

UNIVERSIDAD SAN CARLOS DE GUATEMALA

FACULTAD DE AGRONOMÍA

ÁREA INTEGRADA

The seal of the University of San Carlos of Guatemala is a circular emblem. It features a central figure of a saint, likely St. Charles, seated on a throne and holding a book. The figure is surrounded by various heraldic symbols, including a crown at the top, a castle on the left, and a lion on the right. The background of the seal is blue and white, with a green mountain range at the bottom. The Latin motto "CONSPICUA CAROLINA ACADEMIA COACTEMALENSIS INTER CETERAS" is inscribed around the perimeter of the seal.

TRABAJO DE GRADUACIÓN

**APOYO TÉCNICO AL PROYECTO DE CONSERVACIÓN DE ECOSISTEMAS FORESTALES
ESTRATÉGICOS DESARROLLADO EN LA SUBREGIÓN II – 1 DEL INSTITUTO NACIONAL DE
BOSQUES –INAB-, TACTIC, ALTA VERAPAZ.**

RAFAEL CARRERA ESCOBAR

GUATEMALA, NOVIEMBRE DE 2007

**UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE AGRONOMÍA
ÁREA INTEGRADA**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

**APOYO TÉCNICO AL PROYECTO DE CONSERVACIÓN DE ECOSISTEMAS FORESTALES
ESTRATÉGICOS DESARROLLADO EN LA SUBREGIÓN II – 1 DEL INSTITUTO NACIONAL DE
BOSQUES –INAB-, TACTIC, ALTA VERAPAZ.**

**PRESENTADO A LA HONORABLE JUNTA DIRECTIVA DE LA FACULTAD DE
AGRONOMÍA DE LA UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA**

POR

RAFAEL CARRERA ESCOBAR

EN EL ACTO DE INVESTIDURA COMO

INGENIERO AGRÓNOMO

EN

RECURSOS NATURALES RENOVABLES

**EN EL GRADO ACADÉMICO DE
LICENCIADO**

GUATEMALA, NOVIEMBRE DE 2007.

**UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE AGRONOMÍA**

RECTOR

Lic. CARLOS ESTUARDO GÁLVEZ BARRIOS

JUNTA DIRECTIVA DE LA FACULTAD DE AGRONOMÍA

DECANO	Ing. Agr. Francisco Javier Vásquez Vásquez
VOCAL PRIMERO	Ing. Agr. Waldemar Nufio Reyes
VOCAL SEGUNDO	Ing. Agr. Walter Arnoldo Reyes Sanabria
VOCAL TERCERO	Ing. Agr. Danilo Ernesto Dardón Ávila
VOCAL CUARTO	Pr. For. Mirna Regina Valiente
VOCAL QUINTO	P. Agr. Nery Boanerges Guzman Aquino
SECRETARIO	Ing. Agr. Edwin Enrique Cano Morales

GUATEMALA, NOVIEMBRE DE 2007.

Guatemala, Noviembre de 2007

**Honorable Junta Directiva
Honorable Tribunal Examinador
Facultad de Agronomía
Universidad de San Carlos de Guatemala**

Honorables miembros:

De conformidad con las normas establecidas por la Ley Orgánica de la Universidad de San Carlos de Guatemala, tengo el honor de someter a vuestra consideración, el **TRABAJO DE GRADUACIÓN: APOYO TÉCNICO AL PROYECTO DE CONSERVACIÓN DE ECOSISTEMAS FORESTALES ESTRATÉGICOS EN LA SUBREGIÓN II – 1 DEL INSTITUTO NACIONAL DE BOSQUES –INAB-, TACTIC, ALTA VERAPAZ**, como requisito previo a optar al título de Ingeniero Agrónomo en Recursos Naturales Renovables, en el grado académico de Licenciado.

Esperando que el mismo llene los requisitos necesarios para su aprobación, me suscribo,

Atentamente,

“ID Y ENSEÑAD A TODOS”

Rafael Carrera Escobar

ACTO QUE DEDICO

A:

DIOS:

Por ser fuente de sabiduría y haber permitido la culminación de esta etapa de mi vida, acompañándome día a día.

MIS PADRES

Cesar Augusto Carrera Prado (QEPD) y Ofelia Genoveva Escobar de Carrera, por haberme dado la vida y haber transmitido la sencillez, humildad, nobleza e integridad hacia mi persona, ustedes serán siempre mis dos grandes amigos que Dios puso en mi camino. Con todo mi corazón, este triunfo es de ustedes.

MIS HERMANOS

Mario Augusto, Luis Eduardo y José Fernando, por darme la mano cuando he caído y aplaudir cuando he triunfado, uds. han velado siempre por mi bienestar quitando de mi camino, todo obstáculo con el cual yo pueda tropezar, gracias por todo el apoyo incondicional que siempre me han brindado, son el regalo más grande que me dieron mis padres, uds. son mi ejemplo a seguir.

MI CUÑADA

Ileana Lucrecia, por ser como una hermana con migo, gracias por todo tu apoyo y cariño.

MIS SOBRINOS

Daniela María y Juan José, uds. Son dos luces que dan vida a mi corazón para seguir adelante. Los quiero mucho.

MIS TÍOS Y TÍAS

En especial a Jesús Escobar, Ángela de Escobar, Irma de López, Armando Villatoro y María del Rosario de Villatoro, gracias por todo su apoyo y cariño.

MI PRIMO

Enio Armando Escobar Fernández (QEPD), fuiste y seguirás siendo un hermano más que la vida me dio, se que junto a mi papá están con migo disfrutando de este momento.

FAM. GARCÍA SANDOVAL

Por abrirme las puertas de su hogar y permitirme ser parte de sus corazones, al igual que ustedes son parte del mío.

MIS AMIGOS

En especial a Víctor Chan, Guillermo Reyes, Gamaliel Martínez, Santiago Cobos, Jorge Robles, Carlos Fernández, Desiderio Valiente y Luís Izaguirre.

MIS AMIGAS

En especial a Carolina Morales y Marissa Montepeque, le doy gracias a Dios el haberlas puesto en mi camino, gracias por brindarme desinteresadamente toda su amistad y confianza.

TRABAJO DE GRADUACIÓN QUE DEDICO

A:

Dios

Guatemala

Universidad de San Carlos de Guatemala

Facultad de Agronomía

Instituto Nacional de Bosques

Escuela Nacional Central de Agricultura

Centro de Estudios Diversificados

Colegio San Sebastián

AGRADECIMIENTOS

A:

Los catedráticos de la Facultad de Agronomía por todas sus grandes enseñanzas.

El personal del Proyecto de Investigación Forestal del Instituto Nacional de Bosques, en especial a la Inga. Silvia Valdez.

El Centro Agronómico de Investigación y Enseñanza (CATIE) por el apoyo en el financiamiento para la realización de mi Ejercicio Profesional Supervisado.

El proyecto de Conservación de Ecosistemas Forestales (CEFE) del INAB por su apoyo en la ejecución de este trabajo en especial a P. For. Enrique Castillo, Ing. Agr. Jacobo Cotto.

El personal técnico y administrativo de la Subregión II – 1, Tactic, Alta Verapaz del Instituto Nacional de Bosques (INAB), por su apoyo y cariño incondicional.

Los Ingenieros Tomás Padilla y Marco Tulio Aceituno por su colaboración y apoyo técnico en la elaboración del proyecto de investigación.

El Ing. Pedro Peláez por la supervisión, agradeciendo su orientación y comprensión, y toda su ayuda.

Al Ing. Max Vidaurre, por su valiosa colaboración.

La familia Motta Tzaquitzal, por la amistad que me han brindado.

Los señores Carlos Max y Macaria Toj por su colaboración en la fase de campo de este trabajo.

Amigos y amigas de la facultad de agronomía y de la Escuela nacional central de agricultura, con los que tuve el honor de compartir gratos momentos..

ÍNDICE GENERAL

INDICE DE CUADROS	iv
INDICE DE FIGURAS	v
RESUMEN GENERAL	vii
CAPITULO I	1
DIAGNÓSTICO GENERAL DE LA FINCA PARRACHOCH, TACTIC, ALTA VERAPAZ	1
1.1 PRESENTACIÓN	2
1.2 OBJETIVOS	3
1.2.1 GENERAL	3
1.2.2 ESPECÍFICO	3
1.3 METODOLOGÍA	4
1.4 RESULTADOS	5
1.4.1 Ubicación	5
1.4.1.1 Localización de la finca Parrachoch	5
1.4.1.2 Limites y colindancias	5
1.4.1.3 Vías de acceso	5
1.4.2 Zona de vida	5
1.4.3 Geología y Geomorfología	8
1.4.4 Hipsometría, fisiografía y relieve	10
1.4.5 Edafología	10
1.4.6 Clima	14
1.4.7 Uso actual de la tierra	14
1.4.8 Inventario de flora y fauna	17
1.4.9 Aspecto social	18
1.5 CONCLUSIONES	19
1.6 BIBLIOGRAFÍA	20
CAPÍTULO II	21
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. FEBRERO-NOVIEMBRE 2006	21
2.1 INTRODUCCIÓN	22
2.2 DEFINICIÓN DEL PROBLEMA	23
2.3 MARCO TEORICO	24
2.3.1 MARCO CONCEPTUAL	24
2.3.1.1 Ciclo hidrológico	24
2.3.1.2 Procesos hidrológicos generales	24
2.3.1.2.1 La dinámica de entrada del agua al sistema forestal	24
2.3.1.2.2 Precipitación bruta	25
2.3.1.2.3 Precipitación interna	25
2.3.1.3 Procesos del agua en el suelo	25
2.3.1.4 Erosión del suelo	26
2.3.1.5 Erosión hídrica	26
2.3.1.5.1 Tipos de erosión provocadas por el agua	27
2.3.1.5.2 Procesos de la erosión hídrica	27
2.3.1.5.3 Escorrentía	27

2.3.1.6 Factores que intervienen en la erosión	28
2.3.1.7 Factores que rigen en la escorrentía	29
2.3.1.8 Medición de la escorrentía y la erosión	30
2.3.1.8.1 Parcelas de escorrentía	31
2.3.1.9 Balance hídrico del suelo	31
2.3.2 MARCO REFERENCIAL	36
2.3.2.1 Localización política y geográfica	36
2.3.2.2 Limites y colindancias	36
2.3.2.3 Vías de acceso	38
2.3.2.4 Zona de Vida	38
2.3.2.5 Hipsometría, fisiografía y relieve	38
2.3.2.6 Clima	38
2.3.2.7 Uso actual de la tierra	38
2.4. OBJETIVOS	40
2.4.1 OBJETIVO GENERAL	40
2.4.2 OBJETIVO ESPECIFICO	40
2.5. HIPÓTESIS	41
2.6. METODOLOGÍA	42
2.6.1 Selección del área experimental	42
2.6.2 Selección de los tratamientos	42
2.6.3 Diseño experimental	42
2.6.4 Modelo estadístico	42
2.6.5 Variables de respuesta	43
2.6.6 Unidad experimental	43
2.6.6.1 Instalación de las parcelas experimentales	43
2.6.6.2 Instalación de canales colectores	44
2.6.6.3 Instalación de recipientes colectores	44
2.6.6.4 Mantenimiento de las unidades experimentales	45
2.6.7 Fuente de datos meteorológicos	45
2.6.8 Muestreo de suelo	46
2.6.9 Medición de variables	46
2.6.10 Análisis efectuado a las muestras recolectadas	49
2.6.11 Medición de la precipitación interna	49
2.6.12 Análisis de información	50
2.6.13 Determinación de la infiltración básica	50
2.6.14 Determinación de la evapotranspiración potencial	51
2.6.15 Realización del balance hídrico de suelos.	53
2.7. RESULTADOS	54
2.7.1 Muestreo de suelos al inicio de la investigación	54
2.7.2 Escurrimiento superficial	55
2.7.2.1 Precipitación pluvial	55
2.7.2.2 Precipitación interna en el tratamiento de bosque	57
2.7.3 Escorrentía superficial	58
2.7.3.1 Análisis de varianza de la escorrentía	59
2.7.3.2 Análisis de regresión de la escorrentía	60
2.7.4 Suelo erosionado	65
2.7.4.1 Análisis de varianza de la erosión	66
2.7.4.2 Análisis de regresión de la erosión	67
2.7.5 Pérdida de materia orgánica y fósforo	73

2.7.6 Infiltración básica	75
2.7.7 Evapotranspiración	75
2.7.8 Balance hídrico	76
2.8 CONCLUSIONES	79
2.9 RECOMENDACIONES	80
2.10 BIBLIOGRAFÍA	81
CAPÍTULO III	83
INFORME DE SERVICIOS REALIZADOS EN LA SUBREGION II-1 DEL INSTITUTO NACIONAL DE BOSQUES, TACTIC, ALTA VERAPAZ	83
3.1 PRESENTACIÓN	84
3.2 SERVICIO 1 Apoyo en el monitoreo de estaciones climáticas de la microcuenca Río Frío ubicada dentro de la Finca Río Frío, Santa Cruz Verapaz, Alta Verapaz.	85
3.2.1 OBJETIVOS	85
3.2.2 METODOLOGÍA	85
3.2.2.1 Fase de campo	85
3.2.2.1.1 Monitoreo de estaciones climáticas	85
3.2.2.2 Fase de gabinete	87
3.2.3 RESULTADOS	87
3.2.3.1 Precipitación mensual febrero a noviembre 2006	87
3.2.3.2 Temperatura media mensual febrero a noviembre 2006	89
3.2.3.3 Caudal mensual febrero a noviembre 2006	92
3.3 CONCLUSIONES	94
3.4 SERVICIO 2 Apoyo en las actividades realizadas en el plan operativo anual de la subregión II – 1, Tactic, Alta Verapaz.	95
3.4.1 OBJETIVOS	95
3.4.1.1 Objetivo general	95
3.4.1.2 Objetivo específico	95
3.5 METODOLOGÍA	95
3.5.1 Evaluación de proyectos ingresados a PINFOR	95
3.5.2 Verificaciones de planes de manejo	96
3.6 RESULTADOS	96
3.7 CONCLUSIONES	98
3.8 BIBLIOGRAFÍA	98
ANEXOS	99

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1.1	Material madre y características de los perfiles de las series de suelos encontradas en la finca Parrachoch.	13
Cuadro 1.2	Características importantes que influyen el uso de las series de suelos encontradas en la finca Parrachoch.	13
Cuadro 1.3	Uso actual de la tierra, finca Parrachoch.	14
Cuadro 1.4	Especies de algunos árboles y arbustos existentes en la finca Parrachoch.	17
Cuadro 1.5	Especies de fauna existentes en la finca Parrachoch.	17
Cuadro 2.1	Valores de coeficientes (K_p) según valores de pendientes.	34
Cuadro 2.2	Valores de coeficientes (K_v) según tipo de cobertura vegetal.	35
Cuadro 2.3	Uso actual de la tierra finca Río Frío.	39
Cuadro 2.4	Uso de la tierra finca Parrachoch.	39
Cuadro 2.5	Variables de investigación.	50
Cuadro 2.6	Radiación solar extraterrestre, RMM, expresada en evaporación equivalente en mm por día.	52
Cuadro 2.7	Duración máxima media diaria de horas de brillo solar para diferentes meses y latitudes.	53
Cuadro 2.8	Análisis químico de suelo por tratamiento.	54
Cuadro 2.9	Análisis físico de suelo por tratamiento.	55
Cuadro 2.10	Precipitación pluvial (mm) en el área de estudio.	56
Cuadro 2.11	Precipitación interna en las parcelas de bosque durante el período de estudio.	57
Cuadro 2.12	Análisis de varianza para la escorrentía en tres usos de suelo en la finca Río Frío, Santa Cruz Verapaz.	59
Cuadro 2.13	Prueba de Medias de Duncan para la escorrentía en m^3 por ha en tres usos de suelo en la finca Río Frío, Santa Cruz Verapaz.	60
Cuadro 2.14	Análisis de varianza para la erosión en tres usos de suelo en la finca Río Frío, Santa Cruz Verapaz.	66
Cuadro 2.15	Prueba de Medias de Duncan para la erosión de tres usos de suelo en la finca Río Frío, Santa Cruz Verapaz.	67
Cuadro 2.16	Análisis químico por tratamiento al suelo erosionado.	74
Cuadro 2.17	Infiltración básica registrada en los suelos del área de estudio por tratamiento.	75
Cuadro 2.18	Estimación de la evapotranspiración por el método de Hargreaves.	75
Cuadro 2.19	Resumen de la recarga potencial por tratamiento.	76
Cuadro 2.20	Resumen del balance hídrico de suelos realizado en el área de estudio por cada tratamiento utilizando datos meteorológicos mensuales por el método Schosinsky.	77
Cuadro 3.1	Precipitación mensual registrada en la microcuenca Río Frío, Febrero a Noviembre de 2006.	88
Cuadro 3.2	Temperatura media diaria registrada en la finca Río Frío. febrero a noviembre.	89
Cuadro 3.3	Evapotranspiración mensual ocurrida de febrero a noviembre de 2006.	91

Cuadro 3.4	Caudales medios mensuales de la microcuenca Río Frío durante el período de Febrero a Noviembre de 2006.	93
Cuadro 3.5	Número de actividades de la subregión II – 1 del INAB apoyadas.	96
Cuadro 3.6	Clasificación de área y número de proyectos activos de PINFOR incentivados por municipio, subregión II – 1, Tactic.	97
Cuadro 2.21.A	Cálculo de la infiltración básica para el tratamiento de bosque.	100
Cuadro 2.22.A	Cálculo de la infiltración básica para el tratamiento de pastos.	102
Cuadro 2.23.A	Cálculo de la infiltración básica para el tratamiento de cultivo.	104
Cuadro 2.24.A	Balance hídrico de suelos por el método de Gunther Schosinsky para el tratamiento de cultivos.	108
Cuadro 2.25.A	Balance hídrico de suelos por el método de Gunther Schosinsky para el tratamiento de pastos.	110
Cuadro 2.26.A	Balance hídrico de suelos por el método de Gunther Schosinsky para el tratamiento de bosque.	112

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura I.1	Mapa de ubicación finca Parrachoch, Tactic Alta Verapaz.	6
Figura I.2	Mapa de vías de acceso, finca Parrachoch, Tactic Alta Verapaz.	7
Figura I.3	Mapa geológico, finca Parrachoch, Tactic, Alta Verapaz.	9
Figura I.4	Mapa de pendientes, finca Parrachoch, Tactic, Alta Verapaz.	11
Figura I.5	Mapa de serie de suelos, finca Parrachoch, Tactic, Alta Verapaz.	12
Figura I.6	Mapa de taxonomía de suelos, finca Parrachoch, Tactic, Alta Verapaz.	15
Figura I.7	Mapa de uso de la tierra, Finca Parrachoch, Tactic, Alta Verapaz.	16
Figura 2.1	Mapa de ubicación, fincas Río Frío y Parrachoch.	37
Figura 2.2	Tablas tratadas con aceite quemado y diesel.	43
Figura 2.3	Instalación de tablas en el suelo.	43
Figura 2.4	Canal colector de hojalata.	44
Figura 2.5	Recipientes colectores de 68 litros cada uno.	44
Figura 2.6	Croquis de la unidad experimental.	45
Figura 2.7	Termómetro de máxima y mínima.	45
Figura 2.8	Pluviómetro de cuña.	45
Figura 2.9	Toma de altura del agua escurrida.	46
Figura 2.10	Limpia de canales.	47
Figura 2.11	Extracción de basura.	47
Figura 2.12	Toma de muestra de 600 ml.	48
Figura 2.13	Conos sedimentadotes Imhoff.	48
Figura 2.14	Pluviómetros móviles.	49
Figura 2.15	Precipitación reportada por tratamiento en el área de estudio.	56
Figura 2.16	Precipitación interna y externa en las parcelas de bosque.	58
Figura 2.17	Volumen de escorrentía superficial según el uso del suelo.	59

Figura 2.18	Análisis de regresión de precipitación vrs. Escorrentía superficial en bosque.	61
Figura 2.19.	Análisis de regresión de precipitación vrs escorrentía superficial en cultivo.	62
Figura 2.20.	Análisis de regresión de precipitación vrs escorrentía superficial en pastos.	64
Figura 2.21.	Volumen de suelo erosionado (TM/ha) por tratamiento de uso de suelo.	65
Figura 2.22.	Análisis de regresión de precipitación vrs erosión en bosque.	67
Figura 2.23.	Análisis de regresión de precipitación vrs erosión en cultivos.	69
Figura 2.24.	Análisis de regresión de precipitación vrs erosión en pastos.	69
Figura 2.25.	Análisis de regresión de escorrentía vrs erosión en bosque.	70
Figura 2.26.	Análisis de regresión de escorrentía vrs erosión en cultivos.	71
Figura 2.27.	Análisis de regresión de escorrentía vrs erosión en pastos.	73
Figura 3.1	Medición de la precipitación pluvial en la estación ubicada en la parte baja de la microcuenca.	86
Figura 3.2	Termómetro de máximas y mínimas utilizado para la medición de temperatura.	86
Figura 3.3	Medición de la profundidad del caudal que pasa por el canal de aforo ubicado en el cauce principal de la microcuenca.	87
Figura 3.4	Precipitación ocurrida en la parte baja y alta de la microcuenca Río Frío.	89
Figura 3.5	Temperatura media mensual para las estaciones ubicadas dentro de la microcuenca Río Frío.	90
Figura 3.6	Climadiagrama de la microcuenca Río Frío.	92
Figura 3.7	Comportamiento del caudal medio mensual durante los meses de Febrero a Noviembre de 2006 en la microcuenca Río Frío.	93

RESUMEN GENERAL

El presente trabajo de graduación consta de tres capítulos, los cuales son: 1) el diagnóstico general de la finca Parrachoch, Tactic Alta Verapaz; 2) la investigación que lleva por nombre 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, Alta Verapaz y 3) el informe de servicios realizados en la Subregión II – 1 del Instituto Nacional de Bosques -INAB-, Tactic, Alta Verapaz.

La metodología utilizada para la ejecución del diagnóstico constó básicamente de tres partes, dos fases de gabinete y una de campo. En la primera fase de gabinete se recopiló la poca información base sobre la finca Parrachoch. La fase de campo constó de varios caminamientos con acompañamiento del propietario de dicha finca, para dar validez a la información base y recopilar nueva información. Por último, la fase de gabinete final, en la que se reunió toda la información recompilada y se escribió el informe final.

El diagnóstico evidenció que la finca Parrachoch, posee un área total de 134.96 hectáreas, con una cobertura forestal de 52.43 hectáreas, representando el 38.85% del total del área, repartida entre bosque maduro, medio y joven, también, una cobertura con pasto de 53.9 hectáreas, equivalente al 39.94% del área de la finca, así también posee un área agrícola de 18.45 hectáreas, que es un 13.67% de la finca, el resto del área que es un 7.54% de la misma, corresponde a una cobertura con guamil. A nivel general de la finca el recurso suelo se presenta poco deteriorado, aunque con un riesgo alto de erosión debido a las pendientes bastante pronunciadas que se presentan en el lugar.

La investigación se realizó en la finca Río Frío y Parrachoch. Se contó con 12 parcelas de escorrentía en tres diferentes usos de suelo (forestal, agrícola y pecuario), distribuidas en un diseño experimental de bloques al azar; la misma está orientada a evaluar el comportamiento de la escorrentía superficial y la erosión hídrica derivado de la cobertura vegetal que brindaba cada uso de suelo.

Según los resultados de la investigación, estadísticamente existe diferencia significativa en cuanto a pérdida de suelo y escorrentía superficial para los tres usos de suelo evaluados. Se realizaron análisis de regresión para las variables de pérdida de suelo y precipitación pluvial, así como de

escorrentía superficial y precipitación pluvial. Según esto se pudo observar que los valores mínimos tanto de pérdida de suelo como de escorrentía superficial se encuentran en el uso forestal y pecuario, causando más daño al suelo el uso agrícola.

Por aparte en el tercer capítulo se presenta el informe de servicios, el cual consta de dos servicios fundamentales, dentro de los cuales el más importante es el apoyo al Plan Operativo Anual de la Subregión II – 1 y dentro de las actividades que se pueden contabilizar están: la fiscalización de industrias forestales, la certificación de proyectos de PINFOR, evaluación de planes de manejo y plantaciones voluntarias entre otras. El otro servicio restantes consistió en el monitoreo de la estación climática ubicada dentro de la finca Río Frío, Santa Cruz Verapaz.

CAPÍTULO I

DIAGNÓSTICO GENERAL DE LA FINCA PARRACHOCH, TACTIC, ALTA VERAPAZ.

1.1 PRESENTACIÓN

La finca Parrachoch está ubicada en el municipio de Tactic, del departamento de Alta Verapaz, siendo propiedad del señor Ataulfo Ramírez, posee un área total de 134.96 hectáreas, con una cobertura forestal de 52.43 hectáreas, representando el 38.85% del total del área, repartida entre bosque maduro, medio y joven, también, una cobertura con pasto de 53.9 hectáreas, equivalente al 39.94% del área de la finca, así también posee un área agrícola de 18.45 hectáreas, que es un 13.67% de la finca, el resto del área que es un 7.54% de la misma, corresponde a una cobertura con guamil. A nivel general de la finca el recurso suelo se presenta poco deteriorado, aunque con un riesgo alto de erosión debido a las pendientes bastante pronunciadas que se presentan en el lugar.

Existe poca información generada acerca de esta finca; otra gran parte de la información aún no existe, por lo que parte de esta información se generó durante el periodo del Ejercicio Profesional Supervisado. Por tal causa, se presentan algunos aspectos biofísicos de la finca en estudio, así como los avances en la generación de información hidrológica y construcción de estructuras para generar dicha información.

La importancia que reviste esta finca, se debe a que a partir del año 2006, está considerada dentro de las áreas de acción priorizadas en el ámbito nacional en función a su cobertura, y a su gran importancia hidrológica por el Proyecto de Conservación de Ecosistemas Forestales Estratégicos (CEFE), el cual tiene bajo su responsabilidad la implementación de proyectos piloto para la conservación y manejo de áreas de recarga hídrica críticas en el país. Por tal razón, la finca Parrachoch fue considerada como unidad experimental, para llevar a cabo investigaciones relacionadas con hidrología forestal, precisamente debido a las características que posee en cuanto a sus recursos y las actividades agrícolas, pecuarias y forestales que se llevan a cabo en la misma. A través de este diagnóstico realizado en el año 2006 se enriquecerá la información de la finca con respecto a estos temas.

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 GENERAL

Realizar un Diagnóstico general de la finca Parrachoch, Tactic, Alta Verapaz.

1.2.2 ESPECÍFICOS

1.2.2.1 Describir las características climáticas de la finca Parrachoch (temperatura, precipitación, zona de vida).

1.2.2.2 Describir las características del recurso suelo, tales como fisiografía, serie de suelos y geología en la finca Parrachoch.

1.3 METODOLOGÍA

La metodología utilizada para alcanzar los objetivos planteados, se dividió en las siguientes fases:

- **Trabajo de gabinete**

El trabajo inicial de gabinete consistió en recopilar la información cartográfica, así como la búsqueda de información que existiera de la finca.

La recopilación de información se realizó por medio de revisión de diferentes documentos tales como:

*Base cartográfica del Ministerio de agricultura, ganadería y alimentación.

*Expediente de Manejo Forestal de la finca Parrachoch, Sub-región II-1 del INAB, Tactic A. V.

- **Trabajo de campo**

El trabajo de campo consistió en realizar un reconocimiento del área para corroborar el uso actual de la tierra. Al mismo tiempo de corroborar la información biofísica, recopilada en la fase inicial de gabinete.

- **Trabajo de gabinete final**

El trabajo de gabinete final consistió en la integración de toda la información recopilada en la fase de gabinete inicial y la fase de campo.

1.4 RESULTADOS

1.4.1 Ubicación

1.4.1.1 Localización de la finca Parrachoch

La finca Parrachoch se encuentra situada administrativamente en el municipio de Tactic, departamento de Alta Verapaz, en las coordenadas geográficas: LATITUD NORTE 15° 19' 43" LONGITUD OESTE 90° 23' 32". Siendo propiedad del señor Ataulfo Ramírez Flores. (Figura I.1).

1.4.1.2 Límites y colindancias

Al Norte:	Caserío Cobanero, Tactic Alta Verapaz.
Al Sur:	Carmen Vasquez y Harol Jageenzon, Tactic Alta Verapaz.
Al Este:	Estela Ramírez de Arriola, Tactic Alta Verapaz.
Al Oeste:	Finca Río Frío, Santa Cruz Verapaz.

1.4.1.3 Vías de acceso

De la ciudad capital ruta al atlántico Norte CA-14 en el kilómetro 192, se encuentra a 5 km. De la Villa de Tactic, hacia la cabecera departamental de Alta Verapaz. (Figura I.2).

1.4.2. Zona de Vida

De acuerdo al estudio realizado por De la Cruz (1), la zona de vida identificada para el ámbito de la finca es Bosque muy húmedo Subtropical frío (bmh-S(f)). Se caracteriza por presentar un relieve ondulado y en algunos casos accidentado, el régimen de lluvias es de larga duración lo que influye en la vegetación, se caracteriza por ser el segmento de mayor altura del bosque muy húmedo. Algunas especies indicadoras de esta zona son: *Pinus maximinoi*, *Persea schiediana*, *Myrica cerifera*, *Liquidámbar sp.*, entre otras.

