacto mayor en 57.92 kg/450m² en el segundo bloque debido al aumento de pendiente entre ambos.

Al fijarse en el comportamiento del suelo erosionado en el bloque tres con 25% a 28% de pendiente, incrementó de 93.65 kg/450m² de suelo erosionado con relación al bloque uno, en 35.75 kg/450m² de suelo erosionado con respecto al bloque dos y una visible reducción de 3.45 kg/450m² comparado al bloque cuatro con 29% a 32% de pendiente, donde una vez más la pendiente jugo un papel importante en el incremento del suelo erosionado.

En el bloque tres la erosión se comportó de forma similar al bloque cuatro a pesar que poseían pendientes distintas, porque sus suelos eran franco arenosos, cuya estructura granular estaba compuesta por agregados más gruesos en comparación a los franco limosos, en ambos casos se pudo observar la eficacia de los tratamientos de conservación porque se trataban de pendientes limitantes para cultivos limpios.

3.5.1 Análisis de varianza de suelo kg/150m²

Empleando los datos del cuadro 6, los resultados del análisis de varianza con un nivel del 5% de significancia son:

CUADRO 8
ANÁLISIS DE VARIANZA DE LA EROSIÓN

Varianza Factores Varianza	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Varianza de Cuadrados Medios	Estadístico de prueba observad	Estadístico de prueba teórico	Sign.
Tratamientos	2	1151.08	575.54	2.96	5.14	N.S
Bloques	3	2031.48				
Error	6	1165.46	194.24			
Total	11	4348.03				

Fuente: Elaboración propia. Año 2018.

S= Significancia

N.S= No hay significancia

% de Varianza de tratamientos = $(1151.08 / 4348.03) * 100 = 26.47\%$.

% de Varianza de bloques = $(2031.48 / 4348.03) * 100 = 46.72\%$.

% de Error = $(1165.46 / 4348.03) * 100 = 26.80\%$.

Con base en los resultados del cuadro 8 se rechaza la hipótesis del estudio, al determinar que no hubieron diferencias significativas en cuanto a la reducción de la erosión entre los tratamientos con un nivel de ($\alpha = 5\%$).

Sin embargo hay que notar que al sumar las cantidades de la erosión obtenida en cada tratamiento por separado de los bloques 3 y 4, el resultado de los tratamientos es: tratamiento con curvas de nivel más té de limón (*Cymbopogon citratus*) como barreras vivas 44.61 kg/300m², tratamiento con solo curvas de nivel 78.61 kg/300m², y el tratamiento sin conservación 138.27 kg/300 m², el primer

tratamiento registra 93.66 kg/300m² menos de erosión que el tratamiento tradicional, indica que la efectividad de las prácticas de conservación suele ser visible a partir del 25% de pendiente en un terreno en donde se cultive maíz (*Zea mays*).

Al realizar la misma comparativa entre los bloques 1 y 2 el resultado de las sumas de erosión por tratamiento sería: tratamiento con curvas de nivel más té de limón (*Cymbopogon citratus*) como barreras vivas 44.71 kg/300m², tratamiento curvas de nivel 39.26 kg/300m², y el tratamiento sin conservación 44.66 kg/300m², debido a que la diferencia de erosión entre el tratamiento de curvas a nivel y el tratamiento sin conservación es de 5.4 kg/300m², se evidencia la baja efectividad de los tratamientos de conservación de suelo en pendientes que son iguales o menores al 24% en la siembra de maíz (*Zea mays*).

Al momento en que se agruparon los bloques 1 - 2 y 3 - 4, para comparar sus resultados de erosión por cada tratamiento, se nota la razón por la cual los bloques capturaron el 46.72% de la variabilidad total, según el análisis de varianza a pendientes mayores al 25% los tratamientos de conservación fueron efectivos.

En términos globales el tratamiento con curvas a nivel más té de limón (*Cymbopogon citratus*) como barrera viva presentó la menor cantidad de suelo erosionado 89.32 kg/600m² con respecto al tratamiento con curvas a nivel 117.82 kg/600m² y el tratamiento sin conservación que presentó la mayor cantidad de pérdida de suelo por erosión 182.94 kg/600m².

Se determina que luego de evaluar las 3 prácticas agrícolas, el tratamiento de curvas a nivel más té de limón (*Cymbopogon citratus*) como barreras vivas reduce en mayor cantidad 93.62 kg/600m² el grado de erosión de suelo en comparación al tratamiento tradicional en el cultivo del maíz (*Zea mays*) en agricultura de subsistencia.

3.6 Infiltración

La infiltración básica se obtuvo luego de emplear los ensayos de *Porchet*, se procesó la información obtenida, empleando los modelos matemáticos de *Porchet* y *Kostiakov* y *Lewis* para obtener un mejor ajuste y representación del fenómeno observado.

