

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA

FACULTAD DE AGRONOMIA

ÁREA INTEGRADA



**TRABAJO DE GRADUACIÓN
EVALUACIÓN DEL IMPACTO HIDROLÓGICO COMO CONTRIBUCIÓN AL
PROGRAMA DE INVESTIGACIÓN Y GENERACIÓN DE INFORMACIÓN
HIDROCLIMÁTICA FORESTAL PARA LA REGIÓN II-1 DEL INSTITUTO NACIONAL
DE BOSQUES (INAB).**

HUGO LEONEL FLORES

Guatemala, Septiembre de 2008.

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

**TRABAJO DE GRADUACIÓN
EVALUACIÓN DEL IMPACTO HIDROLÓGICO COMO CONTRIBUCIÓN AL
PROGRAMA DE INVESTIGACIÓN Y GENERACIÓN DE INFORMACIÓN
HIDROCLIMÁTICA FORESTAL PARA LA REGIÓN II-1 DEL INSTITUTO NACIONAL
DE BOSQUES (INAB).**

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

POR

HUGO LEONEL FLORES

**EN EL ACTO DE INVESTIDURA COMO
INGENIERO AGRÓNOMO
EN
RECURSOS NATURALES RENOVABLES**

**EN EL GRADO ACADÉMICO DE
LICENCIADO**

Guatemala, Septiembre de 2008.

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

RECTOR

LIC. CARLOS ESTUARDO GÁLVEZ BARRIOS

JUNTA DIRECTIVA DE LA FACULTAD DE AGRONOMÍA

**DECANO
VOCAL PRIMERO
VOCAL SEGUNDO
VOCAL TERCERO
VOCAL CUARTO
VOCAL QUINTO
SECRETARIO**

**MSc. Francisco Javier Vásquez.
Ing. Agr. Waldemar Nufio Reyes.
Ing. Agr. Walter Arnoldo Reyes Sanabria.
MSc. Danilo Ernesto Dardón Ávila.
Br. Rigoberto Morales Ventura.
Br. Miguel Armando Salazar Donis.
MSc. Edwin Enrique Cano Morales.**

Guatemala, Septiembre de 2008.

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, EVALUACIÓN DEL IMPACTO HIDROLÓGICO COMO CONTRIBUCIÓN AL PROGRAMA DE INVESTIGACIÓN Y GENERACIÓN DE INFORMACIÓN HIDROCLIMÁTICA FORESTAL PARA LA REGIÓN II-1 DEL INSTITUTO NACIONAL DE BOSQUES (INAB)**, 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 es grato suscribirme,

Atentamente,

HUGO LEONEL FLORES

“ID Y ENSEÑAD A TODOS”

ACTO QUE DEDICO

A:

- DIOS** Mi fuente más grande de fuerza y coraje, por iluminar mi camino y sus grandes bendiciones.
- MI MADRE** **ANA AZUCENA FLORES LÓPEZ**
Por su amor, enseñanzas y apoyo incondicional brindados, además de ser mí más grande ejemplo de lucha y superación, que se ve reflejado en este sueño de toda una vida.
- MI HERMANO** **JUAN DEYSER FLORES**
Por brindarme siempre su apoyo como hermano y amigo, con motivación a seguir adelante en sus estudios.
- MI ESPOSA** **CARLA VANESSA FRANCO HURTARTE**
Por su gran amor, por su paciencia, apoyo y sabios consejos en los días difíciles y por tan bellos momentos que hemos pasado juntos y los que nos faltan por vivir, gracias de todo corazón es a ti a quien dedico este triunfo.
- MIS ABUELITAS** **LEANDRA ROMELIA FLORES LÓPEZ (QEPD)**
BRIGIDA CHAVEZ DE LÓPEZ (QEPD)
Por su amor, oportunos consejos, y apoyo, eternamente agradecido.
- MIS TÍOS Y PRIMOS** Como muestra de aprecio y cariño.
- MIS AMIGOS** Por un gran e inolvidable recuerdo de la sincera amistad en especial a Jonathan Reynoso y Wilner Valle.
- MI SUEGRA** **ROSA CARLOTA HURTARTE**
Por su apoyo, y por permitirme estar al lado de su hija un ser divino, que Dios la bendiga siempre.
- MIS COMPAÑEROS** Por los momentos que convivimos juntos y todos los recuerdos de la Universidad en especial a Carlos Aguirre, Gustavo Rosal y Glenda Morales.

TRABAJO DE GRADUACIÓN QUE DEDICO

A:

DIOS

MI FAMILIA

INSTITUTO ADOLFO V. HALL QUICHE

GUATEMALA

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA

FACULTAD DE AGRONOMÍA

INSTITUTO NACIONAL DE BOSQUES

POPTÚN, PETÉN

AGRADECIMIENTOS

A:

Dios, por guiar mi destino y las bendiciones que me ha dado hasta este momento, en el cual veo cumplido uno de mis más anhelados deseos.

Ing. Agr. Guillermo Méndez por el apoyo, valiosa supervisión y revisión del presente trabajo.

Ing. Agr. MSc. Tomás Padilla por el apoyo brindado y valiosísima asesoría en la elaboración del presente trabajo.

Ing. Agr. Jacobo Cotto por su colaboración apoyo y soporte en la elaboración del presente trabajo.

El proyecto Conservación de Ecosistemas Forestales Estratégicos –CEFE- y oficina de Investigación Forestal del Inab por permitirme la finalización de mi formación profesional.

Las personas que de diferente manera contribuyeron con la realización del presente trabajo, por la colaboración, como la brindada por los técnicos del Instituto Nacional de Bosques (INAB) sub región II-1, especialmente a mi compañero de EPS Antulio Rocael Hernández, el señor Carlos Macz y a doña Silvia Leal por su hospitalidad y amabilidad brindada.

Tabla de contenido

CAPÍTULO I DIAGNÓSTICO DE LAS FUENTES DE AGUA DEL MUNICIPIO DE TACTIC, ALTA VERAPAZ.....	1
1. INTRODUCCIÓN	2
2. MARCO REFERENCIAL	4
2.1 Localización Geográfica.....	4
2.2 Ubicación y Distancia	4
2.3 Extensión Territorial.....	4
2.4 Zona de Vida	4
2.5 Climatología.....	4
2.6 Recursos Hídricos	5
2.7 Condiciones Edáficas	5
2.8 Región Fisiográfica.....	6
2.9 Altitud	6
2.10 Topografía.....	6
2.11 Orografía.....	7
2.12 División Administrativa.....	7
2.13 Población	7
2.13.1 Densidad de población.....	7
2.14 Educación	7
2.15 Religión	7
2.16 Áreas con potencial ecoturístico	7
2.17 Recursos Naturales	8
3. OBJETIVOS.....	9
3.1 OBJETIVO GENERAL	9
3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	9
4. METODOLOGÍA Y RECURSOS.....	10
4.1 Fase Preliminar de Gabinete	10
4.2 Fase de Campo	10
4.3 Fase Final de Gabinete.....	11
5. RESULTADOS.....	12
6. CONCLUSIONES	18
7. RECOMENDACIONES	19
8. BIBLIOGRAFIA	21
9. ANEXOS	22

CAPITULO II SEGUNDA FASE DE EVALUACIÓN DEL IMPACTO HIDROLÓGICO EN SUELO CON USO AGRÍCOLA, PECUARIO Y CUATRO DENSIDADES DE OBERTURA FORESTAL EN LA ESTACIÓN HIDROLÓGICA FORESTAL RÍO FRÍO, SANTA CRUZ ALTA VERAPAZ.	31
1. INTRODUCCIÓN	33
2. DEFINICION DEL PROBLEMA	35
3. MARCO TEÓRICO	36
3.1 Marco Conceptual.....	36
3.1.1 Ciclo hidrológico.....	36
3.1.2 Procesos hidrológicos generales.....	36
3.1.3 El ciclo del agua en un ecosistema forestal	38
3.1.4 Erosión del suelo.....	39
3.1.5 Tipos de erosión.....	39
3.1.6 Los agentes de la erosión	40
3.1.7 Límites aceptables de erosión.....	41
3.1.8 Erosión hídrica.	41
3.1.9 Factores que intervienen en la erosión	44
3.1.10 Factores que rigen la escorrentía.....	46
3.1.11 Medición de la escorrentía y la erosión	46
3.1.12. Balance hídrico del suelo.	47
3.2 Marco Referencial.....	53
3.2.1 Localización política y geográfica.....	53
3.2.2 Límites y colindancias	54
3.2.3 Vías de acceso.....	55
3.2.4 Zona de Vida.....	55
3.2.5 Geología y Geomorfología	55
3.2.6 Hipsometría, Fisiografía y Relieve.....	56
3.2.7 Edafología	56
3.2.8 Recurso hídrico	58
3.2.9 Clima	58
3.2.10. Uso actual de la tierra	59
3.2.11 Resultados obtenidos en investigaciones anteriores.....	60
4. OBJETIVOS.....	64
4.1 Objetivo General.....	64
4.2 Objetivos Específicos.....	64
5. HIPOTESÍS	65
6. METODOLOGÍA	66
6.1 Área experimental.....	66
6.2 Selección de los tratamientos	66
6.3 Diseño experimental	67
6.4 Modelo estadístico	67

6.4.1 Supuestos	67
6.5 Variables de respuesta	68
6.6. Unidad experimental.....	68
6.6.1 Porcentaje de pendiente de las parcelas	69
6.7 Medición de variables	70
6.7.1 Escurrimiento superficial	70
6.7.2 Cantidad de suelo erosionado.....	70
6.8 Análisis efectuado a las muestras recolectadas	70
6.9. Medición de la precipitación interna.....	71
7. RESULTADOS.....	72
7.1 Muestreo de suelo al inicio de la investigación	72
7.2 Escurrimiento superficial.....	74
7.2.1 Precipitación pluvial.....	74
7.2.2 Precipitación interna en el tratamiento de bosque	75
7.3 Escorrentía superficial	77
7.3.1 Análisis de varianza de la escorrentía.....	78
7.4 Suelo erosionado.....	79
7.4.1 Análisis de varianza de la erosión	81
7.5 Pérdida de Fósforo y Potasio.....	84
7.6 Infiltración básica	84
7.7 Evapotranspiración	85
7.8 Balance hídrico	86
8. CONCLUSIONES	91
9. RECOMENDACIONES	94
10. BIBLIOGRAFIA	95
11. ANEXOS	97
ANEXO A: Cálculo de la infiltración básica por tratamiento.....	98
ANEXO B: Balance hídrico de suelos por tratamiento.....	104
CAPÍTULO III SERVICIOS REALIZADOS EN LA FINCA RÍO FRÍO SANTA CRUZ VERAPAZ Y EN LA SUBREGION II-1 DEL INSTITUTO NACIONAL DE BOSQUES -INAB- TACTIC, ALTA VERAPAZ.....	111
1. INTRODUCCIÓN	112
2. SERVICIO 1 Apoyo Técnico en la Subregión II-1 del Instituto Nacional de Bosques -INAB-, Tactic, Alta Verapaz.....	113
2.1 Objetivos.....	113
2.2 Metodología	113
2.2.1 Evaluación de Proyectos de Incentivos Forestal PINFOR.....	113
2.2.2 Verificación de Planes de Manejo Forestal	114
2.3 Resultados.....	114
2.3.1 Evaluación de proyectos integrados a PINFOR	114

2.3.2 Verificación de planes de manejo.....	115
2.4 Evaluación	116
3. SERVICIO 2 Apoyo en el monitoreo de caudales y estaciones climáticas en la estación Hidrológica Forestal Río Frío, Santa Cruz Verapaz, Alta Verapaz.	116
3.1 Objetivos.....	116
3.2 Metodología	117
3.2.1 Monitoreo de caudales	117
3.2.2 Monitoreo de estaciones climáticas.....	117
3.3 Resultados.....	117
3.3.1 Monitoreo del caudal	117
3.3.2 Monitoreo de la Precipitación Pluvial.....	119
3.3.3 Monitoreo de la temperatura	121
3.4 Evaluación	121
4. BIBLIOGRAFIA	122
5. ANEXOS	123
Boleta de monitoreo de estaciones climáticas de la microcuenca Río Frío,	124
Santa Cruz Verapaz, Alta Verapaz	124

INDICE DE FIGURAS

Figura 1 Basureros clandestinos	12
Figura 2 Lavado de ropa	13
Figura 3 Excretas de ganado	13
Figura 4 Uso de Productos químicos	14
Figura 5 Uso de vehículos motorizados.	14
Figura 6 Uso de Cloro	15
Figura 7 Aplicación de pastillas de cloro	16
Figura 8 Pastilla de cloro	16
Figura 9 Mapa de ubicación	23
Figura 10 Mapa de zonas de vida	24
Figura 11 Mapa Climático	25
Figura 12 Mapa de cobertura Forestal	26
Figura 13 Mapa Fisiográfico.....	27
Figura 14 Mapa de Recursos Hídricos	28
Figura 15 Mapa de Serie de Suelos	29
Figura 16 Mapa de ubicación de las Fuentes de Agua	30
Figura 17 Mapa de ubicación de la estación hidrológica forestal río frío.	54
Figura 18 Unidad experimental	68
Figura 19 Comportamiento del caudal medio mensual.	118
Figura 20 Climadiagrama de la parte baja de la microcuenca Río Frío.....	119
Figura 21 Climadiagrama de la parte media alta de la microcuenca Río Frío.	120

INDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 1 Precipitación Total (mm).....	74
Gráfico 2 Precipitación interna y externa (Marzo-Octubre 2007).....	76
Gráfico 3 Volumen de Escorrentía Superficial.....	77
Gráfico 4 Volumen de suelo erosionado (TM/ha) por tratamiento.....	79

INDICE DE CUADROS

Cuadro 1 Fuentes de agua y zonas de recarga hídrica.....	17
Cuadro 2 Valores de coeficientes (Kp) según valores de pendientes.....	51
Cuadro 3 Valores de coeficientes (Kv) según tipo de cobertura vegetal.....	52
Cuadro 4 Área de las series de suelos encontradas en el área de estudio.....	57
Cuadro 5 Uso actual de la tierra en la finca Río Frío.....	59
Cuadro 6 Uso de la tierra en la finca Parrachoch.....	60
Cuadro 7 Resumen de resultados de escorrentía superficial.....	63
Cuadro 8 Resumen de resultados de sedimento erosionado.....	63
Cuadro 9 Porcentaje de pendientes en parcelas de uso Forestal.....	69
Cuadro 10 Porcentaje de pendientes en parcelas de pastos.....	69
Cuadro 11 Porcentaje de pendientes en parcelas de maíz.....	70
Cuadro 12 Análisis químico de suelo por tratamiento.....	72
Cuadro 13 Análisis físico de suelo por tratamiento.....	73
Cuadro 14 Precipitación pluvial (mm) en el área de estudio.....	74
Cuadro 15 Precipitación interna en las parcelas de bosque.....	75
Cuadro 16 Escorrentía superficial en metros cúbicos por hectárea.....	78
Cuadro 17 Análisis de varianza.....	78
Cuadro 18 Densidades de cobertura forestal y Cobertura Terrestre.....	80
Cuadro 19 Sedimento en Toneladas por Hectárea por tratamiento.....	81
Cuadro 20 Análisis de varianza para la erosión hídrica.....	81
Cuadro 21 Prueba de Tukey.....	82
Cuadro 22 Coeficientes de los Contrastes.....	82
Cuadro 23 Valor numérico de los contrastes.....	83
Cuadro 24 Análisis químico de suelo por tratamiento.....	84
Cuadro 25 Infiltración básica registrada en los suelos del área de estudio.....	85
Cuadro 26 Estimación de la evapotranspiración por el método de Hargreaves.....	86
Cuadro 27 Resumen de la recarga potencial por tratamiento.....	87
Cuadro 28 Resumen del balance hídrico por el método Schosinsky.....	89
Cuadro 29 Proyectos Pinfor evaluados.....	115
Cuadro 30 Planes de manejo verificados como apoyo a la sub region II-1.....	115
Cuadro 31 Resumen de actividades realizadas como asistencia técnica.....	116
Cuadro 32 Caudal medio mensual de la microcuenca Río Frío.....	118
Cuadro 33 Precipitación pluvial y temperatura registrada en la parte baja de la microcuenca Río Frío.....	119
Cuadro 34 Precipitación pluvial y temperatura en la parte media alta de la microcuenca Río Frío.....	120

RESUMEN

El contenido del presente documento corresponde al trabajo de graduación realizado en el Instituto Nacional de Bosques –INAB-, específicamente en la subregión II-1, Tactic, Alta Verapaz y la finca Río Frío Santa Cruz Verapaz, Alta Verapaz. Se presenta un informe completo sobre las actividades que conforman el Ejercicio Profesional Supervisado, -EPS-, de la Facultad de Agronomía, de la Universidad de San Carlos de Guatemala, siendo éstas: Diagnóstico, Investigación y Servicios. Realizándose el mismo de Febrero 2007 a Noviembre 2007.

El diagnóstico realizado se enfocó principalmente a las fuentes de agua del municipio de Tactic en colaboración al Instituto Nacional de Bosques (INAB) y a la municipalidad de dicho municipio, para conocer su situación actual en cuanto a contaminación de las mismas. La información generada nos permitió tener una mejor visión sobre las principales causas de contaminación y así poder proponer varias actividades para reducir el incremento de la contaminación en las fuentes de agua, que son de gran importancia tanto para el municipio como para todo el país.

La investigación realizada sirve para dar continuidad al estudio del impacto hidrológico en suelo con uso agrícola, pecuario y con cuatro densidades de cobertura forestal en cuanto a escorrentía superficial y erosión hídrica en la finca Río Frío, que se encuentra ubicada en las coordenadas geográficas latitud Norte 15°20'30", longitud Oeste 90°25'08" y en el sistema UTM (Universal Transverso Mercator) se encuentra en las coordenadas 1697768.72 m y 777124.37 m. Algo muy importante a tomar en cuenta es que esta Finca se encuentra ubicada dentro de la microcuenca Río Frío abarcando el 67% del área total de la misma con una extensión de 2.747 Km² y que recibe el mismo nombre Río Frío.

Con la realización de este trabajo se logró continuar la línea de las investigaciones que el Instituto Nacional de Bosques (INAB) ha venido haciendo, en colaboración con estudiantes de Ejercicio Profesional Supervisado (EPS) de la facultad de Agronomía de la Universidad de San Carlos de Guatemala.

Como resultado se obtuvo la cantidad de escorrentía superficial y la erosión hídrica por medio de parcelas de escorrentía, las cuales fueron monitoreadas durante el periodo de investigación.

En el capítulo final del trabajo se presentan los servicios, que consistieron en la generación de información edafoclimática de la finca Río Frío a través del monitoreo de estaciones climáticas. Se realizó el apoyo técnico a la Subregión II-1 del Instituto Nacional de Bosques (INAB), con el que se formó parte del equipo de trabajo, especialmente para certificaciones de Proyectos de Incentivos Forestales (PINFOR), evaluación de compromisos de reforestación, verificación de planes de manejo forestal, autorización de licencias forestales, entre otros.

CAPÍTULO I

DIAGNÓSTICO DE LAS FUENTES DE AGUA DEL MUNICIPIO DE TACTIC, ALTA VERAPAZ.

1. INTRODUCCIÓN

El recurso hídrico es un tema objeto de esfuerzos de organizaciones gubernamentales y no gubernamentales, debido a los diversos factores que afectan su conservación, por tal motivo en el artículo 47 de la Ley Forestal dice, que hay que proteger de manera especial las áreas de recarga hídrica, y para darle cumplimiento a este artículo en el departamento de Alta Verapaz, en la Finca Río Frío, se inició el trabajo con estudiantes del Ejercicio Profesional Supervisado de Agronomía (EPSA) a partir del año 2,004 con la “Caracterización de la microcuenca Río Frío y generación de información hidrológica básica”. Dicha finca se ha venido trabajando por el INAB y específicamente por el proyecto Conservación de Ecosistemas Forestales Estratégicos (CEFE) como una finca experimental.