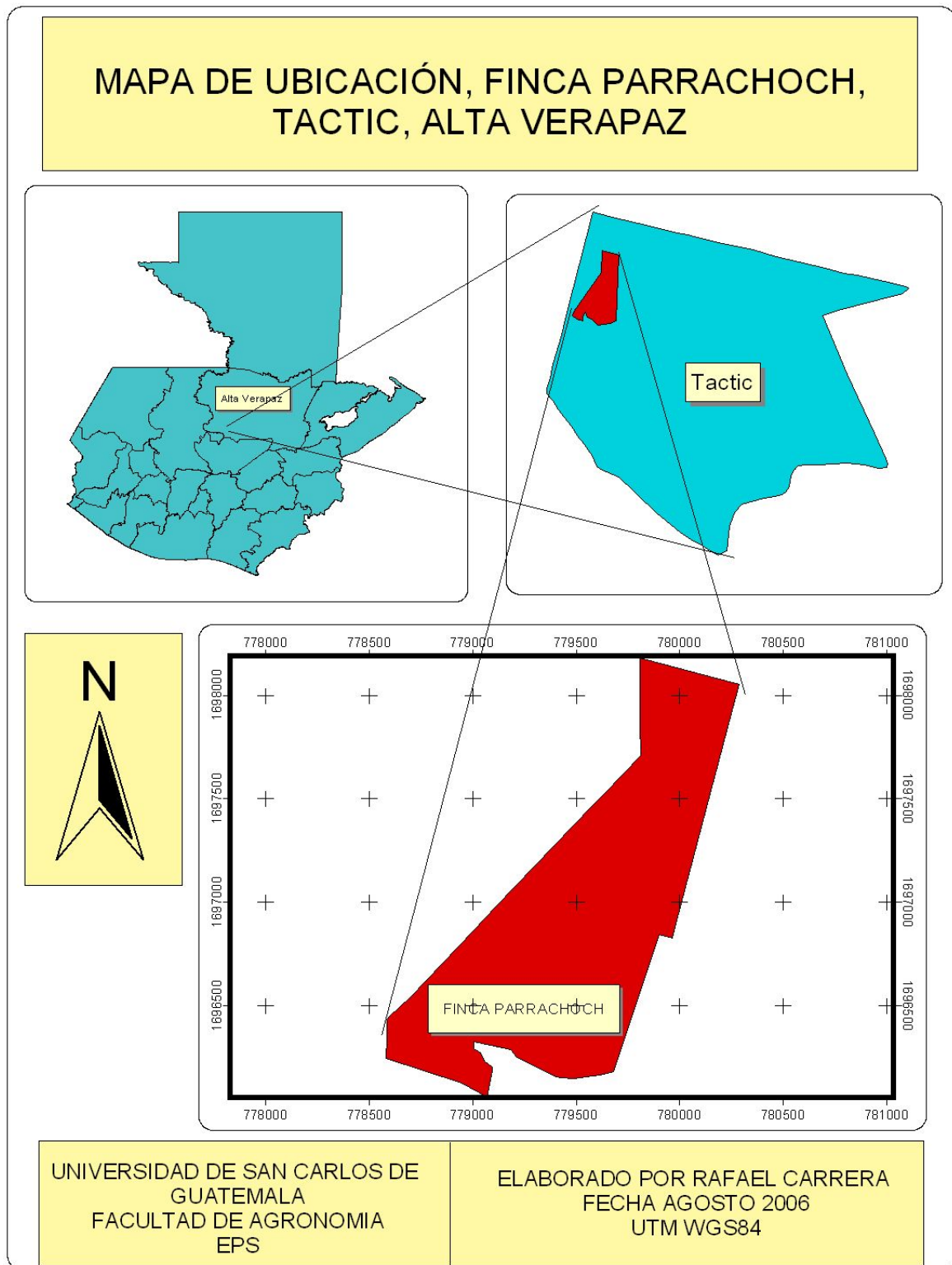


Figura I.1. Mapa de ubicación finca Parrachoch, Tactic Alta Verapaz.

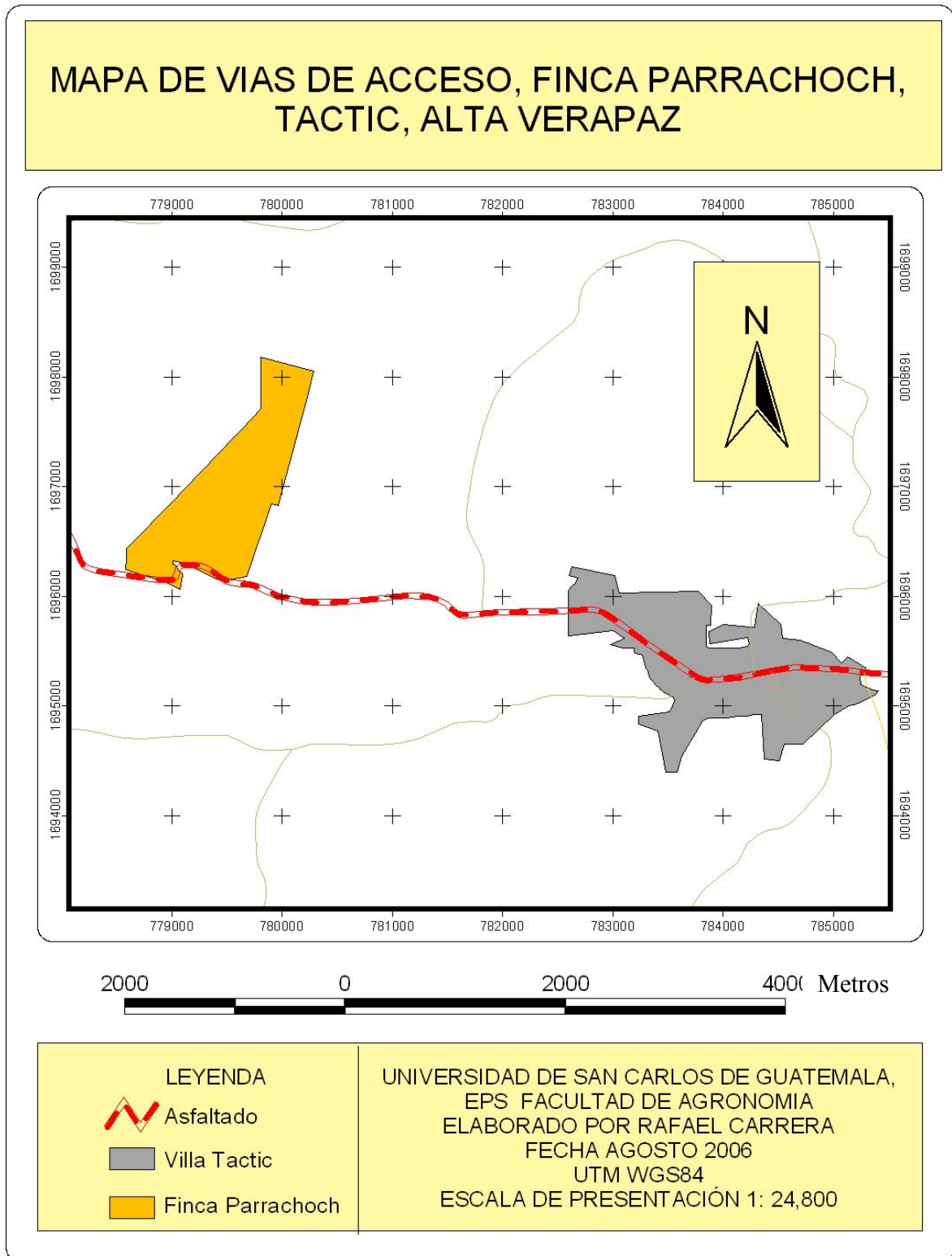


Figura I.2. Mapa de vías de acceso, finca Parrachoch, Tactic Alta Verapaz.

1.4.3 Geología y geomorfología

De acuerdo al Ministerio de agricultura, ganadería y alimentación (2000):

Existen dentro de esta finca dos unidades geológicas, las cuales pertenecen a la era Mesozoica.

Estas unidades son:

- **“Carbonatos del Cretácico” (Ksd):** Comprende las formaciones Cobán y Campur. La formación Cobán puede ser dividida en cuatro miembros A, B, C y D, comprendiendo calizas y dolomitas con halita e intercalaciones de anhidritas. La formación Campur consiste de calizas, dolomitas y lutitas, con alto contenido de fósiles, los cuales son la base de diferenciación de estas rocas con formación Cobán. Son rocas que abarcan casi todo el cretácico, siendo muy importante puesto que la formación Cobán es la unidad donde se encuentran los reservorios de petróleo en el país. Estas formaciones se localizan principalmente al centro y al Sur de los departamentos de Petén, Bélice y Quiché, en el Norte y Sur de Izabal y en casi todo el departamento de Alta Verapaz y Huehuetenango, así como unas pequeñas áreas distribuidas en San Pedro y San Juan Sacatepéquez, en Tecpán y San José Poaquil. (Figura I.3).
- **“Formación Todos Santos” (JKts):** Esta unidad se define como una secuencia continental y marina de capas rojas del Jurásico superior que aflora en el poblado de Todos Santos en los Altos Cuchumatanes. Esta constituida por una secuencia alargada de conglomerados, lutitas y areniscas, que se observa en superficie, principalmente en los departamentos de Huehuetenango y Quiché, existiendo además pequeñas áreas en las Verapaces (3). (Figura I.3)

Esta unidad posee una edad absoluta aproximadamente de 64 a 136 millones de años.

También pertenece a la era Mesozoica (3).

La más característica de sus geoformas está localizada al Norte de la Sierra de Chamá, donde se presentan colinas paralelas, anticlinales y sinclinales sumergidas y la topografía típica del Karst, cuyo origen son pliegues, fallas y procesos erosivos (3).

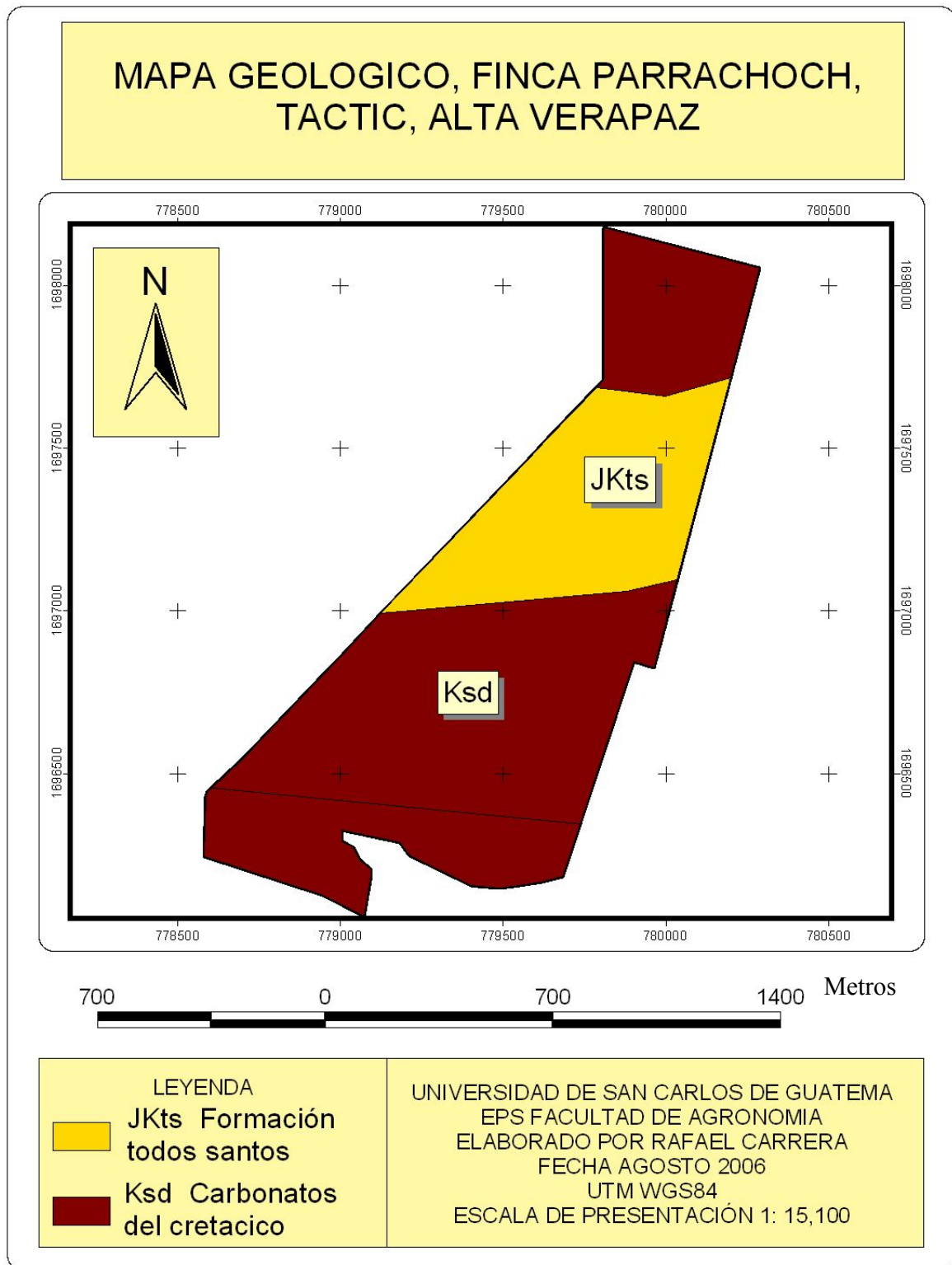


Figura I.3. Mapa geológico, finca Parrachoch, Tactic, Alta Verapaz. Fuente MAGA (2000)

1.4.4 Hipsometría, fisiografía y relieve

La finca se encuentra ubicada dentro de la región fisiográfica de Tierras calizas Altas del Norte según la clasificación de tierras del manual técnico del INAB. La topografía de la finca es variada, pudiéndose encontrar depresiones de 1394 msnm y en las partes más altas 1841 msnm. (3). Se registran pendientes con rangos de 15 a 45%. Predominando el rango de 35 a 45 % por lo que se puede definir en términos generales como una topografía quebrada (Figura I.4).

1.4.5 Edafología

- **Génesis**

Los suelos se han desarrollado sobre rocas calcáreas a elevaciones medianas, dando origen a suelos medianamente profundos y medianamente susceptibles a la erosión.

La finca presenta en general suelos bien drenados, con pedregosidad limitante en algunos sitios.

- **Serie de Suelos**

Según el MAGA (3), esta finca presenta dos series de suelos: serie de suelos Carchá (Cr) que es la menos extensa, y la serie de suelos Telemàn (Te) que es la más extensa de estas dos como se puede observar en el cuadro I.1 (Figura I.5)

Según Simmons (4), estas dos series de suelos permiten comprender que los suelos de la finca poseen un drenaje de rápido a moderado, de colores café oscuro a muy oscuro. Es posible encontrar suelos superficiales con textura franco limosa y de consistencia friable. El espesor del suelo superficial posiblemente no sea mayor de 30 centímetros.

La consistencia del subsuelo posiblemente sea friable, con una textura franco limosa a franco arcillosa. El espesor de este subsuelo posiblemente no sea mayor de 60 centímetros. Las características de ambas series de suelos encontradas en la finca se presentan en el cuadro I.1

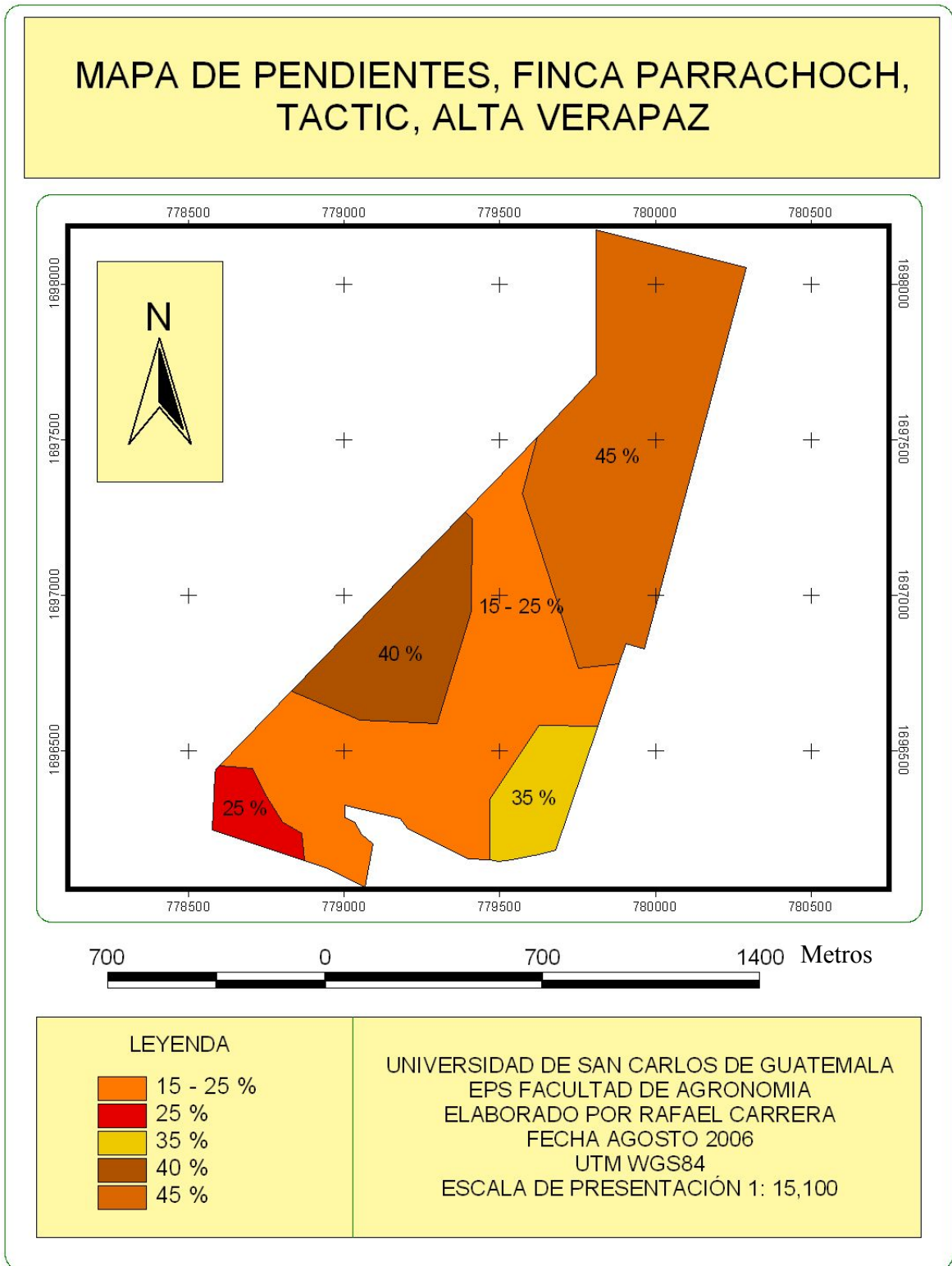


Figura I.4. Mapa de pendientes, finca Parrachoch, Tactic, Alta Verapaz. Fuente MAGA (2000).

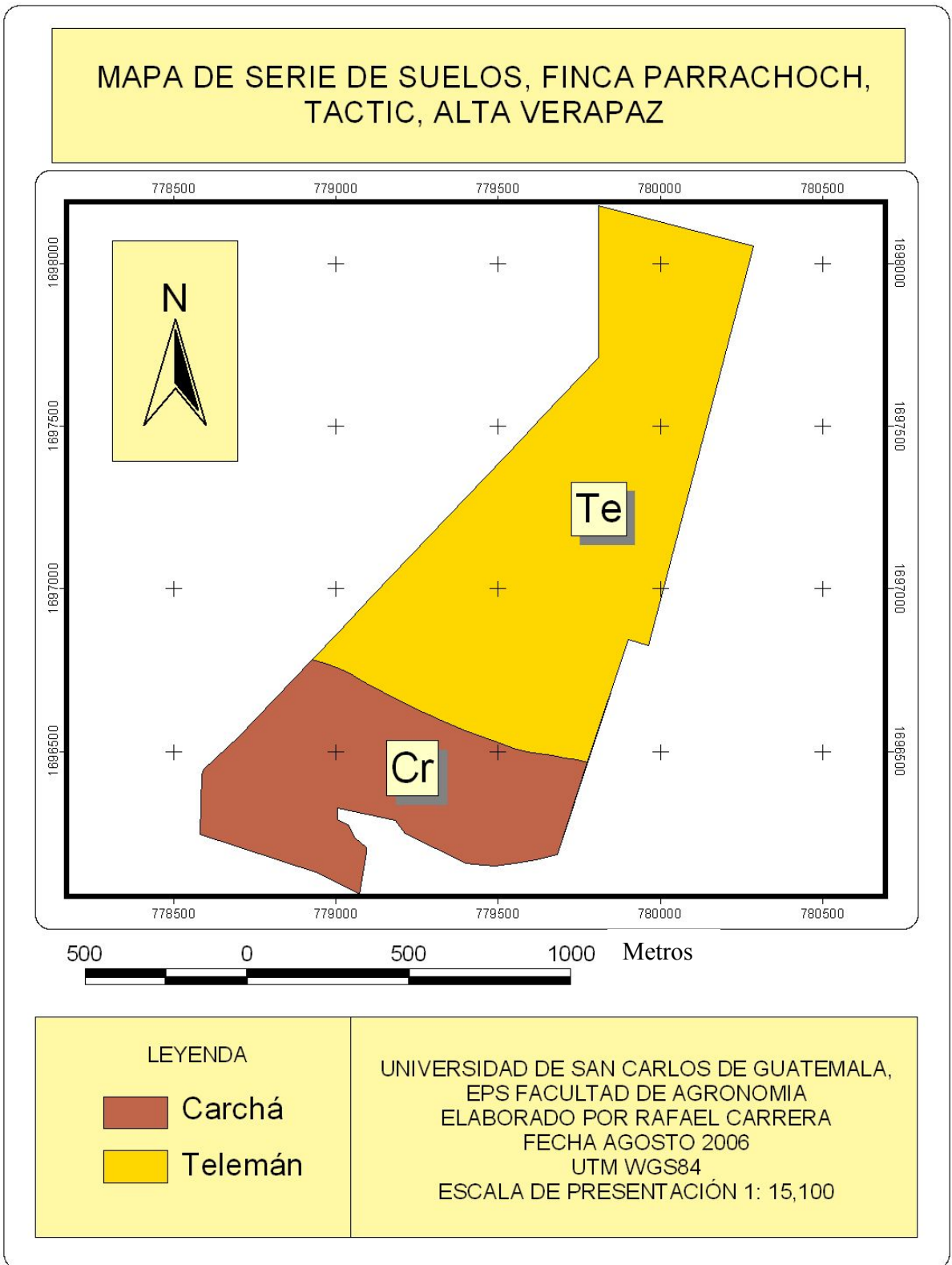


Figura I.5. Mapa de serie de suelos, finca Parrachoch, Tactic, Alta Verapaz. Fuente MAGA (2000).

Cuadro I.1. Material madre y características de los perfiles de las series de suelos encontradas en la finca Parrachoch.

Símbolo	Material madre	Drenaje interno	Suelo subsuperficial			Subsuelo			
			Color	Textura	Espesor	Color	Consistencia	Textura	Espesor
Cr	Ceniza volcánica de grano fino	rápido	Cafè más oscuro	Franco limoso; friable	30 cm	Cafe amarillento	friable	Franco arcillo limosa	60 cm
Te	Esquisto arcilloso o esquisto	moderado	Cafe a cafe oscuro	Franco limosa; friable	15-20 cm	Cafe claro a café rojizo	friable	Franco limosa a arcilla	50 cm o más

Fuente: Simmons, CS; Tárano, JM; Pinto, JH. 1959 (8)

Además, son importantes otras características que influyen en el uso de las series de suelos encontradas en la finca. De aquí, se puede conocer que el drenaje no es limitante para el uso de estos suelos, pues se cuenta con un drenaje de moderado a rápido. Además se cuenta con una alta capacidad de abastecimiento de humedad (4).

No existe ninguna capa que limite la penetración de raíces, sino hasta los 75 centímetros de profundidad del suelo. Una de las limitantes es la baja a regular fertilidad natural de estos suelos. El único problema de manejo del suelo es la susceptibilidad a la erosión. Estas características se presentan en el cuadro I.2

Cuadro I.2. Características importantes que influyen en el uso de las series de suelos encontradas en la finca Parrachoch.

Símbolo	Declive dominante	Drenaje a través del suelo	Capacidad de abastecimiento de humedad	Capa que limita penetración de raíces	Peligro de erosión	Fertilidad natural	Problemas especiales en manejo de suelo
Cr	4 – 8	rápido	alta	ninguna	alta	regular	combate de erosión y peligro de heladas
Te	30 - 40	moderado	alta	roca esquisto arcillosa a 75 cm	muy alta	baja	combate de erosión

Fuente: Simmons, CS; Tárano, JM; Pinto, JH. 1959

- **Taxonomía de suelos**

De acuerdo con la primera aproximación a la clasificación taxonómica de los suelos de Guatemala, los suelos de la finca se clasifican en los siguientes ordenes: Andisoles y Ultisoles. (4). (Figura I.6)

El orden de los Andisoles son suelos volcánicos, desarrollados sobre ceniza volcánica, por lo que presentan mucha fertilidad.

Por el contrario el orden de los Ultisoles son suelos más pobres con presencia de plintita (mezcla de arcilla y cuarzo), dominado por materiales amorfos, además presenta problemas en la fijación de fosfatos. El orden de los Andisoles corresponde a la serie Carchá y el orden de los Ultisoles corresponde a la serie Telemàn (4).

1.4.6. Clima

De acuerdo al MAGA (3), el clima en la finca de acuerdo a la clasificación de Thornwhaite se denomina AB'2 (muy húmedo-templado), A (muy húmedo), B'2 (templado). La precipitación mínima anual entre 800 y 900 mm, una precipitación media anual entre 1600 y 1700 mm y una máxima anual que oscila entre 2,000 y 3,000 mm, los cuales se distribuyen durante los meses de mayo a octubre. La temperatura media anual es de 22 °C, con temperatura mínimas entre 18 y 20 °C, y temperaturas máximas de hasta 30 °C.

1.4.7 Uso actual de la tierra

Los suelos del terreno son francos arcillosos, con una profundidad efectiva mayor de 90 cm. presentan buen drenaje y con una pedregosidad moderada, siendo adecuados para uso forestal o en su caso cultivos bajo sistemas agroforestales como se presenta en el cuadro I.3, y pastos en las partes más bajas. (Figura I.7)

Cuadro I.3. Uso actual de la tierra, finca Parrachoch.

USO ACTUAL	AREA (hectáreas)	PORCENTAJE
Bosque	52.43	38.85
Pastos	53.9	39.94
Agricultura	18.45	13.67
Guamil	10.18	7.54
Total	134.96	100

Fuente: Muss J.P. 2004.

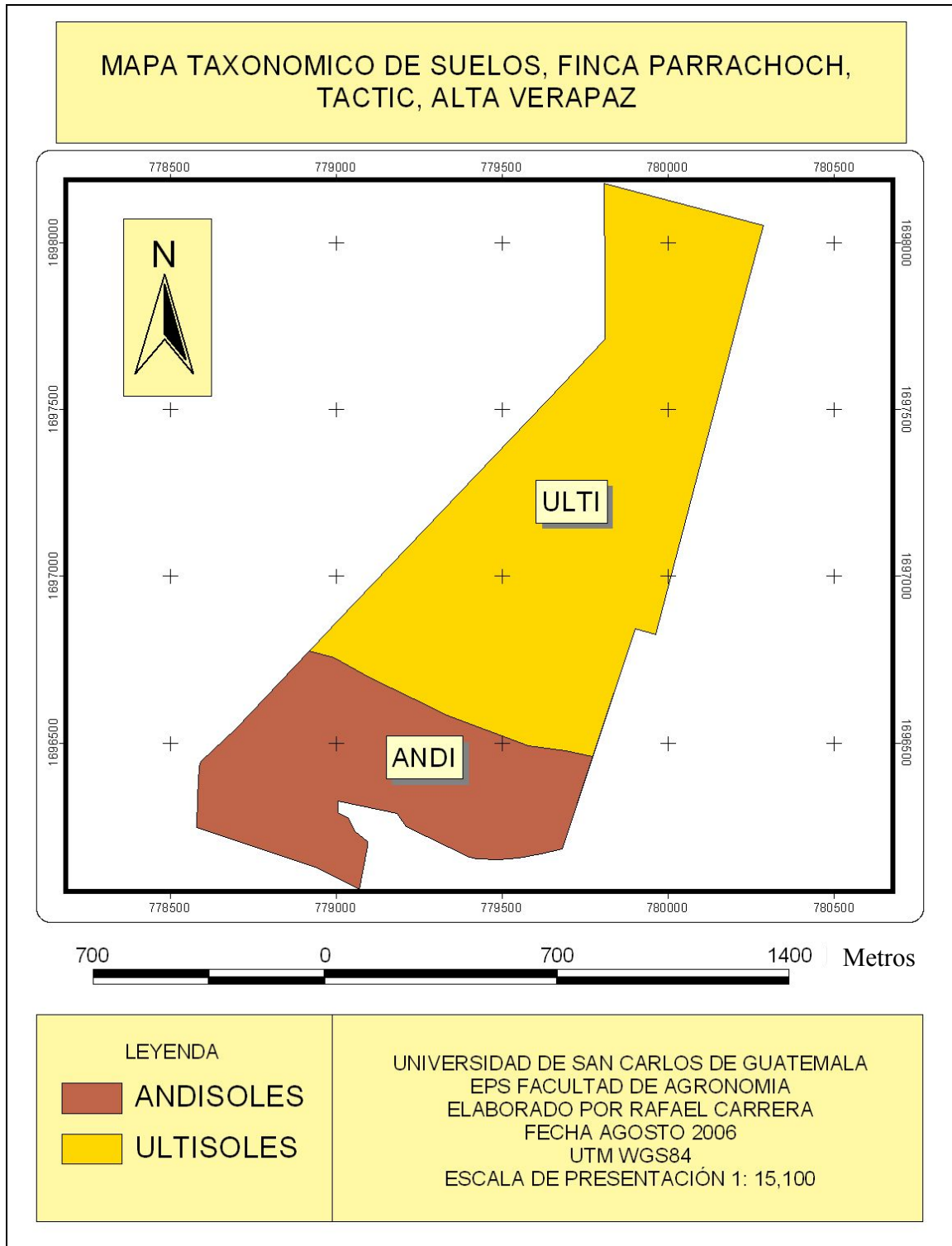


Figura I.6. Mapa de taxonomía de suelos, finca Parrachoch, Tactic, Alta Verapaz. Fuente MAGA (2000).