CUADRO 9
INFILTRACIÓN BÁSICA EN CENTÍMETROS/HORA

Repetición	Lectura 1	Lectura 2	Lectura 3	Lectura 4	Lectura 5	Lectura 6	Lectura 7	Lectura 8	Lectura 9	Promedio
Bloque 1										
T3	0.1339	1.3181	0.8313	1.7246	2.3086	2.4264	3.1556	7.9365	3.2859	2.5690
T2	0.1037	2.9276	0.3005	2.2964	4.7529	1.6580	1.4644	3.8232	1.2663	2.0659
T1	0.6838	2.5067	1.3928	1.6720	2.3752	2.9295	10.890	2.6047	1.5301	2.9539
Bloque 2										
T3	0.9886	0.5968	1.0054	1.8826	1.9955	2.7300	2.7749	3.0652	1.8542	1.8770
T2	1.6026	1.7271	1.4503	1.2009	1.8794	3.2974	3.2225	2.6881	2.2486	2.1463
T1	0.9248	0.1966	2.5890	1.3676	1.2212	3.3537	3.3315	5.5170	3.9543	2.4951
Bloque 3										
T3	1.0933	0.2886	1.9983	1.9635	2.7194	0.9679	1.7947	1.9813	1.7506	1.6175
T2	1.7594	1.2339	1.8752	2.8871	2.3989	0.5620	1.1700	1.8463	1.5330	1.6962
T1	2.9216	0.9497	2.1478	2.0581	1.5146	1.9264	2.0363	1.8221	1.3319	1.8565
Bloque 4										
T3	1.4515	0.2980	2.5429	1.9330	2.0754	3.1424	2.3513	2.1498	1.5945	1.9488
T2	0.4689	2.7427	2.1162	1.4805	2.9436	2.9913	2.2707	3.2972	0.9865	2.1442
T1	8.7562	1.4059	1.9183	1.5366	2.7074	3.0706	2.3284	1.5817	1.8502	2.7950

Fuente: Elaboración propia. Año 2018.

Los ensayos de *Porchet* fueron elaborados con el empleo de una herramienta que estandarizaba el radio de los agujeros en el suelo y ofrecía un rango de 14 a 9 centímetros de profundidad.

Las pruebas se elaboraron por lo general en un periodo menor a 24 horas, luego de la última lluvia sobre las unidades experimentales.

CUADRO 10 CUADRO DE RESULTADOS DE LA INFILTRACIÓN BÁSICA EN CM/H

Tratamientos Bloques	T1 Sin Conservación	T2 Curvas a nivel	T3 Curvas a nivel más barreras vivas
Bloque 1 15% – 19%	2.95	2.07	2.57
Bloque 2 20% – 24%	2.50	2.15	1.88
Bloque 3 25% – 28%	1.86	1.70	1.62
Bloque 4 29% – 32%	2.80	2.14	1.95

Fuente: Elaboración propia. Año 2018.

En el cuadro 10 se presentan los promedios de infiltración básica para los sistemas con estructuras de conservación y sin conservación en la producción de maíz (*Zea mays*) y para las diferentes pendientes evaluadas.

A partir del cuadro 10 en el bloque uno en pendientes de 15% a 19%, la infiltración básica media cuando el tratamiento no contiene prácticas de conservación fue de 2.95 cm/h, un 12.88% mayor respecto al tratamiento con curvas a nivel más té de limón (*Cymbopogon citratus*) cuya infiltración básica fue de 2.57 cm/h y un 29.83% mayor que el tratamiento de curvas de nivel, que presentó una infiltración básica de 2.07 cm/h.

Según el cuadro 10, en el bloque dos ubicado en pendientes del 20% a 24%, el tratamiento de curvas de nivel más té de limón (*Cymbopogon citratus*) como barrera viva presentó la infiltración básica media de 1.88 cm/h, 24.80% menor al tratamiento tradicional que fue de 2.50 cm/h. ambos tratamientos con prácticas de conservación presentaron infiltraciones básicas menores al tratamiento tradicional.

El bloque tres que se estableció en pendientes de 25% a 28% presentó la infiltración básica media más baja en el tratamiento de curvas a nivel más té de limón (*Cymbopogon citratus*) como barrera viva 1.62 cm/h, que en comparación al tratamiento sin conservación 1.86 cm/h, disminuyó 12.90%, a diferencia del tratamiento con curvas de nivel con 1.70 cm/h, que fue menor en 8.60% al primer tratamiento, este bloque mostró poca diferencia al aplicar técnicas conservación a diferencia de los demás bloques del experimento, quizás por ser el bloque con menor profundidad efectiva y con una clase textural más gruesa.

En el cuarto bloque 29% - 32% de pendiente el tratamiento con la menor infiltración básica registrada nuevamente fue el tratamiento con curvas de nivel más té de limón (*Cymbopogon citratus*) como barreras vivas con 1.95 cm/h, seguido del tratamiento con curvas de nivel con 2.14 cm/h y el tratamiento sin prácticas de conservación 2.80 cm/h que fue el de mayor infiltración. Esto respalda lo dicho con anterioridad ya que los tratamientos disminuyen la infiltración básica media en 30.35% con curvas a nivel más barreras vivas y en 23.57% con curvas a nivel.

Se logró llegar a la infiltración básica en menor cantidad de tiempo en el tratamiento tradicional, durante todo el experimento y esto debido a que no sufren modificaciones severas las condiciones naturales del suelo tales como: compactación y estructura de perfil que se da como producto del establecimiento de las curvas a nivel.

3.6.1 Análisis de varianza

Empleando los datos del cuadro 10, los resultados del análisis de varianza con un nivel del 5% de significancia son:

CUADRO 11
ANÁLISIS DE VARIANZA DE LA INFILTRACIÓN

Varianza Factores varianza	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Varianza de Cuadrados Medios	Estadístico de prueba observad	Estadístico de prueba teórico	Sign.
Tratamientos	2	0.71	0.355	6.82	5.14	S
Bloques	3	1.02				
Error	6	0.31	0.052			
Total	11	2.04				

Fuente: Elaboración propia. Año 2018.

S= Significancia

N.S= No hay significancia

% de Varianza de tratamientos = $(0.71 / 2.04) * 100 = 34.80\%$

% de Varianza de bloques = $(1.02 / 2.04) * 100 = 50\%$

% de Error = $(0.31 / 2.04) * 100 = 15.20\%$

3.6.2 Prueba de Tukey

Se comprobaron los promedios con un valor de significancia de 0.05 y los resultados fueron los siguientes:

Tratamiento	\bar{Y}	
T1	2.53	A
T2	2.015	B A
T3	2.005	B A

Lo anterior comprobó que con un 5% de significancia que el tratamiento de curvas a nivel como estructura de conservación en la producción de maíz (*Zea mays*), sin importar que contengan barreras vivas, muestran diferencia estadística en su infiltración básica con respecto al tratamiento tradicional, por lo que se rechaza la hipótesis nula, que afirmaba que todas las unidades experimentales poseían la misma infiltración básica sin importar su tratamiento.