En el presente diagnóstico se ubicaron las principales fuentes de agua que existen en el municipio de Tactic, Alta Verapaz, se determinó la situación actual y la problemática que las afecta, ya que por el aumento poblacional la demanda del recurso hídrico se ha incrementado y su conservación ha disminuido significativamente, por su mala utilización y la contaminación del mismo.

La contaminación puede ser dividida en dos tipos generales de fuentes: puntuales y no puntuales. Fuentes de contaminación puntual son definidas como algo discernible, confinada y de transportación discreta, incluyendo, aunque no se limita a ello, algunas tuberías, conductos, canales, túneles, pozos, fisuras discretas, contenedores, materiales de reserva, operación de alimentación animal, naves o embarcaciones flotantes, en las que existen poluciones, o de las que son descargadas (1).

La fuente no puntual de contaminación es causada por fuentes difusas. En términos prácticos, fuentes no puntuales de contaminación no ocurren con una localización específica, pero generalmente resultan de actividades agrícolas, precipitación, partículas aerotransportadas o percolación de agua a través de materiales contaminados (U.S. Environmental Protection Agency, 1987). Ejemplos de fuentes no

puntuales incluyen escorrentía (drenaje) de tierras agrícolas, actividades forestales, áreas urbanas y sitios de construcción. Como contaminación resulta la alteración de la Química, la Física, la Biología o Radiología de la calidad del agua (1).

Las fuentes puntuales son localizadas en áreas de un acre o menos. Las fuentes no puntuales son aquellas que se dispersan sobre áreas extensas (1).

El diagnóstico se llevó a cabo por medio de visitas a las principales fuentes de agua y por medio de la observación se determinó que en su mayoría las fuentes de agua se encuentran contaminadas, ya que son utilizadas como basureros por los pobladores de la comunidad.

2. MARCO REFERENCIAL

2.1 Localización Geográfica

El municipio de Tactic del departamento de Alta Verapaz, ubica su cabecera en las coordenadas UTM 1695262,50 Latitud Norte y 784419,45 Longitud Oeste (2).

2.2 Ubicación y Distancia

El municipio de Tactic, limita al Norte con el municipio de Cobán Alta Verapaz, al Oeste con Santa Cruz Verapaz, al Sur con San Miguel Chicaj, Baja Verapaz y al Este con Purulhá, Baja Verapaz y Tamahú Alta Verapaz.

El municipio en estudio se encuentra a 30 Km. de distancia de la cabecera departamental de Cobán Alta Verapaz y a 189 Km. de la ciudad capital de Guatemala, por la ruta CA.- 14 (asfaltada). Cuenta con suficientes vías de acceso para llegar a la mayoría de sus comunidades (4). (Ver figura 9).

2.3 Extensión Territorial

Posee una extensión territorial aproximada de 85 Km² (6).

2.4 Zona de Vida

De acuerdo a la clasificación de zonas de vida, basada en el sistema Holdridge y adaptada para Guatemala por De la Cruz, la región se encuentra dentro de la zona ecológica de bosque muy húmedo sub-tropical (frío) y bosque húmedo sub-tropical (templado) (4). (Ver figura 10).

2.5 Climatología

El sistema de Thornthwaite presenta características climáticas semicálidas, con invierno benigno, ambiente muy húmedo, sin estación seca bien definida. El régimen de precipitación es de 1100 a 2045 mm anualmente. Sus biotemperaturas oscilan entre 16⁰ C y 26⁰ C (5). (Ver figura 11).

2.6 Recursos Hídricos

El área bajo estudio posee recursos hídricos de mucha importancia para el departamento de Alta Verapaz, dentro de estos están:

- a) **El río Polochic:** Su nacimiento se ubica en Rocja municipio de Tactic Alta Verapaz, con una longitud de 240 Km., su máxima profundidad es de 4 metros y su mayor anchura de 40 metros, el cual desemboca en el lago de Izabal.
- b) **El río Pantup:** nace en la aldea Chialli, al Sur de la cabecera municipal, recorre parte del pueblo y se une al río Cahabón muy cerca del puente denominado “El Arco”
- c) **El río Chamché:** Nace al Norte de la cabecera municipal, realiza un corto recorrido hasta unirse con el río Cahabón.
- d) **El río Cahabón:** Nace al Oriente de la cabecera municipal en el lugar llamado el Patal, hace un recorrido de 242 Km., hasta unirse con el Polochic.
- e) **Otros Riachuelos:** Existen en todo el municipio innumerables riachuelos, entre ellos están: La Esperanza, Chiji, Pansinic y Río Frío, de donde se extrae el agua potable para el municipio (4). (Ver figura 14).

2.7 Condiciones Edáficas

Según Simmons, Tárano y Pinto (7), los suelos corresponden a las siguientes series:

- a) **Serie Chixoy:** Son poco profundos, excesivamente drenados y desarrollados sobre caliza fragmentada en un clima húmedo seco. El perfil del suelo superficial a 0.30

m es arcilla de color café grisáceo muy oscuro, plástica cuando se encuentra húmeda, la estructura es de granular a cúbica.

- b) **Serie Tamahú:** Son suelos poco profundos desarrollados en climas húmedos a húmedos secos. El suelo superficial a 0.50m de profundidad es franco arcilloso, friable de color café muy oscuro con cantidades elevadas de materia orgánica, la estructura es de granular a cúbica. El substrato es de caliza o mármol.
- c) **Serie Cobán:** Los suelos Cobán son muy profundos, bien drenados, el suelo superficial a 0.35m es franco limoso de coloración café obscura con contenidos de materia orgánica altos. El subsuelo superior a 0.75m es franco arcillo-limoso, friable de color amarillo cafésáceo a rojo amarillento.
- d) **Serie Amay:** Son suelos profundos y drenados, desarrollados sobre caliza, se asemejan a los suelos Cobán, pero poseen un suelo superficial más delgado, son ácidos y un poco más amarillos que los Cobán. (Ver figura 15).

2.8 Región Fisiográfica

El municipio de Tactic, Alta Verapaz se ubica en la región fisiográfica de “**Tierras calizas altas del Norte**”, la cual comprende la Sierra de las Minas Cristalina y la Cordillera de los Cuchumatanes (3). (Ver figura 13).

2.9 Altitud

La estructura hipsométrica del municipio presenta elevaciones que van desde los 1,000 hasta los 2,388 metros sobre el nivel del mar (6).

2.10 Topografía

La topografía es irregular, observándose que la mayor parte del terreno, aproximadamente el 70% es quebrado, y un 30% es ligeramente plano (3).

2.11 Orografía

El municipio de Tactic se encuentra rodeado por una cadena de cerros que son derivaciones de la Sierra de Chamá. Al Nororiente se encuentra el cerro Xucaneb, que tiene 2,550 metros de altura, al Noroccidente se localiza el cerro Ranchá, el cual posee cuevas extraordinarias; al Suroccidente se localiza el cerro Pambach y al sur el Petguan (4).

2.12 División Administrativa

Administrativamente, Tactic cuenta con ocho aldeas, ocho fincas, 33 caseríos, dos haciendas y siete parajes (5).

2.13 Población

El Municipio posee una población de 24,535 habitantes, según el censo poblacional del Instituto Nacional de Estadística –INE-, realizado en el año de 2,002 (4).

2.13.1 Densidad de población

Para el municipio de Tactic, se tiene una densidad de población de 288.5 habitantes por kilómetro cuadrado.

2.14 Educación

Existen nueve establecimientos que prestan servicio de educación en el área urbana y diecisiete establecimientos en el área rural que incluyen pre-primaria, primaria, básico y magisterio (4).

2.15 Religión

Existen en el municipio tanto agrupaciones católicas como evangélicas, pero también existen en menor número Nazarenos, Apóstoles, adventistas y mormones. Los días de mayor actividad en ambas religiones son los miércoles, sábados y domingos. Los servicios se realizan en idiomas Q'eqchí y Pocomchí (4).

2.16 Áreas con potencial ecoturístico

- a) El Pozo vivo

- b) Balneario Chamché
- c) Santuario Chi-ixim
- d) Ruinas de Chicán (4).

2.17 Recursos Naturales

- **Bosque:** El municipio en su mayoría en de vocación forestal y cuenta con un área boscosa aproximada del 60% del área total del municipio. Dentro de las especies maderables más importantes están: El Pino (*Pinus sp.*), Encino (*Quercus Sp.*) y Liquidámbar (*Liquidámbar styraciflua* L.) entre otras (4). (Ver figura 12).
- **Fauna:** El municipio de Tactic cuenta con una gran cantidad de especies silvestres, dentro de las cuales están: Venado (*Odocoileus virginianus*), Armado (*Dasypus novemcincus*), Conejo (*Sylvilagus spp.*), Cotuja (*Dasyprocta punctata*), y Tepezcuintle (*Agouti paca*) entre otros, además de infinidad de aves (4).
- **Flora:** Existen diferentes especies maderables y arbustivas. Entre los más sobresalientes están los helechos, dentro de los que se mencionan al Paxte (*Tillandsia usneoides* L.), usado para adornar los altares navideños y gran variedad de orquídeas y bromelias. Dentro de las plantas con propiedades curativas, se tienen: Caña fístula (*Cassia fistula* L.), Quina (*Drymis granadensis* L.), y Artemisa (*Artemisia vulgaris* L.). Además se cuenta con árboles de encino (*Quercus* sp.), Chipilin (*Diphyssa robinoides* Benth), Pino (*Pinus spp.*), Ciprés (*Cupressus lusitánica* Miller.), Laurel (*Rhododendromn maximun* L.), Liquidámbar (*Liquidambar styrasciflua* L.), y otros (4).

3. OBJETIVOS

3.1 OBJETIVO GENERAL

Elaborar un diagnóstico para establecer la situación actual de las fuentes de agua, del municipio de Tactic, Alta Verapaz

3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Describir la situación actual del recurso hídrico del municipio de Tactic, Alta Verapaz.
- Identificar la problemática que afecta la cobertura forestal de las fuentes de agua.
- Identificar los problemas que amenazan la conservación de las fuentes de agua.
- Plantear recomendaciones y opciones de solución a la problemática existente dentro de las fuentes de agua.

4. METODOLOGÍA Y RECURSOS

4.1 Fase Preliminar de Gabinete

4.1.1 Recopilación de datos de fuentes secundarias para análisis preliminar de la información.

- En esta fase se recopiló la información general del área, ubicación geográfica, clima, zona de vida, suelos, uso actual de la tierra. Para ello se visitó instituciones tales como la municipalidad, el Centro de Documentación e Información Agrícola de la Facultad de Agronomía de la Universidad de San Carlos (CEDIA), entre otros.
- Para la elaboración de los mapas de ubicación de las fuentes de agua fueron utilizados los Sistemas de Información Geográfica (SIG).

4.1.2 Delimitación geográfica del área de trabajo.

- Se realizaron consultas a hojas cartográficas y otros mapas generados para la ubicación de las fuentes de agua.

4.2 Fase de Campo

4.2.1 Fase de reconocimiento (fase de campo I)

4.2.1.1 Visitas guiadas al área de trabajo

- Se realizó una visita a cada una de las fuentes de agua identificadas en el municipio de Tactic, Alta Verapaz para determinar su condición actual y corroborar la información colectada en la fase preliminar de gabinete.

4.2.2 Fase de recopilación de información de fuentes primarias (Fase de campo II)

- Se realizaron entrevistas con personal que labora en la municipalidad de Tactic para determinar el manejo que se le está dando a las fuentes de agua y ver si existían estudios previos sobre las fuentes de agua del municipio.

- Se realizaron entrevistas con personas que han estado relacionadas con la investigación del recurso hídrico en el municipio de Tactic para que expusieran su punto de vista sobre la problemática existente.

4.3 Fase Final de Gabinete

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

5. RESULTADOS

En este estudio se geoposicionaron las fuentes de agua más importantes en el municipio, para proponer acciones de manejo especial considerando el uso actual y las condiciones en las que se encuentra cada una de ellas. (Ver figura 16).

El área que ocupa el municipio tiene influencia sobre dos cuencas importantes como lo son las cuencas altas de los ríos Cahabón y Polochic.

A nivel municipal se pueden localizar gran cantidad de fuentes de agua que contribuyen a la formación y mantenimiento del caudal de los ríos en mención. Sin embargo, a las fuentes de agua se les asigna su nivel de importancia de acuerdo con la utilidad que puedan representar para la vida humana, es decir, los beneficios que se pueden obtener de ellas en lo referente al consumo humano, al uso en la agricultura y a la generación de servicios.

Lo que se observó en las fuentes de agua fue:

- a) Letrinas de hoyo: Si bien estos sistemas de disposición de excretas humanas no entran en contacto directo con el agua, los mismos pueden constituirse en fuente de contaminación debido a que al ser sistemas construidos en el suelo sin ningún sistema de aislamiento, la infiltración y percolación del agua de lluvia puede transportar bacterias o sustancias contaminantes como nitratos, que llegan más tarde a contaminar los manantiales.
- b) Basureros clandestinos: Así también, las fuentes de agua son utilizadas para la descarga de basura. Puesto que en la época seca los caudales son pequeños y los flujos presentan menor velocidad, los ríos llegan a constituir un basurero de material plástico, aluminio, ropa y distinto tipo de basura que es descargado a sus márgenes.



Figura 1 Basureros clandestinos

- c) Las excretas de los animales domésticos: Una fuente de contaminación lo constituye los excrementos de los animales que resultan como desechos del proceso de digestión de los alimentos que consumen. Generalmente entre el 60 y 80% de lo que consume el animal lo elimina como estiércol.



Figura 2 Lavado de ropa



Figura 3 Excretas de ganado

- d) El uso de la tierra en cultivos anuales: Diversos autores señalan las desventajas de la siembra de cultivos anuales en terrenos de laderas o altas pendientes debido a que facilitan los procesos de erosión, máxime cuando no se realizan técnicas de conservación de suelos. En ese sentido el destino de tierras de ladera a la agricultura anual es fuente de contaminación al facilitar los procesos de erosión y provocar procesos de azolve y sedimentación aguas abajo.
- e) La aplicación de fertilizantes químicos: La aplicación de fertilizantes químicos es una técnica agronómica normalmente recomendada para el aumento del rendimiento de las cosechas. Sin embargo, se ha descubierto que la aplicación de

fertilizantes puede constituirse en una fuente de contaminación debido a que los componentes químicos, cuando son aplicados en exceso o cuando la planta no es eficiente en su aprovechamiento, son infiltrados y percolados a través del suelo contaminando las fuentes de agua subterráneas o son arrastrados por la escorrentía contaminando las aguas de manantiales y ríos.

- f) La aplicación de pesticidas: El uso de pesticidas en el control de plagas y enfermedades, ha traído como consecuencias una serie de impactos sobre los organismos presentes en los ecosistemas y que no son objetivo deliberado del control, impactos sobre las plantas nativas y cultivadas, impactos sobre los organismos objeto de control directo, y los medios para difundirse han sido el viento, su acumulación en el agua, en el suelo y en los alimentos. El impacto a la salud humana es la razón más fuerte para empezar a tomar precauciones en el uso de los pesticidas y a monitorear su presencia y acumulación en las aguas, en el suelo y en los alimentos.



Figura 4 Uso de Productos químicos

- g) Otras fuentes de contaminación: Uso de Vehículos, talleres mecánicos, talleres de recarga de baterías y gasolineras. Esto se caracteriza por ser una fuente de contaminantes del tipo hidrocarburos concretamente.



Figura 5 Uso de vehículos motorizados.

- h) Uso de desinfectantes clorados: Para el lavado de ropa utilizan cloro y luego depositan la basura en los ríos o nacimientos.



Figura 6 Uso de Cloro

- i) Además existe el uso de agua para recreación: En cuanto al agua para recreación, 2 son los lugares donde se ha establecido infraestructura para hacer uso del agua con este fin, siendo éstos: Chamché que cuenta con 3 piscinas y La Esperanza con 1 piscina; el costo para ingresar a Chamché es de Q10 por persona y Q5 quetzales en La Esperanza.
- j) En lo que corresponde al agua que es destinada para el consumo de la población de Tactic, A. V., se pudo observar que existen tanques de captación del agua de los nacimientos, el único tratamiento para el Agua es la cloración; mediante pastillas de cloro que son dejadas caer dentro de los tanques, la aplicación de dichas pastillas es realizada a cada ocho días, ya que se han dado cuenta que estas se disuelven en este período de tiempo se depositan cuatro pastillas por tanque de captación, las pastillas que utilizan contienen el 100% de cloro en su concentración, al igual del Cloro Hipoclorito, los tanques de captación se lavan a cada dos meses, o sea seis veces al año, para lavar los tanques utilizan el Cloro Hipoclorito Granulado mezclándolo con agua (6 onz. de cloro / 4 gal de agua). Para la distribución del agua en el área urbana, se cuenta con seis tanques de captación, tres en el Balneario Chamché, uno en la comunidad de la Esperanza y dos en la Aldea Chijí. El tipo de tubería con que cuentan, es de Tubo P.V.C y Galvanizado, las medidas de los tubos son de 6" 4" 3" 2" 1.5" 1" 1.



Figura 7 Aplicación de pastillas de cloro



Figura 8 Pastilla de cloro

Cuadro 1 Fuentes de agua y zonas de recarga hídrica.

No .	Nombre de la fuente de agua	Número de beneficiarios		Cuenca a la que pertenece	Área de influencia sobre la cuenca (ha)
		AÑO 1994	AÑO 2002		
1	Quebrada el Arco	313 más área urbana 5042= 5355	284 más área urbana 7135=7419	Río Cahabón	192.25
2	Chamche	156	239	Río Cahabón	104.72
3	Quebrada Chijí	986	1160	Río Cahabón	179.74
4	Río Polochic	541	635	Río Polochic	162.56
5	Quebrada Chimaxpop	1421	1997	Río Cahabón	406.23
6	Río San Antonio	1706	2608	Río Cahabón	401.73
7	Quebrada Chiallí	725	909	Río Cahabón	422.83
8	Quebrada Cuyquel	1051	1310	Río Cahabón	148.50
9	Río Frío	613	1015	Río Cahabón	378.31
10	Quebrada Agua Escondida	81	189	Río Cahabón	173.53
11	Quebrada El Jute	1185	2253	Río Cahabón	181.34
TOTALES			19,734.0		2,751.74
13,820.0					

Fuente: -INE- 2002.

6. CONCLUSIONES

Dentro de las zonas de recarga hídrica se encuentran once nacimientos de agua, de los cuales diez son quebradas que pertenecen a la cuenca del río Cahabón, y el río Polochic que hacen un total de once fuentes de agua a nivel municipal.

Las cuencas cubren un área total de 2,751.74 ha, equivalentes al 22.25% del área total del municipio (12,369.22 ha), dentro de las cuales se abastecen 32 comunidades y el área urbana del vital líquido, con un promedio de 19,734 beneficiarios según el Instituto Nacional de Estadística para el año 2002, para distintos usos como lo son el agua entubada, agua para riego, etc. (7)

En las fuentes de agua El Arco, Chamché, Chijí y Río Polochic, principalmente, se encuentran varias comunidades que generan una fuerte presión al recurso forestal. Otra de las áreas más afectadas es la parte sur del municipio, en las fuentes: Chimaxpop, Río San Antonio, Chiallí, Cuyquel, Río Frío, Agua Escondida y el Jute, las cuales pertenecen a la cuenca del río Cahabón, en esta zona la cobertura forestal es muy escasa, contrastando con la capacidad productiva de la tierra clasificada como tierras forestales para protección. En tal sentido es hacia estas áreas donde se deben de dirigir las acciones a corto plazo para la recuperación de la cobertura boscosa.