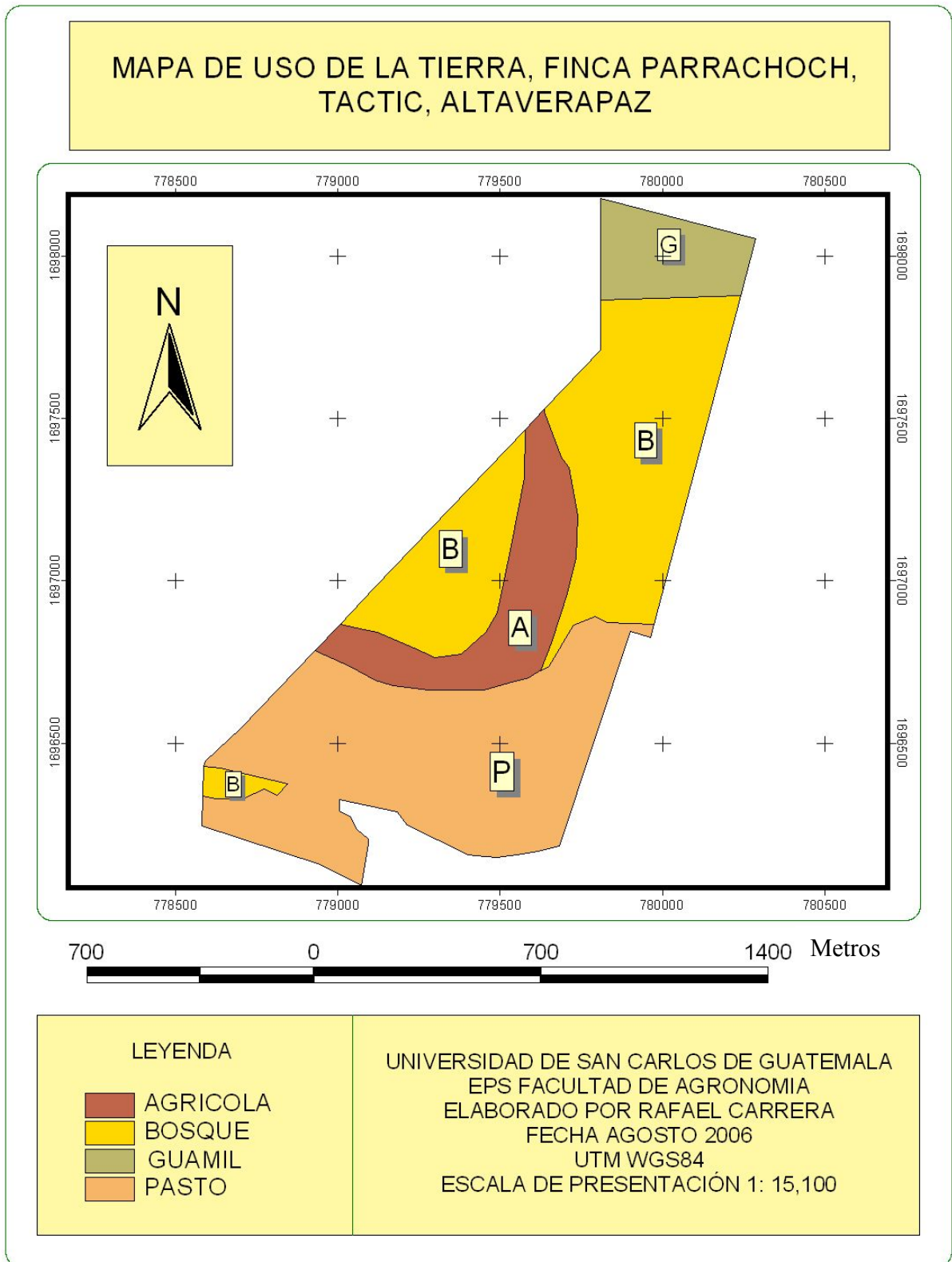


Figura I.7. Mapa de uso de la tierra, Finca Parrachoch, Tactic, Alta Verapaz. Fuente MAGA (2000).

1.4.8 Inventario de flora y fauna

Cuadro I.4. Especies de algunos árboles y arbustos existentes en la finca Parrachoch.

Número	Nombre común	Nombre científico
1	Pino	<i>Pinus maximinoi</i>
2	Encino	<i>Quercus sp</i>
3	Liquidambar	<i>Liquidambar sp.</i>
4	Taxiscobo	<i>Arbustus xalapensis</i>
5	Guachipin	<i>Diphyssa carthagensis</i>
6	Nogal	<i>Junglas guatemalensis</i>
7	Guarumo	<i>Cecropia peltata</i>
8	Amate	<i>Ficus glabrata</i>
9	Capulin	<i>Ardicia paschalis</i>
10	Cipres	<i>Cupressus lusitanica</i>
11	Casuarina	<i>Casuarina esquisifolia</i>

Fuente: Universidad Rafael Landivar (2002)

De las especies mencionadas anteriormente las más representativas son *Pinus maximinoi* y *Liquidámbar sp.*

Cuadro I.5. Especies de fauna existentes en la finca Parrachoch.

Número	Nombre común	Nombre científico
1	Armadillo	<i>Dasopus novencinctus</i>
2	Coche de monte	<i>Tayassu tajacu</i>
3	Cabro	<i>Mazama americana</i>
4	Cotuza	<i>Dasy procta puntata</i>
5	Tepescuintle	<i>Agouti paca</i>
6	conejo	<i>Silvilagus sp</i>
7	Ardilla	<i>Sclurus sp</i>
8	Taltusa	<i>Orthogromys sp.</i>
9	Puerco espin	<i>Sphiggurus mexicanus</i>
10	Mapache	<i>Procyon lotor</i>
11	Micoleon	<i>Potos falvus</i>
12	Godorniz	<i>Odonthophoros guttatus</i>
13	Paloma perdiz	<i>Geotrygon montana</i>

Fuente: Universidad Rafael Landivar (2002)

Según el cuadro I.5 las especies de fauna más representativas son: Armadillo (*Dasypus novemcinctus*), Coche de monte (*Tayassu tajacu*), Ardilla (*Sciurus sp*), Paloma perdiz (*Geotrygon montana*) y Cacha (*Penelope nigra*).

1.4.9. Aspecto social

Dentro de la finca se encuentra ubicada una familia compuesta por una mujer y dos hombres quienes son los propietarios de la misma.

1.5 CONCLUSIONES

- La finca Río Frío es un área con características importantes en cuanto a sus características de suelo y uso del mismo, por lo cual es considerada un área modelo para realizar investigaciones enfocadas en hidrología forestal.
- La finca posee un recurso forestal importante, pues el 38.85 % de la totalidad de su área (52.43 ha) está conformada por bosque, un 39.94 % corresponde a una cobertura con pasto, y una menor cantidad de área dedicada al uso agrícola.
- La finca está compuesta por dos series y dos ordenes de suelo según Simmons y la primera aproximación a la clasificación taxonómica de los suelos de Guatemala los cuales son: Carchá, Telemán y Andisoles y Ultisoles respectivamente, correspondiendo la serie Carchá al orden de Andisol y la serie Telemán al orden Ultisol, siendo estos últimos los que poseen mayor área, caracterizándose principalmente por presentar buen drenaje interno y una profundidad efectiva entre 60 a 100 cm., por lo que se considera un suelo profundo.
- La finca Río Frío posee una pendiente media de 37 % considerándose como muy pronunciado con alto riesgo de erosión.
- La precipitación mínima anual esta entre 800 y 900 mm, una precipitación media anual entre 1600 y 1700 mm y una máxima anual que oscila entre 2,000 y 3,000 mm, los cuales se distribuyen durante los meses de mayo a octubre. La temperatura media anual es de 22 °C, con temperatura mínimas entre 18 y 20 °C, y temperaturas máximas de hasta 30 °C.

BIBLIOGRAFÍA

1. Cruz, JR De la. 1982. Clasificación de zonas de vida de Guatemala a nivel de reconocimiento. Guatemala, Instituto Nacional Forestal. 42 p.
2. INAB (Instituto Nacional de Bosques, GT). 1997. Expediente de manejo forestal de la finca Parrachoch, Tactic, Alta Verapaz, Guatemala. Guatemala. 45 p.
3. MAGA (Ministerio de Agricultura, Ganadería y Alimentación, GT). 2000. Mapas temáticos digitales de la república de Guatemala. Guatemala. Esc. 1:250,000. Color. 1 CD.
4. Simmons, CS; Tárano, JM; Pinto, JH. 1959. Clasificación de reconocimiento de los suelos de la república de Guatemala. Guatemala, Instituto Agropecuario Nacional. 995 p.
5. Universidad Rafael Landivar, GT. 2002. Plan de ordenación de la finca Parrachoch. Guatemala. 58 p.

CAPÍTULO II:

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. FEBRERO-NOVIEMBRE 2006.

EVALUATION OF THE PLUVIAL PRECIPITATION EFFECT ON THE SUPERFICIAL RUN-OFF AND HIDRYC EROSION IN THREE DIFERENT USES OF SOIL IN THE RIO FRIO FARM, SANTA CRUZ VERAPAZ. FEBRUARY - NOVEMBER 2006.

2.1 INTRODUCCIÓN

El proyecto de Conservación de Ecosistemas Forestales Estratégicos -CEFE- tiene bajo su responsabilidad la implementación de proyectos piloto para la conservación y manejo de áreas de recarga hídrica críticas en el país. Con estas actividades se pretende cumplir con los siguientes fines: 1) la generación de información básica, 2) desarrollo e implementación de mecanismos de internalización de costos de conservación de bosques, 3) validación de medidas técnicas de mitigación de impactos negativos del manejo forestal, y 4) desarrollo de bosques modelos de manejo forestal en áreas de recarga hídrica.

Está documentado que la combinación común de topografía quebrada, pendiente alta y precipitación moderada o alta en los sitios de bosque de coníferas conducen a erosión potencial y/o a dificultades operacionales, y son las relaciones del agua, la nutrición y el crecimiento en el sitio del bosque, las que tienen una profunda influencia en la dinámica del bosque y su interacción con el medio ambiente.

La presente investigación fue orientada a evaluar los efectos de escorrentía superficial y la erosión hídrica, en tres diferentes usos de suelo, los cuales son: forestal, agrícola y pecuario. Dichos efectos, que ocurrieron en cada uno de los usos de suelo, se midieron por medio de parcelas de escorrentía instaladas en las fincas Río Frío y Parrachoch, teniendo cuatro parcelas por cada sistema de producción. El tamaño de las parcelas fue de 7.5 m x 10.0 m. teniendo así un área de 75 m² por parcela.

Esta investigación forma parte del Ejercicio Profesional Supervisado (EPS), de la carrera de Ingeniero Agrónomo en Recursos Naturales Renovables de la Facultad de Agronomía (FAUSAC), la cual en convenio con el Instituto Nacional de Bosques (INAB), ha sido posible la realización de la investigación y así poder ir enriqueciendo el tema de Hidróloga Forestal.

Los resultados que se obtuvieron de la presente investigación, son: un balance hídrico por uso del suelo, la cuantificación de la erosión y escorrentía generados por cada uso del suelo y la comparación de los efectos anteriormente mencionados (sedimentos y escorrentía) de cada uso del suelo. El análisis de la información, se realizó por medio de una comparación descriptiva y estadística a través de una prueba de medias independientes sobre cada uno de los tres usos de suelo para luego obtener las conclusiones y plantear las recomendaciones pertinentes del estudio.

2.2 DEFINICIÓN DEL PROBLEMA

En Guatemala se ha generado poco conocimiento acerca del vínculo hidrológico forestal, así como de su relación con la interacción entre clima, suelos y las diferentes especies asociadas a los bosques. El profundizar en el conocimiento de esta dinámica permitirá obtener datos que respalden los criterios técnicos que la gestión forestal puede utilizar para responder a los diferentes cuestionamientos sobre el uso racional de los bosques y especialmente en cuanto a su función en la recarga hídrica.

El Instituto Nacional de Bosques (INAB), en virtud del mandato legal referido a la identificación y priorización de zonas de recarga hídrica y de la demanda de servicios propios de la administración forestal, se enfrenta, al igual que la mayoría de servicios forestales públicos, ante incertidumbre técnica y administrativa vinculada a la aprobación o sistema de aprobación de planes de manejo, como también de las medidas de restauración, en sitios (tierras) con aptitud preferentemente forestal, con o sin cobertura forestal. Ante esta situación, se han realizado varias acciones que tienden a definir y ubicar los sitios prioritarios para desarrollar el concepto de “Tierras forestales de captación y regulación hidrológica”. Este concepto tiene un enfoque de protección y conservación de tierras con aptitud forestal, ya que las áreas desprovistas de cobertura forestal tienen un efecto negativo sobre la conservación productiva en el suelo y principalmente la pérdida de su capacidad de infiltración.

Adicionalmente, el Proyecto de Investigación Forestal considera prioritaria la generación de información básica para el manejo y conservación de suelos y agua, la cual es realmente importante para la implementación y desarrollo de programas que solucionen los problemas de manejo forestal y uso adecuado de la tierra, con el objetivo de hacer cumplir la función que tienen las áreas boscosas en las zonas de recarga hídrica.

En el contexto social actual, es importante determinar como la reducción de la cobertura forestal amenaza la existencia y la calidad de las fuentes de agua. Por esa razón, se hizo necesario establecer cuales pueden ser las actividades en tierras forestales que tienden a la sostenibilidad, y de qué manera éstas pueden ser reconocidas por la sociedad para un mejor manejo de dichos ecosistemas. Por tanto, es prioritaria la generación de este tipo de información básica que permita la implementación de proyectos piloto en zonas potenciales para la recarga y captación hídrica.

2.3 MARCO TEÓRICO

2.3.1 MARCO CONCEPTUAL

2.3.1.1 Ciclo hidrológico

Los recursos hídricos tienen como referencia al ciclo hidrológico, el cual consiste en la continua circulación de agua sobre nuestro planeta (9).

El ciclo hidrológico es el proceso continuo en el que una partícula de agua evaporada del océano vuelve al océano después de pasar por las etapas de precipitación y escorrentía superficial o subterránea (4).

El ciclo hidrológico comienza con la evaporación del agua en los océanos, transportándose hacia continentes a través de masas móviles de aire que bajo condiciones adecuadas se condensan y forman nubes o también pueden transformarse en precipitación. La precipitación se dispersa, parte la retienen el suelo la cual regresa por evaporación y transpiración de las plantas, otra parte viaja en forma de escorrentía y una pequeña parte llega a los acuíferos en forma de agua subterránea (4).

2.3.1.2 Procesos hidrológicos generales

2.3.1.2.1 La dinámica de entrada del agua al sistema forestal

En términos cuantitativos, las interrelaciones del bosque con los flujos de agua se inician en el momento mismo en que la lluvia alcanza las copas de los árboles. Esta entrada de agua puede expresarse como precipitación directa resultante de los diferentes eventos lluviosos o como “precipitación oculta”, que resulta del efecto de la captación de neblina, fenómeno muy común en las regiones de alta montaña tropical (precipitación horizontal) (5).

Una vez la lluvia alcanza el límite superior del dosel, se ponen en funcionamiento varias rutas a través de las cuales el agua alcanza varios compartimentos del sistema hasta su disposición final en los ríos o en los depósitos subterráneos. La primera vía se manifiesta en el proceso de intercepción, por el cual una fracción de agua es retenida temporalmente por la superficie de las hojas, pudiendo luego evaporarse, escurrir nuevamente por troncos y más en lo que

generalmente se denomina flujo caulinar, o caer nuevamente a la superficie del suelo desde el dosel del bosque (precipitación interna) (5).

2.3.1.2.2 Precipitación bruta

La precipitación bruta es definida como la precipitación que llega a la parte superior de la vegetación. El efecto de los bosques sobre la precipitación bruta es uno de los temas donde todavía predominan mitos y malentendidos, que se pueden resumir en la idea que “los bosques aumentan la precipitación y hasta producen lluvia”. Es necesario aclarar que los procesos meteorológicos que condicionan y causan eventos de precipitación generalmente no dependen de la cobertura vegetal sobre la cual se precipita el agua, lo que implica que una determinada superficie de bosque no influye sobre la ocurrencia, cantidad de eventos de precipitación a los cuales está expuesta. Los bosques generalmente no incrementan la precipitación (17).

2.3.1.2.3 Precipitación interna

Una pequeña parte de la lluvia llega hasta el suelo del bosque como precipitación interna y escurrimiento por los tallos. Una porción sustancial es interceptada por el dosel del bosque, la cual se evapora posteriormente hacia la atmósfera durante e inmediatamente después de la precipitación; el resto alcanza la superficie del suelo como goteo de la copa. Debido a que la precipitación interna y el goteo de la copa son muy difíciles de determinar directamente en el campo, las dos se toman usualmente como una sola variable y se denominan precipitación interna (17).

2.3.1.3 Procesos del agua en el suelo

Tan pronto el agua traspasa la cobertura vegetal y llega a la superficie del suelo, puede ser retenida temporalmente y parcialmente en el horizonte superficial orgánico compuesto por la capa de hojarasca y de otros detritos en diferentes estados de descomposición. En función del tiempo de permanencia en este compartimento, el agua puede sufrir un nuevo proceso de evaporación o incorporarse, de la misma manera, a los procesos activos de descomposición del litter y a la consecuente formación de humus. De la naturaleza de esta fracción orgánica y de su relativa acumulación, dependen también los procesos de arranque, arrastre y depositación posterior de las partículas del suelo dentro de los fenómenos erosivos (10).

Los pasos subsecuentes del movimiento del agua están directamente relacionados con la infiltración o velocidad con la cual el agua ingresa en el horizonte superficial del suelo y con la

escorrentía, proceso relacionado con la fracción de lluvia que escurre por la superficie y que alcanza una corriente de agua. Sin descontar la influencia necesaria de los factores climáticos y geomorfológicos, estos dos procesos dependen básicamente las características internas del suelo, tanto a nivel de sus propiedades físicas, biológicas y mineralógicas, como de su morfología general, esto es, de la disposición y propiedades del juego de horizontes. La naturaleza mineralógica de las fracciones arcilla y arena, la textura, la bioestructura y la presencia y distribución de poros por tamaño, son las propiedades del suelo que definen la dinámica hídrica a este nivel. Algunos de estos factores, en especial la bioestructura y la porosidad, están íntimamente relacionados con el tipo de uso de la tierra y con las prácticas generales de manejo a que hayan sido sometidos los terrenos (10).

El predominio de la escorrentía sobre la infiltración resulta en una disposición torrencial de la precipitación pluvial, en el drenaje rápido y abundante de aguas de superficie y en el posterior arrastre de altas cantidades de suelo con pérdida en nutrientes y en capacidad productiva del medio edáfico. Cuando las condiciones del suelo son óptimas desde el punto de vista físico, la mayor parte de la precipitación entra a ser parte del compartimiento “agua del suelo” (10).

El agua del suelo representa un compartimiento de primera importancia dentro de las diferentes rutas de la precipitación pluvial. Íntimamente ligada a las características mineralógicas, físicas, químicas y biológicas del medio edáfico, la cantidad y disponibilidad de agua en el suelo es uno de los factores que mayor correlación presenta con el crecimiento forestal (10).

2.3.1.4 Erosión del suelo

La erosión es la desintegración gradual de la superficie de los suelos debido a productos químicos o efectos climatológicos, es la destrucción, deterioro y eliminación del suelo. Los factores que acentúan la erosión son, la precipitación y la velocidad del viento, la topografía, el grado y longitud del declive, las características físico-químicas del suelo, la cubierta de la tierra y su naturaleza, grado de cobertura, fenómenos naturales como terremotos, y factores humanos como la tala indiscriminada, quema subsecuente y pastoreo en exceso (6).

2.3.1.5 Erosión hídrica

Según Suárez, citado por Cifuentes (2000). La erosión hídrica es el proceso que consiste en el desprendimiento del suelo o fragmentación de roca y su arrastre, por acción del agua.

2.3.1.5.1 Tipos de erosión provocadas por el agua

Según Suárez, citado por Cifuentes (2000). La erosión causada por el agua puede manifestarse en distintas maneras y dentro de ellas se tiene:

- a) Chapoteo o batido; consiste en la dispersión de pequeñas partículas por la acción de las gotas de agua que causan desprendimiento y movimiento debido a las fuerzas y cantidad de lluvia que golpean al suelo.
- b) Erosión laminar; es aquella que produce la eliminación o transporte de capas de suelo en forma uniforme.
- c) Flujo canalizado; consiste en la formación de canales que con el transcurso del tiempo y la acción del agua se convierten en cárcavas por concentración de agua en lugares bajos.

2.3.1.5.2 Procesos de la erosión hídrica

Según Suárez, citado por Cifuentes (2000). La erosión hídrica consta de los siguientes procesos:

- a) Separación o liberación de partículas o grupos de ellas de la masa principal del suelo.
- b) Movimiento, transporte o remoción de las partículas de suelo de su posición original.
- c) La sedimentación que ocurre cuando se presentan cambios de pendiente o algún obstáculo que disminuye la velocidad de escurrimiento y así su capacidad de arrastre.

2.3.1.5.3 Escorrentía

Según González (7), Conviene distinguir entre escorrentía superficial y escorrentía en sentido amplio.

- i) 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).
- ii) Escorrentía en sentido amplio es la circulación de agua producida en un cauce superficial.

La distinción es importante porque la escorrentía consta de varios componentes, tiene distintas aportaciones. El caudal de una red de drenaje en un momento dado procede de (7).

- Arroyamiento en superficie (escorrentía superficial)

- Precipitación sobre el propio cauce (a veces es más importante que la primera)
- Flujo hipodérmico; es una parte de la precipitación que no circula en superficie pero tampoco se infiltra en el suelo, sino que circula pendiente abajo en el suelo a ligera profundidad.
- Aportaciones del flujo subterráneo. También es a veces la más importante (río efluente).

La escorrentía superficial se refiere, en general, al agua que circula por la superficie terrestre y se concentra en los ríos. En detalle, parte importante de la escorrentía generada por un evento lluvioso, sobre todo en áreas forestales, es realmente de flujo subsuperficial o hipodérmico, es decir, agua que no circula en régimen de lámina libre sino que inicialmente se infiltra, escapa de la evapotranspiración y en vez de constituir infiltración eficaz circula horizontalmente por la parte superior de la zona no saturada hasta volver a la superficie (7).

El reparto entre la escorrentía superficial y la subsuperficial está determinado por la tasa de infiltración que depende, básicamente, de factores climatológicos, geológicos e hidrológicos. Probablemente, el factor más decisivo sea la intensidad y la duración de la lluvia, pero también la conductividad hidráulica del suelo, textura y condiciones del suelo, topografía, red de drenaje y vegetación. En general, el flujo subsuperficial domina en todos casos excepto en aguaceros de fuerte intensidad (7).

2.3.1.6 Factores que intervienen en la erosión

La erosión se produce por dos mecanismos. El primero es por el impacto directo de la gota de lluvia sobre la superficie del suelo, que produce la destrucción de los agregados ó terrones del suelo cuando éste está desnudo y el segundo mecanismo es cuando el agua escurre sobre la superficie del suelo debido a la pendiente y arrastra partículas del mismo, materia orgánica y nutrientes como el Nitrógeno y el Fósforo, entre otros (2).

La situación crítica desde el punto de vista de la erosión lo constituyen los suelos muy encharcados, pobres en materia orgánica y con mala estructura, cuando son sometidos a lluvias intensas y cuando están desnudos ó con muy escasa protección vegetal. La pendiente del terreno es un factor muy importante en la erosión y con valores mayores al 1 % se pueden producir pérdidas considerables de suelo y agua (2).

En los daños producidos por la erosión deben incluirse aquellos producidos en el lugar, como es la pérdida de materia orgánica y de nutrientes arrastrados por el agua que escurre por las

pendientes, como así también los daños producidos sobre los embalses y cuerpos de agua (colmatación por sedimentación) (2).

En la erosión debemos tener muy en claro que además de la pérdida del suelo se pierde el agua. El agua de lluvia que no se infiltra en el suelo escurre, produciendo erosión en la pendiente y acumulación de agua y sedimentos en los bajos (2).

En síntesis la pérdida de porosidad los suelos (compactación, sellado) por mal uso, produce que grandes volúmenes de agua de lluvia se acumulen en la superficie ó en las tierras bajas generando anegamiento en tierras planas e inundaciones (2).

Los resultados obtenidos de estudios experimentales en la cuenca del Río Itzapa, demuestran que el suelo está más expuesto a los agentes erosivos si los campos están desprovistos de cubierta vegetal (16).

La cubierta vegetal es la mejor defensa natural de un terreno contra la erosión. toda planta, desde la más minúscula hierba hasta el árbol más corpulento, defiende el suelo de la acción perjudicial de las lluvias en forma y proporción diferente. Un suelo cubierto por una vegetación permanente, pasto o bosque, no muestra prácticamente señales de erosión, puede haber escorrentía si la pendiente es fuerte, pero las pérdidas de tierra son nulas. Experimentos realizados en Sefà, Senegal, demostraron que el bosque protege al suelo 40 veces más que el barbecho natural y si un cultivo cubre bien el suelo, la erosión no sobrepasa de unas pocas toneladas por hectárea por año, en cambio si las siembras son poco densas las pérdidas de suelo alcanzan de 8 a a15 toneladas por hectárea por año (16).

Las plantas juegan un papel significativo en el control de la erosión, ya que actúan como interceptoras de las gotas de lluvia, disminuyen el volumen y la velocidad de la escorrentía y su sistema radicular sujeta las partículas del suelo (16).

2.3.1.7 Factores que rigen la escorrentía

La escorrentía superficial está íntimamente ligada con el suelo, con la vegetación y con otros factores como son la orientación de la cuenca y las intensidades del aguacero (13).

- **El suelo**

La escorrentía es menor en los suelos arenosos y mayor en los compactos; en realidad, es inversamente proporcional a la capacidad de infiltración del terreno (13).

- **La vegetación**

Este factor actúa positivamente reduciendo la escorrentía superficial, al frenar la velocidad de la lámina de agua, aumenta el tiempo de oportunidad de infiltración. También mantiene el perfil edáfico por debajo de su capacidad de campo, mejora mediante la incorporación de materia orgánica la textura y estructura del suelo y estabiliza los agregados frente al agua (13).

- **La orientación**

En una cuenca orientada hacia el sentido de avance de la tormenta, sufrirá una mayor escorrentía que una cuyo eje sea transversal al del aguacero, debido a que las precipitaciones serán mayores en el primer caso (precipitaciones orográficas) que en el segundo (efecto Foehn) (13).

- **La precipitación**

En especial, la intensidad del aguacero influye en la generación de escorrentía superficial. Siempre que dicha intensidad sea mayor que la velocidad de infiltración se estará produciendo lluvia neta, es decir: flujo superficial (13).

2.3.1.8 Medición de la escorrentía y la erosión

Para la determinación de la erosión se utilizan diferentes métodos, pero los más usados son los directos, principalmente las parcelas de escurrimiento (15).

Los lotes de escurrimiento o parcelas experimentales de escorrentía constituyen la metodología más confiable para determinar las pérdidas de suelo por efecto de la erosión hídrica (15).

2.3.1.8.1 Parcelas de escorrentía

Son áreas donde se determina la cantidad de suelo erosionado, y el escurrimiento superficial, utilizando diferentes tipos de cobertura. Uno de los mejores usos de las parcelas de escorrentía es la demostración cuando la finalidad es demostrar hechos conocidos (2).

Las parcelas experimentales están constituidas básicamente de dos partes, que son: el área experimental y los dispositivos receptores del agua y del suelo que provienen del área experimental por efecto del escurrimiento por la lluvia (2).

a) El área experimental

Es una parcela, cuyas dimensiones están en función del objetivo de la investigación, sin embargo, la regla fundamental es no darle una superficie demasiado grande, a fin de recoger un volumen de agua y tierra fácilmente medible (2).

b) El sistema receptor

- i) Canal colector: situado en la parte inferior del área experimental, constituye el límite inferior de ésta. Su función es colectar el agua y la tierra arrastrada durante el proceso de escurrimiento y erosión (2).
- ii) Tanques receptores: depósitos donde se acumulan el agua escurrida y los sólidos arrastrados (2).

2.3.1.9 Balance hídrico del suelo

El balance hídrico del suelo tiene la finalidad de determinar el volumen total de la recarga que se da en la cuenca. En Guatemala, al igual que en otras investigaciones realizadas en diferentes lugares, demuestra que a mayor intervalo de tiempo de cálculo en el balance hídrico se subestima la recarga (8).

A. Aspectos del balance hídrico del suelo

a.1 Determinación de la evapotranspiración potencial

Para el cálculo de la evapotranspiración pueden utilizarse métodos directos e indirectos. En los métodos indirectos existen varias fórmulas empíricas que permiten obtener la evapotranspiración

potencial. Los factores que determinan la evapotranspiración son tan complejos que es muy difícil poder considerarlas todas en una expresión matemática, por lo que algunos autores se basan en la temperatura, mientras que otros procuran acercarse más a la realidad incluyendo otros factores físicos y biológicos (14).

Los métodos se utilizan dependiendo de la información meteorológica disponible para el área de estudio. Dentro de estos métodos se encuentran: Thornthwaite, Hargreaves (14).

a.2. Determinación de la precipitación efectiva

La determinación de la precipitación efectiva se hace en base a registros de precipitación obtenidos en una estación meteorológica, la cual tiene influencia ya sea en el área total de estudio o en una porción de ella. Con los datos de los registros de precipitación de la estación, se establece un valor de precipitación media anual, mientras que su área de influencia se determina a través de Isoyetas (14).