Las prácticas de conservación inciden en la disminución de la infiltración básica del suelo en áreas que poseen de 15% a 32% de pendiente, en comparación a la práctica tradicional sin conservación, lo que se puede analizar para identificar a los suelos mayormente cargados de agua según las lecturas de su tasa de infiltración en campo y se analiza de la siguiente manera:

Durante el experimento se obtuvo una reducción de la infiltración entre los tratamientos que poseían estructuras de conservación con relación al tratamiento tradicional, se estimó que esa reducción promedio en la infiltración básica fue de 19.62%.

Por lo que es posible asumir que de cada 1 000 mm de lluvia precipitada se identifica a la práctica agrícola tradicional para la siembra de cultivo de maíz (*Zea mays*) en agricultura de subsistencia, como mayormente cargada de agua ya que en teoría según su tasa de infiltración debería contener 196.2 mm más de agua durante el mismo intervalo de tiempo que en los otros dos tratamientos evaluados.

CONCLUSIONES

Estadísticamente no se comprobó que los tratamientos con prácticas de conservación en pendientes entre el 15% y 32%, incidieran en la reducción de la erosión en el cultivo del maíz (*Zea mays*), a pesar de esto en pendientes entre 25% y 32%, el tratamiento con curvas a nivel más té de limón (*Cymbopogon citratus*) como barrera viva en comparación al tratamiento tradicional redujo la erosión de 93.56 kg/150m², con niveles de erosión similares entre los bloques 3 y 4, sin importar que la pendiente fue menor en el tercer bloque, por el hecho de poseer una estructura granular característica de la textura franco arenosa que es más débil que la de los suelos franco limosos del cuarto bloque.

En pendientes de 15% a 24% no se determinó una práctica agrícola que redujera en mayor grado la erosión en el cultivo de maíz (*Zea mays*) en agricultura de subsistencia, la diferencia que fue de 5.4 kg/300m² de suelo entre el tratamientos tradicional, y curvas a nivel; debido a que la estructura granulares de los suelos franco limosos cuya agregación natural está conformada por partículas finas y gruesas, que ofrecen una resistencia mayor ante el arrastre hídrico como consecuencia de las lluvias cuando la pendiente es muy elevada.

Se estimó según el régimen de la lluvia del experimento el cual fue 1 763 mm, al no implementar curvas a nivel más té de limón (*Cymbopogon citratus*) como práctica de conservación a pendientes de 25% a 32% se pueden llegar a erosionar 93.56 kg/300m² o lo que es igual a decir 0.3 kg/m², de suelo durante un ciclo de cultivo de maíz (*Zea mays*) en agricultura de subsistencia con estos datos se expresa que a razón de 587mm de lluvia se erosiona cerca de 0.1kg/m² de suelo.

Por lo anterior que el tratamiento de curvas a nivel más té de limón (*Cymbopogon citratus*) como barrera viva se identifica como la práctica agrícola con mayor grado de reducción de erosión en el cultivo de maíz (*Zea mays*) en agricultura de subsistencia, para pendientes mayores al 25%.

El tratamiento que presentó la mayor infiltración básica media, fue el tratamiento tradicional sin prácticas de conservación 2.53 cm/h, en comparación ante los otros dos tratamientos como lo son: curvas de nivel 2.02 cm/h y curvas de nivel más té de limón (*Cymbopogon citratus*) como barreras vivas 2.01cm/h, por lo que según en el análisis final de los resultados se identifica que según su tasa de infiltración los suelos mayormente cargados con agua se presentan en el tratamiento tradicional, porque al momento de establecer las curvas a nivel, el suelo sufrió una modificación en su estructura natural, al estrechar el espacio entre partículas, modificar la porosidad formada por la granulometría de los suelos franco arenoso y franco limosos, ambos con estructura granular cuyos agregados están compuestos por partículas gruesas y finas, además por la redistribución del horizonte superficial de las unidades experimentales.

RECOMENDACIONES

Se recomienda que aunque el análisis de varianza para erosión da como resultado que no es significativo el tratamiento con relación al comportamiento de la erosión, se tomen en cuenta los tratamientos de conservación, bajo ciertas pendientes.

Se debería establecer la práctica de conservación de suelo: curvas a nivel más té de limón (*Cymbopogon citratus*) como barreras vivas, en áreas cuya pendiente es de 25% a 32% en donde se cultiva maíz (*Zea mays*) en agricultura subsistencia dentro de las zonas potenciales de recarga hídrica de la subcuenca del río Tzunutz, San Pedro Carchá Alta Verapaz; de lo contrario es probable que los agricultores pierdan cerca de 0.3 kg/m² de suelo fértil y con buen potencial para la recarga hídrica, en comparación a la práctica tradicional durante un ciclo de siembra.

Por otro lado se recomienda emplear curvas a nivel más té de limón (*Cymbopogon citratus*) como barreras vivas en pendientes entre 25% y 32%, porque la reducción de suelo erosionado 0.3 kg/m² indicó que disminuye la fuerza con la que se presenta la escorrentía superficial, como resultado de eso luego provoca que el agua se infiltre a medida que el suelo se vaya descargando, antes de escurrirse hasta zonas con menor potencial para la recarga hídrica, a pesar que la infiltración básica se pueda ver disminuida entre 8.26% a 30.35%.