7. RECOMENDACIONES

- Realizar un análisis físico químico y bacteriológico de las fuentes de agua
- Mantener limpios los tanques para evitar la contaminación.
- No permitir suciedad como: desagües, insecticidas, ganado, marranos y viviendas con desemboque cerca del tanque del agua.
- Proteger los manantiales que son captados para fines de consumo humano.
- Implementar proyectos de reforestación que ayuden a reducir la escorrentía superficial y la erosión y faciliten los procesos de infiltración del agua en el suelo y la recarga de acuíferos.
- Realizar campañas de recolección de basura depositada sobre la superficie de los ríos, así como campañas de concientización para reducir el vertimiento de aguas que provocan encharcamiento y pueden ser caldo de cultivo para el desarrollo del mosquito transmisor de la Malaria (*Anopheles* sp.)
- Utilizar el recurso suelo con fines de masas boscosas para contribuir a reducir la escorrentía superficial y la erosión y así facilitar la infiltración del agua en el suelo.
- Implementar el uso del suelo con cultivos permanentes (cultivo del café bajo sombra) y frutales que contribuyan a reducir la erosión.
- Establecer un radio fijo de protección (50m. mínimo) en donde no se permita ningún tipo de actividad antropogénica para aquellos manantiales utilizados para agua de consumo humano.

- Continuar el tratamiento al agua, principalmente cloración en los tanques de distribución.
- Monitorear constantemente la calidad del agua de los manantiales captados, principalmente bacteriológica, dos veces al año (época seca y lluviosa).
- Implementar sistemas de mantenimiento constante a las obras (caja de captación y tanque de distribución) de los sistemas de abastecimiento de agua.
- Separar los desechos sólidos en los hogares y evitar lanzar las aguas contaminantes como aceites, solventes, pinturas y materia orgánica.
- Utilizar en mayor medida el estiércol de animales como fuente de abono orgánico, con lo cual se reducirían los niveles de estiércol como fuentes de contaminación bacteriológica.
- Realizar acciones de reforestación en las zona aledañas al cauce de los ríos y los manantiales, con la finalidad de establecer una zona de retardo y atenuación de posibles contaminantes.

Para que estos lineamientos puedan impulsarse, es necesario que la Municipalidad de Tactic, Alta Verapaz, los tome en cuenta y conforme una alianza con los diferentes sectores organizados del municipio, para que las mismas se vayan concretando.

8. BIBLIOGRAFIA

1. Iles, DL. 1995. Ground water contamination in South Dakota. US, Division of Geological Survey, Department of Environment and Natural Resources. 4 p.
2. IGN (Instituto Geográfico Nacional, GT). 1975. Hojas Topográficas: Cobán, Tactic, Tamahú. Guatemala. Editorial IGN. Escala. 1:50000 Color.
3. INAB (Instituto Nacional de Bosques, GT). 2000. Clasificación de tierras por capacidad de uso: Aplicación de una metodología para tierras de la república de Guatemala. 96 p.
4. INE (Instituto Nacional de Estadística, GT). 1994. Monografía del Municipio de Tactic, Alta Verapaz. Guatemala. 10 p.
5. INSIVUMEH (Instituto de Sismología, Vulcanología, Meteorología e Hidrología, GT). 1999. Boletín Climático. Guatemala. 197-205 p.
6. Programa de Desarrollo Rural en el Departamento de Alta Verapaz-Proyecto ALA 94/89. 1997. Caracterización tecnológica productiva del pequeño agricultor del municipio de Tactic, Alta Verapaz. Alta Verapaz. Guatemala. 115 p.
7. Programa de Desarrollo Rural en el Departamento de Alta Verapaz-Proyecto ALA 94/89. 2002. Propuesta de manejo forestal sostenible, para el municipio de Tactic, Alta Verapaz. Alta Verapaz, Guatemala. 87p.
8. Simmons, C; Tárano, JM; Pinto, JH. 1959. Clasificación a nivel de reconocimiento de los suelos de la república de Guatemala. Trad. Pedro Tirado Sulsona. Guatemala, José de Pineda Ibarra. 1000 p.