Existen varios factores que intervienen en la determinación de la precipitación efectiva, entre ellos se mencionan principalmente los siguientes: Intensidad de la precipitación, la velocidad de la intensidad de infiltración en el suelo, la cobertura vegetal y la topografía. A partir de estos factores existen diversos métodos para calcular la precipitación efectiva (14).

▪ Obtención del valor de precipitación efectiva

Para determinar la precipitación efectiva, se utilizó el método desarrollado por Schosinsky & Losilla (2000). El método se basa en la utilización de una ecuación resultante de correlación estadística en análisis de bandas de pluviógrafo. Considera la velocidad de infiltración del suelo como el factor principal que condiciona la cantidad de precipitación pluvial que puede infiltrarse. Esta depende básicamente de las características físicas del suelo como lo son la textura, estructura, compactación y contenido de humedad, las que se consideran independientes de la localidad en la que se encuentre dicho suelo (14).

El método considera tres aspectos: 1) Relación entre la infiltración de agua en el suelo y la intensidad de lluvia (K_{fc}) (fracción que infiltra por efecto de textura del suelo, 2) Factor de pendiente del terreno (K_p) (fracción que infiltra por efecto de pendiente) y 3) Factor de cobertura vegetal (K_v) (fracción que infiltra por efecto de la cobertura vegetal). La

suma de cada uno de los factores indica el valor de coeficiente de infiltración para el respectivo suelo e indica la capacidad del mismo a permitir la infiltración dentro de él. Adicionalmente se considera la cantidad de agua de lluvia que retiene la vegetación a través de sus hojas y que se evapora sin llegar al suelo y por consiguiente no se infiltra (14).

- **Ecuación de precipitación efectiva**

La ecuación de precipitación efectiva, según Schosinsky & Losilla (2000) es la siguiente:

$$P_{ef} = (1 - K_i) \times C_i \times P$$

Donde:

P_{ef} = Precipitación efectiva (precipitación que infiltra (mm))

K_i = Valor de retención vegetal (hojas). Para bosque, la retención es de 0.20, para cultivos en general 0.12 y para techos de casas, caminos y áreas Construidas es de 0.1 a 0.05

C_i = Coeficiente de infiltración ($K_{fc} + K_p + K_v$)

P = Precipitación mensual (mm)

a.3. Determinación de infiltración básica

El método más recomendable en cada una de las pruebas es el de Porchet, el cual es descrito en Custodio & Llamas (2001) por considerarse de buen grado de precisión y por su versatilidad en el campo como se menciona anteriormente.

- **Relación entre infiltración de agua en suelos y la intensidad de lluvia (K_{fc})**

La ecuación que relaciona la capacidad de infiltración de agua en el suelo (infiltración básica f_c) con la intensidad de lluvia generada por Schosinsky & Losilla (2000) es la siguiente:

$$K_{fc} = 0.267 \times \ln(fc) - 0.000154 \times (fc) - 0.723$$

Donde:

K_{fc} = Factor de infiltración de agua en el suelo e intensidad de lluvia

\ln = Logaritmo natural

fc = Valor de infiltración básica (mm/día)

(14)

- **Factor que se infiltra por efecto de la pendiente (K_p)**

Los valores de este factor propuestos por Schosinsky & Losilla (2000) se presentan en el Cuadro 2.1

Cuadro 2.1. Valores de coeficientes (K_p) según valores de pendientes.

CATEGORIA	RANGO DE PENDIENTE	COEFICIENTE (K_p)
Muy plana	0.02-0.06%	0.30
Plana	0.3-0.4%	0.20
Algo plana	1-2%	0.15
Promedio	2-7%	0.10
Fuerte	Mayor de 7%	0.06

Fuente: Orozco, Padilla y Salguero, (2003)

- **Factor de cobertura vegetal del terreno (K_v)**

Este factor, dependiendo de la cobertura vegetal del terreno, los valores que se asignan se presentan en Cuadro 2.2.

Cuadro 2.2. Valores de coeficientes (Kv) según tipo de cobertura vegetal.

Tipo de cobertura vegetal	Coeficiente (Kv)
Zacate (menor 50%)	0.09
Terrenos cultivados	0.10
Con pastizales	0.18
Bosques	0.20
Zacate (>75%)	0.21

Fuente: Orozco, Padilla, y Salguero, (2003)

B. Cálculo de balance hídrico de suelos

Los cálculos de recarga se realizarán en una hoja de cálculo de Excel, en la cual se introducen las variables de características físicas del suelo (capacidad de infiltración, densidad aparente), grados de humedad (capacidad de campo y punto de marchites permanente) y clima (precipitación y evapotranspiración). Con esta información el programa calcula la recarga potencial de la unidad en lámina de agua, y también las necesidades de riego en lámina. Los cálculos los efectuarán con un intervalo mensual (14).

2.3.2 MARCO REFERENCIAL

2.3.2.1 Localización política y geográfica

Según información proporcionada por el MAGA (12)

La Finca Río Frío se encuentra situada administrativamente en el municipio de Santa Cruz Verapaz, departamento de Alta Verapaz, en las coordenadas geográficas: LATITUD NORTE 15°20'30" LONGITUD OESTE 90°25'08". Siendo propiedad de la Empresa W.E. Diesseldorff, posee una extensión total de 407.7 hectáreas. (Figura 2.1).

Así también la Finca Parrachoch se encuentra situada administrativamente en el municipio de Tactic, departamento de Alta Verapaz, en las coordenadas geográficas: LATITUD NORTE 15° 19' 43" LONGITUD OESTE 90° 23' 32". Siendo propiedad del señor Ataulfo Ramírez Flores. (Figura 2.1).

2.3.2.2 Límites y colindancias

Colindancias de la finca Río Frío:

Al Norte:	Comunidad La Isla, Santa Cruz Verapaz.
Al Sur:	Comunidad Río Frío, Santa Cruz Verapaz.
Al Este:	Finca Parrochoch, Tactic Alta Verapaz.
Al Oeste:	Finca Valparaíso, San Rafael y Hermano Pedro, Santa Cruz Verapaz.

Colindancias de la finca Parrachoch:

Al Norte:	Caserío Cobanero, Tactic Alta Verapaz.
Al Sur:	Carmen Vasquez y Harol Jageenzon, Tactic Alta Verapaz.
Al Este:	Estela Ramírez de Arriola, Tactic Alta Verapaz.
Al Oeste:	Finca Río Frío, Santa Cruz Verapaz.

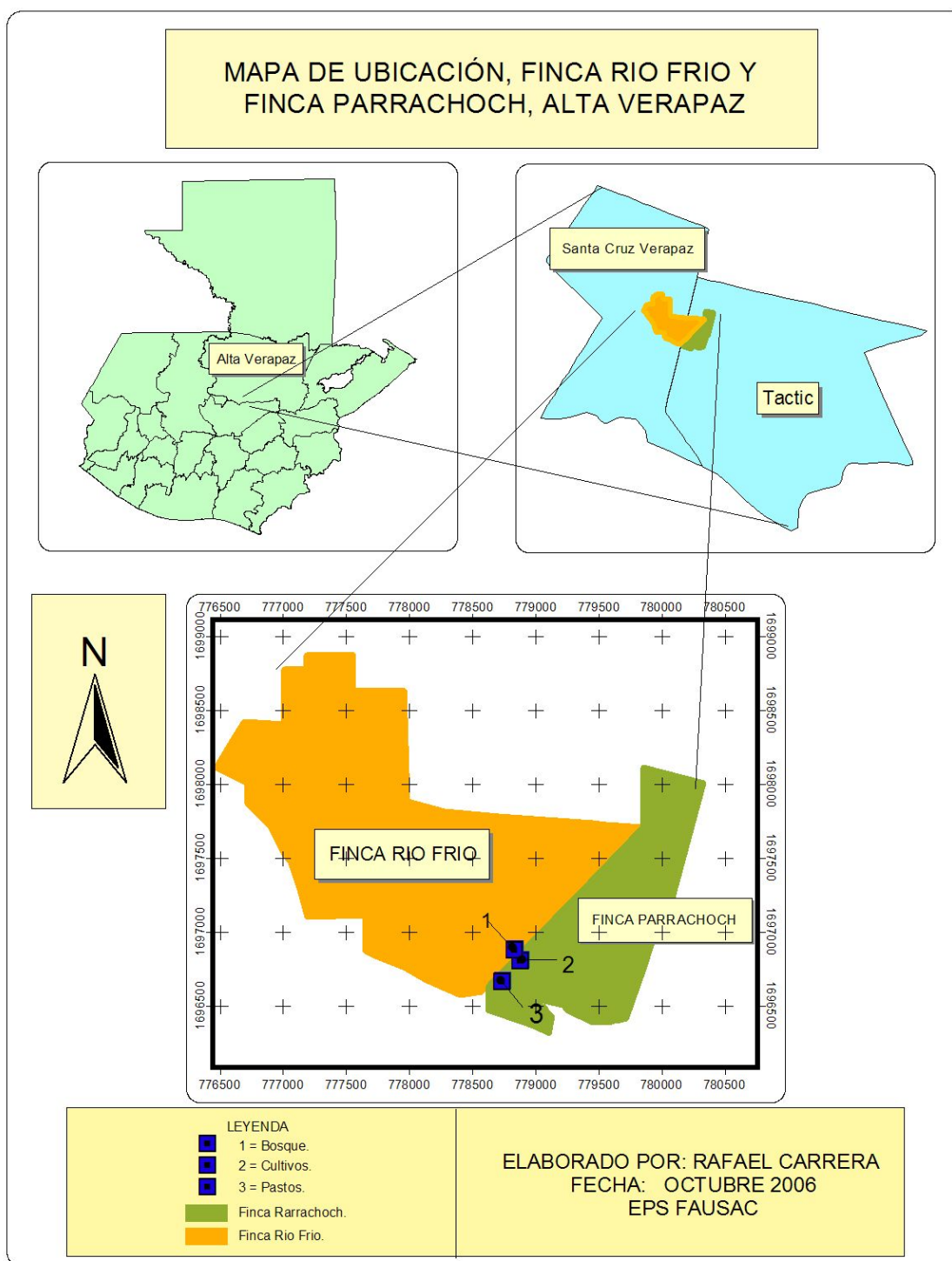


Figura 2.1. Mapa de ubicación, fincas Río Frío y Parrachoch.

2.3.2.3 Vías de acceso

De la ciudad capital ruta al atlántico Norte CA-14 pasando por el Cruce del Cid Kilómetro. 190.5 y a un Kilómetro se encuentra el casco de la finca Río Frío, sobre la ruta que conduce de Tactic hacia Cobán Alta Verapaz. Y la finca Parrachoch se encuentra a 5 kilómetros, de la Villa de Tactic, hacia la cabecera departamental de Alta Verapaz (9).

2.3.2.4 Zona de Vida

De acuerdo al estudio realizado por De la Cruz (3), la zona de vida identificada para el ámbito de las dos fincas es Bosque muy húmedo Subtropical frío (bmh-S(f)). Se caracteriza por presentar un relieve ondulado y en algunos casos accidentado, el régimen de lluvias es de larga duración lo que influye en la vegetación, se caracteriza por ser el segmento de mayor altura del bosque muy húmedo. Algunas especies indicadoras de esta zona son: *Pinus maximinoi*, *Persea schiediana*, *Myrica cerifera*, *Liquidambar sp.*, entre otras.

2.3.2.5. Hipsometría, Fisiografía y Relieve

Las fincas se encuentran ubicadas dentro de la región fisiográfica de Tierras calizas Altas del Norte según la clasificación de tierras del manual técnico del INAB. La topografía de la finca es variada, pudiéndose encontrar depresiones de 1394 msnm y en las partes más altas 1841 msnm (12).

2.3.2.6. Clima

De acuerdo al MAGA (12), el clima en la finca de acuerdo a la clasificación de Thornwhaite se denomina AB'2 (muy húmedo-templado), A (muy húmedo), B'2 (templado). La precipitación mínima anual entre 800 y 900 mm, una precipitación media anual entre 1600 y 1700 mm y una máxima anual que oscila entre 2,000 y 3,000 mm, los cuales se distribuyen durante los meses de mayo a octubre. La temperatura media anual es de 22 °C, con temperaturas mínimas entre 18 y 20 °C, y temperaturas máximas de hasta 30 °C.

2.3.2.7 Uso actual de la tierra

Finca Río Frío:

- **Forestal:** La especie principal es el *Pinus Maximinoi*, existiendo otras especies en menor cantidad como: *Liquidambar styraciflua*, *Cupressus lusitanica*, *Quercus sp*, *Arbustos xalapensis*, *Mirica cerifera*. Formando bosques de coníferas, bosques latifoliados y mixtos.

- **Matorrales:** Formado por guamiles de montes bajos, con especies vegetales de poco valor económico.
- **Protección:** Es un área definida como protección por las características que presenta: a) Pendientes mayores a 55%, b) Alto Porcentaje de pedregosidad, c) especie principal en esta área es *Pinus maximinoi*.
- **Frutales:** Dentro de la finca se encuentra una plantación de cultivo de *Macadamia sp.*
- **Infraestructura:** se compone solamente por la casa patronal y guardianía.

Cuadro 2.3. Uso actual de la tierra finca Río Frío.

Uso	Área en hectáreas	Porcentaje
Forestal	224.19	54.99
Matorrales	86.65	21.25
Protección	86.02	21.10
Frutales	10.23	2.51
Infraestructura	0.61	0.15
Total	407.7	100

Fuente: González (2005)

Como se observa en el Cuadro 2.3 el uso actual de la tierra de la finca se divide en forestal, matorrales, áreas de protección, frutales e infraestructura siendo el área forestal la que ocupa el mayor porcentaje (54.98%) del área total de la finca.

Finca Parrachoch:

Los suelos del terreno son francos arcillosos, con una profundidad efectiva mayor de 90 cm, presentan buen drenaje y con una pedregosidad moderada, siendo adecuados para uso forestal o en su caso cultivos bajo sistemas agroforestales, y pastos en las partes más bajas.

Cuadro 2.4. Uso de la tierra finca Parrachoch.

USO ACTUAL	AREA hectáreas.	Porcentaje
Bosque	52.43	38.85
Pastos	53.9	39.94
Agricultura	18.45	13.67
Guamil	10.18	7.54
Total	134.96	100

Fuente: Muss (2004).

2.4 OBJETIVOS

2.4.1 OBJETIVO GENERAL

- Evaluar el efecto de la precipitación pluvial, en cuanto a la escorrentía superficial y erosión hídrica, en tres diferentes usos de suelo en las fincas Río Frío y Parrachoch.

2.4.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Comparar la escorrentía superficial y erosión hídrica en tres usos de suelos: forestal, pecuario y agrícola.
- Comparar el balance hídrico de tres usos de suelo: forestal, pecuario y agrícola.
- Determinar algunas características físicas del suelo (densidad aparente y textura) y características químicas del suelo (materia orgánica, pH, elementos mayores), al inicio de la investigación y al suelo erosionado al final de la investigación.

2.5 HIPÓTESIS

La escorrentía superficial y la erosión hídrica causadas por la precipitación pluvial, provocarán un menor daño al suelo en donde exista cobertura forestal que en el uso agrícola y el uso pecuario.

2.6 METODOLOGÍA

2.6.1 Selección del área experimental

Se identificaron áreas bajo las mismas condiciones de pendiente y de suelos, pero con variaciones en cuanto al uso actual que se le estaba dando al suelo (forestal, pastos y agrícola), dicha área tuvieron lugar en dos fincas, una en el municipio de Santa Cruz, y la otra en Tactic, Alta Verapaz, las cuales se encuentran colindantes una con otra permitiendo la similitud entre las condiciones ya mencionadas.

2.6.2 Selección de los tratamientos

Los tratamientos que fueron evaluados en la presente investigación son tres usos de suelo diferentes los cuales son:

- Uso forestal (plantación de pino (*Pinus maximinoi*) de 7 años de edad).
- Uso agrícola (cultivo de maíz (*Zea mays*)).
- Uso pecuario (pasto natural con pastoreo).

2.6.3 Diseño experimental

Se utilizó el diseño “Bloques al azar”, debido a la pendiente que existe en el área del experimento, con el objetivo de bloquear las diferencias en las condiciones del suelo que pueden existir por esta gradiente. En el experimento se realizaron cuatro repeticiones para cada uno de los tratamientos, lo cual generó un número de 12 unidades experimentales, cada uno con 75 metros cuadrados.

2.6.4 Modelo estadístico

El modelo estadístico que se utilizó para el diseño experimental fue el siguiente:

$$Y_{ij} = \mu + \tau_i + \beta_j + \varepsilon_{ij}$$

Donde:

Y_{ij} : Variable de respuesta de la ij-ésima parcela experimental

μ : Media general

τ_i : Efecto de la i-ésimo uso del suelo

β_j : Efecto del j-ésimo bloque

ε_{ij} : Efecto del error experimental asociado a la ij-ésima parcela experimental

i : 1,2,3,...t

j : 1,2,3,...r

2.6.5 Variables de respuesta

Entre las variables de respuesta se encuentran las siguientes:

- i) Volumen de escurrimiento superficial total en milímetros por hectárea por año y porcentaje de escorrentía.
- ii) Cantidad de suelo erosionado en toneladas métricas por hectárea y lámina de suelo en centímetros.
- iii) Granulometría del suelo erosionado
- iv) Algunas propiedades químicas del suelo erosionado (M.O y fósforo)

2.6.6 Unidad experimental

2.6.6.1 Instalación de las parcelas experimentales

Para la instalación de las parcelas de escorrentía, las cuales fueron nuestras unidades experimentales, se utilizaron tablas de 0.30 metros de ancho que sirvieron para delimitar la unidad experimental, cada una de ellas con el fin de evitar la penetración de escorrentía superficial de áreas aledañas. Dichas tablas fueron tratadas con aceite y diesel para aumentar su vida útil, estas se introdujeron en el suelo hasta una profundidad de 0.15 metros quedando así 0.15 metros de la tabla sobre el nivel del suelo. El tamaño de las parcelas fue de 7.5 metros de ancho x 10.0 metros de largo. teniendo así un área de 75 m² por parcela (Figura 2.2 y 2.3).



Figura 2.2. Tablas tratadas con aceite quemado y diesel. **Figura 2.3.** instalación de tablas en el suelo.

2.6.6.2 Instalación de canales colectores

Estos canales fueron hechos de hojalata, colocados en la parte más baja de las parcelas con un leve desnivel, los cuales permitieron la colecta y transporte de agua de escorrentía y sedimentos que provenía de cada unidad experimental hacia los recipientes colectores (Figura 2.4).



Figura 2.4. Canal colector de hojalata.

2.6.6.3 Instalación de recipientes colectores

Para esto se utilizaron recipientes de plástico de 68 litros de capacidad, colocando dos por cada unidad experimental. En dichos recipientes se midió el volumen de agua de escorrentía y la cantidad de suelo erosionado. Para la obtención del volumen de escorrentía se calibraron los recipientes para determinar el volumen de agua en función de la altura de agua caída en cada recipiente (Figura 2.5).

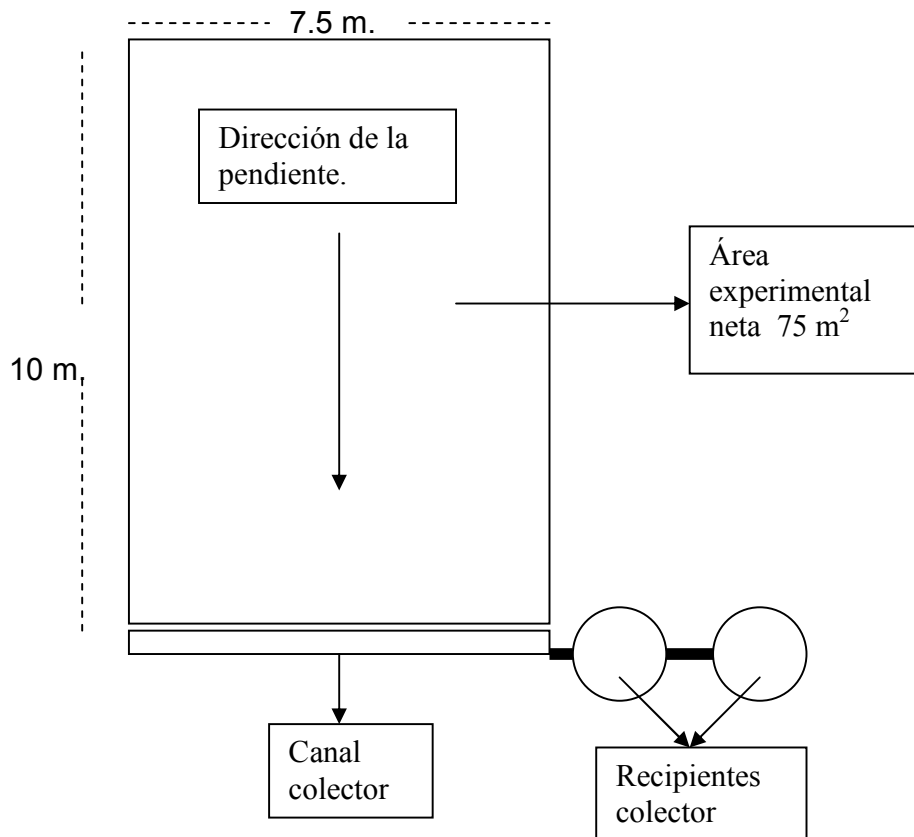


Figura 2.5. Recipientes colectores de 68 l cada uno.

2.6.6.4 Mantenimiento a las unidades experimentales

Constantemente se le estuvo dando mantenimiento a cada unidad experimental, como limpias y cuidados al equipo que se encuentre dentro de ellas, esto con el fin evitar cualquier factor que pueda estropear el cumplimiento de la investigación (Figura 2.6).

Figura 2.6. Croquis de la unidad experimental



2.6.7 Fuente de datos meteorológicos

Dentro de la Finca Parrachoch se encuentran instaladas dos estaciones climáticas, con el siguiente equipo: Pluviómetro y termómetro de máxima y mínima, las cuales se monitorearon diariamente (Figura 2.7 y 2.8).



Figura 2.7. Termómetro de máxima y mínima.



Figura 2.8. Pluviómetro de caña.

2.6.8 Muestreo de suelo

Se realizó un muestreo de suelos al inicio del experimento para cada uso de la tierra, determinando características físicas y químicas de los mismos, con el fin de tener un comparador con los resultados que se obtuvieron del análisis de los sólidos en suspensión del producto de la erosión que se presentó en las unidades experimentales.

2.6.9 Medición de variables

▪ Escurrimiento superficial

La medición de la escorrentía se efectuó cada evento de lluvia que ocurrió en el área, tomando en cuenta que el agua llegara hasta los recipientes colectores en las unidades experimentales. La medición se efectuó con una regla graduada o cinta métrica, lo cual permitió obtener la profundidad en el recipiente de agua escurrida para luego determinar el volumen en milímetros por hectárea por año (Figura 2.9).



Figura 2.9. Toma de altura del agua escurrida.

▪ Cantidad de suelo erosionado

El material erosionado por la escorrentía se cuantificó después de cada evento de lluvia, tomando en cuenta los sólidos en suspensión depositados en el recipiente.

Para la determinación de sólidos en suspensión, se realizaba el siguiente procedimiento:

- Se sacaba un poco de agua de los recipientes colectores para limpiar el canal, con el objeto de llevar los sedimentos que se quedaban en el mismo hasta el recipiente colector, dichos sedimentos eran producto del arrastre de sedimentos provenientes de la unidad experimental provocados por la lluvia (Figura 2.10).



Figura 2.10. Limpia de canales.

- Con la ayuda de un colador de cocina, se extraía toda la basura que fuera posible del recipiente colector, con el fin de que quedara solamente los sedimentos de la unidad experimental (Figura 2.11).



Figura 2.11. Extracción de basura.

- Se agitaba toda el agua de los recipientes colectores, a manera que todo el sedimento que se encontrara depositado en el fondo del recipiente se mezclara con el agua y así poder tomar una muestra homogénea de 600 ml de cada recipiente colector (Figura 2.12).



Figura 2.12. Toma de muestra de 600 ml.

- Luego de sacar la muestra de cada una de las unidades experimentales, están fueron puestas a sedimentar por dos horas en los conos sedimentadores Imhoff. Dichos conos están calibrados para obtener mililitros de lodo (suelo y agua) por mililitros de agua, por tal razón cada muestra de lodo fue almacenada por el tiempo de la investigación, para luego en la fase de laboratorio sacar un factor de conversión para obtener gramos de suelo por mililitros de agua. Este factor se obtuvo pesando una muestra de lodo de 10 ml, seguidamente se seco al horno durante 24 horas, luego se midió el peso seco de la muestra, para determinar los gramos de suelo por mililitro. Ya después este factor fue introducido a la base de datos para obtener el resultado final de gramos de suelo que se erosiono en cada unidad experimental por evento de lluvia (Figura 2.13).



Figura 2.13. Conos sedimentadores Imhoff.

▪ **Determinación de balance hídrico del suelo**

Los cálculos de recarga se realizaron en una hoja de cálculo de Excel, específica para desarrollar los balances hídricos, en la cual se introducen las variables de características físicas del suelo (densidad aparente), grados de humedad (capacidad de campo y punto de marchites permanente) y clima (precipitación efectiva y evapotranspiración). Con esta información el programa calcula la recarga potencial de la unidad en lámina de agua, y también las necesidades de riego en lámina. Los cálculos se efectuaron con un intervalo mensual.

2.6.10 Análisis efectuados a las muestras recolectadas

Dentro de las características físicas y químicas que se determinaron en las muestras de suelo están las siguientes.

- Densidad aparente,
- Textura,
- Granulometría,
- Contenido de materia orgánica,
- Y contenido de fósforo.

2.6.11 Medición de la precipitación interna

Se colocaron dispositivos recolectores (pluviómetros móviles) en la superficie de cada unidad experimental de bosque, los cuales se monitorearon diariamente, esto con el objetivo de poder captar el comportamiento de la precipitación de toda la unidad experimental. De los datos obtenidos se calculó una media para establecer la cantidad de lluvia recogida durante el periodo de duración de la investigación dentro de las unidades experimentales (Figura 2.14).



Figura 2.14. Pluviómetros móviles.

2.6.12 Análisis de información

Recolectados todos los datos necesarios durante el tiempo que duro la investigación, se realizó la comparación descriptiva y estadística sobre cada uno de los tres usos de suelo para luego obtener las conclusiones y plantear las recomendaciones pertinentes del estudio.

Los datos de escorrentía superficial y erosión hídrica fueron sometidos a un análisis de varianza (ANDEVA), para establecer si existen diferencias significativas entre los tratamientos a evaluar.

Además se realizó un análisis de regresión y correlación lineal simple entre las diferentes variables obtenidas, como se indica en el Cuadro 2.5.

Cuadro 2.5. Variables de investigación.

Variable independiente	Variable dependiente
Cantidad de lluvia	Volumen de escorrentía
Cantidad de lluvia	Cantidad de suelo erosionado
Volumen de escorrentía	Cantidad de suelo erosionado

2.6.13 Determinación de la infiltración básica

Para determinar la capacidad de infiltración básica (f_c), de cada tratamiento se realizaron pruebas de capacidad de infiltración, para las cuales se utilizó el método Porchet o cilindro invertido, por considerarse un método preciso y versátil en el campo (14).

El procedimiento para realizar dicha prueba, consistió en limpiar el área, excavar en el suelo un agujero cilíndrico de radio y profundidad conocida con barreno, se agregó agua en él, hasta alcanzar la humedad cercana al punto de saturación del suelo, luego se colocó un nivel de referencia para la toma de las profundidades, se aplicó agua y se tomaron los datos de altura y tiempo, a intervalos pequeños de 1,2,5 y 10 minutos. Una vez obtenidos estos datos, fueron ingresados a una tabla de cálculo de Excel, la cual, despliega la curva de infiltración para determinar el valor de velocidad de infiltración en milímetro por día.

El suelo obtenido de la excavación, se colocó en recipientes herméticos (bolsas plásticas), y se trasladaron al laboratorio de suelos de la FAUSAC para determinar los valores de constantes de

humedad (capacidad de campo y punto de marchitez permanente), textura y densidad aparente de la unidad de mapeo.

2.6.14 Determinación de la evapotranspiración potencial

Para el cálculo de la evapotranspiración potencial, se utilizó el método diseñado por Hargreaves, el cual es una ecuación específica para la región Centroamericana y de los más prácticos y confiables. La ecuación se describe a continuación: (14)

$$ETP = 0.0075 \times TMF \times RSM$$

Donde:

ETP: Evapotranspiración potencial en milímetros por día

TMF: Temperatura media mensual en grados Fahrenheit

RSM: Radiación solar incidente mensual

Para calcular la radiación solar incidente mensual se utilizó la ecuación que se describe a continuación:

$$RSM = 0.075 \times RMM \times S^{1/2}$$

Donde:

RSM: Radiación solar incidente mensual

RMM: Radiación solar mensual extraterrestre en milímetros por mes

S: Brillo medio mensual en porcentaje

La radiación solar mensual extraterrestre se calculó con la siguiente ecuación: (14)

$$RMM = RS \times \text{número de días del mes}$$

Donde:

RS: Radiación solar (Cuadro 2.6)

Para la estimación de la radiación solar se tomo como referencia la Latitud Norte número 15.