Es conveniente profundizar en las evaluaciones y estudios de investigación sobre técnicas de cultivo que permitan reducir la erosión y al mismo tiempo que pretendan recuperar la materia orgánica de la capa arable, como se observó

en el presente estudio, donde se identificó la presión que produce el cultivo el maíz (*Zea mays*) sobre el suelo fértil necesario la subsistencia de este cultivo y bueno para la recarga hídrica de la subcuenca del río Tzunutz, reveló la existencia del impacto y la posibilidad de evitar dicho impacto en cierta medida.

Se recomienda que para próximos estudios que involucren cultivos agrícolas se midan aspectos como el rendimiento del cultivo, para que las conclusiones contemplen la viabilidad económica que esto representa, brinden un enfoque más allá del impacto ambiental sobre los recursos naturales.

Se debe tomar en cuenta que al estudiar impactos ambientales relacionados a prácticas agrícolas, se tenga el cuidado de prever toda la preparación de sitio, necesaria para que se obtengan resultados que demuestren el preciso comportamiento de las variables de estudio. Se recomienda al trabajar con barreras vivas, que se siembren con anticipación al inicio del experimento para que desarrolle por completo todo su potencial para disminuir la fuerza de escorrentía superficial y retener el suelo, de esta forma se mitigará el impacto de la erosión al momento de establecer un cultivo que se quiera evaluar.

Es importante que las autoridades promuevan el empleo de todos los sistemas y estructuras adoptadas hasta el momento por los habitantes de las zonas potenciales de recarga hídrica de la subcuenca del río Tzunutz, para prevenir el impacto ambiental de la erosión, se observó que ciertos agricultores producen bajo sistemas agroforestales, con otros métodos como barreras muertas sin deshacerse de toda la cobertura que se remueve al chapear los terrenos para la preparación de sitio en la siembra del maíz (*Zea mays*).

Es necesario que se dé continuidad al estudio de la subcuenca del río Tzunutz, para que se cuantifique la recarga hídrica por zonas según su potencial con el propósito de determinar su posible reducción, a consecuencia de no aplicar medidas de conservación en las prácticas agrícolas.

ANEXOS

IMAGEN 3
UNIDAD EXPERIMENTAL



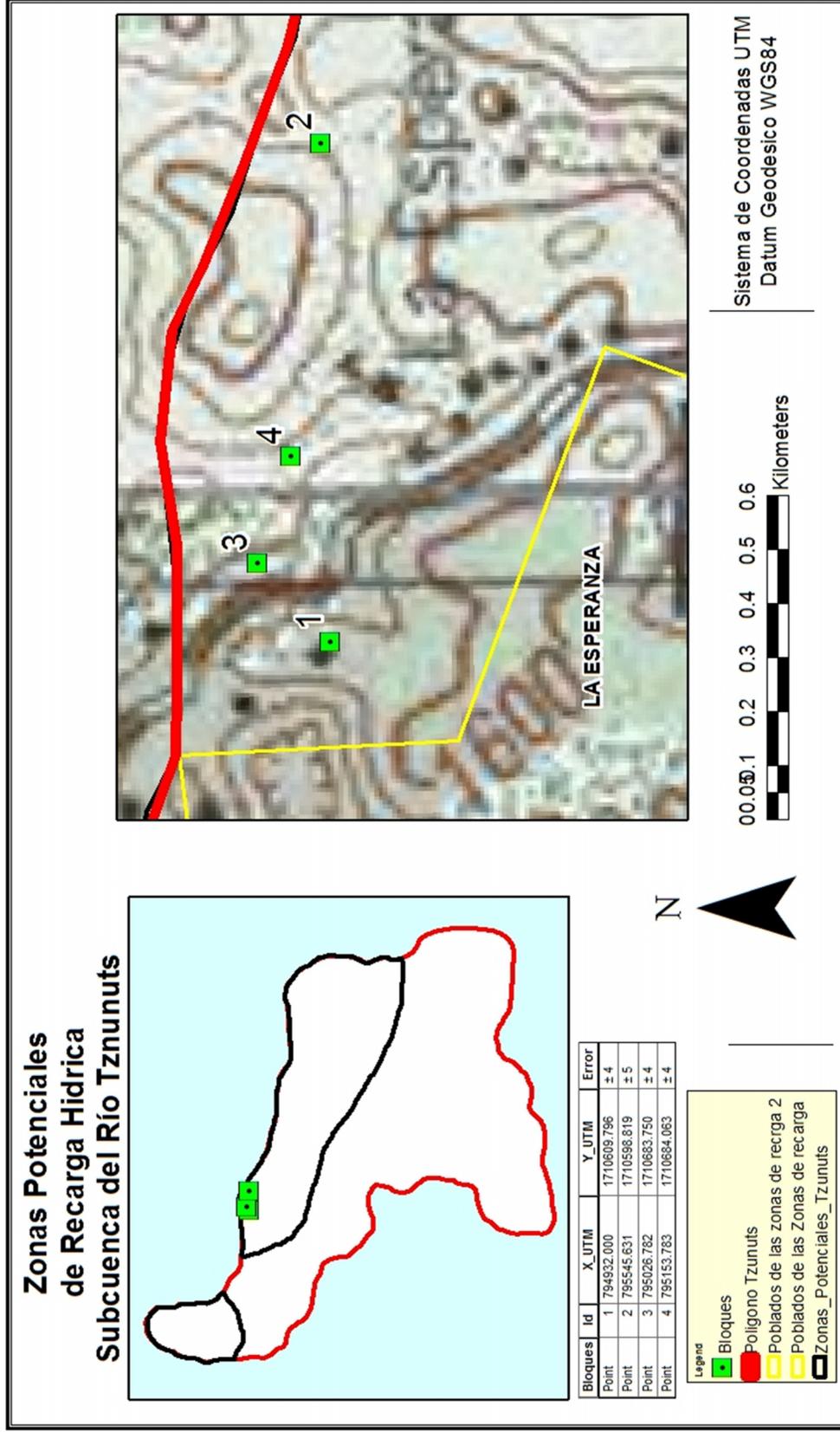
Tomada por: Sergio Ibarra Winter. Año 2017.