Vo. Bo.: _____
Ing. Agr. Rolando Udine Aragón Barrios

9. ANEXOS

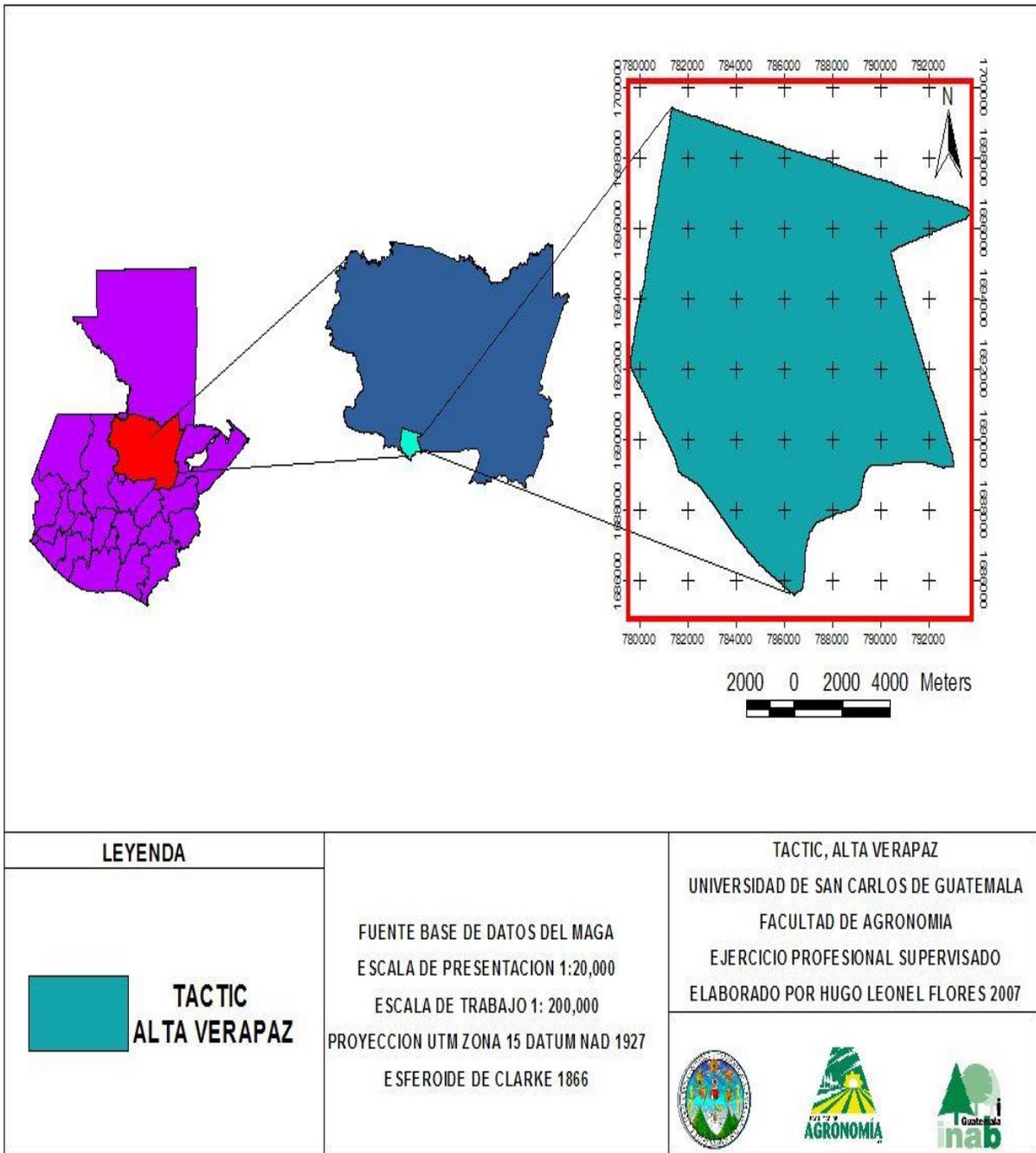


Figura 9 Mapa de ubicación

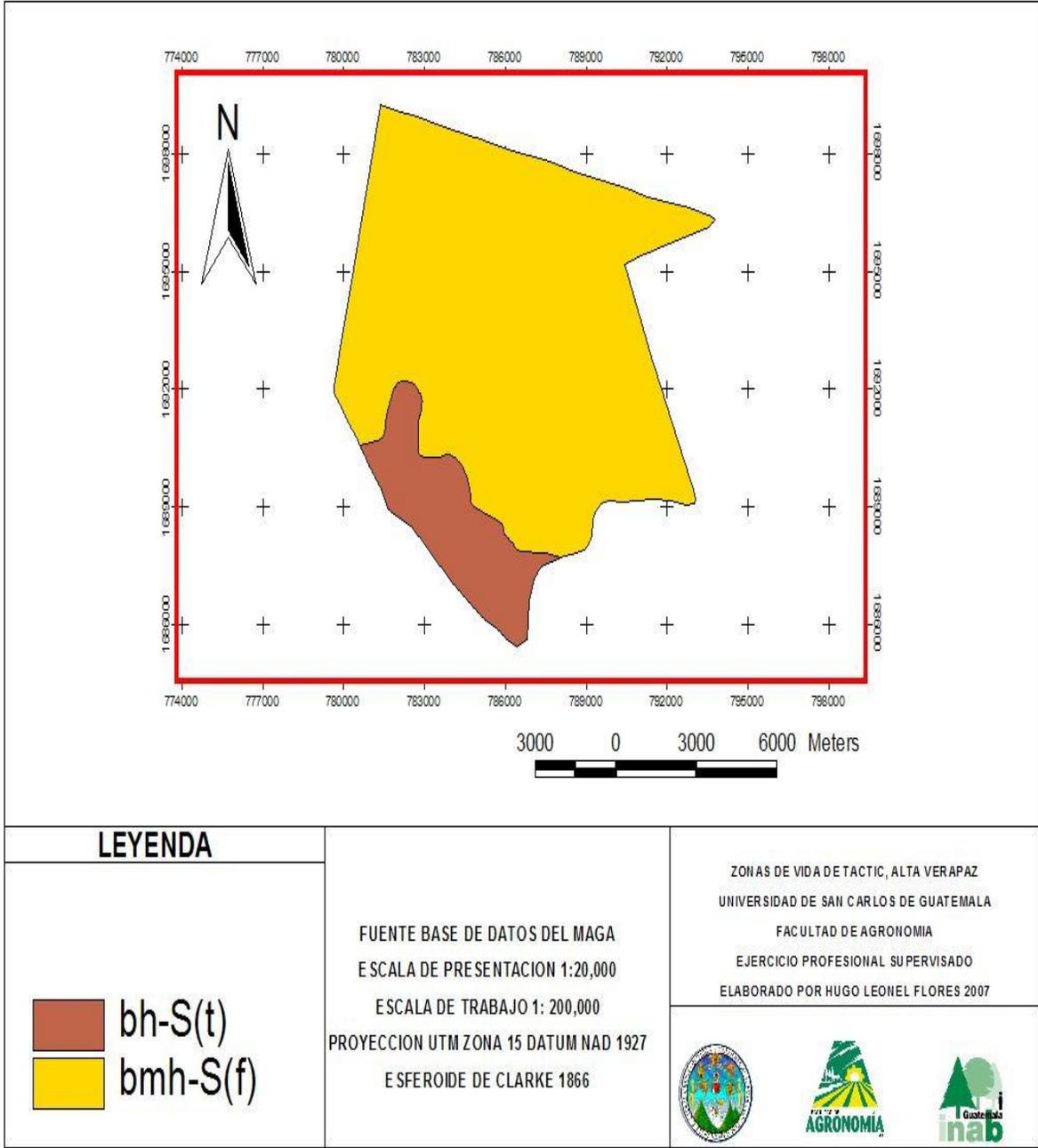


Figura 10 Mapa de zonas de vida

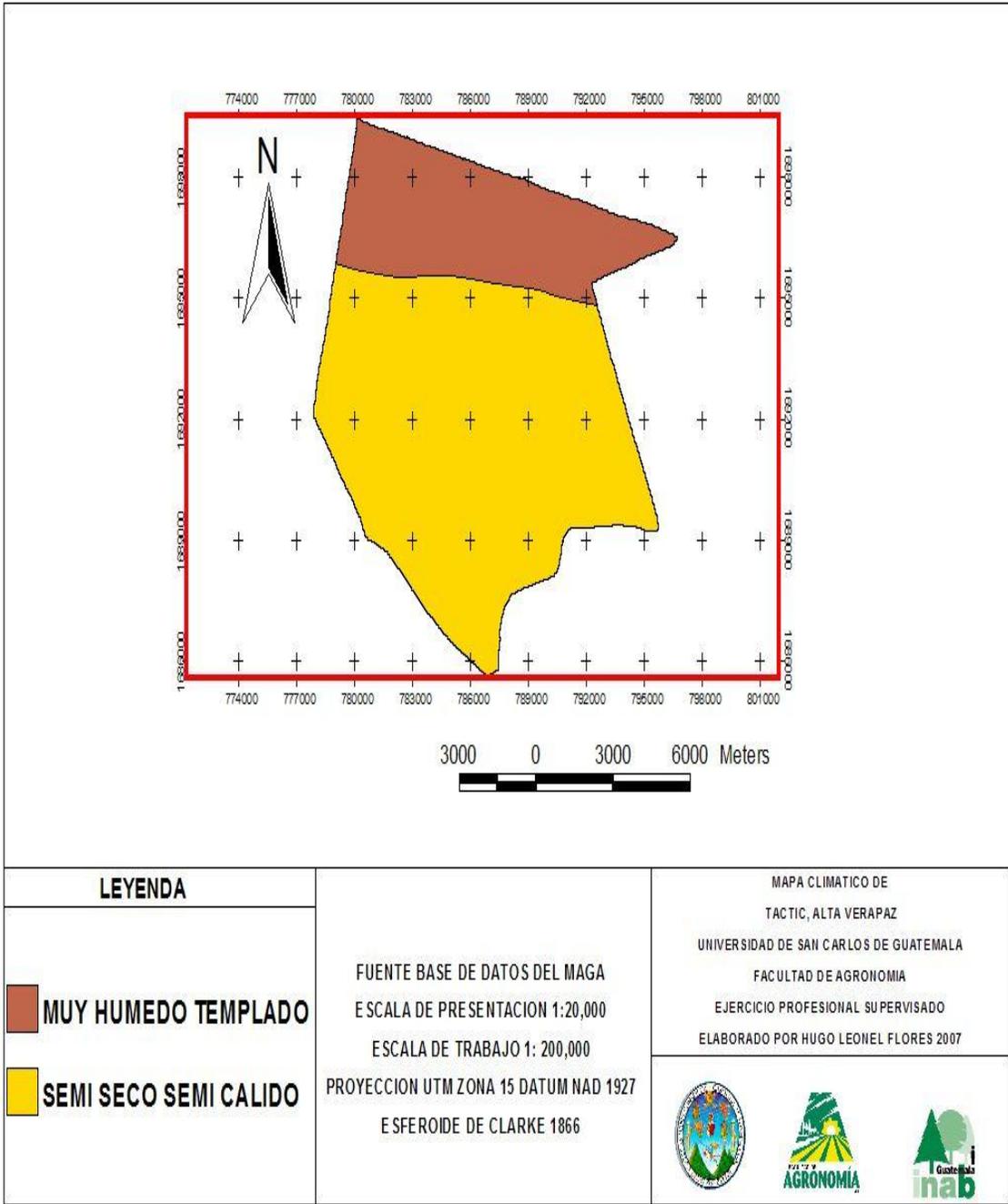


Figura 11 Mapa Climático

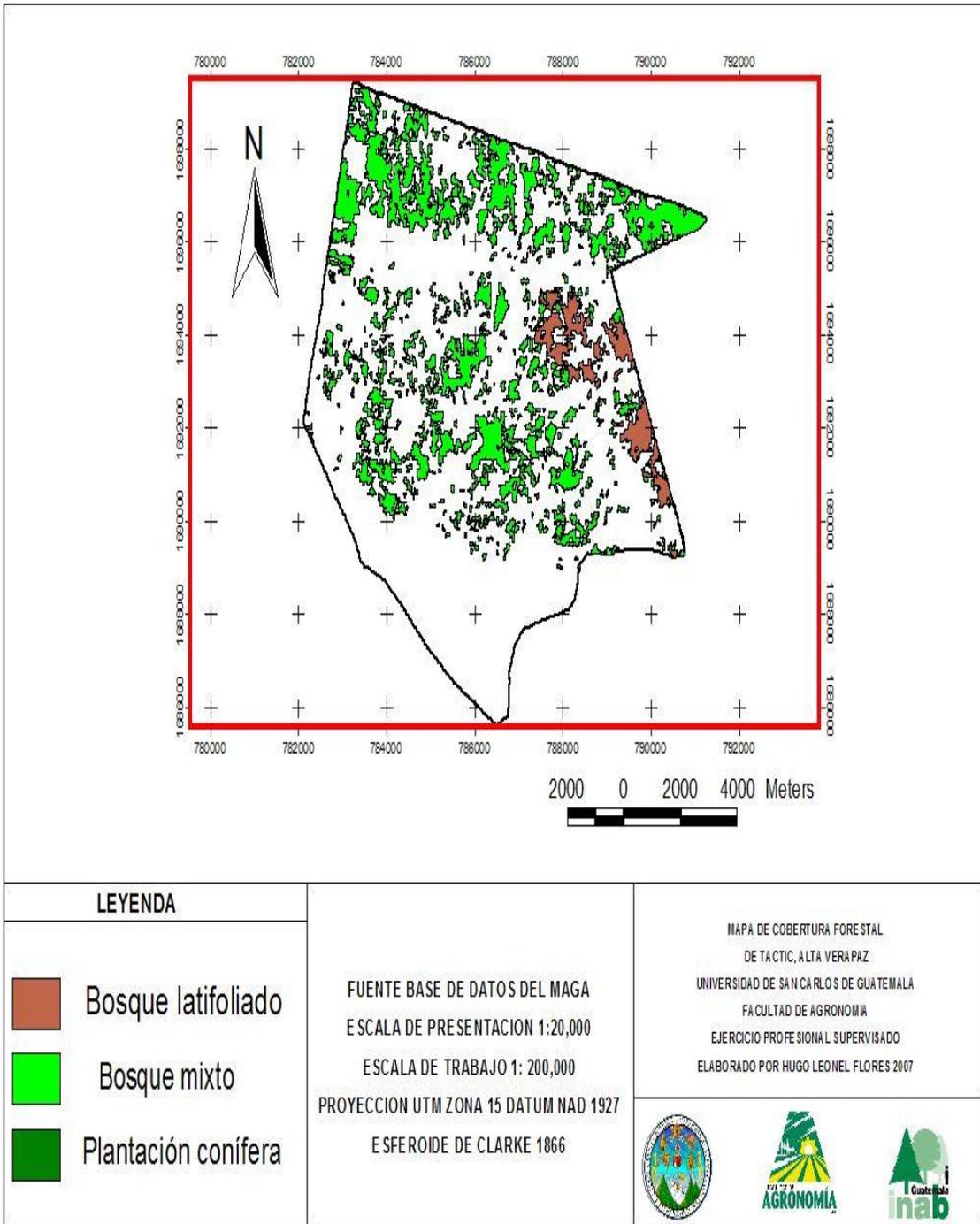


Figura 12 Mapa de cobertura Forestal

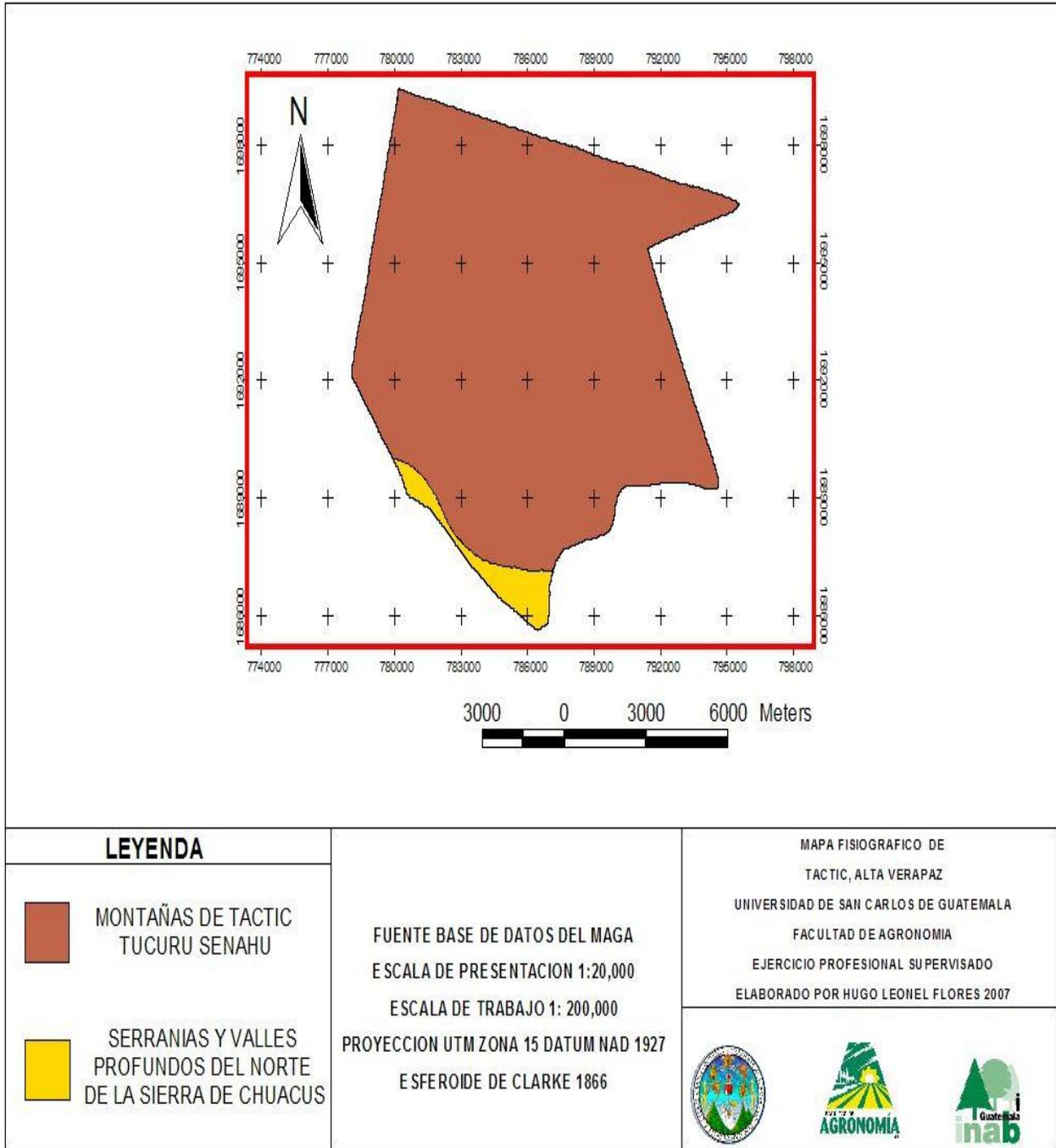


Figura 13 Mapa Fisiográfico

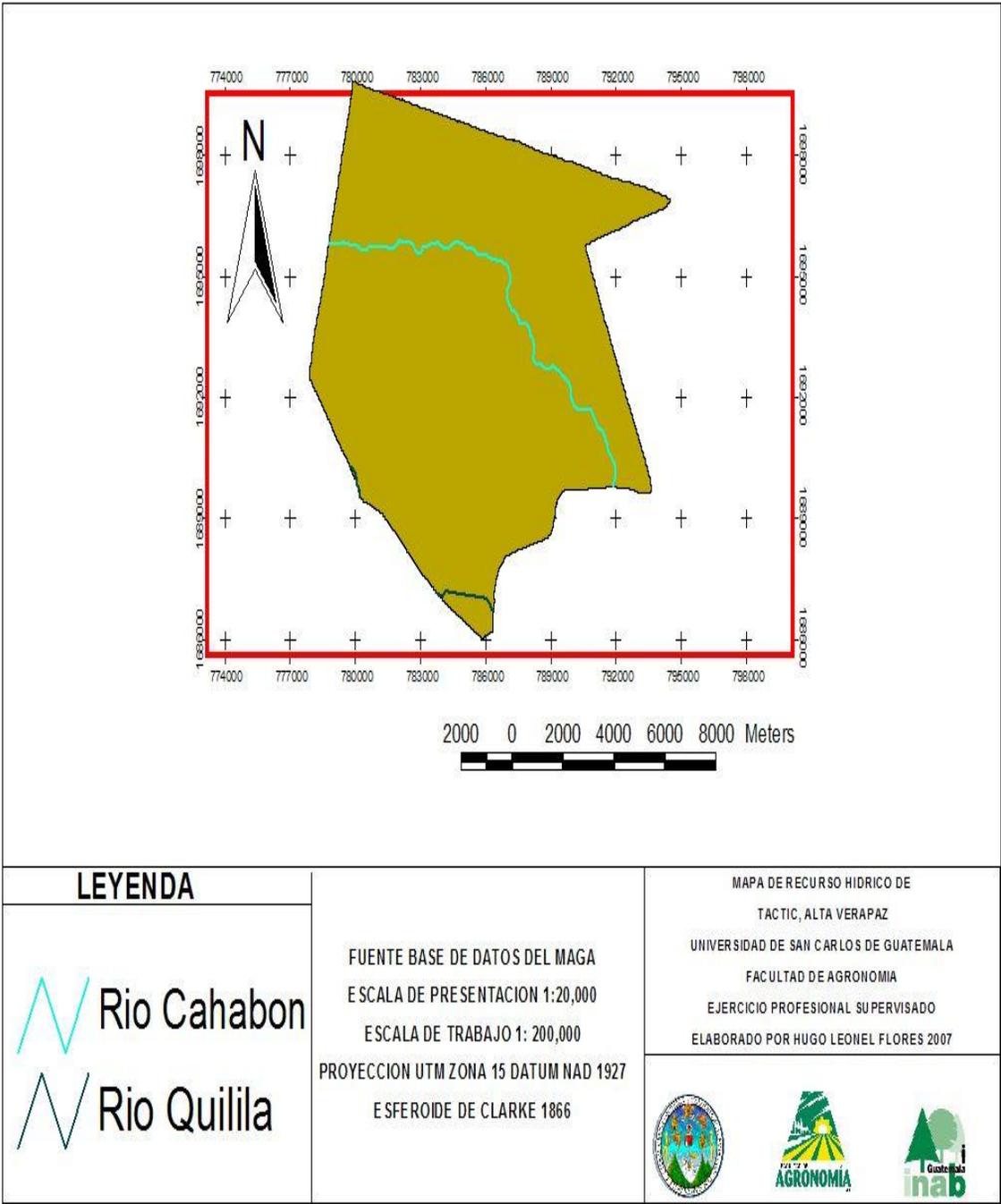


Figura 14 Mapa de Recursos Hídricos

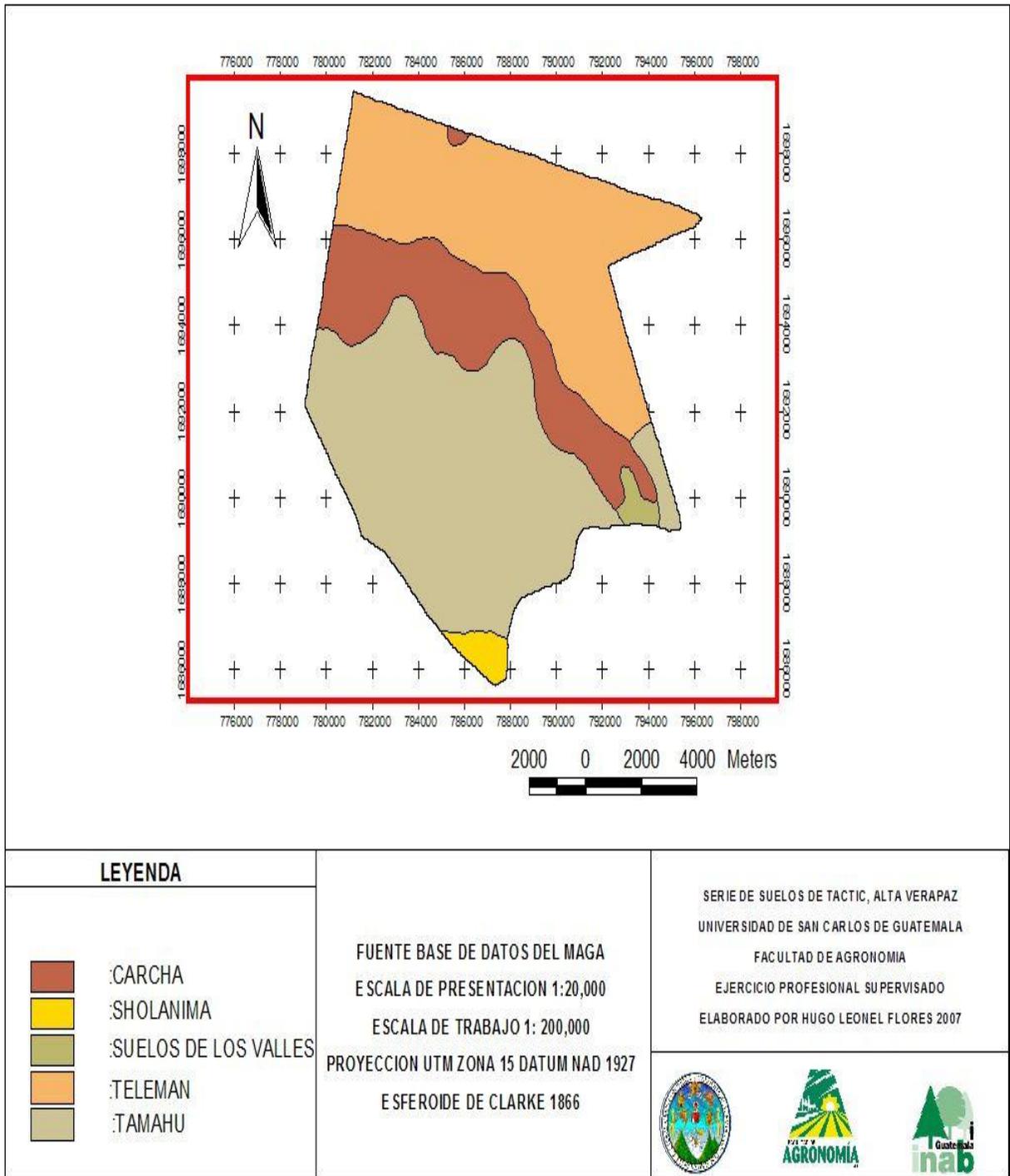


Figura 15 Mapa de Serie de Suelos (8).

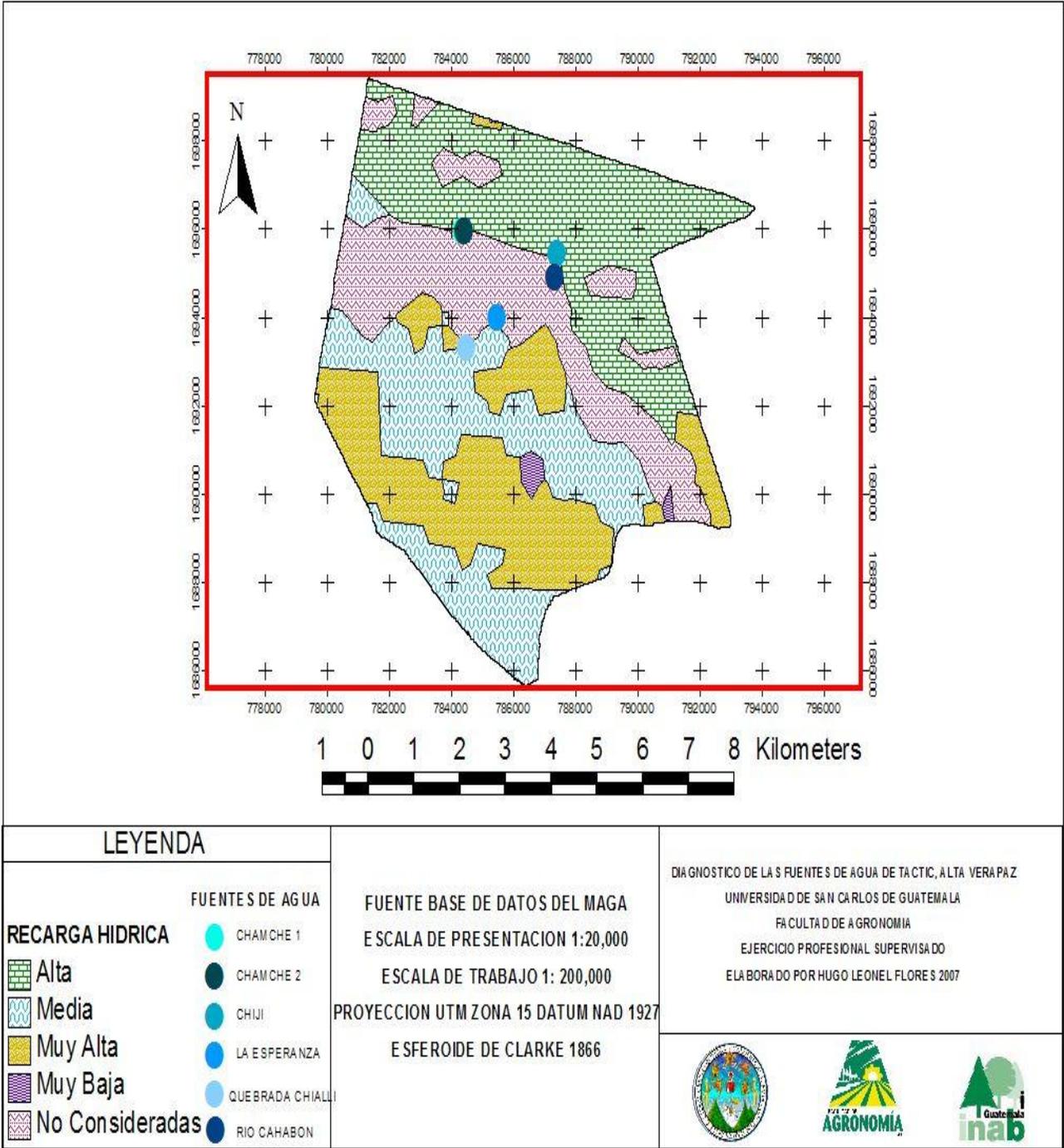


Figura 16 Mapa de ubicación de las Fuentes de Agua

CAPITULO II

INVESTIGACION

SEGUNDA FASE DE EVALUACIÓN DEL IMPACTO HIDROLÓGICO EN SUELO CON USO AGRÍCOLA, PECUARIO Y CUATRO DENSIDADES DE OBERTURA FORESTAL EN LA ESTACIÓN HIDROLÓGICA FORESTAL RÍO FRÍO, SANTA CRUZ ALTA VERAPAZ.

SECOND PHASE OF EVALUATION OF THE GROUND IMPACT HIDROLOGIC WITH AGRICULTURAL USE, CATTLE AND FOUR DENSITIES OF FOREST COVER IN FOREST STATION HIDROLÓGIC RÍO FRÍO, SANTA CRUZ ALTA VERAPAZ.

RESUMEN

El objetivo de este estudio fue continuar la evaluación del impacto hidrológico en suelo con uso agrícola, pecuario y cuatro densidades de cobertura forestal en una plantación de *Pinus maximinoi*, producto de intervenciones silviculturales (raleos) a intensidades de 50%, 33% y 25% de extracción de la densidad inicial de los árboles sobre la erosión hídrica del suelo. Por lo que los tratamientos evaluados fueron uso de suelo con pasto, uso agrícola y 100, 75, 67 y 50% de cobertura forestal. La investigación se realizó en la finca experimental Río Frío y Parrachoch, ubicada en el municipio de Santa Cruz Verapaz, Alta Verapaz. De cada tratamiento se tenían cuatro repeticiones, en cada repetición se instaló una parcela de escorrentía. Las variables evaluadas fueron la escorrentía superficial y la pérdida de suelo además en las parcelas con cobertura forestal se determinó la precipitación interna y la intercepción de copas.

En la finca Río Frío con anterioridad se habían llevado a cabo investigaciones sobre la erosión hídrica y la escorrentía superficial. La metodología que se utilizó en esta investigación fue la de toma de datos en parcelas de escorrentía, luego las muestras de escorrentía fueron llevadas a la sub región II-1 para poder sedimentarlas en unos conos especiales, para así obtener la cantidad de suelo erosionado que se fue acumulando, para poder llevarlos al final de la investigación al laboratorio de suelos de la Facultad de Agronomía y poder así determinar algunas propiedades, tanto físicas como químicas, las cuales se detallan con mayor precisión en el cuadro de resultados del laboratorio de la Facultad de Agronomía.

Además se realizó una comparación entre todas las investigaciones que se han llevado a cabo en la finca Río Frío por parte del convenio que existe entre el INAB y la Facultad de Agronomía de la Universidad de San Carlos de Guatemala con estudiantes que realizan su Ejercicio Profesional supervisado (EPS).

Los resultados obtenidos fueron la cantidad de suelo erosionado y la cantidad de escorrentía superficial en los diferentes usos de suelo y las cuatro densidades de cobertura forestal.

1. INTRODUCCIÓN

El proyecto de Conservación de Ecosistemas Forestales Estratégicos (CEFE) del Instituto Nacional de Bosques (INAB) 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: la generación de información básica, desarrollo e implementación de mecanismos de internalización de costos de conservación de bosques, validación de medidas técnicas de mitigación de impactos negativos del manejo forestal, y desarrollo de bosques modelos de manejo forestal en áreas de recarga hídrica.

Está documentado que la combinación común de topografía, pendiente 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 está orientada a continuar con la evaluación de los efectos de escorrentía superficial y la erosión hídrica, en tres diferentes usos de suelo, los cuales serán: forestal, agrícola y pecuario, para el uso forestal se continuará con la evaluación de cuatro densidades de cobertura forestal siendo estas de 100%, 75%, 67% y 50%. Dichos efectos se han medido por medio de parcelas de escorrentía instaladas en las fincas Río Frío y Parrachoch, que componen la Estación Hidrológica Forestal Río Frío. El tamaño de las parcelas es de 7.5 mts x 10.0 mts., teniendo así, un área de 75 metros cuadrados por parcela.

Los resultados obtenidos en la presente investigación, son: la cuantificación de la erosión hídrica y escorrentía superficial generada 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

tratamientos para poder obtener las conclusiones y plantear las recomendaciones pertinentes del estudio. Así también, se realizó el balance hídrico en las unidades de investigación, las cuales dieron como resultado un potencial de recarga hídrica similar, esto debido a la homogeneidad de las condiciones en que se encuentran los tratamientos. Como resultado se obtuvo una mayor recarga potencial en los usos de suelo con cultivos (maíz) y pastos, el tratamiento de bosque presenta una recarga menor, esto debido a 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 que se infiltra también sea menor.

La generación de esta información básica debe ser aplicable a la realidad del uso de la tierra y sobre todo, en lo que compete al Instituto Nacional de Bosques (INAB), a lo referente al manejo forestal es necesario que se generen elementos de juicio técnicos que sean acordes a las actividades forestales que la institución evalúa y supervisa.

La información debe tener continuidad para obtener una integración de resultados y con ello, elementos de juicio técnico que se aproximen más a la realidad. Sin embargo, no se cuenta en la actualidad con suficiente información básica, la cual es necesaria para poder implementar y desarrollar una serie de programas que permitan solucionar los problemas de manejo forestal, de tal modo que las áreas boscosas del país puedan cumplir una de sus funciones más importantes que son las de constituirse en zonas de recarga hídrica. Al no contar con esta información, es importante obtenerla y validarla, que es la razón de la elaboración del presente trabajo de investigación, el cual se desarrolla bajo el marco del convenio técnico entre el Instituto Nacional de Bosques (INAB) y la Facultad de Agronomía de la Universidad San Carlos de Guatemala (FAUSAC), a través del Ejercicio Profesional Supervisado (EPS).