Cuadro 2.6. Radiación solar extraterrestre, RMM, expresada en evaporación equivalente en milímetros por día

LATITUD	Norte	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
	0	13.0	15.5	15.7	15.3	14.4	13.9	14.1	14.8	15.3	15.4	15.1	14.8
	2	14.7	15.3	15.6	15.3	14.6	14.2	14.3	14.9	15.3	15.3	14.8	14.4
	4	14.3	15.0	15.5	15.5	14.9	14.4	14.6	15.1	15.3	15.1	14.5	14.1
	6	13.9	14.8	15.4	15.4	15.1	14.7	14.9	15.2	15.3	15.0	14.2	13.7
	8	13.6	14.5	15.3	15.6	15.2	15.0	15.1	15.4	15.3	14.8	13.9	13.3
	10	13.2	14.2	15.3	15.7	15.5	15.3	15.3	15.5	15.3	14.7	13.9	12.9
	12	12.8	13.9	15.1	15.7	15.7	15.5	15.5	15.6	15.2	14.4	13.3	12.5
	14	12.4	13.6	14.9	15.7	15.0	15.7	15.7	15.7	15.1	14.1	12.8	12.0
	16	12.0	13.3	14.7	15.6	16.0	15.9	15.9	15.7	15.0	13.9	12.4	11.6
	18	11.6	13.0	14.6	15.6	16.1	16.1	16.1	15.8	14.9	13.6	12.0	11.1
	20	11.2	12.7	14.4	15.6	16.3	16.4	16.3	15.9	14.8	13.3	11.6	10.7

Fuente: Orozco, Padilla, y Salguero, (2003).

El brillo medio mensual se calculó con la siguiente ecuación:

$$S = K_s \times (100 - HR)^{1/2}$$

Donde:

S: Brillo medio mensual.

Ks: Constante para Centroamérica igual a 12.5

HR: Humedad relativa media en porcentaje

Debido a que en las estaciones utilizadas en este estudio no se cuenta con el dato de humedad media, el brillo medio mensual se calculó por medio de la tabla de Duración máxima media diaria

de horas de brillo solar para diferentes meses y latitudes (Cuadro 2.7), tomando como referencia la Latitud Norte número 15.

Cuadro 2.7. Duración máxima medía diaria de horas de brillo solar para diferentes meses y Latitudes

LATITUD	NORTE	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	
	0	12.1	12.1	12.1	12.1	12.1	12.1	12.1	12.1	12.1	12.1	12.1	12.1	12.1
	5	11.8	11.9	12.0	12.2	12.3	12.4	12.3	12.3	12.1	12.0	11.9	11.8	11.8
	10	11.6	11.8	12.0	12.3	12.6	12.7	12.6	12.4	12.1	11.8	11.6	11.5	11.5
	15	11.3	11.6	12.0	12.5	12.8	13.0	12.9	12.6	12.2	11.8	11.4	11.2	11.2
	20	11.0	11.5	12.0	12.6	13.1	13.3	13.2	12.8	12.3	11.7	11.2	10.9	10.9
	25	10.7	11.3	12.0	12.7	13.3	13.7	13.5	13.0	12.3	11.6	10.9	10.6	10.6

Fuente: Orozco, Padilla, y Salguero, (2003).

2.6.15 Realización del balance hídrico de suelos

El cálculo del balance hídrico de suelos se realizó por medio de la siguiente ecuación: (14)

$$Pp = ETR + esc + ret + rec$$

Donde:

Pp: Precipitación pluvial.

ETR: Evapotranspiración real.

esc: escorrentía superficial.

ret: Retención vegetal.

rec: Recarga hídrica.

2.7 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

2.7.1 Muestreo de suelo al inicio de la investigación

Como se mencionó en la metodología, se realizó un muestreo de suelos por tratamiento al inicio de la investigación, determinando algunas características químicas y físicas de los mismos. En los cuadros 2.8 y 2.9 se presentan los resultados de los análisis realizados.

Cuadro 2.8. Análisis químico de suelo por tratamiento.

TRATAMIENTO	pH	ppm		Meq/100gr		ppm				M.O. %
		P 12- 16	K 120- 150	Ca 6-8	Mg 1.5- 2.5	Cu 2-4	Zn 4-6	Fe 10- 15	Mn 10- 15	
BOSQUE	5.5	1.84	50	5.62	1.34	0.1	2	0.5	12	12.65
CULTIVO	5.5	1.84	83	5.43	1.23	0.1	1	0.1	7.5	3.33
PASTO	5.8	1.84	43	5.62	1.13	0.1	0.5	0.1	4	28.7

Fuente: Laboratorio de Suelos Salvador Castillo, FAUSAC (2006).

En el Cuadro 2.8, se puede observar que el pH de los suelos es moderadamente ácido; el contenido de Fósforo (P) se encuentra por debajo de los rangos adecuados y la carencia de este elemento puede producir grandes trastornos fisiológicos; en el caso del Potasio (K) se encuentra deficientemente lo que repercute en el proceso metabólico, como una reducción en el crecimiento de las plantas, menor resistencia física, reducción de la calidad del fruto, entre otros. Con relación a los micronutrientes los rangos de concentración se muestran deficientes, lo que se asocia con una reducción del crecimiento o producción, pero la planta no muestra síntomas visibles de deficiencia, se puede decir que la plantas (cultivo y forestales) presenta hambre oculta. Por lo que son precisos algunos cambios en la nutrición de las plantas.

En el análisis físico realizado (Cuadro 2.9), se puede observar que los suelos del área de estudio tienen una clase textural franco arenoso. Con relación a la densidad aparente los datos obtenidos del análisis físico muestran valores menores según la clase textural donde el rango oscila en 1.20 g/cc, esto debe ser causa del alto contenido de materia orgánica ya que esta característica influye en la densidad aparente.

Cuadro 2.9. Análisis físico de suelo por tratamiento.

TRATAMIENTO	Densidad aparente g/cc	porcentaje		porcentaje			CLASE TEXTURAL
		Cap. De campo	P.M.P	Arcilla	Limo	Arena	
BOSQUE	0.6061	85.26	66.36	10.08	25.2	64.72	FRANCO ARENOSO
CULTIVO	0.7547	81.6	66.43	12.18	18.9	68.92	FRANCO ARENOSO
PASTO	0.6667	83.74	40.47	11.09	27.3	61.61	FRANCO ARENOSO

Fuente: Laboratorio de Suelos Salvador Castillo, FAUSAC (2006).

2.7.2 Esguerrimiento superficial

2.7.2.1 Precipitación pluvial

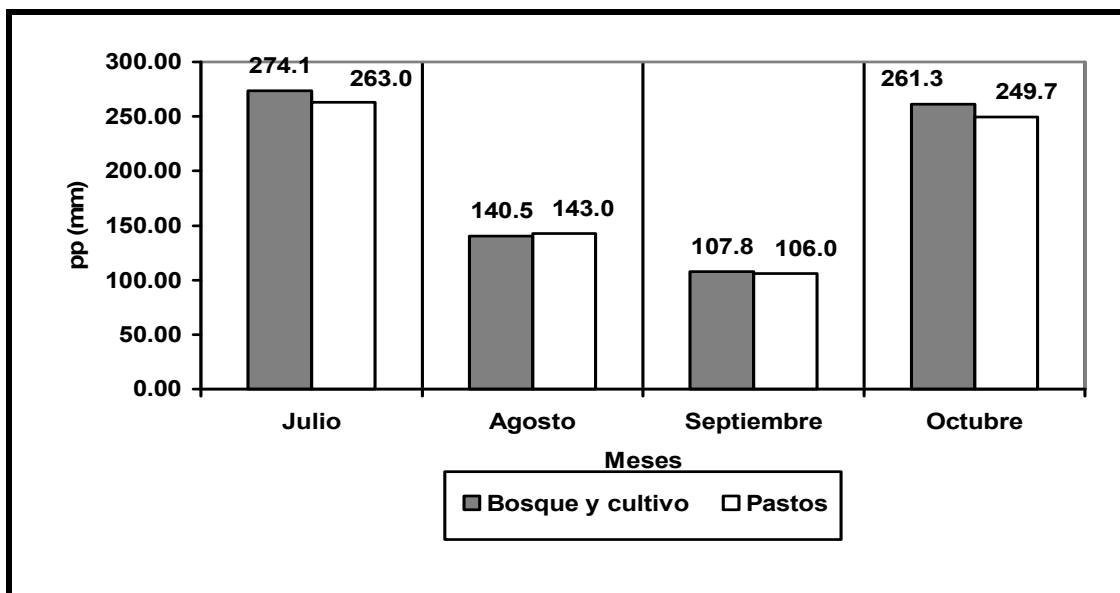
Los datos de precipitación fueron tomados de las estaciones climáticas instaladas en la finca Parrachoc y los datos se muestran en el Cuadro 2.10.

Cuadro 2.10. Precipitación pluvial (mm) en el área de estudio.

TRATAMIENTO	DÍAS DE LLUVIA POR MES				TOTAL (79 días)
	JULIO (19 días)	AGOS (18 días)	SEP (22 días)	OCT (20 días)	
	PRECIPITACIÓN MENSUAL (mm)				
BOSQUE	274.1	140.5	107.8	261.3	783.7
PASTOS	263.0	143.0	106.0	249.7	761.7
CULTIVOS	274.1	140.5	107.8	261.3	783.7

Fuente: Proyecto CEFE, año 2006.

En el Cuadro 2.10, se puede observar los valores de precipitación pluvial en el área de estudio durante el período de julio a octubre de 2006. Los resultados muestran que el mes de máxima precipitación para los tratamientos de bosque y cultivos fue en el mes de julio con una precipitación de 274.10 mm, ocurrida en 19 días y el mes con menor precipitación fue septiembre con 107.8, lo cual ocurrió en 22 días.

**Figura 2.15.** Precipitación reportada por tratamiento en el área de estudio.

Como se puede observar en la Figura 2.15, las máximas precipitaciones ocurrieron en los meses de julio y octubre con valores de 274.1 y 261.3 mm respectivamente, para los tratamientos de bosque y cultivo y de 263.8 y 249.7 mm para el tratamiento de pastos. Para todos los tratamientos evaluados, la mínima precipitación ocurrió en septiembre con un valor de 107.8 mm para los tratamientos de bosque y cultivo y de 106.9 mm para el tratamiento de pastos.

2.7.2.2 Precipitación interna en el tratamiento de bosque

Dentro de las parcelas de bosque se determinó la precipitación interna, que se basa sobre el principio que las copas de los árboles actúa reduciendo la caída de la lluvia y por consiguiente la escorrentía superficial. En el Cuadro 2.11 y la Figura 2.16, se muestran los valores de precipitación interna con relación a la precipitación observada o reportada en los pluviómetros.

Cuadro 2.11. Precipitación interna en las parcelas de bosque durante el período de estudio.

MES	PRECIPITACION INTERNA (mm)	PRECIPITACIÓN EXTERNA (mm)	RETENCIÓN En porcentaje
JULIO	234.01	274.1	14.63
AGOSTO	114.15	140.5	18.75
SEPTIEMBRE	90.74	107.8	15.83
OCTUBRE	227.53	261.3	12.92

Fuente: Proyecto CEFE, año 2006.

Según los resultados presentados en la columna de porcentaje de retención del Cuadro 2.11, se puede observar que a una moderada precipitación la retención de agua en la copas de los árboles es mayor que cuando las lluvia es más intensa.

En la Figura 2.16, se puede observar la tendencia de la relación precipitación externa e interna. Como muestran los resultados la precipitación interna es menor que la precipitación externa, debido al proceso de retención de las gotas de lluvia en el follaje de los árboles, lo que provoca que la lluvia interna, tenga una duración mayor que la lluvia externa. Además, este proceso redunda en la reducción de la escorrentía y del proceso erosivo provocada por la lluvia.

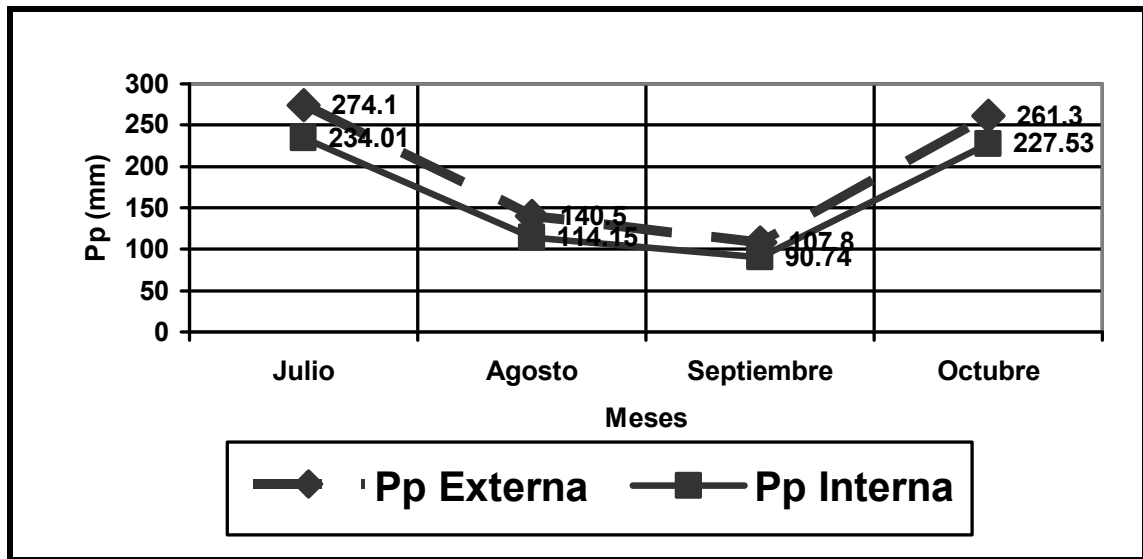


Figura 2.16. Precipitación interna y externa en las parcelas de bosque.

2.7.3. Escorrentía superficial

En la Figura 2.17, se presenta la cantidad de escorrentía superficial, expresado en metros cúbicos por hectárea en cada uno de los tratamientos evaluados. Los resultados de la figura 2.17, muestran que el tratamiento con menor volumen de agua de escorrentía superficial son los suelos con pasto, con un promedio de 51.85 m^3 y con mayor escorrentía de agua los suelos con cobertura de cultivos, con un promedio de 76.12 m^3 . Como se muestra los suelos con una buena cobertura reducen la escorrentía y favorecen la infiltración del agua al subsuelo.

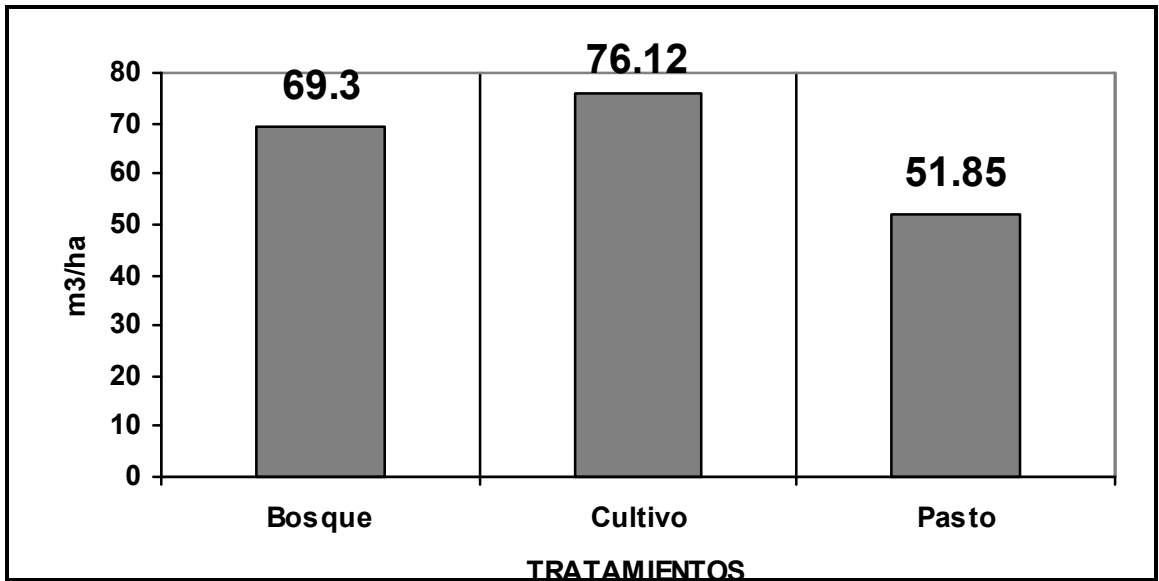


Figura 2.17. Volumen de escorrentía superficial según el uso del suelo.

Es importante mencionar, que el contenido de materia orgánica, también es de mucha ayuda para reducir estos daños; como se mostró anteriormente en los muestreos de suelo, en los tratamientos de bosque y de pasto existen altos contenidos de materia orgánica a diferencia que en cultivos. Ya que la materia orgánica puede funcionar como una esponja y así ayudar a que el suelo posea una mejor absorción y retención del agua.

2.7.3.1 Análisis de varianza de la escorrentía

En el Cuadro 2.12, se presentan el análisis de varianza de escorrentía recolectada en cada una de las parcelas evaluadas expresado en metros cúbicos.

Cuadro 2.12. Análisis de varianza para la escorrentía en tres usos de suelo en la finca Río Frío, Santa Cruz Verapaz.

FV	GL	SC	CM	F	Significancia
Bloques	3	3.00			
Tratamientos	2	1,253.74	626.87	5.09*	0.004
Error	6	739.27	123.21		
Total	11	1,996.01			

* Significativo. C.V. = 16.88%

Según el análisis de varianza de escorrentía (Cuadro 2.12), indica que existe una diferencia significativa entre los tres tratamientos de uso de suelo. Es decir; que por lo menos existe un tratamiento que es diferente a los otros. El ensayo tuvo un coeficiente de variación de 16.88%.

Debido a la diferencia significativa entre los tratamientos, según el análisis de varianza se realizó una prueba de medias de Duncan para determinar el mejor tratamiento, como se muestra en el Cuadro 2.13.

Cuadro 2.13. Prueba de Medias de Duncan para la escorrentía en metros cúbicos por hectárea en tres usos de suelo en la finca Río Frío, Santa Cruz Verapaz.

Tratamiento	Promedio de escorrentía Metros cúbicos	Grupo de Duncan
Pasto	51.85	a
Bosque	69.30	b
Cultivo	76.12	b

Según los resultados de la prueba de medias de Duncan, el tratamiento con menor escorrentía de los evaluados fue donde el uso de suelo es dedicado a pasto, con un promedio de escorrentía de 51.85 m³/ha de escorrentía.

2.7.3.2 Análisis de regresión para la escorrentía

Como se mencionó en la metodología de la investigación, algunos resultados obtenidos se sometieron a un análisis de regresión y correlación, los cuales se muestran a continuación:

- Precipitación vrs. escorrentía de bosque

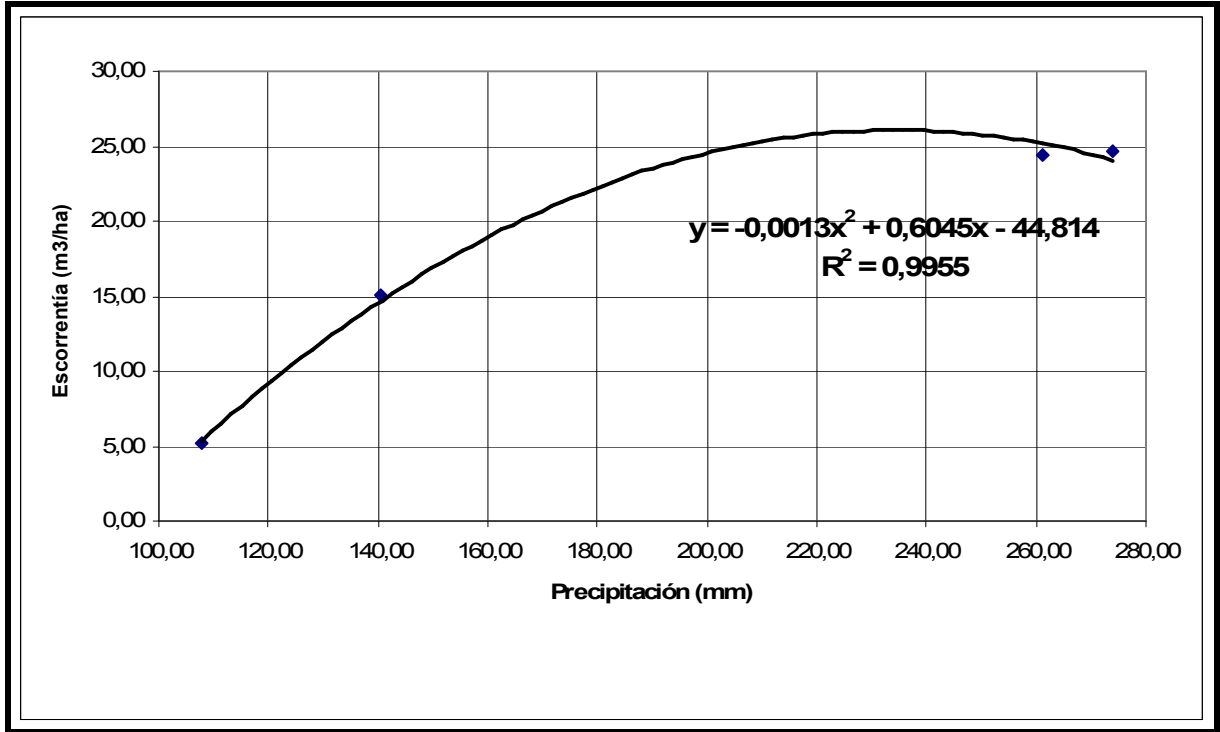


Figura 2.18. Análisis de regresión de precipitación vrs. escorrentía superficial en bosque.

La regresión es cuadrática y se expresa con la ecuación $Y = -0.0013x^2 + 0.6045x - 44.814$ y un R^2 de 0.9955, la cual se considera como aceptable, es decir el modelo es adecuado para trazar la curva y definir el incremento de la escorrentía con respecto a la precipitación, los valores deben ser mayores de 100 mm. Ejemplo, cuando el valor de X (precipitación) es 100 mm la escorrentía será de 2.636 m³/ha para las parcelas de bosque.

Con el modelo generado, se encontró una precipitación, donde el valor de escorrentía es máximo. Se utilizó la primera derivada de la función generada para determinar el valor crítico de precipitación, donde ocurre el valor extremo de escorrentía. La primera derivada obtenida es:

$$y' = -0.0026X + 0.6045$$

Al igualar a cero la primera derivada de la función se determinó un valor crítico para la variable "x", siendo este: 232.5 mm de precipitación. Este valor se utilizó para evaluar la función "y" de

escorrentía superficial, obteniéndose el valor extremo siguiente: para $x = 232.5$ mm, $y = 25.46$ m³/ha.

Luego, se obtuvo la segunda derivada de la función y se utilizó como criterio para determinar si este valor extremo es máximo relativo o es mínimo relativo. La segunda derivada de la función es:

$$y'' = -0.0026$$

Como se puede observar la función obtenida del análisis de regresión, es cuadrática lo que implica que su gráfica es una parábola, por lo que solo tiene un valor máximo o un valor mínimo; en este caso como la segunda derivada resultó ser un valor numérico negativo, se concluye que, en el punto $x = 232.5$ mm, $y = 25.46$ m³/ha, la curva es cóncava hacia abajo y tiene un extremo relativo máximo. Con base en estos resultados se establece que en $x = 232.5$ mm ocurre la mayor escorrentía.

- **Precipitación vrs. escorrentía en cultivos**

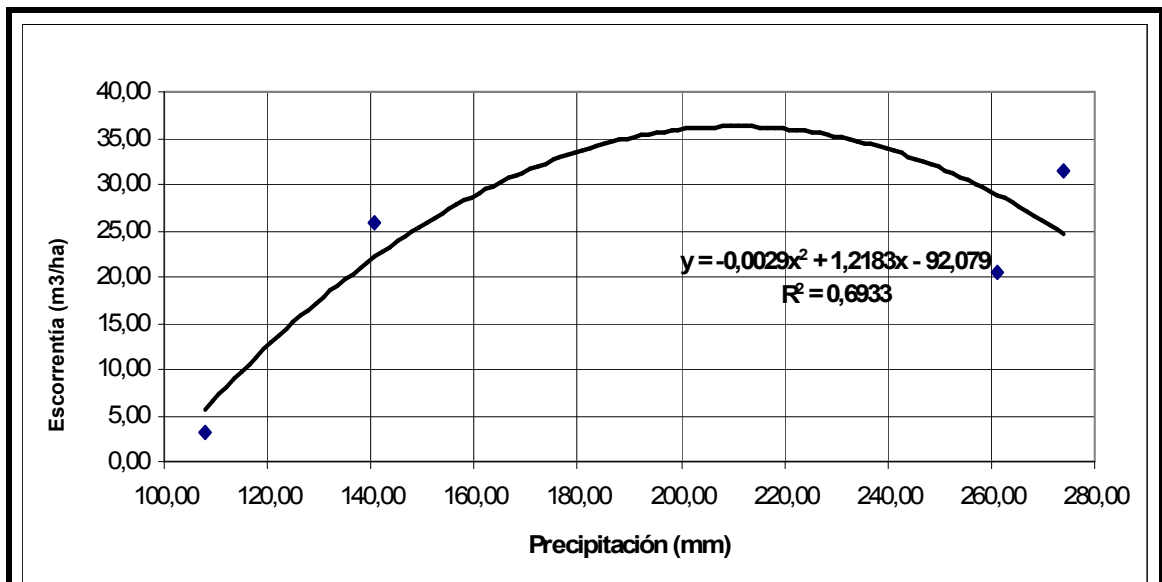


Figura 2.19. Análisis de regresión de precipitación vrs escorrentía superficial en cultivo.

La regresión es cuadrática y se expresa con la ecuación $Y = -0.0029x^2 + 1.2183x - 92.079$ y un R^2 de 0.6933, la cual se considera como aceptable, es decir el modelo es adecuado para trazar la

curva y definir el incremento de la escorrentía con respecto a la precipitación, los valores deben ser mayores de 100 mm. Ejemplo, cuando el valor de X (precipitación) es 100 mm la escorrentía será de 0.751 m³/ha para las parcelas de cultivos.

Con el modelo generado, se encontró una precipitación, donde el valor de escorrentía es máximo. Se utilizó la primera derivada de la función generada para determinar el valor crítico de precipitación, donde ocurre el valor extremo de escorrentía. La primera derivada obtenida es:

$$y' = -0.0058X + 1.2183$$

Al igualar a cero la primera derivada de la función se determinó un valor crítico para la variable "x", siendo este: 210.05 mm de precipitación. Este valor se utilizó para evaluar la función "y" de escorrentía superficial, obteniéndose el valor extremo siguiente: para x = 210.05 mm, y = 35.87 m³/ha.

Luego, se obtuvo la segunda derivada de la función y se utilizó como criterio para determinar si este valor extremo es máximo relativo o es mínimo relativo. La segunda derivada de la función es:

$$y'' = -0.0058$$

Como se puede observar la función obtenida del análisis de regresión, es cuadrática lo que implica que su gráfica es una parábola, por lo que solo tiene un valor máximo o un valor mínimo; en este caso como la segunda derivada resultó ser un valor numérico negativo, se concluye que, en el punto x = 210.05 mm, y = 35.87 m³/ha, la curva es cóncava hacia abajo y tiene un extremo relativo máximo. Con base en estos resultados se establece que en x = 210.05 mm ocurre la mayor escorrentía.

- Precipitación vrs. escorrentía en pastos

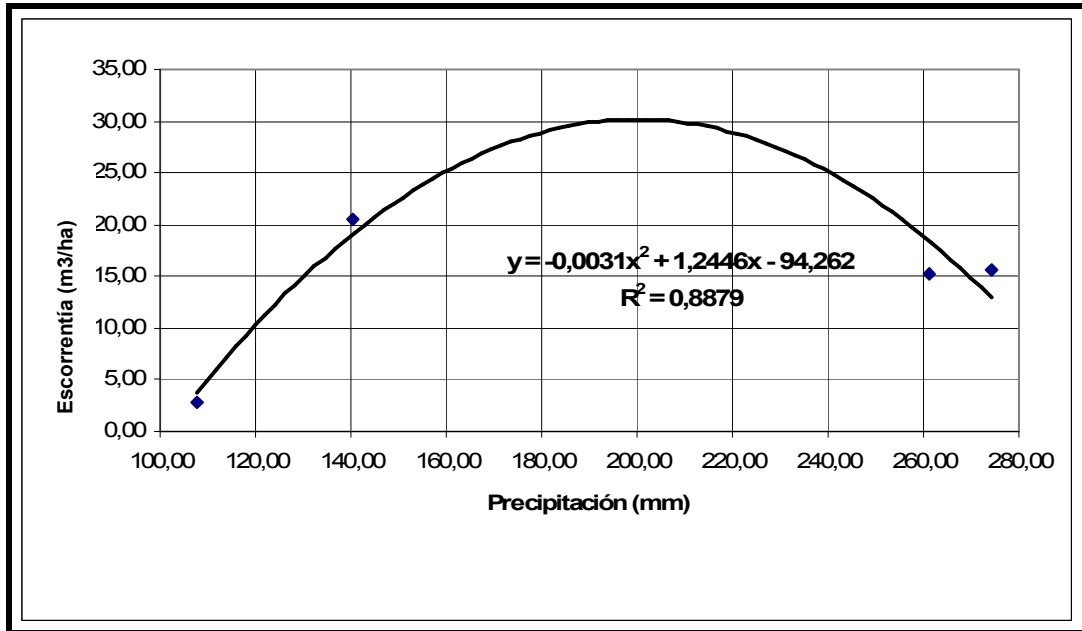


Figura 2.20. Análisis de regresión de precipitación vrs escorrentía superficial en pastos.

La regresión es cuadrática y se expresa con la ecuación $Y = -0.0031x^2 + 1.2446x - 94.262$ y un R^2 de 0.8879, la cual se considera como aceptable, es decir el modelo es adecuado para trazar la curva y definir el incremento de la escorrentía con respecto a la precipitación, los valores deben ser mayores de 102 mm. Ejemplo, cuando el valor de X (precipitación) es 102 mm la escorrentía será de 0.4348 m³/ha para las parcelas de pasto.