IMAGEN 4
POZOS DE SEDIMENTACIÓN CON CUBIERTA PLÁSTICA 15
DÍAS DESPUES DE UNA LECTURA



Tomada por: Sergio Ibarra Winter. Año 2017.

MAPA 3 UBICACIÓN DE BLOQUES



Fuente: Elaboración propia. Año 2018.

IMAGEN 5
SECADO DE MUESTRAS DE SUELO EROSIONADO



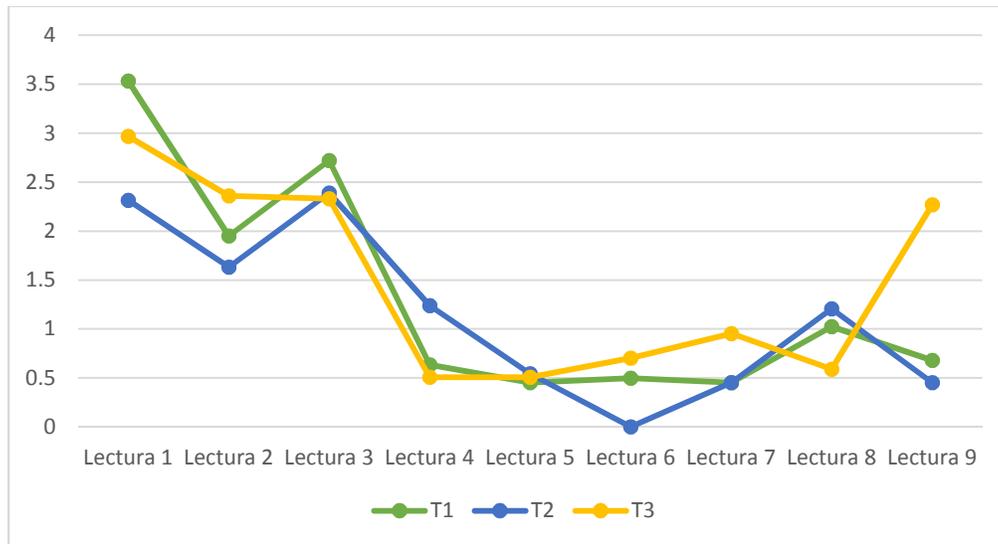
Tomada por: Sergio Ibarra Winter. Año 2017.

IMAGEN 6
ELABORACIÓN DE *BOUYUCUS*



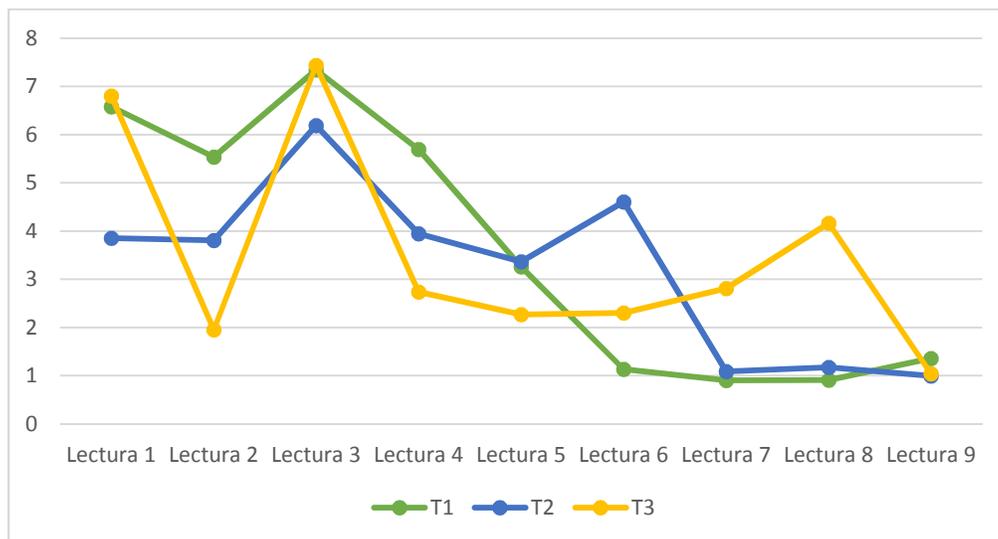
Tomada por: Sergio Ibarra Winter. Año 2017.

GRÁFICA 1 COMPORTAMIENTO DE SUELO EROSIONADO BLOQUE I EN KG



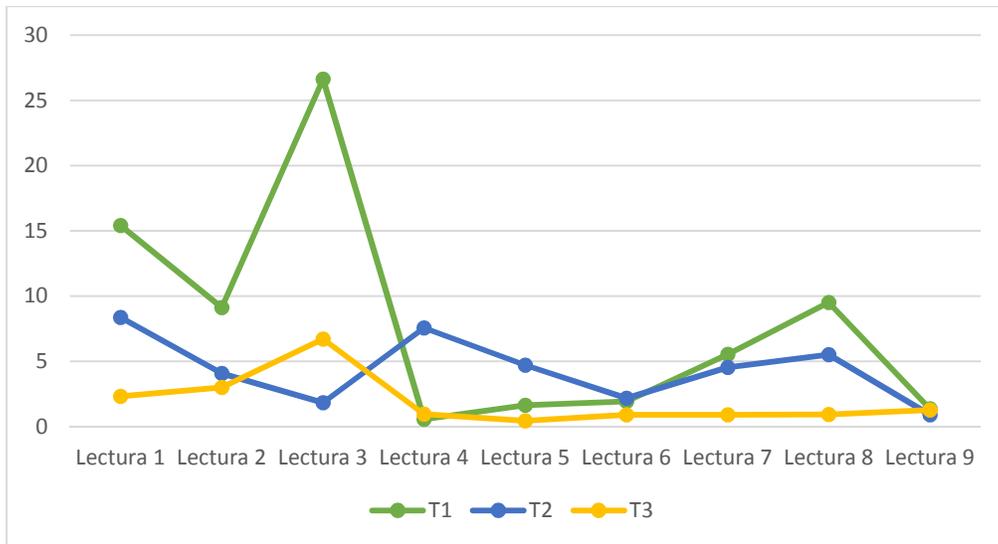
Fuente: Elaboración propia. Año 2018. Datos del cuadro 6.