2. DEFINICION DEL PROBLEMA

Según el programa de Investigación Forestal (2005), del Instituto Nacional de Bosques (INAB), en base al 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, a la 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. 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. Esto aumenta la tasa de escurrimiento superficial, y la vulnerabilidad ante desastres naturales tales como inundaciones. Es ahí cuando se considera al bosque como el principal amortiguador de los efectos negativos de tales fenómenos. Además de ello la calidad de agua proveniente de bosques, es mayor en comparación a otros usos por el efecto de estos ecosistemas como filtros y la baja intervención a estos ecosistemas.

Adicionalmente en las investigaciones realizadas en la Estación Hidrológica Forestal Río Frío, existieron algunos problemas en su ejecución los cuales fueron que en el tiempo que se llevó la construcción de las parcelas se dejó de tomar algunos datos de los primeros eventos de lluvia.

3. MARCO TEÓRICO

3.1 Marco Conceptual

3.1.1 Ciclo hidrológico

Según Johnson, E. E. (1995), los recursos hídricos tienen como referencia al ciclo hidrológico, el cual consiste en la continua circulación de agua sobre nuestro planeta.

Según Custodio, E.; Llamas, M. R. (2001), es un 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.

3.1.2 Procesos hidrológicos generales

3.1.2.1 La dinámica de entrada del agua al sistema forestal

Según Gómez de Silva citado por González (2005), 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).

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).

3.1.2.2 Precipitación bruta

Según Stadtmüller, T. (1994), 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.

3.1.2.3 Precipitación interna

Según Stadtmüller, T. (1994), 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.

3.1.3 El ciclo del agua en un ecosistema forestal

El ciclo del agua según Fassbender (1983) ha sido poco estudiado y actualmente se está desarrollando tecnologías apropiadas para ello.

El mismo autor afirma que el agua que ingresa al ecosistema depende del régimen de lluvias y está asociado a la posición geográfica de la región, la circulación planetaria de las masas de nubes y aire, temperatura, vegetación y otros factores. Una parte del agua que ingresa al ecosistema forestal es retenida por las hojas de la vegetación (intercepción), la cual se evapora en función de la temperatura y la radiación solar. Otra parte del agua escurre de las hojas o a lo largo de los tallos y llega por gravedad a la superficie de la capa de mantillo del suelo; esta agua puede escurrir sobre la superficie del suelo percolar en el mismo. El agua almacenada en el suelo, en función de sus características de textura y estructura, representa las reservas de donde las plantas absorben las cantidades necesarias para sus ciclos energéticos y nutricionales; una parte del agua almacenada en los tejidos vegetales difunde a través de las membranas celulares y pasa a la atmósfera en forma de vapor como agua de transpiración. Cuando el agua que ingresa al suelo sobrepasa la capacidad de retención en el mismo, y en función de la gravedad pasa a la capa freática, egresa del ecosistema.

La cuantificación del agua en cada uno de estos pasos es posible llevarla a cabo mediante el uso de aparatos. El agua que cae sobre la superficie del bosque se mide colocando un pluviómetro en un área despejada del bosque a modo que la superficie receptora del pluviómetro forme un ángulo máximo de 45 grados con la copa de los árboles circundantes. El agua que cae a través de las copas, ya sea directamente o por goteo de las hojas se estima colocando los pluviómetros debajo del dosel del bosque. El agua que escurre por los tallos se encuentra influenciada por la posición de las ramas en relación con el tronco principal y se puede estimar colocando recolectores de agua alrededor del fuste. El agua interceptada por las copas se puede estimar restando a la precipitación total, la suma de agua de escurrimiento de los tallos y del agua que cae a

través de las copas. El movimiento del agua en el suelo se hace mediante el uso de placas disimétricas a diferentes profundidades.

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 según la Organización Género y Ambiente (2005), es la destrucción, deterioro y eliminación del suelo. Los factores que acentúan la erosión son el clima, 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 subsiguiente y pastoreo en exceso.

Según el manual de Conservación de Suelo y Agua del Colegio de Postgraduados de la Universidad de Chapingo (1991), la erosión es el proceso físico que consiste en el desprendimiento y arrastre de los materiales del suelo por los agentes del interperismo.

3.1.5 Tipos de erosión

Según el manual de conservación de Suelo y Agua del Colegio de Postgraduados de la Universidad de Chapingo (1991) siempre ha existido erosión y siempre existirá. La superficie de la tierra es modelada por procesos exogénicos y endogénicos. Los primeros tienden a nivelar, mientras que los últimos tratan de formar un nuevo relieve. Estos procesos operan en direcciones opuestas y, por lo tanto, la superficie terrestre que vemos en la actualidad no es resultado de un solo cataclismo modelador, sino el producto de cambios tan infinitamente lentos, que se hacen notables solamente después de un largo tiempo. La erosión es uno de los aspectos de este proceso constante de cambios, donde el hombre participa en forma directa.

En base a lo anterior, el mismo autor presenta las definiciones para cada tipo de erosión.

- a) Erosión geológica, normal o natural: es aquella que ocurre como consecuencia solamente de las fuerzas de la Naturaleza.
- b) Erosión inducida o acelerada: es aquella que se presenta cuando a la acción de los agentes naturales se agrega la acción del hombre. Este tipo de erosión es propiciado por el mal manejo del suelo y en términos generales es más rápida que la geológica.

3.1.6 Los agentes de la erosión

Los principales agentes de la erosión según manual de Conservación de Suelo y Agua del Colegio de Postgraduados de la Universidad de Chapingo (1991) son:

- a) El agua: es el agente más importante de la erosión. La erosión hídrica es el resultado de la energía producida por el agua al precipitarse sobre la tierra y al fluir sobre la superficie de los terrenos.
- b) El viento: es un agente físico que influye en la erosión y formación de los suelos al causar el desprendimiento, transporte, deposición y mezcla del suelo. El viento no erosiona por si mismo las rocas, sino que es la abrasión provocada por las partículas del suelo que él transporta la causante de este desgaste.
- c) Los cambios en temperatura: cuando se considera la erosión geológica, el paso del tiempo apenas se nota, y aun cambios pequeños o muy lentos se vuelven perceptibles hasta después de un largo tiempo. Como ejemplo tenemos la cuarteadora y descostramiento o exfoliación de las rocas por variaciones entre las temperaturas del día y de la noche; esta variación solo afecta la superficie de las rocas, mientras que los cambios, debido a las variaciones lentas entre el verano y el invierno, tienen mayor impacto en la masa de las rocas.
- d) Los agentes biológicos: el proceso erosivo también está influenciado por los organismos vivos en forma directa o indirecta. En forma directa por el pisoteo sobre las rocas o el suelo para disgregarlo y hacerlo más fácilmente transportable por el agua y el viento; en forma indirecta, al comer parcial o totalmente la vegetación que lo protege, con lo que alimenta la susceptibilidad del suelo a la erosión. Caso típico del sobrepastoreo.

3.1.7 Límites aceptables de erosión

El Manual de conservación de Suelo y Agua del Colegio de Postgraduados de la Universidad de Chapingo (1991) afirma que se considera como límite máximo de tolerancia en la pérdida de suelo, aquel en el cual se mantiene un nivel alto de productividad por un largo tiempo; es decir, que no se manifiesta un deterioro progresivo de ésta y el espesor del suelo. Esto se logrará cuando la velocidad de pérdida de suelo no sea mayor que la velocidad de formación del mismo.

Bennett 1939, citado en el Manual de conservación de Suelo y Agua del Colegio de Postgraduados de la Universidad de Chapingo (1991) ha estimado que bajo condiciones naturales sin disturbio de la vegetación, se necesitan cerca de 300 años para producir una capa de 25 mm de suelo superficial; sin embargo, cuando existe alteración del suelo, por el laboreo, pastoreo, etc., se acelera el interperismo y el período de formación de dicha capa se reduce a más o menos 30 años equivalente aproximadamente 1.8 ton / ha / año, y esta cifra ha sido considerada como la cantidad máxima tolerable de ser erosionada.

3.1.8 Erosión hídrica.

Según Dewis, 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.

3.1.8.1 Tipos de erosión provocadas por el agua.

La erosión causada por el agua, según Dewis, citado por Cifuentes (2000), 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: esta 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.

3.1.8.2 Procesos de la erosión hídrica

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

- a) Desprendimiento: Separación o liberación de partículas o grupos de ellas de la masa principal del suelo, esto se da por la acción del impacto de las gotas de lluvia en la superficie.
- b) Arrastre o transporte: Es provocado por el escurrimiento superficial del agua de lluvia, que no logra infiltrarse en el suelo.

3.1.8.3 Escorrentía

Según González, M. E. (2005), Conviene distinguir entre escorrentía superficial y escorrentía en sentido amplio.

- a) 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).
- b) 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:

- a) Arroyamiento en superficie (escorrentía superficial).
- b) Precipitación sobre el propio cauce (a veces es más importante que la primera).
- c) 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.
- d) 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.

Según González, M. E. (2005), 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 los casos excepto en aguaceros de fuerte intensidad.

3.1.9 Factores que intervienen en la erosión

Según Silenzi, JC; Vallejos, AG. Citado por González, M. E. (2005), 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.

El mismo autor indica que 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.

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).

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.

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.

Según Sánchez, G. A. (1998), 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.

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.

Según Stadmüller, T. (1994), experimentos realizados en Sefá, 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 15 ton/ha/año. 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.

3.1.10 Factores que rigen la escorrentía

De acuerdo a Martínez (1995), 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.

- a) 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.
- b) 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.
- c) 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).
- d) 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.

3.1.11 Medición de la escorrentía y la erosión

Según Sánchez, G. A. (1998), para la determinación de la erosión se utilizan diferentes métodos, pero los más usados son los directos, principalmente las parcelas de escurrimiento.

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.

3.1.11.1 Parcelas de escorrentía

Según Sánchez, G. A. (1998), 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.

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.

- 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 a esta área experimental una superficie demasiado grande, a fin de recoger un volumen de agua y tierra fácilmente medible dice Sánchez, G. A. (1998).
- b) El sistema receptor
 - 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.
 - Tanques receptores: depósitos donde se acumulan el agua escurrida y los sólidos arrastrados.

3.1.12. 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. (15).

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. (15).

Los métodos se utilizan dependiendo de la información meteorológica disponible para el área de estudio. Dentro de estos métodos se encuentran: Thornthwaite, Hargreaves. (15).

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.

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. (15).

➤ **Obtención del valor de precipitación efectiva**

Para determinar la precipitación efectiva, se utilizará 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.

El método considera tres aspectos: i) 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, ii) Factor de pendiente del terreno (K_p) (fracción que infiltra por efecto de pendiente) y iii) 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. (15).

➤ **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) (15)

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)

➤ **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. (17).

Cuadro 2 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	>7%	0.06

Fuente: Orozco, E. Padilla, T. Salguero, M. 2003

➤ **Factor de cobertura vegetal del terreno (Kv)**

Este factor, dependiendo de la cobertura vegetal del terreno, los valores que se asignan se presentan en cuadro 3.

Cuadro 3 Valores de coeficientes (Kv) según tipo de cobertura vegetal.

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

Fuente: Orozco, E. Padilla, T. Salguero, M. 2003

B. Cálculo de balance hídrico de suelos

Los cálculos de recarga hídrica se realizaron 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 marchitez 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 efectuaron con un intervalo mensual. (15).

3.2 Marco Referencial

3.2.1 Localización política y geográfica

Según información proporcionada por el Ministerio de Agricultura Ganadería y Alimentación, (2000). la finca Río Frío se encuentra situada administrativamente en el municipio de Santa Cruz Verapaz, departamento de Alta Verapaz, en las coordenadas geográficas: LA 15°20'30" LO 90°25'08". Siendo propiedad de la Empresa W.E. Diesseldorff, posee una extensión total de 407.7 ha, (4.07Km²).

Así también la finca Parrachoch se encuentra situada administrativamente en el municipio de Tactic, departamento de Alta Verapaz, en las coordenadas geográficas: LA 15° 19' 43" LO 90° 23' 32". Siendo propiedad del señor Ataulfo Ramírez Flores.

Estas dos fincas conforman la Estación Hidrológica Rió Frío en Santa Cruz Verapaz, departamento de Alta Verapaz, es aquí donde se han desarrollado las distintas investigaciones sobre escorrentía superficial y erosión hídrica.

La generación de esta información básica debe ser aplicable a la realidad del uso de la tierra y sobre todo en lo que compete al Instituto Nacional de Bosques (INAB) a lo referente al manejo forestal es necesario que se generen elementos de juicio técnicos que sean acordes a las actividades forestales que el Inab evalúa y supervisa.

La información debe tener continuidad para obtener una integración de resultados y con ello elementos de juicio técnico que se aproximen más a la realidad. Sin embargo, no se cuenta en la actualidad con suficiente información básica, la cual es necesaria para poder implementar y desarrollar una serie de programas que permitan solucionar los problemas de manejo forestal de tal modo que las áreas boscosas del país puedan cumplir una de sus funciones mas importantes que con las de constituir en zonas de recarga hídrica. Al no contar con esta información es importante obtenerla y validarla es la razón de la elaboración del presente trabajo de investigación, el cual se desarrolla bajo el marco del convenio técnico entre el Instituto Nacional de Bosques (INAB) y la Facultad de

Agronomía de la Universidad San Carlos de Guatemala (FAUSAC), a través del Programa de Ejercicio Profesional Supervisado (EPS).

3.2.2 Límites y colindancias

➤ Colindancias de la Finca Río Frío:

Al Norte: Comunidad La Isla
 Al Sur: Comunidad Río Frío
 Al Este: Finca Parrachoch
 Al Oeste: Finca Valparaíso, San Rafael y Hermano Pedro

➤ Colindancias de la finca Parrachoch:

Al Norte: Caserío Cobanero.
 Al Sur: Carmen Vásquez y Harol Jageenzon.
 Al Este: Estela Ramírez de Arriola.
 Al Oeste: Finca Río Frío.

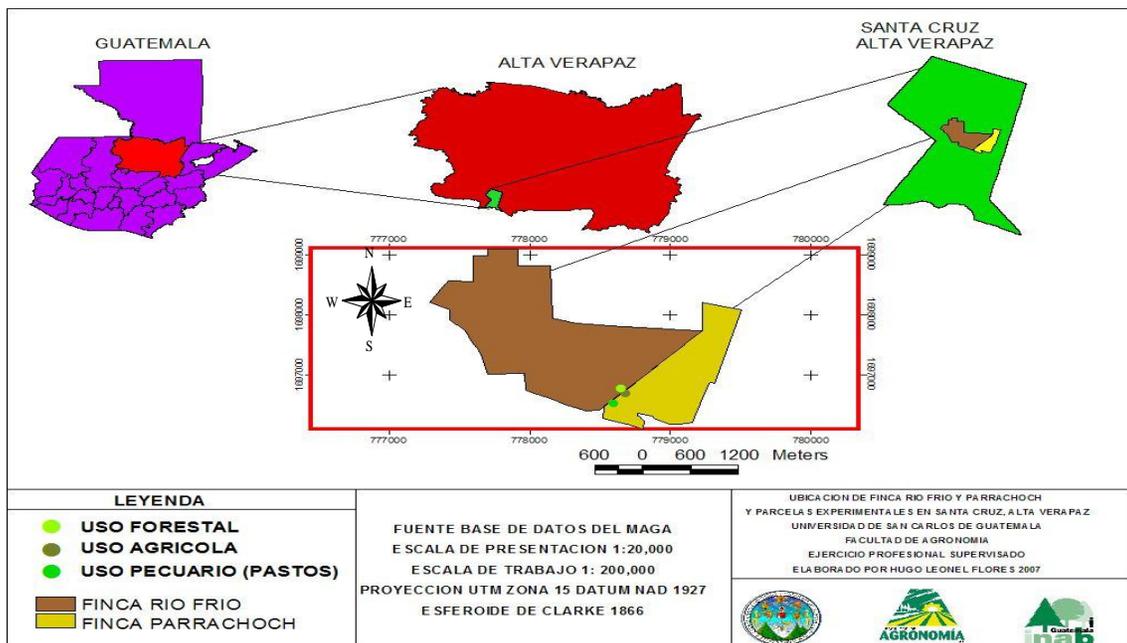


Figura 17 Mapa de ubicación de la estación hidrológica forestal río frío.

3.2.3 Vías de acceso

De la ciudad capital ruta al atlántico Norte CA-14 pasando por el Cruce del Cid Km. 190.5 y a un kilómetro se encuentra el casco de la finca Río Frío, sobre la ruta que conduce de Tactic hacia Cobán A.V. y la finca Parrachoch se encuentra a 5 km. de la Villa de Tactic, hacia la cabecera departamental de Alta Verapaz.

Entre estas dos fincas el acceso esta limitado únicamente por un cerco de madera que las divide.

3.2.4 Zona de Vida

De acuerdo al estudio realizado por De la Cruz (1981), 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.

3.2.5 Geología y Geomorfología

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

- a) “Carbonatos del Cretácico” (Ksd): que ocupa cerca del 62.07% (253.07 ha) de la extensión total de la finca.
- b) “Formación Todos Santos” (JKts): que ocupa el restante 37.93 % (154.63 ha) de la extensión de dicha finca.

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, de acuerdo al MAGA (2000).

3.2.6 Hipsometría, Fisiografía y Relieve

Según la clasificación de tierras del manual técnico del INAB la finca se encuentra ubicada dentro de la región fisiográfica denominada Tierras calizas Altas del norte. Su relieve es variado, pudiéndose encontrar depresiones de 1394 msnm y en las partes más altas 1841 msnm. Se registran pendientes con rangos de 12-36% hasta mayores de 55%. Predominando el rango de 26-36 % por lo que se puede definir en términos generales como un relieve quebrado.

3.2.7 Edafología

3.2.7.1 Génesis

Los suelos de esta finca según el Ministerio de Agricultura Ganadería y (2000), se han desarrollado sobre rocas calcáreas a elevaciones medianas, dando origen a suelos medianamente profundos y medianamente susceptibles a la erosión. En general suelos bien drenados, con pedregosidad limitante en algunos sitios.

3.2.7.2 Serie de suelos

Según el Ministerio de Agricultura Ganadería y Alimentación (2000), esta finca presenta dos series de suelos, la serie de suelos Carchá (Cr), y la serie de suelos Telemán (Te) que es la más representativa.

Cuadro 4 Área de las series de suelos encontradas en el área de estudio.

Serie	Símbolo	Área
		%
Carchá	Cr	33.39
Telemàn	Te	66.61

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

Según Simmons (1959), estas dos series de suelos permiten comprender que los suelos de la finca poseen un drenaje de rápido a moderado, con 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

Además, son importantes otras características que influyen 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.

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 el combate de erosión y peligro de heladas.

3.2.7.3 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.

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

3.2.8 Recurso hídrico

Como menciona Tax (2004), El cauce principal del río Río Frío constituye una corriente permanente, la cual recibe el aporte de algunos manantiales a lo largo de su trayectoria. Sin embargo, el afluente que más agua le aporta es el que emerge en una cueva en la parte baja de la microcuenca delimitada dentro de la finca, llegando a fusionarse con la corriente principal unos diez metros arriba del punto de aforo. El resto de corrientes son de carácter efímero. El caudal del río es de 83.52 l/s, lo que equivale a 0.08352 m³/s.

3.2.9 Clima

De acuerdo al Ministerio de Agricultura Ganadería y Alimentación (2000), 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.

3.2.10. Uso actual de la tierra

a) Finca Río Frío

Cuadro 5 Uso actual de la tierra en la finca Río Frío.

Uso	Área en Ha	%
Forestal	310.21	62.83
Matorrales	86.65	17.55
Protección	86.02	17.42
Frutales	10.23	2.08
Infraestructura	0.61	0.12
Total	493.72	100

Fuente: Universidad Rafael Landívar Plan de ordenamiento 2006.