Con el modelo generado, se encontró una precipitación, donde el valor de escorrentía es máximo. Se utilizó la primera derivada de la función generada para determinar el valor crítico de precipitación, donde ocurre el valor extremo de escorrentía. La primera derivada obtenida es:

$$y' = -0.0062X + 1.2446$$

Al igualar a cero la primera derivada de la función se determinó un valor crítico para la variable "x", siendo este: 200 mm de precipitación. Este valor se utilizó para evaluar la función "y" de escorrentía superficial, obteniéndose el valor extremo siguiente: para $x = 200$ mm, $y = 30.66$ m³/ha. Luego, se obtuvo la segunda derivada de la función y se utilizó como criterio para

determinar si este valor extremo es máximo relativo o es mínimo relativo. La segunda derivada de la función es:

$$y'' = -0.0062$$

Como se puede observar la función obtenida del análisis de regresión, es cuadrática lo que implica que su gráfica es una parábola, por lo que solo tiene un valor máximo o un valor mínimo; en este caso como la segunda derivada resultó ser un valor numérico negativo, se concluye que, en el punto $x = 200 \text{ mm}$, $y = 30.66 \text{ m}^3/\text{ha}$, la curva es cóncava hacia abajo y tiene un extremo relativo máximo. Con base en estos resultados se establece que en $x = 200 \text{ mm}$ ocurre la mayor escorrentía.

2.7.4 Suelo erosionado

Los resultados de suelo erosionado son presentados en toneladas métricas por hectárea. Dichos resultados, fueron obtenidos por medio del factor de conversión ya explicado en la metodología, con este factor se obtenía los gramos erosionados por parcela y luego se convirtieron a toneladas métricas por hectárea.

En la Figura 2.21, se presenta la cantidad de suelo erosionado, expresado en toneladas métricas por hectárea en cada uno de los tratamientos evaluados.

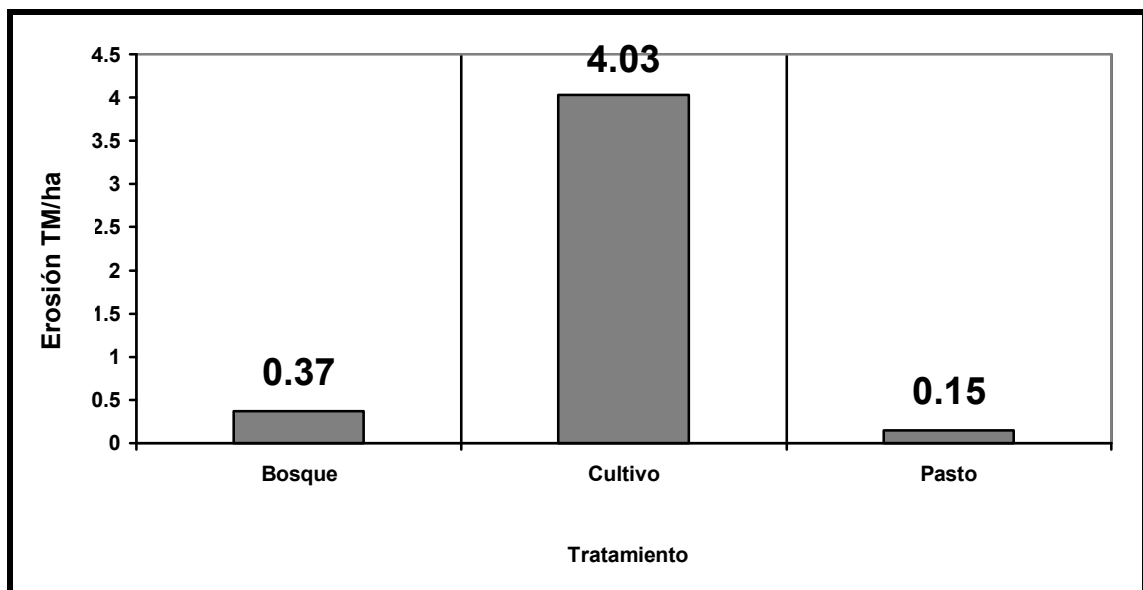


Figura 2.21. Volumen de suelo erosionado (TM/ha) por tratamiento de uso de suelo.

Los resultados de la Figura 2.21, muestran que el tratamiento con menor volumen de suelo erosionado fue cuando el uso de suelo fue pasto, con un promedio de erosión de 0.15 TM/ha, por el contrario cuando se utilizó un cultivo como cobertura, la erosión fue mayor con 4.03 TM/ha. Esto es debido a que el tipo de cobertura que existe en el suelo influye en gran parte a la protección del mismo; teniendo un suelo más descubierto, el contacto de las gotas de lluvia impacta directamente con el recurso suelo, provocando el proceso erosivo, el cual consiste en el desprendimiento de las partículas del suelo a causa de la fuerza con que golpea la gota de lluvia, seguidamente se da lo que es el arrastre de esas mismas partículas por acción del escurrimiento del agua a través del suelo, y luego un último proceso de sedimentación, que se da en las partes más bajas del terreno. En los tratamientos de bosque y pasto se puede observar que brindan una similar protección, disminuyendo la erosión hídrica.

2.7.4.1 Análisis de varianza de la erosión

Los datos de erosión de suelo de los tratamientos evaluados se sometieron al análisis de varianza. (Cuadro 2.14).

Cuadro 2.14. Análisis de varianza para la erosión en tres usos de suelo en la finca Río Frío, Santa Cruz Verapaz.

FV	GL	SC	CM	F	Significancia
Bloques	3	1.26			
Tratamientos	2	38.02	19.01	56.50	0.0001
Error	6	2.02	0.34		
Total	11	41.30			

* Significativo.

C.V. = 38.20%

Según el análisis de varianza de escorrentía mostrado en el Cuadro 2.14, existe diferencia significativa en los tratamientos evaluados, es decir; que por lo menos existe un tratamiento diferente a los demás y que se verificará con una prueba de medias de Duncan.

Cuadro 2.15. Prueba de Medias de Duncan para la erosión de tres usos de suelo en la finca Río Frío, Santa Cruz Verapaz.

Tratamiento	Promedio de erosión Toneladas por hectárea	Grupo de Duncan
Pasto	0.15	a
Bosque	0.37	b
Cultivo	4.03	b

Según los resultados de la prueba de medias de Duncan, el mejor tratamiento de los evaluados para el control de la erosión fue donde el uso de suelo fue dedicado a pasto, con un promedio de erosión de 0.15 TM/ha.

2.7.4.2 Análisis de regresión para erosión

Se realizó un análisis de regresión para las variables precipitación vs. erosión en cada uno de los usos de suelo erosionado.

- **Precipitación vs. erosión en bosque**

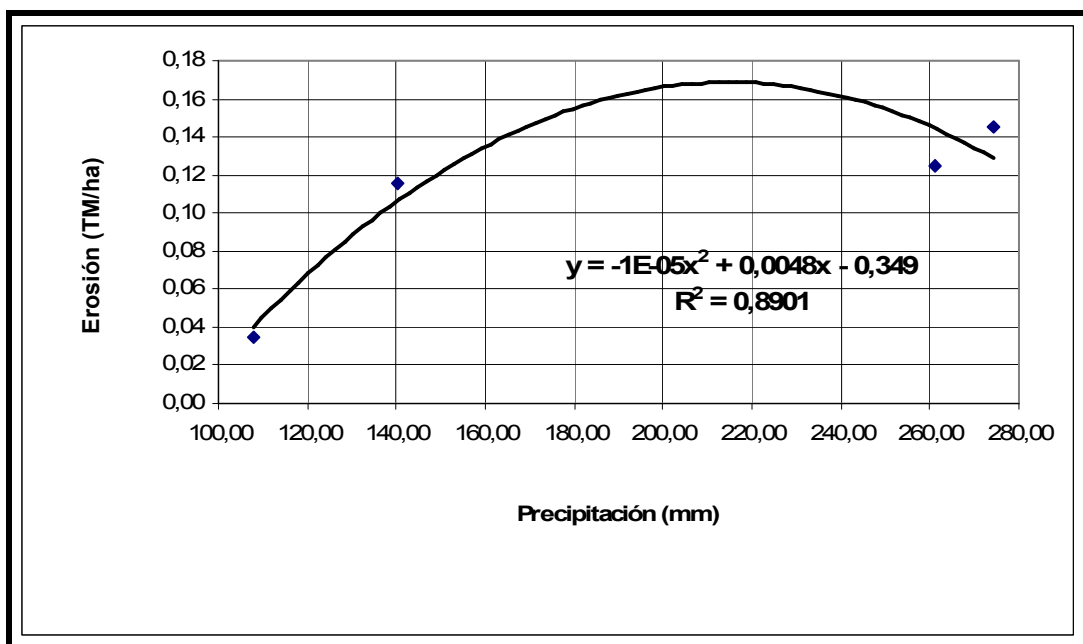


Figura 2.22. Análisis de regresión de precipitación vs erosión en bosque.

La regresión es cuadrática y se expresa con la ecuación $Y = -0.00001x^2 + 0.0048x - 0.349$ y un R^2 de 0.8901, la cual se considera como aceptable, es decir, el modelo es adecuado para trazar la curva y definir el incremento de la erosión con respecto a la precipitación, los valores deben ser mayores de 100 mm. Ejemplo, cuando el valor de X (precipitación) es 100 mm la erosión será de 0.231 TM/ha para las parcelas de bosque.

Con el modelo generado, se encontró una precipitación, donde el valor de erosión es máximo. Se utilizó la primera derivada de la función generada para determinar el valor crítico de precipitación, donde ocurre el valor extremo de erosión. La primera derivada obtenida es:

$$y' = -0.00002X + 0.0048$$

Al igualar a cero la primera derivada de la función se determinó un valor crítico para la variable "x", siendo este: 240 mm de precipitación. Este valor se utilizó para evaluar la función "y" de escorrentía superficial, obteniéndose el valor extremo siguiente: para $x = 240$ mm, $y = 0.227$ TM/ha.

Luego, se obtuvo la segunda derivada de la función y se utilizó como criterio para determinar si este valor extremo es máximo relativo o es mínimo relativo. La segunda derivada de la función es:

$$y'' = -0.00002$$

Como se puede observar la función obtenida del análisis de regresión, es cuadrática lo que implica que su gráfica es una parábola, por lo que solo tiene un valor máximo o un valor mínimo; en este caso como la segunda derivada resultó ser un valor numérico negativo, se concluye que, en el punto $x = 240$ mm, $y = 0.227$ TM/ha, la curva es cóncava hacia abajo y tiene un extremo relativo máximo. Con base en estos resultados se establece que en $x = 240$ mm ocurre la mayor erosión.

- Precipitación vrs. erosión en cultivo

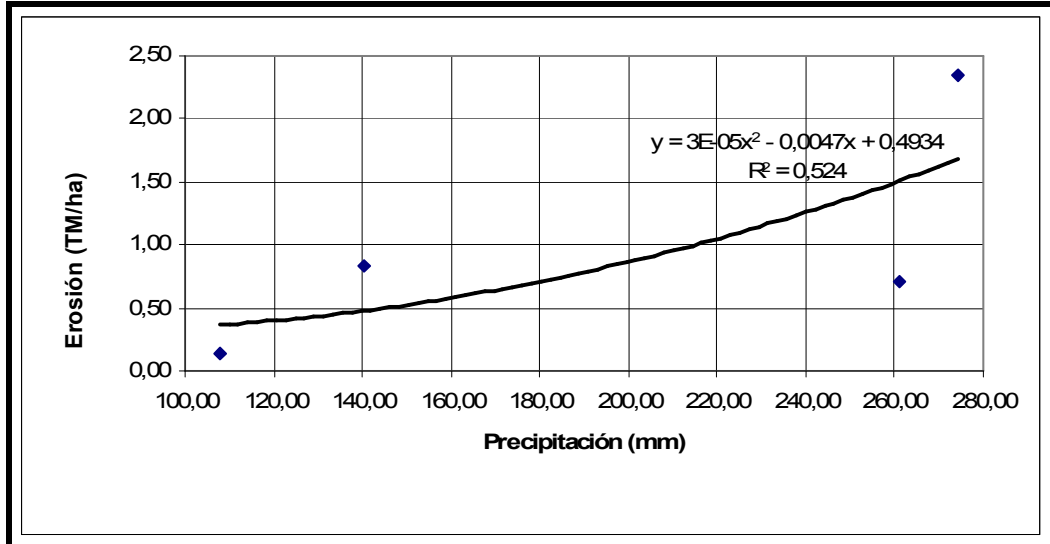


Figura 2.23. Análisis de regresión de precipitación vrs erosión en cultivos.

La regresión es cuadrática y se expresa con la ecuación $Y = 0.00003x^2 - 0.0047x + 0.4934$ y un R^2 de 0.524 que se puede catalogar como no aceptable, es decir, el modelo se considera no adecuado para trazar la curva y definir el incremento de la erosión con respecto a la precipitación en las parcelas de cultivo.

- Precipitación vrs. erosión en pasto

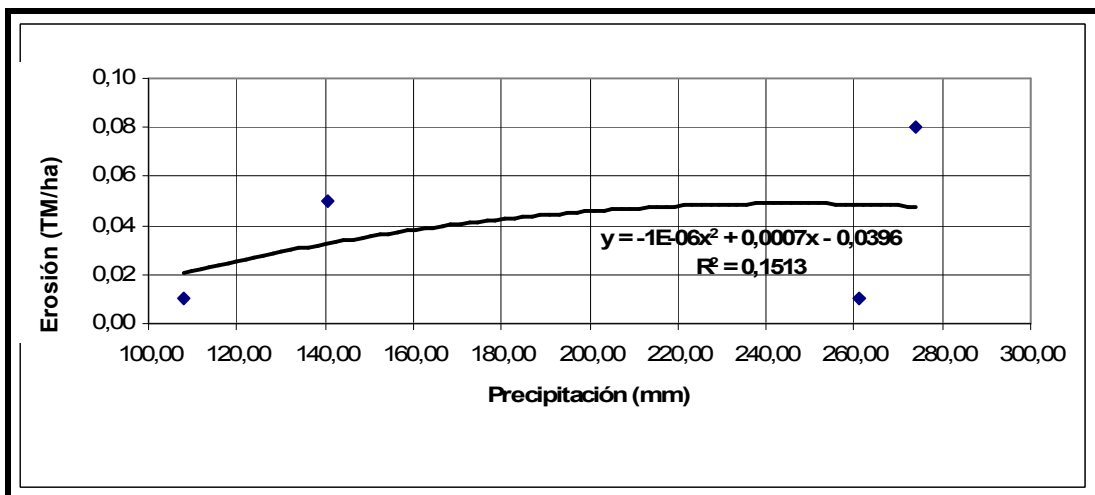


Figura 2.24. Análisis de regresión de precipitación vrs erosión en pastos.

La regresión es cuadrática y se expresa con la ecuación $Y = -0.000001x^2 + 0.0007x - 0.1513$ y un R^2 de 0.1513 que se puede catalogar como no aceptable, es decir, el modelo se considera no adecuado. Por lo que será necesario seguir realizando experimentos aun cuando aparentemente el uso de suelo con pasto mostró las más bajas tasas de erosión.

- **Escoorrentía vrs. erosión en bosque**

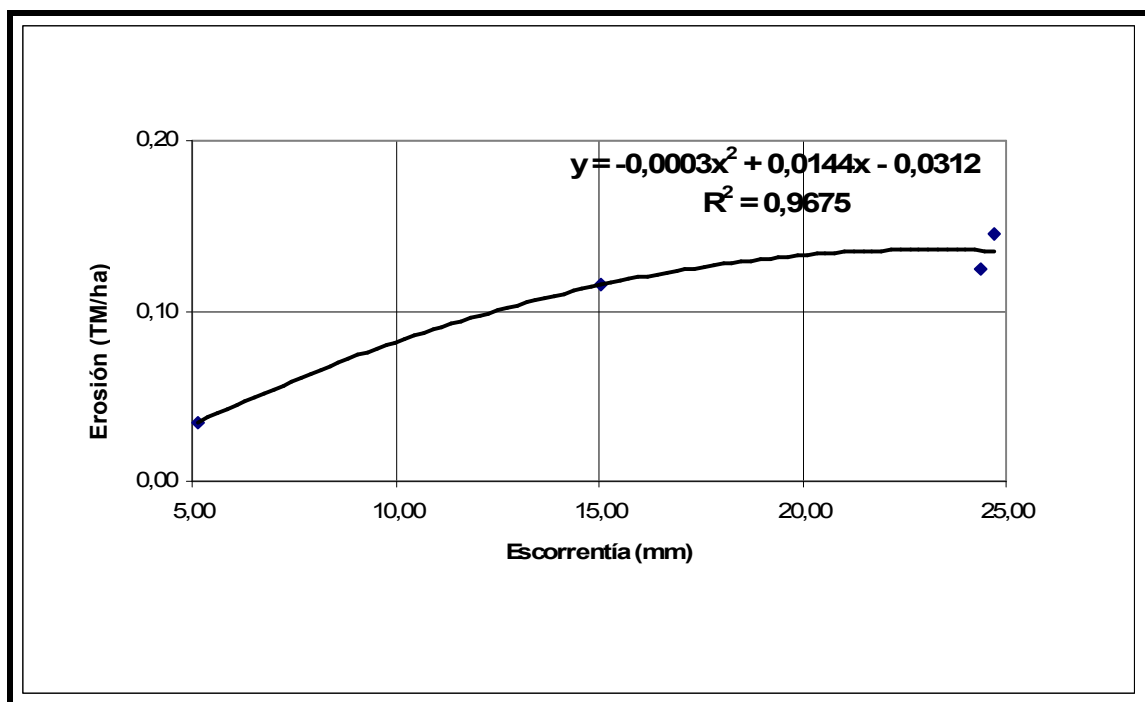


Figura 2.25. Análisis de regresión de escoorrentía vrs erosión en bosque.

La regresión escoorrentía vrs. erosión en bosque es cuadrática y se expresa con la ecuación $Y = -0.0003x^2 + 0.0144x - 0.0312$ y un R^2 de 0.9675 que se puede catalogar como aceptable, es decir, el modelo se considera adecuado para trazar la curva y definir el incremento de la erosión con respecto a la escoorrentía en las parcelas de bosque, cuando los valores sean mayores de 5 mm. Es decir; se incrementará el promedio de la erosión cuando el valor de X es mayor de 5. Ejemplo, cuando la escoorrentía es 5 mm la erosión será de 0.0333 toneladas métricas por hectárea.

Con el modelo generado, se encontró una escorrentía, donde el valor de erosión es máximo. Se utilizó la primera derivada de la función generada para determinar el valor crítico de escorrentía, donde ocurre el valor extremo de erosión. La primera derivada obtenida es:

$$y' = -0.0006X + 0.0144$$

Al igualar a cero la primera derivada de la función se determinó un valor crítico para la variable "x", siendo este: 24 mm de escorrentía. Este valor se utilizó para evaluar la función "y" de erosión, obteniéndose el valor extremo siguiente: para $x = 24$ mm, $y = 0.1416$ TM/ha. Luego, se obtuvo la segunda derivada de la función y se utilizó como criterio para determinar si este valor extremo es máximo relativo o es mínimo relativo. La segunda derivada de la función es:

$$y'' = -0.0006$$

Como se puede observar la función obtenida del análisis de regresión, es cuadrática lo que implica que su gráfica es una parábola, por lo que solo tiene un valor máximo o un valor mínimo; en este caso como la segunda derivada resultó ser un valor numérico negativo, se concluye que, en el punto $x = 24$ mm, $y = 0.1416$ TM/ha, la curva es cóncava hacia abajo y tiene un extremo relativo máximo. Con base en estos resultados se establece que en $x = 24$ mm ocurre la mayor erosión.

- **Escorrentía vrs. erosión en cultivo**

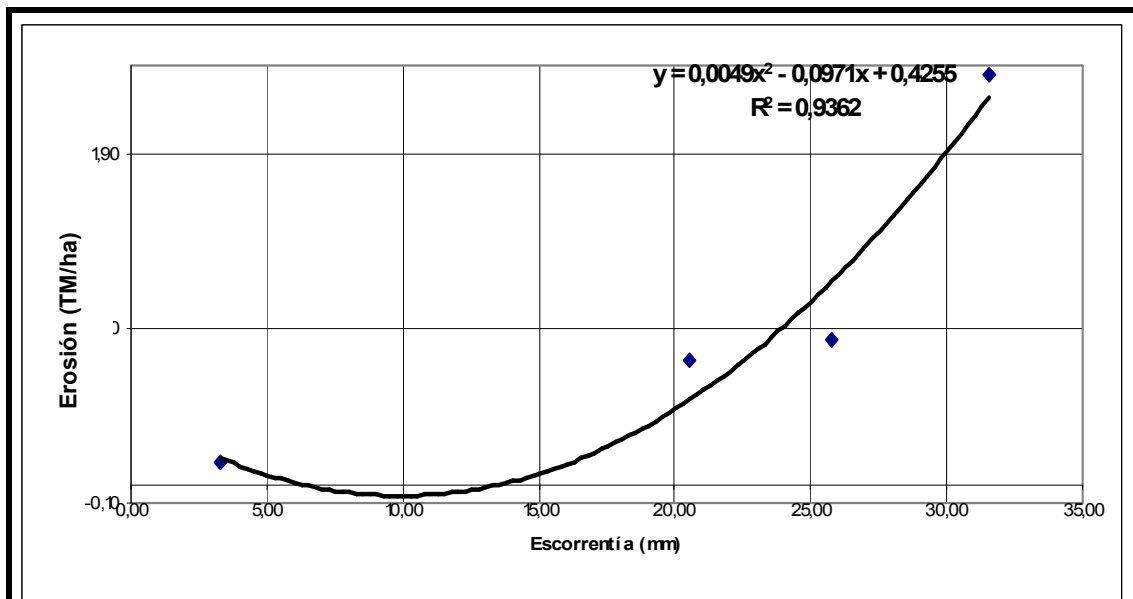


Figura 2.26. Análisis de regresión de escorrentía vrs erosión en cultivos.

La regresión escorrentía vrs. erosión en cultivos es cuadrática y se expresa con la ecuación $Y = 0.0049x^2 - 0.0971x + 0.4255$ y un R^2 de 0.9362 que se puede catalogar como aceptable, es decir, el modelo se considera adecuado para trazar la curva y definir el incremento de la erosión con respecto a la escorrentía en las parcelas de cultivos, cuando los valores sean mayores de 15 mm. Es decir; se incrementará el promedio de la erosión cuando el valor de X es mayor de 15. Ejemplo, cuando la escorrentía es 15 mm la erosión será de 0.0715 toneladas métricas por hectárea.

Con el modelo generado, se encontró una escorrentía, donde el valor de erosión es mínimo. Se utilizó la primera derivada de la función generada para determinar el valor crítico de escorrentía, donde ocurre el valor extremo de erosión. La primera derivada obtenida es:

$$y' = 0.0098X - 0.0971$$

Al igualar a cero la primera derivada de la función se determinó un valor crítico para la variable "x", siendo este: 9.91 mm de escorrentía. Este valor se utilizó para evaluar la función "y" de erosión, obteniéndose el valor extremo siguiente: para $x = 9.91$ mm, $y = 0.00$ TM/ha.

Luego, se obtuvo la segunda derivada de la función y se utilizó como criterio para determinar si este valor extremo es máximo relativo o es mínimo relativo. La segunda derivada de la función es:

$$y'' = 0.0098$$

Como se puede observar la función obtenida del análisis de regresión, es cuadrática lo que implica que su gráfica es una parábola, por lo que solo tiene un valor máximo o un valor mínimo; en este caso como la segunda derivada resultó ser un valor numérico positivo, se concluye que, en el punto $x = 9.91$ mm, $y = 0.00$ TM/ha, la curva es cóncava hacia arriba y tiene un extremo relativo mínimo. Con base en estos resultados se establece que en $x = 9.91$ mm no ocurre erosión.

- **Escorrentía vrs. erosión en pastos**

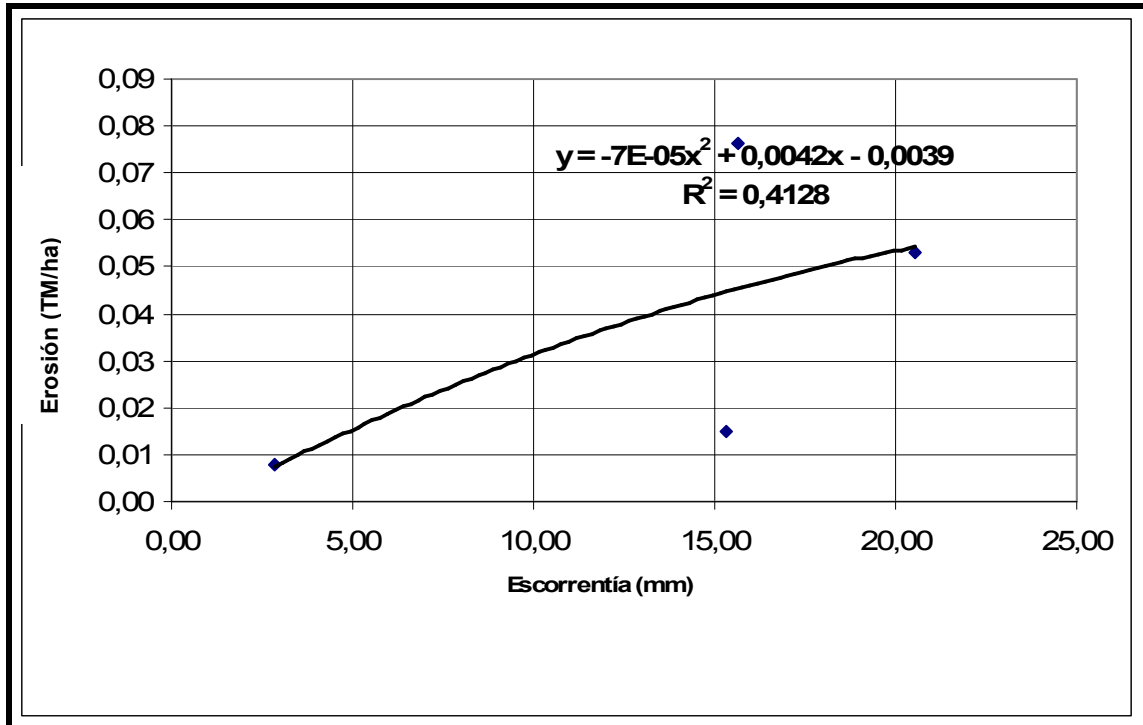


Figura 2.27. Análisis de regresión de escorrentía vrs erosión en pastos.

La regresión es cuadrática y se expresa con la ecuación $Y = -0.00007x^2 + 0.0042x - 0.0039$ y un R^2 de 0.4128 que se puede catalogar como no aceptable, es decir, el modelo se considera no adecuado. Por lo que será necesario seguir realizando experimentos aun cuando aparentemente el uso de suelo con pasto mostró las más bajas tasas de erosión.

2.7.5 Pérdida de materia orgánica y Fósforo

A continuación se presentan el análisis químico realizado a las muestras de suelo erosionado, tales como cantidades de materia orgánica y algunos nutrientes como Calcio, Fósforo, Potasio y Magnesio, de acuerdo a los análisis de laboratorio realizados.

Cuadro 2.16. Análisis químico por tratamiento al suelo erosionado.

TRATAMIENTO	pH	ppm		Meq/100gr		ppm				Materia orgánica porcentaje
		P 12- 16	K 120- 150	Ca 6-8	Mg 1.5- 2.5	Cu 2-4	Zn 4-6	Fe 10- 15	Mn 10- 15	
BOSQUE	6	4.44	90	10.3	2.62	0.1	120	7	350	30.98
CULTIVO	6	3.96	95	4.06	0.87	0.1	300	11.5	275	11.74
PASTO	6	4.44	53	6.86	1.85	0.1	850	1.5	42	19.24

Según el Cuadro 2.16, existe una diferencia en cuanto a los valores de materia orgánica, donde se registra el menor valor es en el tratamiento de cultivos con 11.74 % y donde ocurre el mayor valor es en el tratamiento de bosque con 30.98 %.

Los valores de materia orgánica que se obtuvieron en los análisis de suelos realizados a las muestras de suelo erosionado obtenidas del área donde se encuentra las unidades experimentales son clasificados, como extremadamente ricos (mayor de 4.21%), en este estudio los valores son altos debido a que la capa erosionada tenía alto contenido de restos vegetales y de insectos que llegaban a los recipientes recolectores y al almacenar el suelo con estos restos lógicamente se obtuvieron altos contenidos de carbono orgánico, por lo cual el valor de materia orgánica es alto.

Por el contrario el contenido de Fósforo es clasificado como bajo. Según González (2006) el contenido de Fósforo depende del contenido de materia orgánica presente en el suelo, así como de la textura de los suelos ya que cuanto más fina sea su textura, mayor es el contenido de Fósforo.

Según Plaster (2000) entre un 25 a un 90 por ciento de todo el Fósforo del suelo reside en la materia orgánica lo que explica que también la estimación de la pérdida de Fósforo este sobreestimada como se hablaba anteriormente, ya que los valores iniciales de Fósforo resultan ser mucho más bajos que los valores de las muestras de suelo erosionado.

2.7.6 Infiltración básica

Cumpliendo con los objetivos de la investigación, Se determinó la velocidad de infiltración para cada tratamiento como se muestra en el Cuadro 2.17.

Cuadro 2.17. Infiltración básica registrada en los suelos del área de estudio por tratamiento.

Tratamiento	Infiltración Básica (milímetros por día)
Bosque	1000
Cultivo	1146
Pasto	1139

2.7.7 Evapotranspiración

Se estimó la evapotranspiración con los valores de temperatura diaria; estos valores de evapotranspiración se pueden observar en el Cuadro 2.18 .