GRÁFICA 2 COMPORTAMIENTO DE SUELO EROSIONADO BLOQUE II EN KG



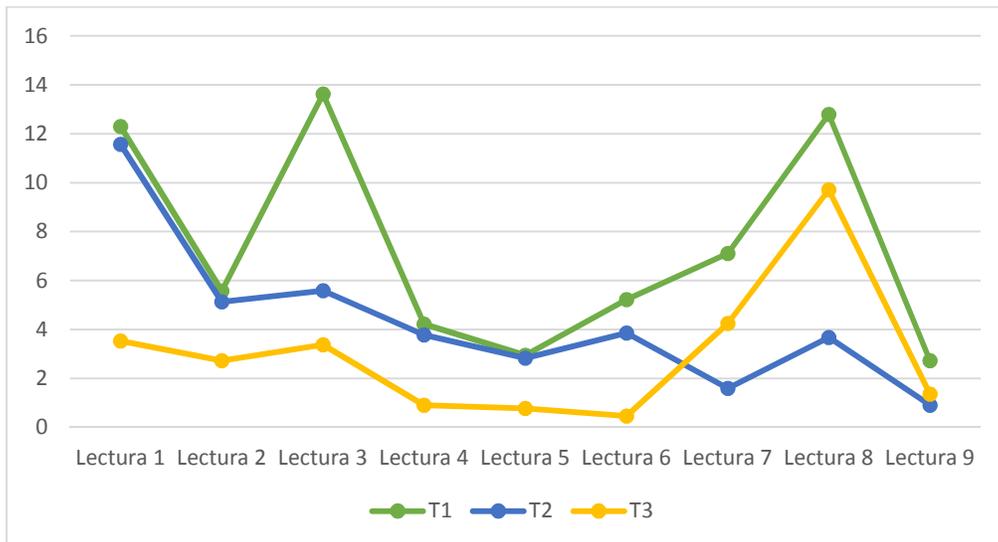
Fuente: Elaboración propia. Año 2018. Datos del cuadro 6.

GRÁFICA 3 COMPORTAMIENTO DE SUELO EROSIONADO BLOQUE III EN KG



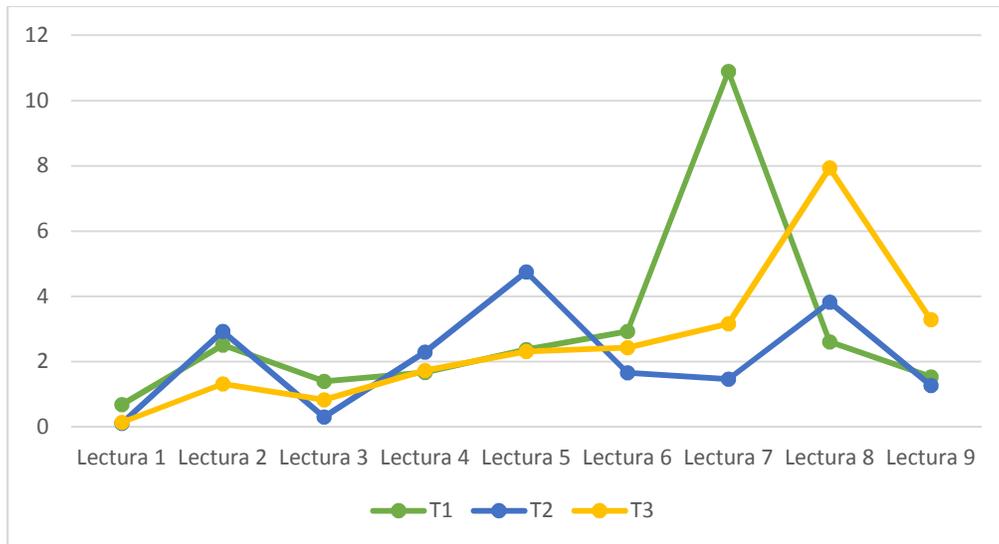
Fuente: Elaboración propia Año 2018. Datos del cuadro 6.