Como se observa en el cuadro 4, 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 (54.99%) del área total de la finca.

b) 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 6 Uso de la tierra en la finca Parrachoch.

Uso Actual	Area Has.	%
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. Plan de manejo 2004.

3.2.11 Resultados obtenidos en investigaciones anteriores

Los resultados obtenidos en la investigación Evaluación preliminar del efecto de cuatro porcentajes de cobertura de una plantación de *Pinus maximinoi* h. e. moore, sobre la erosión hídrica del suelo en la finca Río Frío (2006), realizada por González M. E. fueron los siguientes:

- En los tratamientos con mayor porcentaje de cobertura (100, 75, 67 %) se registraron los valores mas bajos de escorrentía superficial (1.14mm, 1.15mm y 1.15mm) y perdida de suelo (0.033, 0.037 y 0.038 TM/ha), ocurriendo lo contrario en el tratamiento con 50% de cobertura donde los valores registrados fueron mayores (1.21% y 0.039 TM/ha), concluyéndose que las intervenciones silviculturales poco intensivas contribuyen a evitar la erosión hídrica del suelo, tomando en cuenta las condiciones propias de cada plantación.
- Estadísticamente no se encontraron diferencias significativas entre los tratamientos en cuanto a los volúmenes de escorrentía superficial y cantidad de suelo erosionado provocados por la precipitación, por lo que se deduce que los cuatro tipos de cobertura (100, 75, 67 y 50%) ofrecen la misma protección al suelo contra la erosión hídrica, pero a pesar de esto, de la observación de los resultados se refleja una mayor eficiencia relativa de los tratamientos con

100 y 75% de cobertura en la reducción del escurrimiento y de las pérdidas de suelo.

- Si bien la información obtenida cubre solo un corto periodo de mediciones, se confirma que en terrenos de aptitud forestal con una misma condición edafoclimática y topográfica, la cubierta vegetal (árboles+sotobosque+hojarasca) representa la forma más eficiente de protección del suelo, favoreciendo a la acumulación de materia orgánica en el suelo y a la conservación de sus nutrientes, por lo que el manejo de los bosques debe incluir dentro de sus objetivos al mantenimiento de estas funciones.

Según Chamorro Batres, T (2,006), los resultados obtenidos en la investigación Evaluación del efecto de la precipitación interna sobre la escorrentía superficial y la erosión hídrica en cuatro diferentes densidades de cobertura forestal con manejo del sotobosque en una plantación de *Pinus maximinoi* h. e. Moore, fueron los siguientes:

- En los tratamientos de 75 y 67 % de cobertura forestal la cantidad de suelo erosionado fue de 0.52 y 0.47 TM/ha respectivamente, demostrando que estas coberturas son las que proveen mayor protección al suelo contra el arrastre de partículas, por lo que la menor pérdida absoluta de suelo puede encontrarse entre estos dos porcentajes de cobertura. Aunque la diferencia estadísticamente no fue significativa se hizo un análisis de correlación y regresión donde se produjo un modelo que al optimizarlo resultó que la menor pérdida de suelo ocurre en una densidad de cobertura del 76.6 %.
- El tratamiento de 50 por ciento ($218.1 \text{ m}^3 / \text{ha}$) es el que presentó mayor escorrentía pero es interesante observar que el tratamiento de 100 por ciento ($215.6 \text{ m}^3 / \text{ha}$) es el que le sigue, luego el de 75 por ciento ($180.7 \text{ m}^3 / \text{ha}$) y por último el de 67 por ciento ($177.8 \text{ m}^3 / \text{ha}$). Esto ocurre debido a dos factores muy importantes, la cobertura boscosa y la regeneración del sotobosque, además también para esta variable se realizó un análisis de correlación y regresión para el cual se obtuvo un modelo y al optimizar éste, podemos observar que la menor

escorrentía se produce en una cobertura del 67.44 por ciento y la mayor escorrentía se produce en una cobertura del 92.39 por ciento.

- Se determinó que dentro de las parcelas se capta una precipitación interna que va desde los 948.28 mm a 1111.78 mm de los 1508.45 mm de precipitación que cayeron durante los meses que duró la investigación, observándose que la menor precipitación interna ocurrió en el tratamiento de 100 por ciento aumentando ésta según disminuía la cobertura esto debido al porcentaje de intercepción de copas, el cual aumenta conforme aumenta la cobertura.
- La recarga anual fue de 1066.67 mm / año para cada tratamiento.
- Con respecto a la pérdida de Materia Orgánica y los elementos no existe ninguna diferencia significativa entre estos, es decir que se pierde la misma cantidad en cualquiera de los tratamientos, encontrándose que los datos podrían estar sobreestimados debido a la cantidad de restos vegetales y de insectos en las muestras.

Según Carrera, R. (2,006), en la investigación Determinación del efecto de la precipitación pluvial sobre la escorrentía superficial y erosión Hídrica, en tres diferentes usos de suelo, los resultados fueron:

- Con respecto a la precipitación pluvial que se reportó durante el tiempo de la investigación, en el mes de julio se tuvo la máxima precipitación pluvial con 351 mm. Seguido, esta el mes de octubre con 261 mm, y los meses de agosto y septiembre presentaron una precipitación similar.
- En cuanto a la escorrentía superficial reportada durante la investigación, no se aprecia un daño significativo entre los tratamientos, sin embargo si se nota que en el total, el tratamiento que presenta un poco mas de daño es el de uso agrícola, reportando un total de 108 m³/Ha. Y para los otros dos usos forestal y pecuario es bastante similar el dato.
- Para los resultados que se obtuvieron de suelo erosionado, si se puede apreciar un daño significativo en el uso agrícola que fue de 3.47 Ton/Ha. A diferencia de los otros dos usos de suelo que presentaron bastante similitud entre sus resultados.

Cuadro 7 Resumen de resultados de escorrentía superficial.

EPS 2005-2007	BOSQUE				PASTO	CULTIVO
	100% m3/ha	75% m3/ha	67% m3/ha	50% m3/ha	Pasto m3/ha	Maíz m3/ha
González M.	153	153	153	161	--	--
Chamorro T.	216	181	178	218	--	--
Carrera R.	--	--	69	--	52	76
Flores H.	185	168	162	188	142	182

En el cuadro 7 se observa que la cantidad de escorrentía en los diferentes tratamientos ha venido siendo muy similar, esto debido a que las condiciones no han sido modificadas únicamente en la investigación de Chamorro, T., donde se le dio manejo al sotobosque de las parcelas, lo que dio lugar a que existiera mayor cantidad de escorrentía.

Cuadro 8 Resumen de resultados de sedimento erosionado.

EPS 2005-2007	BOSQUE				PASTO	CULTIVO
	100% tm/ha	75% tm/ha	67% tm/ha	50% tm/ha	Pasto tm/ha	Maíz tm/ha
González M.	0.033	0.037	0.038	0.039	--	--
Chamorro T.	0.91	0.52	0.47	0.78	--	--
Carrera R.	--	--	0.37	--	0.15	4.03
Flores H.	1.14	1.36	0.74	0.58	0.93	26

En el cuadro 8 se observan las cantidades de suelo erosionado que se mantienen en cantidades similares por la misma razón que a los tratamientos no se les aplicó ningún manejo ni a la cobertura forestal ni a la cobertura terrestre.

4. OBJETIVOS

4.1 Objetivo General

Dar seguimiento a las investigaciones anteriormente realizadas y así contribuir al conocimiento del vínculo hidrológico forestal a través de la determinación del impacto hidrológico derivado de tres usos del suelo y diferentes densidades de cobertura forestal.

4.2 Objetivos Específicos

- a) Comparar la escorrentía superficial en suelo con uso agrícola, pecuario y cuatro densidades de cobertura forestal.
- b) Estimar la erosión hídrica en cuatro densidades de cobertura forestal bajo manejo versus otros usos de suelo (agrícola y pecuario).
- c) Comparar el balance hídrico en tres diferentes usos de suelo; bosque, agrícola y pecuario.
- d) Determinar las características Físicas (densidad aparente, capacidad de campo, punto de marchitez permanente, porcentajes de arena, limo y arcilla, y clase textural) y Químicas (fosforo y potasio) del suelo erosionado y la escorrentía superficial al final de la investigación.

5. HIPOTESÍS

La escorrentía superficial y la erosión hídrica, serán iguales en las cuatro densidades de cobertura forestal en una plantación de *Pinus maximinoi* H. E. Moore y dos usos de suelo diferente (cultivo de maíz y pasto natural) en la finca Río Frío, Santa Cruz Verapaz, Alta Verapaz.

6. METODOLOGÍA

6.1 Área experimental

Dicha área tiene lugar en dos fincas del municipio de Santa Cruz, Alta Verapaz, las cuales se encuentran colindantes una con otra, permitiendo la similitud entre las condiciones de pendiente y de suelos, pero con variaciones en cuanto al uso actual que se le este dando al suelo (forestal, pastos y agrícola), estas fincas conforman la Estación Hidrológica Forestal Río Frío.

Para el uso forestal con cuatro densidades de cobertura forestal, el área experimental está ubicada en una plantación de *Pinus maximinoi h. e. moore*, que representa la mayor extensión dentro de la finca Río Frío (310.21 Ha), la cual, está establecida en las mismas condiciones de pendiente del terreno y de suelo, pero con variaciones en cuanto a su cubierta forestal especialmente la densidad de árboles por unidad de área.

El área de estudio, presenta pendiente homogénea entre 45 y 55% aproximadamente, a una diferencia altitudinal de 48.48 metros entre el primer y el último bloque, en función a la variación climática. Las parcelas tienen la misma exposición a la lluvia y a los vientos.

6.2 Selección de los tratamientos

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

- Uso forestal (con diferentes porcentajes de cobertura los cuales son 100%, 75%, 67% y 50%).
- Uso agrícola cultivo de maíz (*Zea mays L.*).
- Uso pecuario (pasto natural con pastoreo).

6.3 Diseño experimental

Se utilizó el diseño en Bloques al azar, debido a que las condiciones del área donde se estableció la investigación son homogéneas y se realizó un análisis Post Andeva con contrastes para determinar cuál de los usos de suelo y diferentes porcentajes de cobertura forestal produce mayor efecto en cuanto a escorrentía superficial y erosión hídrica. Se realizaron cuatro repeticiones para cada uno de los tratamientos, teniendo un total de 24 unidades experimentales con un área de 75 metros cuadrados por unidad experimental.

6.4 Modelo estadístico

El modelo asociado a este diseño experimental se muestra a continuación:

$$Y_{ij} = \mu + \tau_i + \beta_j + \varepsilon_{ij} \quad \left\{ \begin{array}{l} i = 1, 2, 3, \dots, t \\ j = 1, 2, 3, \dots, r \end{array} \right.$$

Siendo:

Y_{ij}	=	variable de respuesta observada o medida en el i-ésimo tratamiento y el j-ésimo bloque.
μ	=	media general de la variable de respuesta
τ_i	=	efecto del i-ésimo tratamiento
β_j	=	efecto del j-ésimo bloque
ε_{ij}	=	error asociado a la ij-ésima unidad experimental.

6.4.1 Supuestos

$$\varepsilon_{ij} \sim \text{NID}(0, \sigma^2)$$

No existe interacción entre bloque y tratamiento (*)

(*) Significa que un tratamiento no debe modificar su acción (o efecto) por estar en uno u otro bloque.

6.5 Variables de respuesta

Las variables de respuesta a medir son:

- Volumen de escurrimiento superficial total en milímetros por hectárea por año.
- Cantidad de suelo erosionado en toneladas métricas por hectárea.
- Propiedades químicas del suelo erosionado y de la escorrentía superficial (fósforo y potasio).

6.6. Unidad experimental

El tamaño de las parcelas es de 7.5 mts x 10.0 mts. Teniendo así un área de 75 metros cuadrados por parcela, dichas parcelas fueron instaladas en la fase I.

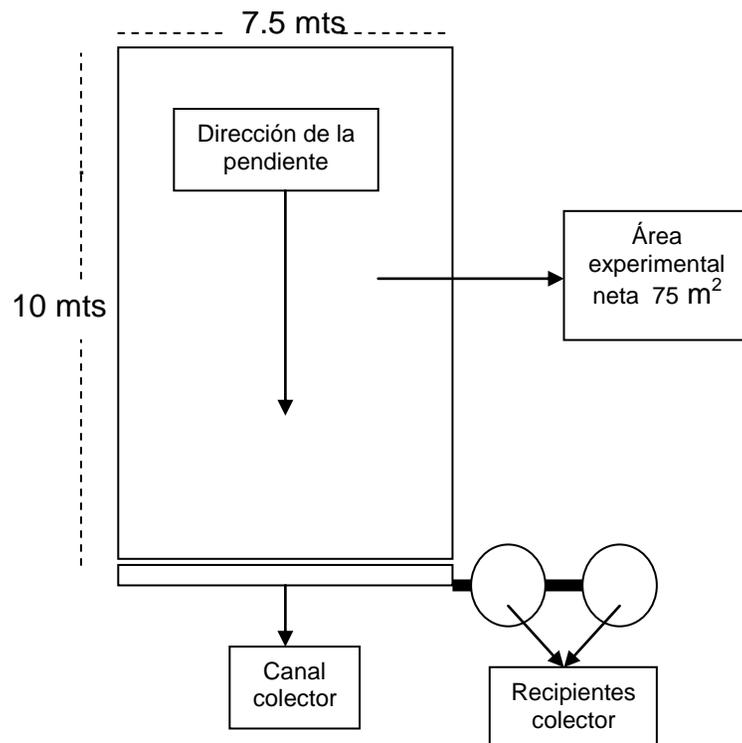


Figura 18 Unidad experimental

6.6.1 Porcentaje de pendiente de las parcelas

En el cuadro 9 se observa la distribución de pendientes en los tratamientos de uso forestal.

Cuadro 9 Porcentaje de pendientes en parcelas de uso Forestal.



50%	55%	45%	47%
49%	50%	48%	45%
52%	50%	46%	47%
55%	52%	45%	48%

Fuente: Proyecto de CEFE 2007

En el cuadro 10 se observa la distribución de pendientes en el tratamiento de uso de suelo con pastos.

Cuadro 10 Porcentaje de pendientes en parcelas de pastos.



48%	40%
45%	45%

Fuente: Proyecto de CEFE 2007

En el cuadro 11 se observa la distribución de pendientes en el tratamiento de uso de suelo con cultivos (maíz).

Cuadro 11 Porcentaje de pendientes en parcelas de maíz.

41%	40%
46%	40%

Fuente: Proyecto de CEFE 2007

6.7 Medición de variables

6.7.1 Escurrimiento superficial

La medición de la esorrentía se realizó seguido de cada evento de lluvia que ocurrió en el área, tomando en cuenta el agua que llegó hasta los recipientes colectores en las unidades experimentales. La medición se efectuó con una cinta métrica, la cual permitió obtener la profundidad en el recipiente de agua escurrida para luego determinar el volumen en mm/ha/año.

6.7.2 Cantidad de suelo erosionado

La medición de la cantidad de suelo erosionado se determinó por medio de los conos especiales Hinjoff que consiste en tomar una muestra de agua con sedimentos de 600 ml del bote recolector, cuidando que el suelo no sedimente.

Estas botellas con las muestras de agua fueron llevadas a sedimentar en los conos especiales Hinjoff para este procedimiento, y así calcular cuanto suelo contenían dichas muestras.

6.8 Análisis efectuado a las muestras recolectadas

Las características químicas que se determinaron en las muestras de suelo fueron:

- Contenido de fósforo.
- Contenido de potasio.

6.9. Medición de la precipitación interna

Se midió por medio de 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 realizó una media para establecer la cantidad de lluvia recogida durante el periodo de duración de la investigación dentro de las unidades experimentales.

7. RESULTADOS

7.1 Muestreo de suelo al inicio de la investigación

Este muestreo se realizó a las muestras obtenidas durante el periodo de la investigación febrero a noviembre del año 2007, determinando algunas características químicas y físicas de los mismos. En los cuadros 11 y 12 se presentan los resultados de los análisis realizados.

Cuadro 12 Análisis químico de suelo por tratamiento.

TRATAMIENTO	pH	Ppm		Meq/100gr		Ppm				M.O. %
		P	K	Ca	Mg	Cu	Zn	Fe	Mn	
		12- 16	120- 150	6-8	1.5- 2.5	2-4	4-6	10- 15	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, FAUSAC (2007).

En el Cuadro 12, se observa 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 y mostrado en el Cuadro 12, se puede observar que los suelos del área de estudio tienen una clase textural franco arenoso y arcilloso. 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 13 Análisis físico de suelo por tratamiento.

TRATAMIENTO	Densidad aparente g/cc	%		%			CLASE TEXTURAL
		C.C	P.M.P	Arcilla	Limo	Arena	
BOSQUE 100%	0.8163	49.44	38.84	49.81	24.44	25.74	ARCILLOSO
BOSQUE 75%	0.8333	47.77	35.62	26.71	20.62	52.67	FRANCO ARCILLO ARENOSO
BOSQUE 67%	0.7273	60.85	45.34	5.71	20.62	73.67	FRANCO ARENOSO
BOSQUE 50%	0.7143	67.63	50.51	7.81	29.02	63.17	FRANCO ARENOSO
PASTO	0.7843	71.89	55.39	14.11	20.24	65.64	FRANCO ARENOSO
CULTIVO	0.9302	45.22	35.50	49.81	20.24	29.94	ARCILLOSO

Fuente: Laboratorio de Suelos, FAUSAC (2007).

7.2 Escurrimiento superficial

7.2.1 Precipitación pluvial

Los datos de precipitación fueron tomados de las estaciones climáticas instaladas en la Estación Hidrológica Forestal Río Frío y los datos se muestran en el Cuadro 14.

Cuadro 14 Precipitación pluvial (mm) en el área de estudio.

PRECIPITACION PLUVIAL (mm)	
MES	PRECIPITACION TOTAL (mm)
MARZO	131.60
ABRIL	45.10
MAYO	73.00
JUNIO	185.60
JULIO	176.40
AGOSTO	441.40
SEPTIEMBRE	329.20
OCTUBRE	412.60
Total	1794.90
Promedio	224.36

Fuente: Proyecto CEFE, año 2007.

En el cuadro 14, se observa la precipitación pluvial durante el período de marzo a octubre de 2007.

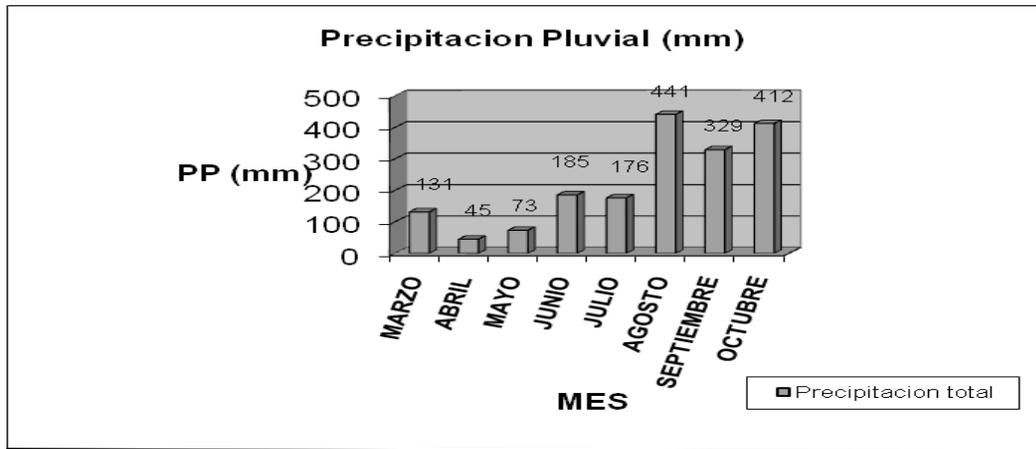


Gráfico 1 Precipitación Total (mm).