Cuadro 2.18. Estimación de la evapotranspiración por el método de Hargreaves

Mes	Temp. °C	Radiación solar (mm/día)	Radiación solar mensual	Duración del día (h)	Brillo medio mensual porcentaje	Radiación Solar Mensual	ETP (mm)
Enero	19.4	12.40	384.40	11.3	7.78	96.91	48.58
Febrero	16.9	13.60	380.80	11.6	7.98	97.27	45.60
Marzo	20.7	14.90	461.90	12	8.26	120.01	62.32
Abril	21.2	15.70	471.00	12.5	8.60	124.89	65.75
Mayo	20.4	15.00	465.00	12.8	8.81	124.77	64.27
Junio	16.9	15.70	471.00	13	8.95	127.37	59.68
Julio	19.1	15.70	486.70	12.9	8.88	131.10	65.24
Agosto	21.7	15.70	486.70	12.6	8.67	129.57	69.07
Septiembre	22.5	15.10	453.00	12.2	8.40	118.67	64.50
Octubre	21.7	14.10	437.10	11.8	8.12	112.61	60.07
Noviembre	19.6	12.80	384.00	11.4	7.85	97.24	49.05
Diciembre	19.1	12.00	372.00	11.2	7.71	93.37	46.48
				145.3	100.00		700.60

2.7.8 Balance hídrico

El balance hídrico de suelos se aplicó para cada uno de los tratamientos estudiados y se hizo de forma mensual.

Los resultados de volúmenes de recarga hídrica de suelo determinados en cada tratamiento se resume en el Cuadro 2.19.

Cuadro 2.19. Resumen de la recarga potencial por tratamiento.

Tratamiento	Recarga potencial (mm / año)
Bosque	1116.21
Cultivo	1185.98
Pasto	1162.41

En el Cuadro 2.20, se presentan las variables principales en que se resumió el balance hídrico de suelos mensual para cada tratamiento. Analizando estas variables, no existe diferencia entre el volumen total de entradas y salidas, esto quiere decir que no se incurrió en ningún error utilizando este método de balance hídrico de suelos mensual y concluyendo que los cálculos del balance hídrico mensual se han efectuado correctamente.

Cuadro 2.20. Resumen del balance hídrico de suelos realizado en el área de estudio por cada tratamiento utilizando datos meteorológicos mensuales por el método Schosinsky.

Bosque				
Entrada		Salida		porcentaje
Variable	milímetros	Variable	milímetros	
Precipitación pluvial	2135.31	Evapotranspiración real	698.70	32.71
		Escorrentía superficial	0.00	0.00
		Retención vegetal	320.30	15.00
		Recarga potencial	1116.21	52.29
Total	2135.31	Total	2135.31	100.00
Cultivos				
Entrada		Salida		porcentaje
Variable	milímetros	Variable	milímetros	
Precipitación pluvial	2135.31	Evapotranspiración real	692.23	32.42
		Escorrentía superficial	0	0.00
		Retención vegetal	256.24	12.00
		Recarga potencial	1185.98	55.54
Total	2135.31	Total	2135.31	100.00
Pasto				
Entrada		Salida		porcentaje
Variable	milímetros	Variable	milímetros	
Precipitación pluvial	2113.31	Evapotranspiración real	697.29	33.00
		Escorrentía superficial	0	0.00
		Retención vegetal	253.60	12.00
		Recarga potencial	1162.41	55.00
Total	2113.31	Total	2113.31	100.00

En Cuadro 2.20. También se puede observar que los porcentajes de evapotranspiración son prácticamente iguales para todos los tratamientos, esto debido a que ésta depende de la temperatura y de la radiación solar, características que son iguales en los cuatro tratamientos.

Se puede observar que la recarga potencial de los tratamientos es bastante similar, esto es debido a la homogeneidad de las condiciones en que se encuentran los tratamientos. El tratamiento de bosque presenta una recarga menor, esto debido por la retención de gotas de lluvia ocasionada por las copas de los árboles, lo que hace que la cantidad de agua que llega al suelo sea menor y por ende el agua a infiltrarse sea menor.

En la mayoría de los casos, para obtener la recarga hídrica en bosques, se utiliza un porcentaje de retención del 20%, esto suponiendo que el bosque se encontrara en condiciones naturales, es decir sin alteraciones del hombre. Para el caso de la investigación se utilizó un porcentaje de retención del 15%, tomando en cuenta que es una plantación de 7 años de edad y no presenta una cobertura de sotobosque dentro del mismo, debido a las limpiezas que se le daba. Este porcentaje se obtuvo de la medición de la precipitación interna que se menciona con anterioridad.

En el tratamiento de cultivo, podemos observar que es donde presenta una mayor recarga hídrica al suelo 1185.98 mm, esto es debido a la labranza que se tuvo el suelo, permitiendo una mejor infiltración de agua dentro del mismo a diferencia de los tratamientos de bosque y de pastos que no han sufrido ningún tipo de alteración en el suelo.

Los tratamientos de bosque y de pasto presentaron una menor recarga hídrica al suelo, pero fueron los que protegieron de una mejor manera al mismo, en cuanto a la escorrentía y erosión, y esto debido a la retención de la lluvia por el material vegetativo que tienen, haciendo que las gotas de lluvias no hagan contacto directo con el suelo y que den lugar al desprendimiento y arrastre de partículas del mismo, a diferencia, en el tratamiento de cultivos, la cobertura vegetal de este no pudo brindar la misma protección al suelo, ocasionando un significativo daño en cuanto a escorrentía y erosión del suelo.

2.8 CONCLUSIONES

- El tratamiento de cultivos, es el que presentó una mayor escorrentía (76.12 metros cúbicos por hectárea) y el tratamiento que dio una mayor protección al suelo en cuanto a escorrentía fue el de Pastos (51.85 metros cúbicos por hectárea).
- En los tratamientos de cultivos, bosque y pasto, la cantidad de suelo erosionado fue de 4.03, 0.37 y 0.15 toneladas métricas por hectárea respectivamente.
- La recarga anual se calcula en 1116.21 milímetros por año para el tratamiento de bosque, 1185.98 milímetros por año para cultivos y 1162.41 milímetros por año para pastos.
- Se determinó que al inicio de la investigación según los análisis de suelos realizados, la clase textural del suelo en que se realizó la investigación es franco arenoso, presentando una densidad aparente promedio de 0.67 gramos por centímetro cúbico y un pH de 5.6, además se observó que se registró un promedio de 14.89 % de materia orgánica y valores muy bajos en cuanto a los demás nutrientes.
- Las muestras de suelo erosionado presentaron valores de materia orgánica de 20.65 % promedio y pH 6, además los valores de nutrientes también fueron bajos para estas muestras.

2.9 RECOMENDACIONES

- Para futuras investigaciones, en las cuales se haga el uso de parcelas de escorrentía, es necesario que los canales colectores estén tapados, esto con el fin de que la precipitación que caiga en el mismo no vaya a dar a los recipientes colectores.
- También es necesario realizar una investigación similar, pero teniendo ya implementadas las unidades experimentales a inicios de año, esto con el fin de monitorear toda la época de invierno y así obtener datos de las primeras lluvias que son las mas fuertes.
- Realizar una base de colecta de datos, la cual sea bastante práctica para no tener confusiones a la hora de analizar los datos.
- Se puede recomendar el uso forestal y pecuario con pasto, en terrenos con pendientes pronunciadas, esto con el fin de ocasionar el menor daño al suelo.

2.10 BIBLIOGRAFÍA

1. Cifuentes Barrientos, JG. 2000. Estudio de la cobertura vegetal de tres cultivos sobre erosión hídrica del suelo, en la parte media de la cuenca del río Itzapa, San Andrés Itzapa, Chimaltenango (fase II). Tesis Ing. Agr. Guatemala, USAC. 59 p.
2. Colegio de Postgraduados, MX. 1991. Manual de conservación de suelo y agua. 3 ed. Chapingo, México. 606 p.
3. Cruz, JR De la. 1982. Clasificación de zonas de vida de Guatemala a nivel de reconocimiento. Guatemala, Instituto Nacional Forestal. 42 p.
4. Custodio, E; Llamas, MR. 2001. Hidrología subterránea. 2 ed. Barcelona, España, Omega. v. 1-2, 235 p.
5. Fassbender, HW. 1983. Suelos y sistemas de producción agroforestales. Turrialba, CR, CATIE. 151 p.
6. Género y Ambiente, ES. 2005. Glosario (en línea). España. Consultado 20 feb 2006. Disponible en <http://www.generoyambiente.org/ES/metodología/docs/desiertos/glosario.pdf>
7. González, ME. 2005. Evaluación preliminar del efecto de cuatro porcentajes de cobertura boscosa de una plantación de *Pinus maximinoi*_H.E. Moore, sobre la erosión hídrica del suelo, en la finca Río Frío, Santa Cruz Verapaz; Alta Verapaz. Tesis Ing. Agr. Guatemala, USAC. 146 p.
8. Herrera, I. 1998. Reconocimiento hidrogeológico de la cuenca del río Itzapa, departamento de Chimaltenango, Guatemala. Tesis MSc. Costa Rica, Universidad de Costa Rica, Escuela Centroamericana de Geología. 104 p.
9. Johnson, EE. 1995. El agua subterránea y los pozos. Minnesota, US, Johnson. 513 p.
10. León, T. 1998. Efectos de plantaciones forestales sobre suelo y agua. Santafé, Bogotá, Colombia, Programa CONIF-MINAMBIENTE sobre Evaluación del Impacto Ambiental de las Plantaciones Forestales en Colombia. 158 p. (Serie Técnica / no. 40).
11. López, CF. 1998. Efecto de la cobertura de cultivos sobre la erosión hídrica del suelo en la cuenca media del río Itzapa, San Andrés Itzapa, Chimaltenango, Guatemala. Tesis Ing. Agr. Guatemala, USAC. 58 p.
12. MAGA (Ministerio de Agricultura, Ganadería y Alimentación, GT). 2000. Mapas temáticos digitales de la república de Guatemala. Guatemala. Esc. 1:250,000. Color. 1 CD.
13. Martínez, A. 1995. Hidrología forestal: el ciclo hidrológico. Valladolid, España, Universidad de Valladolid. 198 p. (Serie: Manuales y Textos Universitarios Ciencias no. 18).

14. Orozco, E; Padilla, T; Salguero, M. 2003. Manual técnico para la determinación de las áreas potenciales de recarga hídrica. Guatemala, INAB / FAUSAC. 67 p.
15. Plaster, EJ. 2000. La ciencia del suelo y su manejo. España, Paraninfo. 419 p.
16. Sánchez, GA. 1998. Evaluación de la cobertura vegetal y manejo de tres cultivos, sobre la erosión hídrica en la parte media de la cuenca del río Itzapa, San Andrés Itzapa (fase II), Chimaltenango, Guatemala. Tesis Ing. Agr. Guatemala, USAC. 55 p.
17. Schosinsky, G; Losilla, M. 2000. Modelo analítico para determinar la infiltración con base en la lluvia mensual. Costa Rica, Universidad de Costa Rica, Escuela Centroamericana de Geología, Revista Geológica de América Central. no. 23, p. 44-54.
18. Stadmüller, T. 1994. Impacto hidrológico del manejo forestal de bosques naturales tropicales medidas para mitigarlo. Cosa Rica, CATIE. 62 p.

CAPÍTULO III

**INFORME DE SERVICIOS REALIZADOS EN LA SUBREGIÓN II – 1 DEL INSTITUTO
NACIONAL DE BOSQUES, TACTIC, ALTA VERAPAZ.**

3.1 PRESENTACIÓN

El proyecto CEFÉ del INAB, tiene bajo su responsabilidad la implementación de proyectos piloto para la conservación y manejo de áreas de recarga hídrica críticas en el país. Además tiene bajo su cargo el programa de investigación en hidrología forestal el cual es la base para la implementación de la línea de investigación antes mencionada.

Como parte de las investigaciones relacionadas al tema se implementó una estación hidrológica forestal con el fin de implementar procedimientos que permitan monitorear y comparar, el efecto que se produce en el comportamiento hidrológico de una microcuenca hidrográfica, sometida a uso forestal (plantación de coníferas) con prácticas silviculturales.

La implementación de la estación hidrológica es responsabilidad del INAB, por medio de sus dependencias Conservación de Ecosistemas Forestales Estratégicos, Investigación Forestal y Subregión II-1. A la vez, el INAB, cuenta con el apoyo de socios como la empresa W.E. Diesseldorff, propietaria de la finca, y la Facultad de Agronomía de la Universidad de San Carlos de Guatemala, FAUSAC, en aspectos técnico-científicos y por medio de su Ejercicio Profesional Supervisado –EPS-; los estudiantes del EPS son quienes están encargados directamente de la toma de datos y el mantenimiento de la estación.

Además, también se prestó apoyo técnico a la Subregión II – 1, en sus actividades, por ser una de las Subregiones con más trabajo en el área. Dicho apoyo consistió principalmente en inspecciones de campo para proyectos de incentivos forestales PINFOR, licencias de consumo, talas ilícitas, revisión de planes de manejo forestales entre otras. Las actividades anteriormente mencionadas tuvieron lugar en el área de influencia de la subregión la cual abarca los municipios de Santa Cruz Verapaz, San Cristóbal Verapaz, Tactic, Tamahú, San Miguel Tucurú, Senahú Panzós y Santa Catarina La Tinta, todos pertenecientes al departamento de Alta Verapaz.

3.2 SERVICIO 1: Apoyo en el monitoreo de estaciones climáticas de la microcuenca Río Frío ubicada dentro de la Finca Río Frío, Santa Cruz Verapaz, Alta Verapaz.

3.2.1 OBJETIVOS

- Monitorear el caudal del afluente principal de la microcuenca Río Frío.
- Monitorear la precipitación pluvial diariamente registrada en las dos estaciones instaladas dentro de la microcuenca.
- Monitorear la temperatura máxima y mínima diaria registrada en los termómetros de las dos estaciones instaladas dentro de la microcuenca.
- Crear una base de datos sobre la información climática generada durante el año 2006 de la microcuenca Río Frío, Santa Cruz Verapaz, Alta Verapaz.

3.2.2 METODOLOGÍA

3.2.2.1 Fase de campo

3.2.2.1.1 Monitoreo de estaciones climáticas

Dentro de la Finca Río Frío está ubicada la microcuenca que lleva el mismo nombre; en esta microcuenca se encuentran instaladas dos estaciones climatológicas en las cuales se miden datos básicos como el caudal del cauce principal, la temperatura y la precipitación.

Estas estaciones se encuentran situadas en la parte baja y en la parte alta de la microcuenca, la primera situada a 1440 msnm y la segunda situada a 1520 msnm.

La lectura de las estaciones climáticas constó básicamente de tres partes las cuales se describen a continuación:

a. Medición de la precipitación pluvial

Para la medición de la precipitación se utilizaron los pluviómetros instalados en las dos estaciones ubicadas dentro de la microcuenca, como se muestra en la Figura 3.1. La

medición se hizo con una probeta graduada en milímetros, anotándose diariamente los datos en las boletas respectivas. Al finalizar cada mes se hizo una sumatoria de la precipitación diaria reportada y se entregó un informe de ésta al proyecto de Conservación de ecosistemas forestales estratégicos (Figura 3.1).



Figura 3.1 Medición de la precipitación pluvial en al estación ubicada en la parte baja de la microcuenca.

b. Medición de la temperatura

La medición de la temperatura se hizo tanto en la estación de la parte baja de la microcuenca como en la estación de la parte alta de la microcuenca. Para la medición de estos datos se utilizaron termómetros de máximas y mínimas, como se muestra en la Figura 3.2, los datos obtenidos diariamente se anotaron en boletas diseñadas para este fin.



Figura 3.2 Termómetro de máximas y mínimas utilizado para la medición de temperatura.

c. Medición de caudales diarios

Se midió la profundidad del caudal que pasa por un canal de aforo construido en el cauce del río, como se muestra en la Figura 3.3, con una regla graduada en centímetros. Esta medición se hizo diariamente y los registros se anotaron en boletas diseñadas para este fin.

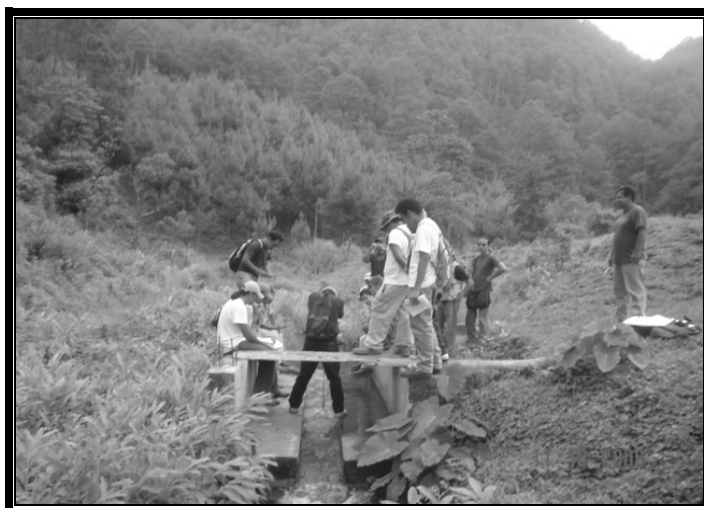


Figura 3.3 Medición de la profundidad del caudal que pasa por el canal de aforo ubicado en el cauce principal de la microcuenca.

3.2.2.2 Fase de gabinete

Al finalizar cada mes se alimentó la base de datos del Proyecto de Conservación de Ecosistemas forestales Estratégicos (CEFE) del Instituto Nacional de Bosques (INAB) con los registros tomados a lo largo del mes y al finalizar el período de prácticas se sintetizó la información obtenida.

3.2.3 RESULTADOS

3.2.3.1 Precipitación mensual durante febrero a noviembre de 2006.

En el Cuadro 3.1 se presentan los registros de precipitación mensual, ocurridos tanto en la parte baja como en la parte alta de la microcuenca Río Frío.

Cuadro 3.1 Precipitación mensual registrada en la microcuenca Río Frío, Febrero a Noviembre de 2006.

MES	ESTACIÓN PARTE BAJA		ESTACIÓN PARTE ALTA	
	Precipitación mensual (mm)	Precipitación media diaria (mm)	Precipitación mensual (mm)	Precipitación media diaria (mm)
Feb-06	70.40	2.51	120.65	4.31
Mar-06	141.45	4.56	141.45	4.56
Abr-06	41.60	1.39	62.05	2.07
May-06	229.75	7.41	208.90	6.74
Jun-06	542.10	18.07	548.10	18.27
Jul-06	244.40	7.88	264.95	8.55
Ago-06	118.95	3.84	117.95	3.80
Sep-06	161.70	5.39	156.00	5.20
Oct-06	135.08	4.36	129.48	4.18
Nov-06	108.45	3.62	102.95	3.43

Como se puede observar en el Cuadro 3.1 y en la Figura 3.4, la precipitación en la microcuenca Río Frío se mantuvo estable durante todo el año encontrándose únicamente un período lluvioso, es decir, un período donde ocurre la mayor cantidad de precipitación, este período es el comprendido de mayo a julio que comprenden una precipitación en los tres meses de 1016.25 mm para la parte baja de la microcuenca y 1021.95 mm para la parte alta de la microcuenca. Estos datos corresponden al 56 % de la precipitación ocurrida durante todo el período para las dos estaciones.

Podemos observar que se encuentran dos períodos secos durante el tiempo que se tomaron datos los cuales corresponden de febrero a abril y de agosto a noviembre, encontrándose que el mes donde ocurrió menor precipitación fue en abril con 41.60 mm y 62.05, para la parte baja y alta de la microcuenca respectivamente.

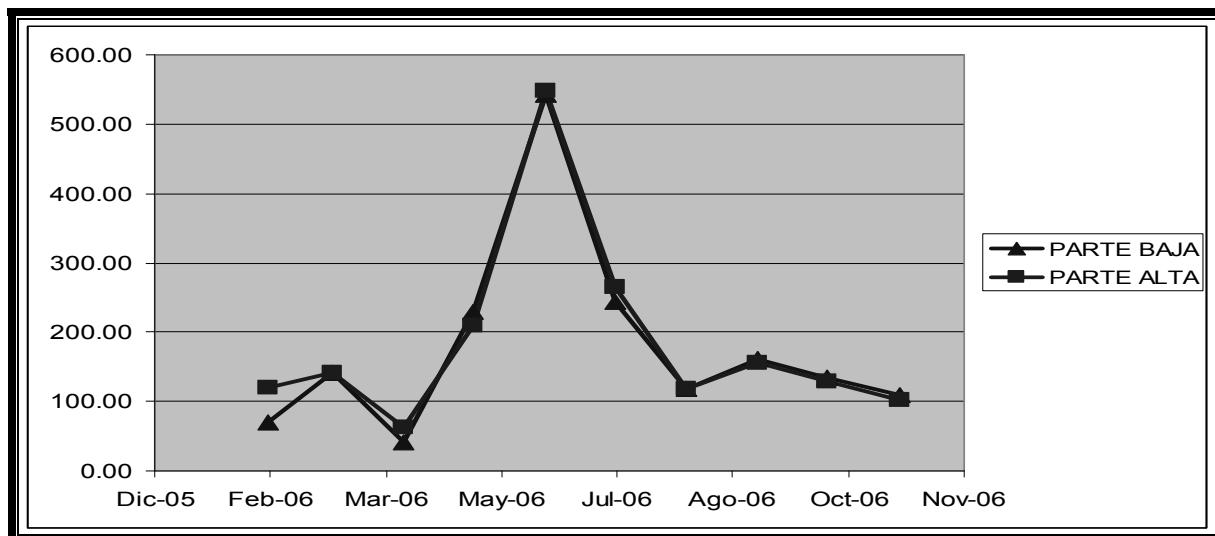


Figura 3.4 Precipitación ocurrida en la parte baja y alta de la microcuenca Río Frío.

3.2.3.2 Temperatura media mensual durante los meses de febrero a Noviembre de 2006.

En el Cuadro 3.2, se presentan los registros de temperatura de las estaciones instaladas dentro de la microcuenca Río Frío en la Finca que lleva el mismo nombre.

Cuadro 3.2 Temperatura media diaria registrada en la Finca Río Frío durante los meses de Febrero a Noviembre.

MES	Parte Baja	Parte Alta	Temperatura media diaria de la microcuenca
	Temperatura media diaria (°C)	Temperatura media diaria (°C)	
Feb-06	18.25	16.95	17.60
Mar-06	23.91	19.35	21.63
Abr-06	25.12	21.22	23.17
May-06	22.72	19.06	20.89
Jun-06	17.34	16.23	16.78
Jul-06	19.27	18.19	18.73
Ago-06	21.04	20.04	20.54
Sep-06	22.43	20.52	21.47
Oct-06	21.73	21.70	21.72
Nov-06	19.62	18.03	18.82

Según la Figura 3.5, la temperatura media diaria de la microcuenca es de 20 °C, elevándose durante marzo, abril, mayo y descendiendo en de junio y julio para estabilizarse nuevamente en agosto septiembre octubre y descendiendo en el mes de noviembre.

Podemos observar también, el cambio leve de temperatura que existe entre la estación de la parte alta con la estación de la parte baja, esto se debe que el coeficiente de temperatura por cada metro de diferencia en altura entre cada estación es de 0.02 °C, por lo que por cada 100 m de ascensión se supone una pérdida de temperatura de 2 °C aproximadamente, para las condiciones específicas de esta microcuenca.

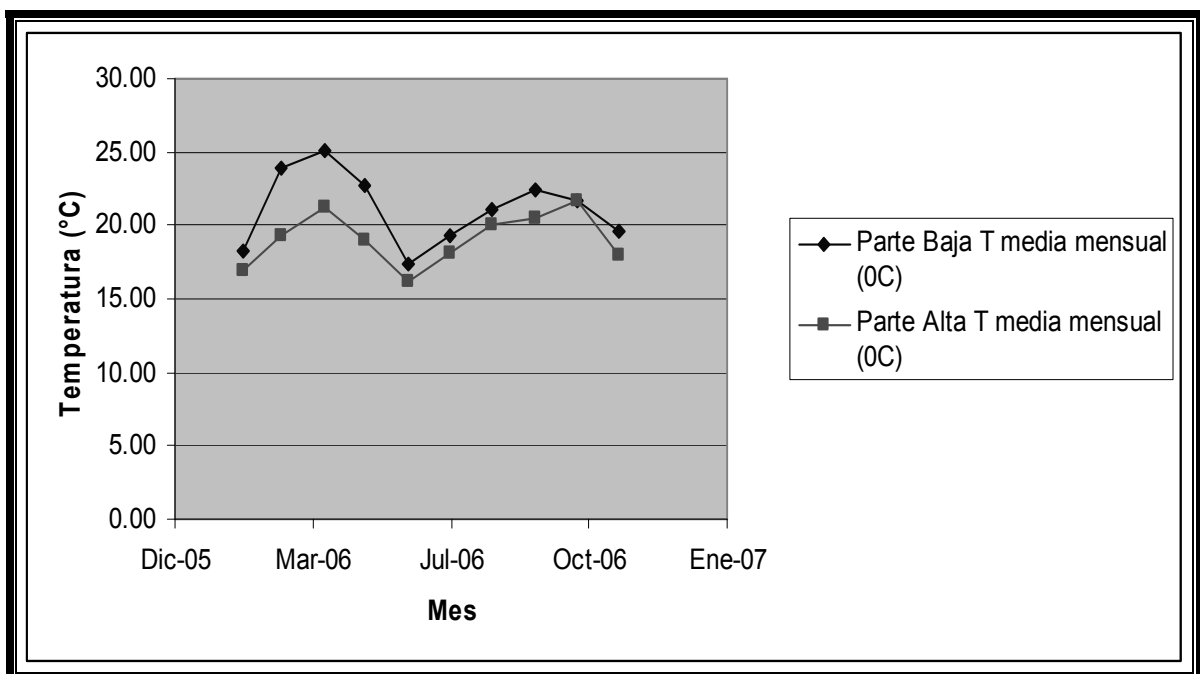


Figura 3.5 Temperatura media mensual para las estaciones ubicadas dentro de la microcuenca Río Frío.

Con los datos de temperatura podemos calcular la evapotranspiración utilizando el método diseñado por Hargreaves, el cual es una ecuación específica para la región Centroamericana y de los más prácticos y confiables. La ecuación se describe a continuación:

$$ETP = 0.0075 \times TMF \times RSM$$

Donde:

ETP: Evapotranspiración potencial en mm/mes

TMF: Temperatura media mensual

RSM: Radiación solar incidente mensual

En el cuadro 3.3, podemos observar los valores de la evapotranspiración mensual calculados utilizando este método, dato que nos servirá para realizar un climadiagrama.

Cuadro 3.3 Evapotranspiración mensual ocurrida de febrero a noviembre de 2006.

Mes	Evapotranspiración (milímetros)
Feb-06	46.5
Mar-06	63.9
Abr-06	69.0
May-06	65.1
Jun-06	59.4
Jul-06	64.6
Ago-06	67.0
Sep-06	62.9
Oct-06	60.0
Nov-06	48.0

Según la Figura 3.6, se puede apreciar el comportamiento de la precipitación, evapotranspiración y la temperatura, durante los meses de monitoreo. En ésta se puede notar un incremento de la precipitación en de mayo a julio y una disminución en la temperatura en dichos meses, aunque también se puede observar que la precipitación se mantiene constante en el resto del año al igual que la temperatura por lo que se puede decir que durante el año 2006, el invierno ocurrió durante estos meses.

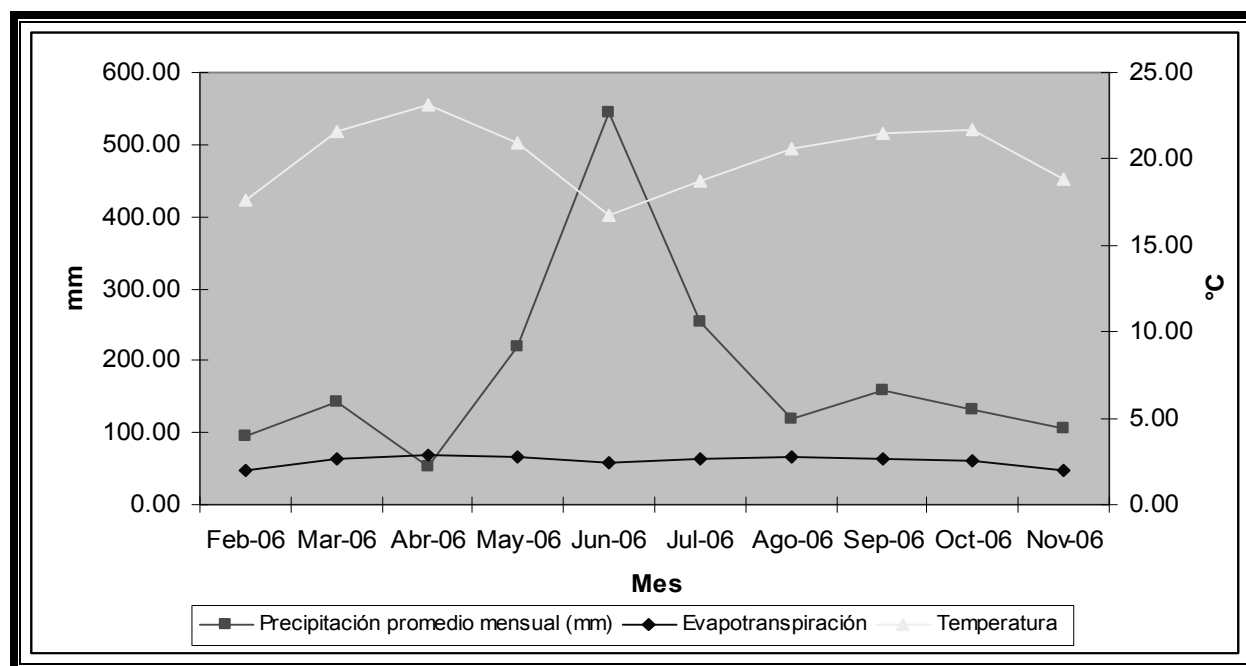


Figura 3.6 Climadiagrama de la microcuenca Río Frío.

El mes seco fue abril, donde también se puede observar un pequeño aumento en la temperatura, mes en el que la evapotranspiración es un poco mayor que la precipitación lo que indica un déficit hídrico durante este mes.