GRÁFICA 4 COMPORTAMIENTO DE SUELO EROSIONADO BLOQUE IV EN KG



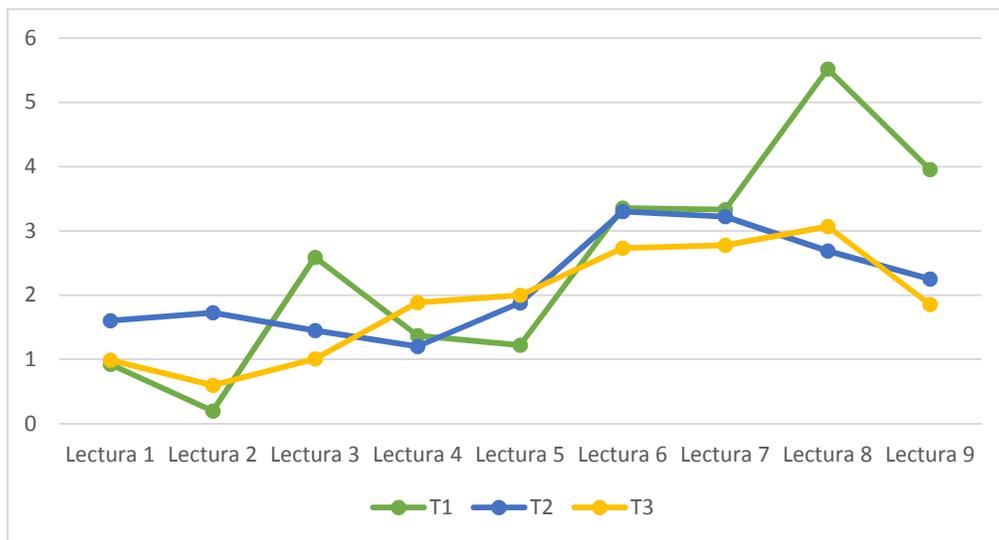
Fuente: Elaboración propia. Año 2018. Datos del cuadro 6.

GRÁFICA 5 COMPORTAMIENTO DE INFILTRACIÓN BÁSICA BLOQUE I EN CM/H



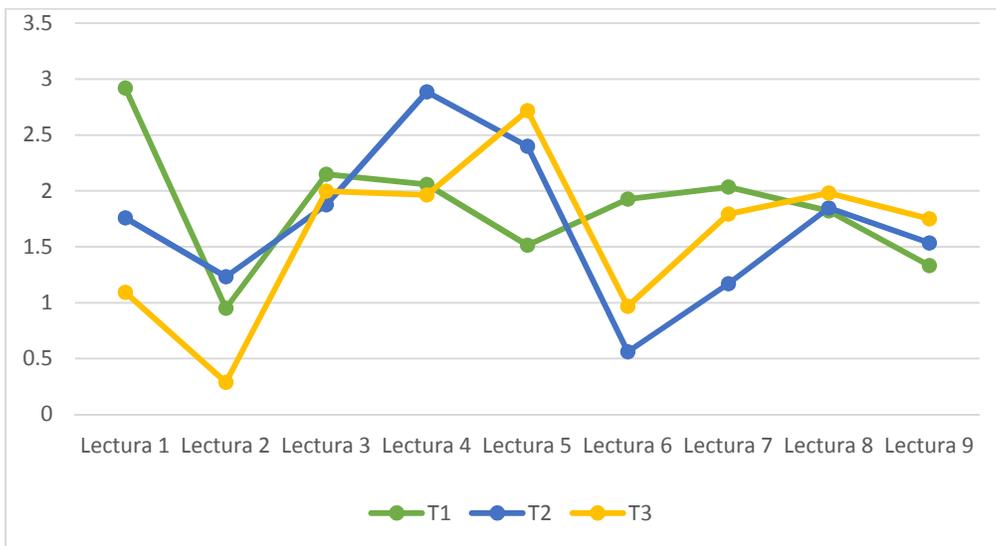
Fuente: Elaboración propia. Año 2018. Datos del cuadro 9.

GRÁFICA 6 COMPORTAMIENTO DE INFILTRACIÓN BÁSICA BLOQUE II EN CM/H



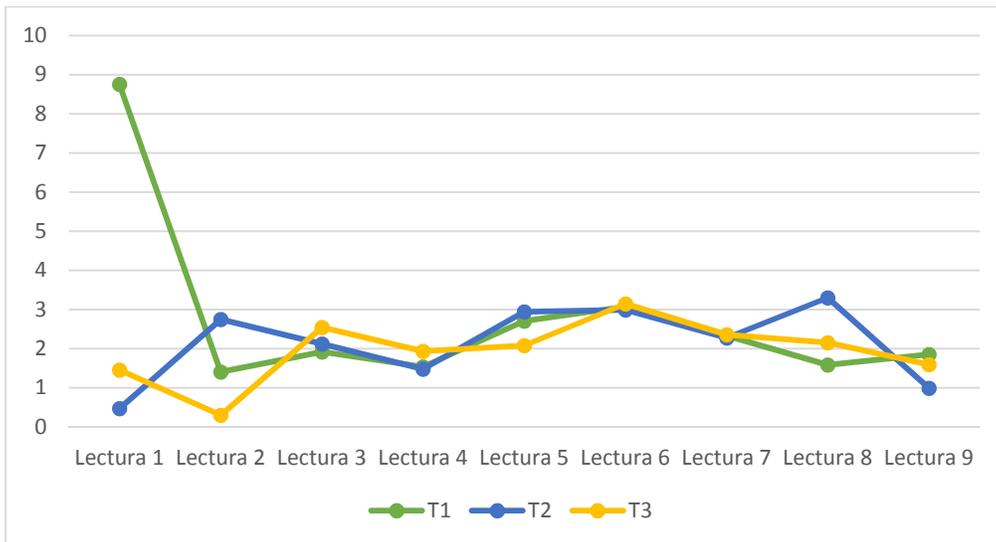
Fuente: Elaboración propia. Año 2018. Datos del cuadro 9.

GRÁFICA 7 COMPORTAMIENTO DE INFILTRACIÓN BÁSICA BLOQUE III EN CM/H



Fuente: Elaboración propia. Año 2018. Datos del cuadro 9.

GRÁFICA 8 COMPORTAMIENTO DE INFILTRACIÓN BÁSICA BLOQUE IV EN CM/H



Fuente: Elaboración propia. Año 2018. Datos del cuadro 9.

CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES

Actividad	Mes 1	Mes 2	Mes 3	Mes 4	Mes 5	Mes 6	Mes 7	Mes 8	Mes 9	Mes 10
Establecimiento de Bloques experimentales										
Profundidad del horizonte superficial de suelo										
Clase textural del suelo										
Infiltración de suelo										
Toma de datos de erosión en toda la subcuenca										
Toma de datos de precipitación										
Elaboración de informe final										

Fuente: Elaboración propia. Año 2017.

El cultivo se sembró a partir del día 28 de Julio y se cosecho el día 9 de noviembre.

BIBLIOGRAFÍA

- Arce Canahuí, Ángel. *Determinación de la velocidad de infiltración a través método del Infiltrómetro de doble cilindro y del cilindro de Porchet*. Manejo de Agua de Riegos. Carrera Agrícola. Centro Universitario del Norte- Universidad San Carlos de Guatemala. Cobán, Alta Verapaz, Guatemala: Carrera de Agronomía, 2016.
- Buroz Castillo, Eduardo. *La Gestión Ambiental. Marco de referencia para las evaluaciones de impacto ambiental*, Caracas, Venezuela: Ediciones Fundación Polar, 1998.
- Centro de Salud San Pedro Carchá. *Ubicación de territorios y sectores DMSIII.xlsx*. San Pedro Carchá, Alta Verapaz, Guatemala: Departamento de Asistencia Técnica, 2016.
- "Ciclo Hidrológico". https://www.ciclohidrologico.com/infiltración_del_agua (28 de octubre de 2017).
- Coy Figueroa, Marlon Joaquín. *Identificación zonas potenciales de recarga hídrica de la subcuenca del río Tzunutz*. Tesis ingeniero Geólogo. Centro Universitario del Norte- Universidad San Carlos de Guatemala, Cobán, Alta Verapaz, Guatemala: Carrera de Geología, 2015.
- Deguate.com. *Recursos Naturales del Municipio de San Pedro Carchá*. 2016. <http://www.deguate.com/municipios/pages/alta-verapaz/san-pedro-carcha/recursos-naturales.php> (8 de febrero de 2017).
- Ibáñez, Juan José. *La erosión del suelo: Tipos de procesos erosivos*. 2006. <http://www.madrimasd.org/blogs/universo/2006/03/11/15557> (25 de octubre de 2017).
- Instituto Nacional de Bosques -INAB-. *Clasificación de tierras por capacidad de uso aplicación de una metodología para tierras de la república de Guatemala*. Guatemala: INAB., 1996.
- Marelli Hugo. *Área suelos y producción vegetal*. 2004. http://agrolluvia.com/wp-content/uploads/2009/09/_mj_-suelos-la-erosion-hidrica.pdf (07 de octubre de 2017).

Marano P., Roberto, *Relación suelo-agua*. <https://dytaguas.files.wordpress.com/2011/10/1-agua-en-suelo-marano-2011.pdf> (29 de octubre de 2017).

Matus, Oscar, Et. Al. *Guía para la identificación de zonas con potencial de recarga hídrica*. 2009. <http://orton.catie.ac.cr/repdoc/A5974E/A5974.E.pdf> (8 de febrero de 2017).

Ordoñez, Carlos. *Manejo y conservación del suelo trazo de curvas de nivel*. Prácticas Agrícolas I. Carrera de Agronomía. Centro Universitario del Norte- Universidad San Carlos de Guatemala. Cobán, Alta Verapaz, Guatemala: Carrera de Agronomía, 2016.

Organización de Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura -FAO-. "Erosión de suelos en América Latina". <http://www.fao.org/docrep/t2351s/T2351S06.htm> (27 de octubre de 2017).

-----, "Sedimentación del suelo". <http://www.fao.org/docrep/T0848S/t0848s07.html#TopOfPage> (19 de julio de 2017).

Plan Internacional. *Comunidades del área del río Tzunutz y Qeqxibaal y Cahabón San Pedro Carchá*, Coordinación de proyectos. Cobán, Alta Verapaz, Guatemala: Plan Internacional, 2016.

Reyes Castañeda Pedro. *Diseños de experimentos aplicados*. México: Editorial Trillas, 1984.

Solórzano G. Rafael, *Agricultura sostenible: Inventario tecnológico*, 1994. Guatemala, Plan Internacional, 1994.

Tyler Miller G. JR. *Ecología y medio ambiente*. México: Grupo Editorial Iberoamérica, 1994.



V.ºB.º

Adán García Véliz
 Lic. Pedagogía E investigación Educativa
 BIBLIOTECARIO

**USAC
CUNOR**

Universidad de San Carlos de Guatemala
Centro Universitario del Norte



No. 272-2018

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:

INGENIERÍA EN GESTIÓN AMBIENTAL LOCAL

Al trabajo titulado:

TESIS

EVALUACIÓN DE TRES PRÁCTICAS AGRÍCOLAS EN LA INCIDENCIA DE EROSIÓN E INFILTRACIÓN EN EL CULTIVO DE MAÍZ (*Zea mays*) EN AGRICULTURA DE SUBSISTENCIA EN LAS ZONAS POTENCIALES DE RECARGA HÍDRICA EN LA SUBCUENCA DEL RÍO TZUNUTZ, SAN PEDRO CARCHÁ, ALTA VERAPAZ

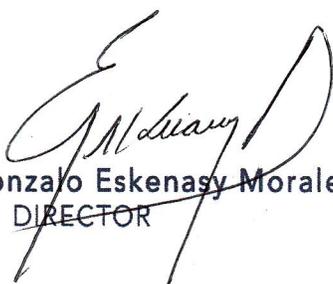
Presentado por el (la) estudiante:

SERGIO ALFONSO IBARRA WINTER

Autoriza el

IMPRIMASE

Cobán, Alta Verapaz 29 de Octubre de 2018.


Lic. Erwin Gonzalo Eskenasy Morales
DIRECTOR