Como se puede observar en el gráfico 1, las máximas precipitaciones en el periodo de estudio ocurrieron durante los meses de agosto, septiembre y octubre con valores de

441.4, 329.2 y 412.6 mm. Para todos los tratamientos evaluados, la mínima precipitación ocurrió en el mes de abril con un valor de 45.10 mm.

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 15 y Gráfico 2, se muestran los valores de precipitación interna con relación a la precipitación observada o reportada en los pluviómetros.

Cuadro 15 Precipitación interna en las parcelas de bosque.

PRECIPITACION TOTAL VRS PRECIPITACION INTERNA		
MES	PRECIPITACION TOTAL (mm)	PRECIPITACION INTERNA (mm)
MARZO	131.60	97.95
ABRIL	45.10	16.20
MAYO	73.00	44.32
JUNIO	185.60	57.74
JULIO	176.40	25.68
AGOSTO	441.40	256.51
SEPTIEMBRE	329.20	251.76
OCTUBRE	412.60	308.71
Total	1794.90	1058.87
Promedio	224.36	132.36

Fuente: Proyecto CEFÉ, año 2007.

Según los resultados presentados en el cuadro 15, se puede observar que durante la investigación se obtuvo un 41% de intercepción por las copas de los árboles llegando solamente un 59% de la precipitación total al suelo.

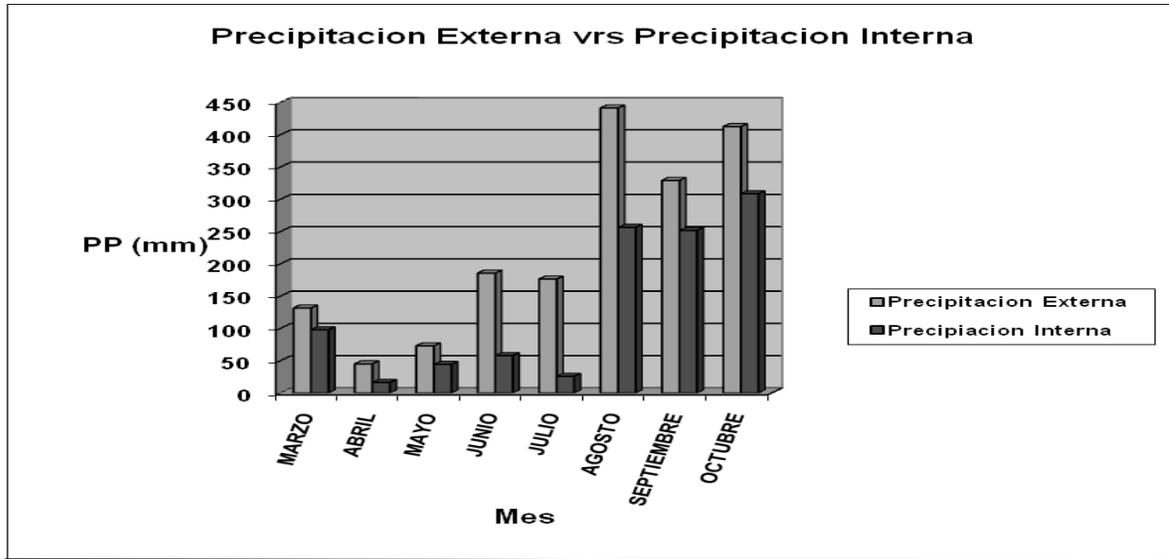


Gráfico 2 Precipitación interna y externa (Marzo-Octubre 2007).

En el Gráfico 2, se observa 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 provocado por la lluvia.

7.3 Escorrentía superficial

En el Gráfico 3, se presenta la cantidad de escorrentía superficial, expresado en m^3/ha en cada uno de los tratamientos evaluados.

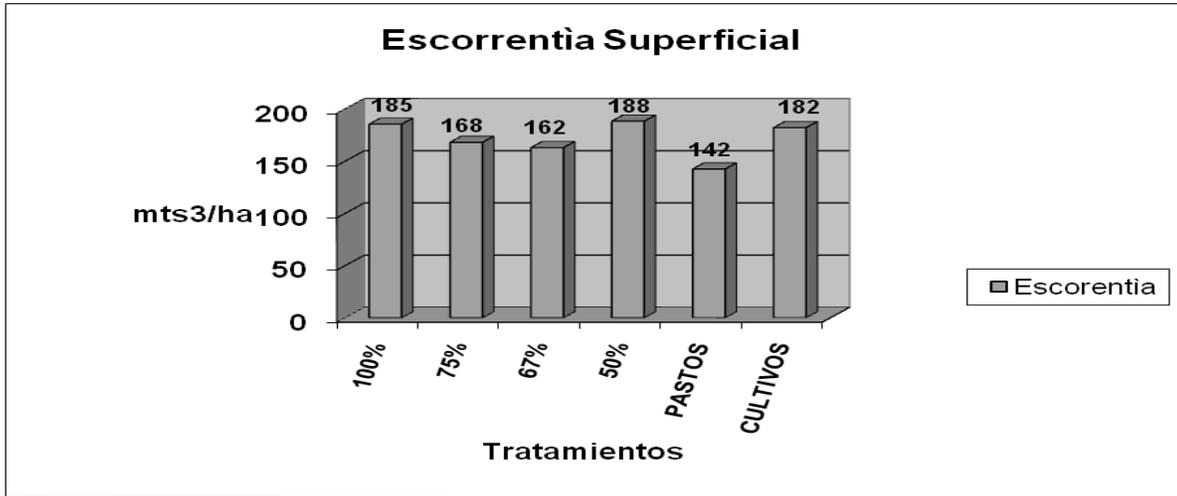


Gráfico 3 Volumen de Escorrentía Superficial.

Los resultados del Gráfico 3, muestran que el tratamiento con menor volumen de agua de escorrentía superficial son los suelos con pasto, con un promedio de 142.51 m^3 y con mayor escorrentía de agua los suelos con cobertura de bosque del 50 y 100% y cultivos, con un promedio de 185 m^3 . Como se muestra los suelos con cobertura de pastos reducen la escorrentía y favorecen la infiltración del agua al subsuelo esto debido al distanciamiento en que se encontraba el pasto y sirve de colchón a las gotas de lluvia entonces la precipitación tiene mayores posibilidades de infiltración en el suelo y evita que aumente la escorrentía.

7.3.1 Análisis de varianza de la escorrentía

Cuadro 16 Escorrentía superficial en metros cúbicos por hectárea.

TRATAMIENTO	REPETICIONES				TOTAL	MEDIA
	I	II	III	IV		
100%	260,66	142,66	172,00	166,28	741,60	185,40
75%	161,79	195,55	177,61	137,18	672,13	168,03
67%	165,96	160,57	158,55	166,89	651,97	162,99
50%	215,76	145,39	218,03	174,14	753,32	188,33
PASTOS	154,42	139,32	125,36	150,94	570,05	142,51
CULTIVOS	171,81	198,06	179,93	178,53	728,33	182,08

En el Cuadro 17, se presentan el análisis de varianza de escorrentía recolectada en cada una de las parcelas evaluadas expresado en m³.

Cuadro 17 Análisis de varianza.

FV	GL	SC	CM	F cal	F tab
Bloques	3	2,591.324	863.77	1.52	2.90
Tratamientos	5	6,052.417	1210.48		
Error	15	11,906.078	793.738		
Total	23	20,549.819			

C.V. = 16.42%

Según el análisis de varianza de escorrentía (Cuadro 17), indica que no existe una diferencia significativa entre los tres tratamientos de uso de suelo y cuatro porcentajes de cobertura forestal. Es decir; que ninguno de los tratamientos es diferente a los otros. El ensayo tuvo un coeficiente de variación de 16.42% lo que significa que el experimento fue bien realizado ya que esta por debajo del 20% permitido aunque el tratamiento con menor escorrentía fue donde el uso de suelo es dedicado a pasto, con un promedio de 142.51 m³ de escorrentía.

7.4 Suelo erosionado

Los resultados de suelo erosionado son presentados en TM/ha. 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 TM/ha.

En el Gráfico 4, se presenta la cantidad de suelo erosionado, expresado en TM/ha en cada uno de los tratamientos evaluados.

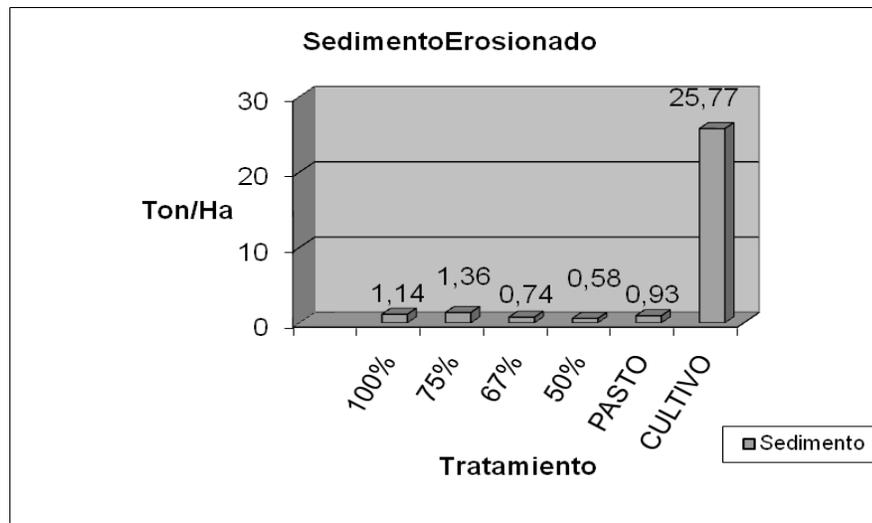


Gráfico 4 Volumen de suelo erosionado (TM/ha) por tratamiento.

Cuadro 18 Densidades de cobertura forestal y Cobertura Terrestre.


P 1 T 100% CT 70%	P 2 T 50% CT 80%	P 3 T 67% CT 70%	P 4 T 75% CT 70%
P 5 T 50% CT 80%	P 6 T 67% CT 60%	P 7 T 75% CT 50%	P 8 T 100% CT 60%
P 9 T 100% CT 40%	P 10 T 50% CT 70%	P 11 T 67% CT 60%	P 12 T 75% CT 60%
P 13 T 75% CT 50%	P 14 T 100% CT 60%	P 15 T 50% CT 90	P 16 T 67% CT 60%

Los resultados del Gráfico 4, muestran que el tratamiento con menor volumen de suelo erosionado, fue el uso de suelo de bosque al 50%, con 0.58 TM/ha, seguido por el de bosque al 67% con 0.74 TM/ha, por el contrario cuando se utilizó un cultivo como cobertura, la erosión fue mayor con 25.77 TM/ha. Esto 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 en el 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, esto también debido a que presenta una clase textural arcillosa lo que favorece la escorrentía superficial ya que evita la infiltración del agua en el suelo. En los tratamientos de bosque y pasto se puede observar que brindan una similar protección, disminuyendo la erosión hídrica.

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 19 y 20).

Cuadro 19 Sedimento en Toneladas por Hectárea por tratamiento.

TRATAMIENTOS	REPETICIONES				TOTAL	MEDIA
	I	II	III	IV		
100%	0,89061165	0,89275773	1,94611311	0,81225391	4,54173639	1,14
75%	0,93225346	2,02830906	1,1684552	1,3247964	5,45381413	1,36
67%	0,61435182	1,21528692	0,34696846	0,78576923	2,96237643	0,74
50%	0,39357005	0,50844153	0,55244791	0,86899124	2,32345072	0,58
PASTO	0,81401418	0,59478204	0,79466535	1,52159102	3,72505259	0,93
CULTIVO	23,9189321	29,7773011	24,4402062	24,938843	103,075282	25,77
Total	27,5637333	35,0168783	29,2488562	30,2522448	122,081713	

Cuadro 20 Análisis de varianza para la erosión hídrica.

FV	GL	SC	CM	F calculada	F tabla
Bloques	3	5.108	1.702	317.74	2.90 *
Tratamientos	5	2,054.736	410.947		
Error	15	19.40	1.293		
Total	23	2,079.245			

C.V. = 22.36%

Según el análisis de varianza mostrado en el Cuadro 20, existe diferencia significativa en los tratamientos evaluados, es decir; que por lo menos existe un tratamiento diferente a los demás y que se determinará con una prueba de medias.

Cuadro 21 Prueba de Tukey.

Tratamiento	Media	Grupo Tukey
Cultivos	25.7688	A
75% de Bosque	1.3635	B
100% de Bosque	1.1354	B
Pastos	0.9313	B
67% de Bosque	0.7406	B
50% de Bosque	0.5809	B

Como se puede observar en el cuadro 21 en la prueba de medias, el tratamiento que presenta diferencia significativa estadísticamente es el de cultivo(maíz), para determinar de mejor manera y poder evaluar todos los tratamientos se realizó una prueba de medias por medio de contrastes ortogonales.

Cuadro 22 Coeficientes de los Contrastes.

Contrastes	Tratamientos						$\sum_{i=1}^t C_i$
	100%	75%	67%	50%	P	C	
C₁ C = 100+75+67+50+P	1	1	1	1	1	-5	0
C₂ P = 100+75+67+50	1	1	1	1	-4	0	0
C₃ 50=100+75+ 67	1	1	1	-3	0	0	0
C₄ 67=100+75	1	1	-2	0	0	0	0
C₅ 75 =100 C	1	-1	0	0	0	0	0

Se plantearon las subhipótesis. Para determinar la ortogonalidad

$$H_0: 1 + 1 + 1 + 1 + 1 - 5 = 0$$

$$H_0: 1 + 1 + 1 + 1 - 4 = 0$$

$$H_0: 1 + 1 + 1 - 3 = 0$$

$$H_0: 1+1 -2 = 0$$

$$H_0: 1 - 1 = 0$$

Cuadro 23 Valor numérico de los contrastes.

Contrastes	DF	Contrastes SS	Contrastes SC	Valor de F	Pr>F
Cultivos vs. 100%,75%,67%,50% y Pastos	1	82.88626311	82.88626311	64.09	0.0001 *
Pastos vs. 100%,75%,67% y 50%	1	1970.30854268	1970.30854268	1523.40	0.0001 *
50% vs. 100%,75% y 67%	1	0.88940775	0.88940775	0.69	0.4200
67% vs. 100% y 75%	1	0.03685069	0.03685069	0.03	0.8682
75% vs. 100%	1	0.61509891	0.61509891	0.48	0.5010

- En el grupo uno donde se evalúa el tratamiento de cultivos contra los 5 tratamientos faltantes donde da como resultado que si existe diferencia entre los tratamientos ya que es el de cultivos el que presenta la mayor cantidad de suelo erosionado.
- En el grupo dos entre pastos y las cuatro coberturas de bosque si existe diferencia estadísticamente significativa ya hay dos coberturas con mayor cantidad de sedimento y dos con menor cantidad de sedimento lo que se describe con mayor detalle en las conclusiones de este documento.
- En los siguientes grupos donde se evaluó si existía diferencia significativa estadísticamente sobre la cantidad de sedimento entre las diferentes coberturas de bosque el resultado obtenido fue que no existe entre estos tratamientos diferencia significativa aunque los resultados son variados esto debido al porcentaje de cobertura boscosa y cobertura terrestre que influye en el total de suelo arrastrado por la escorrentía.

7.5 Pérdida de Fósforo y Potasio

El análisis químico que se le realizó a las muestras de suelo erosionado fue por medio de la metodología de Doble ácido o Mehlich 1, y la determinación de Fosforo y Potasio fue por medio de calorimetría y absorción atómica o espectrometría, la cantidad de fosforo y potasio que se perdió se muestra en el cuadro 23.

Cuadro 24 Análisis químico de suelo por tratamiento.

TRATAMIENTO	Ppm	
	P	K
BOSQUE 50%	0.1	230
BOSQUE 67%	0.1	205
BOSQUE 75%	0.1	210
BOSQUE 100%	0.1	185
PASTOS	0.1	180
CULTIVOS	0.1	195

Fuente: Laboratorio de suelos FAUSAC 2007.

Como se observa en el cuadro 24, las cantidades de fosforo existentes son mínimas, todo lo contrario con las cantidades de potasio que comparadas con el análisis que se realizó al inicio de la investigación, son mayores, esto debido a que el análisis se le realizó al suelo erosionado por ser lo más superficial es la que tiene mayor cantidad de nutrientes lo contrario con el análisis del inicio de la investigación que se realizó a una muestra de suelo extraída a mayor profundidad lo que ocasionó que diera como resultado menor cantidad de potasio.

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 25.

Cuadro 25 Infiltración básica registrada en los suelos del área de estudio.

Tratamiento	Infiltración Básica (cm / hora)	Infiltración Básica (mm / día)
Bosque 50 %	1.30	312
Bosque 67 %	1.00	240
Bosque 75 %	0.95	228
Bosque 100 %	2.90	696
Pastos	1.30	312
Cultivos	1.25	300

7.7 Evapotranspiración

Se estimó la evapotranspiración con los valores de temperatura diaria; estos valores de evapotranspiración se pueden observar en el Cuadro 26.

Cuadro 26 Estimación de la evapotranspiración por el método de Hargreaves.

Mes	Temp. °C	RS (mm/día)	RMM	Duración del día (h)	S (%)	Radiación Solar Mensual	ETP
Enero	36,03	12,290	380,990	11,30	6,862	196,069	142,425
Febrero	39,56	13,510	378,280	11,60	6,952	197,241	152,677
Marzo	38,94	14,830	459,730	12,00	7,071	243,809	186,682
Abril	41,35	15,770	473,100	12,50	7,217	256,073	204,404
Mayo	42,03	16,020	496,620	12,80	7,303	272,010	219,622
Junio	44,55	16,000	480,000	13,00	7,360	264,953	222,938
Julio	42,91	16,020	496,620	12,90	7,331	273,070	223,723
Agosto	28,01	15,930	493,830	12,60	7,246	268,360	165,883
Septiembre	38,30	15,330	459,900	12,20	7,130	245,923	186,176
Octubre	38,60	14,070	436,170	11,80	7,012	229,378	174,580
Noviembre	36,60	12,660	379,800	11,40	6,892	196,319	144,118
Diciembre	34,50	11,910	369,210	11,20	6,831	189,164	133,502
				145.30			2156,729

7.8 Balance hídrico

El balance hídrico de suelos se aplicó para cada uno de los tratamientos estudiados.

Los resultados de volúmenes de recarga hídrica de suelo determinados en cada tratamiento se resume en el Cuadro 27.

Cuadro 27 Resumen de la recarga potencial por tratamiento.

Tratamiento	Recarga potencial (mm / año)
Bosque 50 %	689.70
Bosque 67 %	644.15
Bosque 75 %	629.70
Bosque 100 %	690.05
Pastos	824.52
Cultivos	845.32

Como se puede observar en el cuadro 27, la recarga potencial de los tratamientos es bastante similar, esto es debido a la homogeneidad de las condiciones en que se encuentran los tratamientos. Los tratamientos de bosque presentan 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.

Para obtener la recarga hídrica en bosques, se utilizó un porcentaje de retención del 20%, esto debido a que el bosque se encontrara en condiciones naturales, es decir sin alteraciones del hombre. Ya que no se aplico ningún tipo de limpia y este cuenta con cobertura de sotobosque dentro del mismo.

En el tratamiento de cultivo, podemos observar que es donde presenta una mayor recarga hídrica al suelo 845.32 mm, esto es debido a la labranza que se dio en 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.

En el cuadro 28, 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 28 Resumen del balance hídrico por el método Schosinsky.