La precipitación en febrero, marzo y de agosto a noviembre se encuentra en un rango medio de 100mm y de mayo a julio en un rango promedio de 350 mm ocurriendo la mayor precipitación en junio, la cual fue de 545 mm promedio. La temperatura mayor en abril, con 23.17 grados centígrados y la menor en junio con 16.78 grados centígrados. La evapotranspiración se mantiene por debajo que la precipitación durante todos los meses exceptuando abril como ya se había mencionado lo que indica que en esta región todo el año se mantiene húmedo.

3.2.3.3 Caudal mensual febrero a noviembre de 2006

En el Cuadro 3.4 y Figura 3.7 podemos observar los resultados de los registros del caudal medio mensual del afluente principal de la microcuenca ocurridos durante los meses de monitoreo (febrero – noviembre).

Cuadro 3.4 Caudales medios mensuales de la microcuenca Río Frío durante el período de Febrero a Noviembre de 2006.

MES	CAUDAL MEDIO MENSUAL	CAUDAL MEDIO MENSUAL
	(l / s)	(m ³ / s)
FEBRERO	36.7	0.037
MARZO	20.1	0.020
ABRIL	15.6	0.016
MAYO	13.3	0.013
JUNIO	200.7	0.201
JULIO	202.2	0.202
AGOSTO	137.3	0.137
SEPTIEMBRE	68.0	0.068
OCTUBRE	107.7	0.108
NOVIEMBRE	147.4	0.147

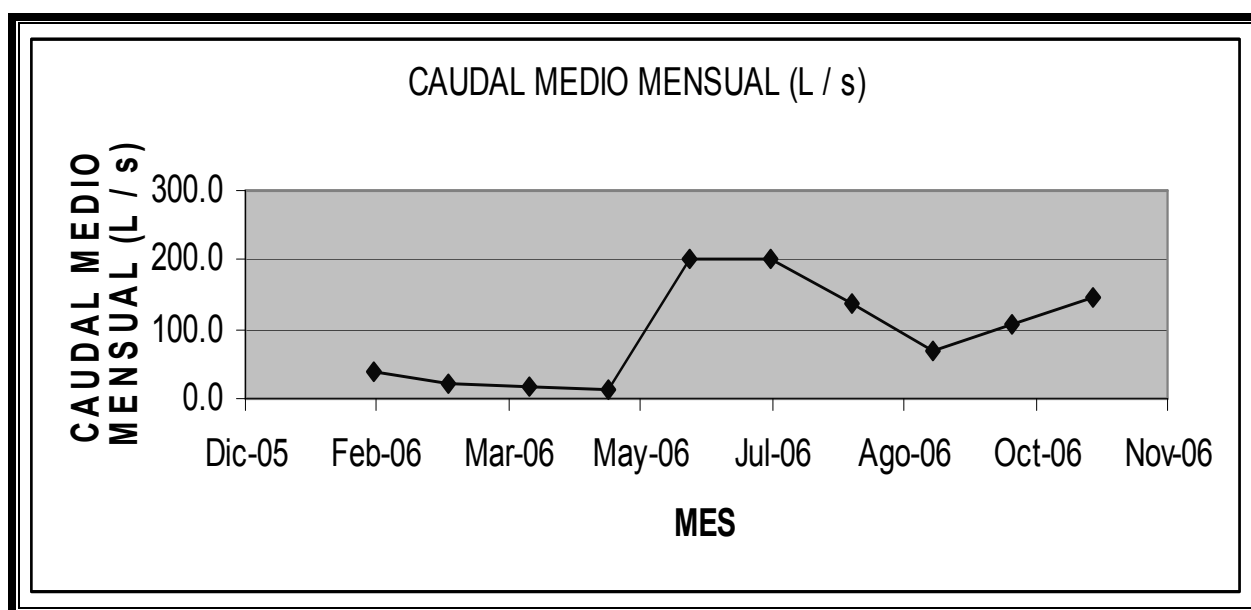


Figura 3.7 Comportamiento del caudal medio mensual durante los meses de Febrero a Noviembre de 2006 en la microcuenca Río Frío.

Según la Figura 3.7 podemos observar el comportamiento del caudal medio mensual durante los meses de monitoreo; en esta Figura notamos que dicho comportamiento se mantiene

poco estable durante el año, registrándose su caudal más bajo durante el mes de mayo (13.3 litros por segundo), e incrementándose éste en junio y julio, siendo éste el punto máximo en cuanto a caudal a lo largo del año con 202.2 litros por segundo coincidiendo con el tiempo donde la precipitación pluvial es mayor, lo que favorece al incremento del caudal.

Podemos observar también como durante el mes de agosto ocurre una disminución en el caudal siendo este de 137.3 litros por segundo pero los caudales mínimos ocurrieron durante los meses febrero, marzo, abril y mayo con valores de 36.7 litros por segundo, 20.1 litros por segundo, 15.6 litros por segundo y 13.3 litros por segundo respectivamente. El caudal medio mínimo ocurrió durante el mes de mayo.

3.3 CONCLUSIONES

- a.** La precipitación en el área se mantuvo más o menos estable durante el año, encontrándose un periodo lluvioso que se encuentra de mayo a julio donde cayó el 56 % del total de la precipitación caída en el transcurso del año, cabe mencionar que estos datos corresponden a un año de monitoreo lo que no es representativo para poder concluir a largo plazo.
- b.** La temperatura media diaria que se reportó dentro de la microcuenca durante el año es de 20 °C, incrementándose durante de marzo, abril y mayo y descendiendo en junio, julio y noviembre, manteniéndose estable durante el resto del tiempo.
- c.** El comportamiento del caudal medio mensual que se registra en el afluente principal de la microcuenca se mantuvo poco estable durante el año, registrándose su caudal más bajo durante mayo (13.3 litros por segundo), e incrementándose éste en junio y julio, siendo este el punto máximo en cuanto a caudal a lo largo del año con 202.2 litros por segundo coincidiendo con el tiempo donde la precipitación pluvial es mayor, lo que favorece al incremento del caudal.

3.4 SERVICIO 2: Apoyo en las actividades realizadas en el plan operativo anual de la subregión II – 1, Tactic, Alta Verapaz.

3.4.1 OBJETIVOS

3.4.1.1 Objetivo general.

Apoyar en las actividades establecidas en el Plan Operativo Anual de la Subregión II – 1, Tactic, Alta Verapaz.

3.4.1.2 Objetivos específicos.

- Apoyar en las actividades técnicas para la evaluación de proyectos de incentivos forestales (PINFOR).
- Apoyar a los técnicos forestales de la subregión en la verificación de planes de manejo.

3.5 METODOLOGÍA

La metodología básicamente consistió en coordinar con el Director Subregional y los técnicos de la Subregión las visitas de campo.

3.5.1 Evaluación de proyectos ingresados a PINFOR.

- Para la evaluación de estos proyectos se visitaron la comunidades, fincas privadas o publicas, donde se encuentran dichos proyectos.
- Se levantaron parcelas circulares de 100 m², tomando mediciones de diámetro (DAP) y alturas, además se tomaba el porcentaje de sobre vivencia de la plantación y fitosanida.
- Los datos recolectados en el campo se anotaron en las boletas correspondientes y fueron utilizados para elaborar el respectivo dictamen técnico que se remitió a las oficinas centrales de PINFOR, para que se hiciera efectivo el pago del incentivo.

3.5.2 Verificaciones de planes de manejo.

- Primeramente se hacía el análisis del expediente del usuario o plan de manejo propuesto por el regente encargado del proyecto.
- Luego se procedía a realizar la inspección de campo, tomando medidas de DAP y alturas del 30% del total de árboles que existiera en el rodal, para estimar el volumen por hectárea de madera existente.
- Posteriormente de la verificación en campo, se realizaba el dictamen técnico donde se autorizaba el volumen de madera a aprovechar.

3.6 RESULTADOS

Dentro de las actividades que se pueden contabilizar, podemos resumirlas en el Cuadro 3.5, estas actividades fueron más que todo un apoyo para los técnicos.

En el Cuadro 3.5, no se toman en cuenta algunas actividades de apoyo a oficina, como lo son: inscripción de motosierras, ingreso y elaboración de consumos familiares, alimentación de la base de datos de planes de manejo, archivo de papelería y atención al público para proporcionar información acerca de PINTOR, actividades forestales, información forestal y consultas generales para estudiantes.

Cuadro 3.5 Número de actividades apoyadas dentro de la subregión II – 1 del INAB.

Actividad	Número
Apoyo en la fiscalización de industrias forestales.	3
Certificación de Proyectos de PINFOR	19
Planes de manejo	8
Tala ilícitas	5

El apoyo a las actividades del Plan Operativo Anual de la Subregión II – 1 se cumplió dentro de los límites de tiempo que se tenían previstos para el apoyo de la misma, aunque cabe mencionar que la cantidad de trabajo existente es elevada y el equipo técnico no es suficiente para llevarlo a cabo.

Para llevar a cabo todas las actividades mencionadas anteriormente, es importante mencionar que las visitas de campo se tuvieron que coordinar a tiempo con los usuarios de los proyectos.

En el Cuadro 3.11, podemos observar la clasificación de los proyectos activos por municipio, en el cual se indican las áreas y el número de proyectos que se encuentran en cada municipio.

Cuadro 3.6 Clasificación de área y número de proyectos activos de PINFOR incentivados por municipio, subregión II – 1, Tactic.

Municipio	Número de Proyectos	Área (hectáreas)
Panzós	34	7131,93
San Cristóbal Verapaz	86	2169,8
San Miguel Tucurú	21	569,22
Santa Cruz Verapaz	10	329,31
Senahú	29	2379,95
Tactic	25	743,13
Tamahú	11	445,9
Santa María Cahabón	6	463,2

3.7 CONCLUSIONES

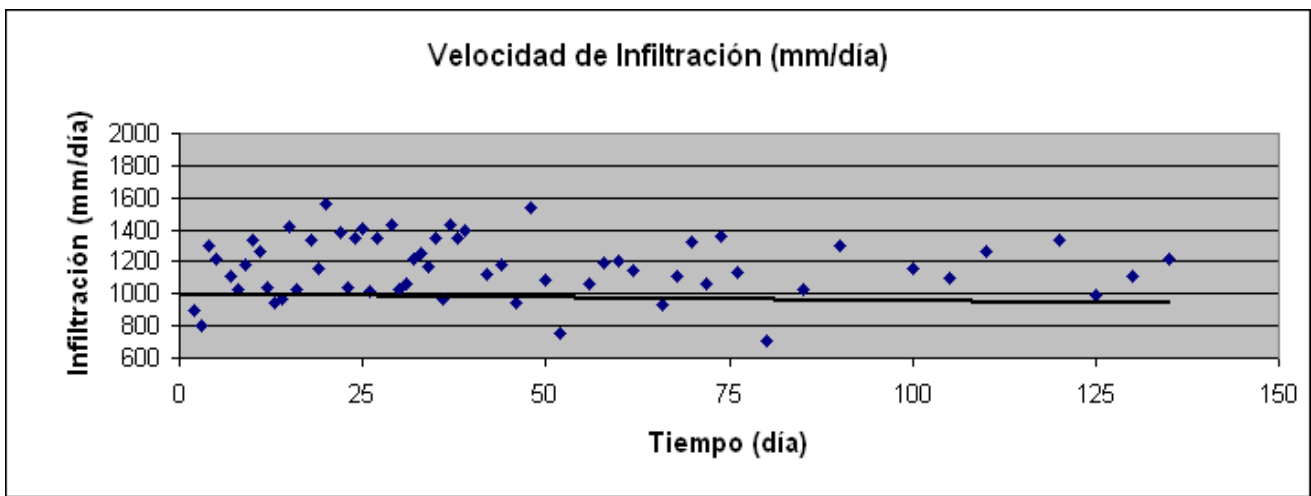
- a. La Subregión II - 1 actualmente tiene bajo su cargo la certificación de 222 proyectos que suman un área de 14,159.60 hectareas, la mayoría de esta área se encuentra en Panzós pero cabe mencionar que la mayoría de las fincas o comunidades que tienen proyectos se encuentran en San Cristóbal Verapaz.
- b. En cuanto al progreso del PINFOR, en la Subregión II – 1, INAB – Tactic, podemos concluir que a excepción del año 2004, en el cual hubo un ingreso muy alto de proyectos, la cantidad de proyectos ha ido aumentando poco a poco.

3.8 BIBLIOGRAFÍA

1. INAB (Instituto Nacional de Bosques, GT); PROCAFOR (Programa Centroamericano Forestal, GT). 2002. Software forestal. Guatemala. 1 CD.

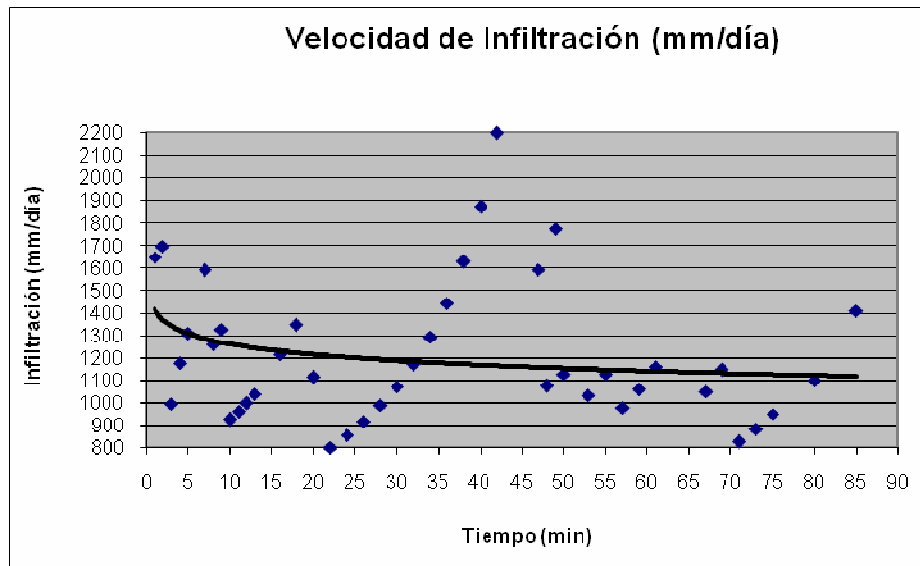
ANEXOS

72	19,2	41,5	2	126	22,3	1,5	1,25	0,058725286	0,0734066	4,4043965	44,0439645	1057,0551
74	21	41,5	2	126	20,5	1,8	1,25	0,075349437	0,0941868	5,6512078	56,5120779	1356,2899
76	22,4	41,5	2	126	19,1	1,4	1,25	0,062800901	0,0785011	4,7100676	47,1006759	1130,4162
78	12,8	41,5	2	126	28,7	0	1,25	0	0	0	0	0
80	14	41,5	2	126	27,5	1,2	1,25	0,039220713	0,0490259	2,9415535	29,4155349	705,97284
85	18	41,5	5	126	23,5	4	0,5	0,143100844	0,0715504	4,2930253	42,9302531	1030,3261
90	22,3	41,5	5	126	19,2	4,3	0,5	0,180784277	0,0903921	5,4235283	54,2352832	1301,6468
95	15	41,5	5	126	26,5	0	0,5	0	0	0	0	0
100	19,3	41,5	5	126	22,2	4,3	0,5	0,160492586	0,0802463	4,8147776	48,1477759	1155,5466
105	22,8	41,5	5	126	18,7	3,5	0,5	0,152802062	0,076401	4,5840619	45,8406186	1100,1748
110	26,2	41,5	5	126	15,3	3,4	0,5	0,174802724	0,0874014	5,2440817	52,4408173	1258,5796
115	15	41,5	5	126	26,5	0	0,5	0	0	0	0	0
120	19,9	41,5	5	126	21,6	4,9	0,5	0,185083989	0,092542	5,5525197	55,5251968	1332,6047
125	23	41,5	5	126	18,5	3,1	0,5	0,137689403	0,0688447	4,1306821	41,3068208	991,3637
130	26	41,5	5	126	15,5	3	0,5	0,15415068	0,0770753	4,6245204	46,2452039	1109,8849
135	28,8	41,5	5	126	12,7	2,8	0,5	0,16907633	0,0845382	5,0722899	50,722899	1217,3496

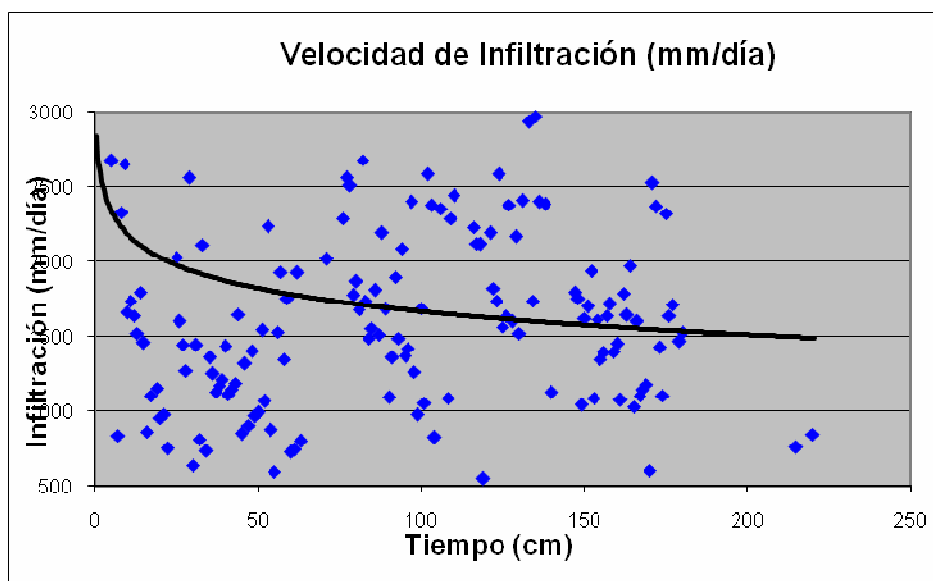


Velocidad de infiltración: 1000 mm/día

67	27	42,5		2	67	15,5	1,5	0,88	0,0834	0,072959	4,377534	43,77534	1050,608
69	28,5	42,5		2	69	14	1,5	0,88	0,091	0,0796	4,776018	47,76018	1146,244
71	29,5	42,5		2	71	13	1	0,88	0,0656	0,057398	3,443857	34,43857	826,5258
73	30,5	42,5		2	73	12	1	0,88	0,0702	0,061429	3,685724	36,85724	884,5737
75	31,5	42,5		2	75	11	1	0,88	0,0755	0,066069	3,964147	39,64147	951,3952
80	34	42,5		5	80	8,5	2,5	0,35	0,2183	0,076389	4,583325	45,83325	1099,998
85	36,5	42,5		5	85	6	2,5	0,35	0,2796	0,097855	5,871282	58,71282	1409,108



157	17,2	34		1	157	16,8	0,9	2,5	0,0456	0,113944	6,836626	68,36626	1640,79
158	18,1	34		1	158	15,9	0,9	2,5	0,0478	0,119386	7,163165	71,63165	1719,16
159	18,8	34		1	159	15,2	0,7	2,5	0,0388	0,096965	5,817904	58,17904	1396,297
160	19,5	34		1	160	14,5	0,7	2,5	0,0404	0,100878	6,052694	60,52694	1452,647
161	20	34		1	161	14	0,5	2,5	0,0299	0,074632	4,477944	44,77944	1074,707
162	20,8	34		1	162	13,2	0,8	2,5	0,0497	0,124249	7,45495	74,5495	1789,188
163	21,5	34		1	163	12,5	0,7	2,5	0,0456	0,114026	6,841577	68,41577	1641,978
164	22,3	34		1	164	11,7	0,8	2,5	0,0548	0,137021	8,221235	82,21235	1973,097
165	22,7	34		1	165	11,3	0,4	2,5	0,0286	0,071433	4,286006	42,86006	1028,641
166	23,3	34		1	166	10,7	0,6	2,5	0,0445	0,111129	6,667764	66,67764	1600,263
167	23,7	34		1	167	10,3	0,4	2,5	0,0308	0,076929	4,615749	46,15749	1107,78
168	24,1	34		1	168	9,9	0,4	2,5	0,0317	0,079372	4,762305	47,62305	1142,953
169	24,5	34		1	169	9,5	0,4	2,5	0,0328	0,081975	4,918473	49,18473	1180,434
170	24,7	34		1	170	9,3	0,2	2,5	0,0168	0,042018	2,521068	25,21068	605,0563
171	25,5	34		1	171	8,5	0,8	2,5	0,0702	0,175511	10,53064	105,3064	2527,353
172	26,2	34		1	172	7,8	0,7	2,5	0,0658	0,164378	9,862707	98,62707	2367,05
173	26,6	34		1	173	7,4	0,4	2,5	0,0396	0,099023	5,941371	59,41371	1425,929
174	26,9	34		1	174	7,1	0,3	2,5	0,0308	0,076929	4,615749	46,15749	1107,78
175	27,5	34		1	175	6,5	0,6	2,5	0,0645	0,161346	9,680778	96,80778	2323,387
176	27,9	34		1	176	6,1	0,4	2,5	0,0455	0,113656	6,819356	68,19356	1636,645
177	28,3	34		1	177	5,7	0,4	2,5	0,0476	0,11907	7,144207	71,44207	1714,61
178	29	34		1	178	5	0,7	2,5	0,0892	0,223078	13,38467	133,8467	3212,321
179	29,3	34		1	179	4,7	0,3	2,5	0,0408	0,102055	6,123299	61,23299	1469,592
180	29,6	34		1	180	4,4	0,3	2,5	0,0426	0,106399	6,383942	63,83942	1532,146
185	29,9	34		5	185	4,1	0,3	0,5	0,0445	0,022226	1,333553	13,33553	320,0527
190	30,2	34		5	190	3,8	0,3	0,5	0,0465	0,02326	1,3956	13,956	334,9441
195	30,6	34		5	195	3,4	0,4	0,5	0,0656	0,032799	1,967918	19,67918	472,3004
200	30,9	34		5	200	3,1	0,3	0,5	0,0522	0,026093	1,565573	15,65573	375,7374
205	31,2	34		5	205	2,8	0,3	0,5	0,0551	0,02753	1,651793	16,51793	396,4304
210	31,5	34		5	210	2,5	0,3	0,5	0,0583	0,029134	1,748067	17,48067	419,5361
215	32	34		5	215	2	0,5	0,5	0,1054	0,05268	3,160815	31,60815	758,5957
220	32,5	34		5	220	1,5	0,5	0,5	0,1178	0,058892	3,533491	35,33491	848,0379



Velocidad de Infiltración: **1146,6** mm/día

Cuadro 2.24.A Balance hídrico de suelos por el método de Gunther Schosinsky para el tratamiento de cultivos.

BALANCE HÍDRICO DE SUELOS

Zona de Estudio: Finca Parrachoch, Tacti, Alta Verapaz
 Uso de suelo: Cultivo de maíz
 Textura de Suelo: Franco Arenoso

Simbología

fc: Capacidad de Infiltración.	P: Precipitación Media Mensual.
I: Infiltración.	Pi: Precipitación que infiltra.
CC: Capacidad de Campo.	ESC: Escorrentía Superficial
PM: Punto de Marchitez.	ETP: Evapotranspiración Potencial.
PR: Profundidad de Raíces.	ETR: Evapotranspiración Real.
(CC-PM): Rango de Agua Disponible.	HSi: Humedad de Suelo Inicial.
DS: Densidad de Suelo.	HD: Humedad Disponible
C1: Factor de ETP, por cierre de estomas, antes que ocurra ETR	HSf: Humedad de Suelo Final.
C2: Factor de ETP, por cierre de estomas, después que ocurre ETR	DCC: Déficit de Capacidad de Campo.
Kp: Factor por pendiente (ver léame)	Rp: Recarga Potencial
Kv: Factor por vegetación (ver léame)	NR: Necesidad de Riego.
Kfc: Factor estimado con base a la prueba de infiltración	Ret: Retención de lluvia

fc [mm/d]	1146		
Kp [0.01%]	0,06		
		Por	
Kv [0.01%]	0,1	peso	
Kfc [0.01%]	1	(%)	(mm)
I [0.01%]	1	CC	81,6 615,8352
DS (g/cm ³):	0,7547	PM	66,43 501,34721
PR (mm)	1000	(CC-PM)	15,17 114,48799
HSi (mm)	615		
Nº de mes con que inicia HSi;1,2,3...12?	7		
Lluvia retenida [0.01%] : Bosques=0.2, otros=0.12	0,12		

Cuadro 2.25.A Balance hídrico de suelos por el método de Gunther Schosinsky para el tratamiento de pastos.

BALANCE HÍDRICO DE SUELOS

Zona de Estudio: Finca Parrachoch, Tacti, Alta Verapaz
 Uso de suelo: Pastos
 Textura de Suelo: Franco Arenoso
 Simbología

fc: Capacidad de Infiltración.

I: Infiltración.

CC: Capacidad de Campo.

PM: Punto de Marchitez.

PR: Profundidad de Raíces.

(CC-PM): Rango de Agua Disponible.

DS: Densidad de Suelo.

C1: Factor de ETP, por cierre de estomas, antes que ocurra ETR

C2: Factor de ETP, por cierre de estomas, después que ocurre ETR

Kp: Factor por pendiente (ver léame)

Kv: Factor por vegetación (ver léame)

Kfc: Factor estimado con base a la prueba de infiltración

P: Precipitación Media Mensual.

Pi: Precipitación que infiltra.

ESC: Escorrentía Superficial

ETP: Evapotranspiración Potencial.

ETR: Evapotranspiración Real.

HSi: Humedad de Suelo Inicial.

HD: Humedad Disponible

HSf: Humedad de Suelo Final.

DCC: Déficit de Capacidad de Campo.

Rp: Recarga Potencial

NR: Necesidad de Riego.

Ret: Retención de lluvia

fc [mm/d]	1139
Kp [0.01%]	0.06
Kv [0.01%]	0.18
Kfc [0.01%]	1
I [0.01%]	1
DS (g/cm ³):	0.6667
PR (mm)	1000
HSi (mm)	558.29
Nº de mes con que inicia HSi;1,2,3...12?	7
Lluvia retenida [0.01%] : Bosques=0.2, otros=0.12	0.12

	Por peso	
	(%)	(mm)
CC	83.74	558.29458
PM	40.47	269.81349
(CC-PM)	43.27	288.48109

Cuadro 2.26.A Balance hídrico de suelos por el método de Gunther Schosinsky para el tratamiento de bosque.

BALANCE HÍDRICO DE SUELOS

Zona de Estudio: Finca Río Frío, Santa Cruz Verapaz
 Uso de suelo: Bosque de pino
 Textura de Suelo: Franco Arenoso
 Simbología

fc: Capacidad de Infiltración.

I: Infiltración.

CC: Capacidad de Campo.

PM: Punto de Marchitez.

PR: Profundidad de Raíces.

(CC-PM): Rango de Agua Disponible.

DS: Densidad de Suelo.

C1: Factor de ETP, por cierre de estomas, antes que ocurra ETR

C2: Factor de ETP, por cierre de estomas, después que ocurre ETR

Kp: Factor por pendiente (ver léame)

Kv: Factor por vegetación (ver léame)

Kfc: Factor estimado con base a la prueba de infiltración

P: Precipitación Media Mensual.

Pi: Precipitación que infiltra.

ESC: Escorrentía Superficial

ETP: Evapotranspiración Potencial.

ETR: Evapotranspiración Real.

HSi: Humedad de Suelo Inicial.

HD: Humedad Disponible

HSf: Humedad de Suelo

Final.

DCC: Déficit de Capacidad de Campo.

Rp: Recarga Potencial

NR: Necesidad de Riego.

Ret: Retención de lluvia

fc [mm/d]	1000
Kp [0.01%]	0.06
Kv [0.01%]	0.2
Kfc [0.01%]	1
I [0.01%]	1
DS (g/cm ³):	0.6061
PR (mm)	2000
HSi (mm)	1015
Nº de mes con que inicia HSi;1,2,3...12?	7
Lluvia retenida [0.01%] : Bosques=0.2, otros=0.12	0.15

	Por peso (%)	(mm)
CC	83.74	1015.1
PM	40.47	490.577
(CC- PM)	43.27	524.519

Concepto	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Total
P (mm)	261,3	138,8	69,1	260,95	70,4	79,21	41,6	229,75	461,8	274,1	140,5	107,8	2135,31
Ret [mm]	39,195	20,82	10,365	39,1425	10,56	11,8815	6,24	34,4625	69,27	41,115	21,075	16,17	320,297
Pi (mm)	222,105	117,98	58,735	221,8075	59,84	67,3285	35,36	195,2875	392,53	232,985	119,425	91,63	1815,01
ESC (mm)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
ETP (mm)	60,07	49,05	46,48	48,58	45,6	62,32	65,75	64,27	59,68	65,24	69,07	64,5	700,61
HSi (mm)	1015	1015,096	1015,096	1015,096	1015,096	1015,096	1015,096	986,611	1015,096	1015,1	1015,096	1015,096	
C1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
C2	1	1	1	1	1	1	0,942061	1	1	1	1	1	
HD (mm)	746,52766	642,4989	583,2539	746,3264	584,3589	591,8474	559,8789	691,3212	917,0489	757,504	643,9439	616,1489	
ETR (mm)	60,07	49,05	46,48	48,58	45,6	62,32	63,84526	64,27	59,68	65,24	69,07	64,5	698,705
HSf (mm)	1015,0963	1015,096	1015,096	1015,096	1015,096	1015,096	986,611	1015,096	1015,096	1015,1	1015,096	1015,096	
DCC (mm)	0	0	0	0	0	0	28,48526	0	0	0	0	0	
Rp (mm)	161,93872	68,93	12,255	173,2275	14,24	5,0085	0	102,5322	332,85	167,745	50,355	27,13	1116,21
NR (mm)	0	0	0	0	0	0	30,39	0	0	0	0	0	30,39