Bosque 100%				
Entrada		Salida		%
Variable	mm	Variable	Mm	
Precipitación pluvial	2,196.96	Evapotranspiración real	1,146.49	52.18
		Escorrentía superficial	0.00	0.00
		Retención vegetal	329.54	15.00
		Recarga potencial	690.05	31.40
Total	2,196.96	Total	2,166.08	98.58
Bosque 75%				
Entrada		Salida		%
Variable	mm	Variable	Mm	
Precipitación pluvial	2,196.96	Evapotranspiración real	1147.45	52.23
		Escorrentía superficial	0	0.00
		Retención vegetal	329.54	15.00
		Recarga potencial	629.70	28.66
Total	2,196.96	Total	2,106.69	95.89
Bosque 67%				
Entrada		Salida		%
Variable	mm	Variable	Mm	
Precipitación pluvial	2,196.96	Evapotranspiración real	1,161.76	52.97
		Escorrentía superficial	0	0.00
		Retención vegetal	329.54	15.00
		Recarga potencial	604.15	27.49
Total	2,196.96	Total	2,095.45	95.37
Bosque 50%				
Entrada		Salida		%
Variable	mm	Variable	Mm	
Precipitación pluvial	2,196.96	Evapotranspiración real	1,180.31	53.72
		Escorrentía superficial	0.00	0.00
		Retención vegetal	329.54	15.00
		Recarga potencial	684.70	31.16
Total	2,196.96	Total	2,194.55	99.89
Pastos				
Entrada		Salida		%
Variable	mm	Variable	Mm	
Precipitación pluvial	2,196.96	Evapotranspiración real	1,105.25	50.31
		Escorrentía superficial	0	0.00
		Retención vegetal	263.63	12.00
		Recarga potencial	824.52	37.53
Total	2,196.96	Total	2,193.4	99.83
Cultivo				
Entrada		Salida		%
Variable	mm	Variable	Mm	
Precipitación pluvial	2,196.96	Evapotranspiración real	1,087.49	49.50
		Escorrentía superficial	0	0.00
		Retención vegetal	263.63	12.00
		Recarga potencial	845.32	38.47
Total	2,196.96	Total	2196.44	99.98

En el cuadro 28 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 seis tratamientos.

Como se puede observar, la recarga potencial de los tratamientos es bastante similar, esto, 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.

8. CONCLUSIONES

- Aunque estadísticamente no existe diferencia significativa entre los usos de suelo en cuanto a Escorrentía Superficial, el tratamiento que dio una mayor protección al suelo en cuanto a escorrentía fue el de Pastos (142.51 m³/ha).
- En cuanto al análisis estadístico sobre la erosión hídrica si existió diferencia significativa, siendo el uso de suelo con cultivos (maíz) el que presentó la mayor cantidad de sedimento (25.77 TM/ha).
- Sabiendo que el tratamiento de cultivo tenía diferencia estadísticamente significativa, se analizó por medio de contrastes ortogonales el tratamiento de pastos contra las cuatro densidades de cobertura forestal dando como resultado que sí existe diferencia significativa entre estos; ya que, hay dos porcentajes de cobertura que dieron mayor cantidad de sedimento siendo estas la de 75% y 100% de cobertura forestal y dos que dieron menor cantidad de sedimento, siendo éstas 67% y 50%. La razón por la cual es en las densidades de cobertura forestal más baja es donde existe mayor protección y menor sedimento es por que hay menor densidad, por lo que a mayor cantidad de cobertura terrestre o sotobosque entonces ingresa mayor cantidad de gotas de agua que impactan, pero en lugar de impactar directamente con el suelo lo hacen con el sotobosque y se reduce la erosión. Lo contrario ocurre con las densidades de 100% y 75% que hay mayor densidad de bosque pero menor cantidad de cobertura terrestre o sotobosque, entonces logra ingresar menor cantidad de gotas al momento de un evento de lluvia pero por la falta de sotobosque estas impactan directamente con el suelo provocando que exista mayor cantidad de erosión hídrica.

- La recarga anual se calcula en 689.70 mm / año para el tratamiento de bosque al 50 %; 644.15 mm / año para el tratamiento de bosque al 67 %; 629.70 mm / año para el tratamiento de bosque al 75 %; 690.05 mm / año para el tratamiento de bosque al 100 %; 845.32 mm / año para cultivos y 824.52 mm / año para pastos. La recarga potencial de los tratamientos es bastante similar, esto debido a la homogeneidad de las condiciones en que se encuentran los tratamientos.
- Se determinó por medio del análisis físico, que la clase textural del suelo en Pastos es Franco Arenoso, en Cultivos Arcilloso, en Bosque el 100% es Arcilloso, al 75% es Franco Arcillo Arenoso, al 67% es Franco Arenoso y al 50% es Franco Arenoso, presentando una densidad aparente promedio de 0.80 g/cc.
- Por medio del análisis químico del suelo sedimentado, se determinó que las cantidades de Fósforo son casi nulas, lo contrario a las cantidades de Potasio que se encuentran elevadas, debido a que el análisis se realizó al suelo erosionado que es el que contiene la mayor cantidad de nutrientes por ser lo mas superficial lo que se erosiona con la escorrentía.
- En el análisis realizado con los resultados de las investigaciones anteriores, se tiene que la cantidad de escorrentía en los diferentes tramientos, ha venido siendo muy similar, debido a que las condiciones no han sido modificadas únicamente en la investigación de Chamorro, T., donde se le dio manejo al sotobosque de las parcelas, lo que dio lugar a que existiera mayor cantidad de escorrentía. En cuanto a suelo erosionado, también se mantienen en cantidades similares, por la misma razón que a los tratamientos no se les ha aplicado ningún manejo, ni a la cobertura forestal ni a la cobertura terrestre.

- Se rechaza la hipótesis ya que sí hubo diferencia estadísticamente significativa en los tratamientos en lo que se refiere a la erosión hídrica.

9. RECOMENDACIONES

- Realizar manejo forestal adecuado a las parcelas que se encuentran bajo estudio de diferentes porcentajes de cobertura forestal, esto para evitar el ataque de plagas, enfermedades y muerte de éstas, aplicando raleo.
- Es necesario que los canales colectores en las parcelas estén cubiertos, esto con el fin de que la precipitación que caiga en el mismo no vaya a dar a los recipientes colectores, alterando los resultados de cantidad de escorrentía superficial.
- Se recomienda no utilizar cultivos en estos terrenos porque tienen pendientes muy pronunciadas, que van de 12-36% hasta mayores de 55%, por lo que se puede definir como un relieve quebrado, ya que según la clasificación del manual técnico del INAB, la finca se encuentra ubicada dentro de la región fisiográfica denominada Tierras Calizas Altas del Norte.
- Se puede recomendar el uso forestal y pecuario con pasto, en terrenos con pendientes pronunciadas que van de 45-55%, esto con el fin de ocasionar el menor daño al suelo, porque este tipo de coberturas favorecen la infiltración en el suelo y reducen la escorrentía superficial y por ende la erosión hídrica.

10. BIBLIOGRAFIA

1. Carrera, R. 2006. Determinación 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. Tesis Ing. Agr. Guatemala, USAC. 35 p.
2. Chamorro Batres, TM. 2006. Evaluación del efecto de la precipitación interna sobre la escorrentía superficial y la erosión hídrica en cuatro diferentes densidades de cobertura forestal con manejo del sotobosque en una plantación de *Pinus maximinoi* H. E. Moore. en la finca Río Frío, Santa Cruz Verapaz. Tesis Inga. Agr. Guatemala, USAC. 46 p.
3. 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.
4. Colegio de Postgraduados, MX. 1991. Manual de conservación de suelo y agua. 3 ed. Chapingo, México. 606 p.
5. Cruz, JR De La. 1981. Clasificación de zonas de vida de Guatemala a nivel de reconocimiento. Guatemala, Instituto Nacional Forestal. 24. p
6. Custodio, E; Llamas, MR. 2001. Hidrología subterránea. 2 ed. Barcelona, España, Ediciones Omega. v. 1-2, 235 p.
7. Fassbender, HW. 1983. Suelos y sistemas de producción agroforestales. Turrialba, CR, CATIE. 151 p.
8. 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 Inga. Agr. Guatemala, USAC. 108 p.
9. 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.
10. INAB (Instituto Nacional de Bosques, GT). 2000. Manual para la clasificación de tierras por capacidad de uso. Guatemala. 96 p.
11. _____. 2005. Programa de Investigación de hidrología forestal.. 38 p.

12. Johnson, EE. 1995. El agua subterránea y los pozos. Minnesota, US, Johnson. 513 p.
13. 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.
14. Martínez, A. 1995. Hidrología forestal: el ciclo hidrológico. Valladolid, España, Universidad de Valladolid. 110 p. (Serie: Manuales y Textos Universitarios Ciencias no. 18).
15. Orozco, E; Padilla, T; Salguero, M. 2003. Manual técnico para la determinación de las áreas potenciales de recarga hídrica. Guatemala, INAB / FAUSAC. 33 p.
16. Sánchez, G.A. 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, Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Agronomía. 55 p.
17. Schosinsky, G; Losilla, M. 2000. Modelo analítico para determinar la infiltración con base en la lluvia mensual. Revista Geológica de América Central no. 23:44-54p.
18. Simmons, C; Táran, JM; Pinto, J.H. 1959. Clasificación a nivel de reconocimiento de los suelos de la república de Guatemala. Guatemala, Instituto Agropecuario Nacional. 1000 p.
19. Stadmüller, T. 1994. Impacto hidrológico del manejo forestal de bosques naturales tropicales medidas para mitigarlo. Costa Rica, CATIE. 62 p.
20. Tax, M. 2004. Diagnóstico de la microcuenca Río Frío, Santa Cruz Verapaz, Alta Verapaz. Diagnóstico EPSA. Guatemala, Instituto Nacional de Bosques. 124 p.
21. Universidad Rafael Landívar, GT. 2002. Plan de ordenación de la finca Río Frío, Alta Verapaz, Guatemala. Guatemala. 35 p.

Vo. Bo.: _____
Ing. Agr. Rolando Udine Aragón Barrios

11. ANEXOS

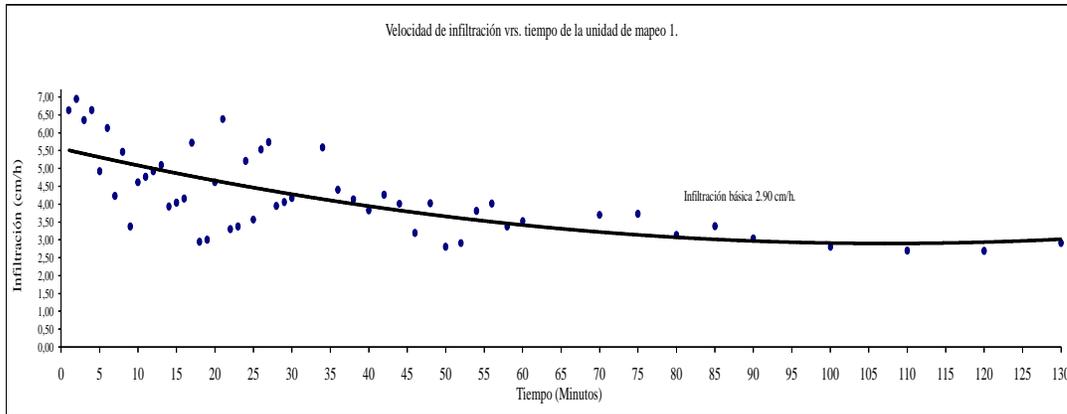
ANEXO A: Cálculo de la infiltración básica por tratamiento.

Unidad de mapeo bosque 100%
Prueba de infiltración 1

Radio = 5 cm.

Coordenadas UTM (m)		Altura	Fecha
Este	Norte	(msnm)	

Tiempo (min)	Descenso (cm)	Profundidad total (cm)	Altura (cm)	ln(h1+r)	ln(h2+r)	ln(2-t)	Velocidad de infiltración			Tiempo (min)	Descenso (cm)	Profundidad total (cm)	Altura (cm)	ln(h1+r/2)	ln(h2+r/2)	ln(2-t)	Velocidad de infiltración				Tiempo (min)	Infiltración (cm/h)
							cm/min	cm/h	m/día								cm/min	cm/h	mm/día	m/día		
0	0.00	90.0	90.0	-	-	-	0.00	0.00	0.00	46	35.00	90.0	55.0	20.47	20.26	4.00	0.05	3.19	766.07	0.77	1.00	6.63
1	4.00	90.0	86.0	22.64	22.42	2.00	0.11	6.63	1.59	48	38.00	90.0	52.0	20.26	19.99	4.00	0.07	4.02	964.52	0.96	2.00	6.94
2	8.00	90.0	82.0	22.42	22.18	2.00	0.12	6.94	1.67	50	40.00	90.0	50.0	19.99	19.80	4.00	0.05	2.80	672.98	0.67	3.00	6.35
3	11.50	90.0	78.5	22.18	21.97	2.00	0.11	6.35	1.52	52	42.00	90.0	48.0	19.80	19.61	4.00	0.05	2.91	699.12	0.70	4.00	6.63
4	15.00	90.0	75.0	21.97	21.75	2.00	0.11	6.63	1.59	54	44.50	90.0	45.5	19.61	19.36	4.00	0.06	3.81	913.90	0.91	5.00	4.92
5	17.50	90.0	72.5	21.75	21.59	2.00	0.08	4.92	1.18	56	47.00	90.0	43.0	19.36	19.09	4.00	0.07	4.01	962.80	0.96	6.00	6.12
6	20.50	90.0	69.5	21.59	21.38	2.00	0.10	6.12	1.47	58	49.00	90.0	41.0	19.09	18.86	4.00	0.06	3.37	809.12	0.81	7.00	4.23
7	22.50	90.0	67.5	21.38	21.24	2.00	0.07	4.23	1.01	60	51.00	90.0	39.0	18.86	18.63	4.00	0.06	3.53	847.22	0.85	8.00	5.46
8	25.00	90.0	65.0	21.24	21.06	2.00	0.09	5.46	1.31	65	15.00	90.0	75.0	18.63	21.75	10.00	0.00	0.00	0.00	0.00	9.00	3.37
9	26.50	90.0	63.5	21.06	20.95	2.00	0.06	3.37	0.81	70	24.00	90.0	66.0	21.75	21.13	10.00	0.06	3.70	888.80	0.89	10.00	4.62
10	28.50	90.0	61.5	20.95	20.79	2.00	0.08	4.62	1.11	75	32.00	90.0	58.0	21.13	20.51	10.00	0.06	3.73	894.17	0.89	11.00	4.76
11	30.50	90.0	59.5	20.79	20.64	2.00	0.08	4.76	1.14	80	38.00	90.0	52.0	20.51	19.99	10.00	0.05	3.13	751.99	0.75	12.00	4.92
12	32.50	90.0	57.5	20.64	20.47	2.00	0.08	4.92	1.18	85	43.80	90.0	46.2	19.99	19.43	10.00	0.06	3.38	810.16	0.81	13.00	5.09
13	34.50	90.0	55.5	20.47	20.30	2.00	0.08	5.09	1.22	90	49.00	90.0	41.5	19.43	18.92	10.00	0.05	3.04	730.72	0.73	14.00	3.93
14	36.00	90.0	54.0	20.30	20.17	2.00	0.07	3.93	0.94	100	22.50	90.0	34.0	18.92	17.99	20.00	0.05	2.80	672.76	0.67	15.00	4.04
15	37.50	90.0	52.5	20.17	20.04	2.00	0.07	4.04	0.97	110	36.00	90.0	28.0	17.99	17.09	20.00	0.04	2.69	646.51	0.65	16.00	4.15
16	39.00	90.0	51.0	20.04	19.90	2.00	0.07	4.15	1.00	120	45.20	90.0	23.0	17.09	16.19	20.00	0.04	2.69	644.57	0.64	17.00	5.71
17	41.00	90.0	49.0	19.90	19.71	2.00	0.10	5.71	1.37	130	53.00	90.0	18.5	16.19	15.22	20.00	0.05	2.91	698.96	0.70	18.00	2.94
18	42.00	90.0	48.0	19.71	19.61	2.00	0.05	2.94	0.71												19.00	3.00
19	43.00	90.0	47.0	19.61	19.51	2.00	0.05	3.00	0.72												20.00	4.62
20	44.50	90.0	45.5	19.51	19.36	2.00	0.08	4.62	1.11												21.00	6.38
21	46.50	90.0	43.5	19.36	19.14	2.00	0.11	6.38	1.53												22.00	3.30
22	47.50	90.0	42.5	19.14	19.03	2.00	0.05	3.30	0.79												23.00	3.37
23	48.50	90.0	41.5	19.03	18.92	2.00	0.06	3.37	0.81												24.00	5.20
24	50.00	90.0	40.0	18.92	18.75	2.00	0.09	5.20	1.25												25.00	3.57
25	51.00	90.0	39.0	18.75	18.63	2.00	0.06	3.57	0.86												26.00	5.52
26	52.50	90.0	37.5	18.63	18.44	2.00	0.09	5.52	1.33												27.00	5.73
27	54.00	90.0	36.0	18.44	18.25	2.00	0.10	5.73	1.38												28.00	3.95
28	55.00	90.0	35.0	18.25	18.12	2.00	0.07	3.95	0.95												29.00	4.05
29	56.00	90.0	34.0	18.12	17.99	2.00	0.07	4.05	0.97												30.00	4.17
30	57.00	90.0	33.0	17.99	17.85	2.00	0.07	4.17	1.00												32.00	
32	7.40	90.0	82.6	17.85	22.22	4.00	0.00	0.00	0.00												34.00	5.58
34	13.50	90.0	76.5	22.22	21.85	4.00	0.09	5.58	1.34												36.00	4.40
36	18.00	90.0	72.0	21.85	21.55	4.00	0.07	4.40	1.06												38.00	4.14
38	22.00	90.0	68.0	21.55	21.28	4.00	0.07	4.14	0.99												40.00	3.82
40	25.50	90.0	64.5	21.28	21.02	4.00	0.06	3.82	0.92												42.00	4.26
42	29.20	90.0	60.8	21.02	20.74	4.00	0.07	4.26	1.02												44.00	4.02
44	32.50	90.0	57.5	20.74	20.47	4.00	0.07	4.02	0.96												46.00	3.19



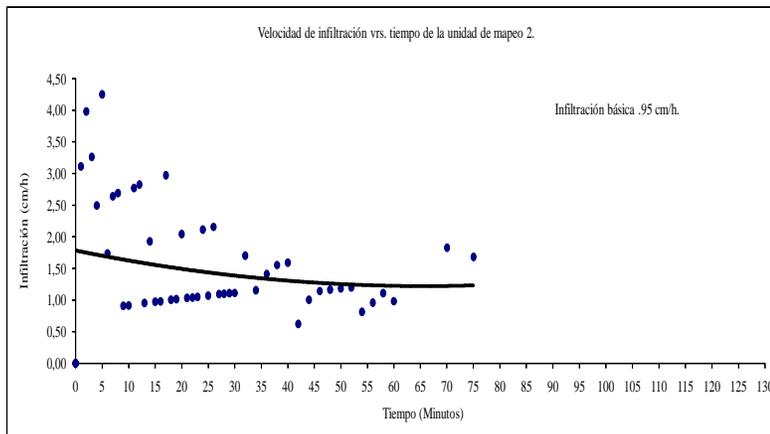
Unidad de mapeo Bosque 75%
Prueba de infiltración 1

Radio = 5 cm.

Coordenadas UTM (m)		Altitud (msnm)	Fecha
Este	Norte		

Tiempo (min)	Descenso (cm)	Profundidad total (cm)	Altura (cm)	r ln (h1 + r/2)	r ln (h2 + r/2)	2 (t2 - t1)	Velocidad de infiltración			Tiempo (min)	Descenso (cm)	Profundidad total (cm)	Altura (cm)	Velocidad de infiltración		
							cm/min	cm/h	m/día					cm/min	cm/h	m/día
0	0.00	95.0	95.0	-	-	-	0.00	0.00	0.00	56	43	95.0	52.0	0.02	0.96	0.23
1	2.00	95.0	93.0	22.90	22.80	2.00	0.05	3.11	0.75	58	43.8	95.0	51.2	0.02	1.11	0.27
2	4.50	95.0	90.5	22.80	22.66	2.00	0.07	3.98	0.95	60	44.5	95.0	50.5	0.02	0.98	0.24
3	6.50	95.0	88.5	22.66	22.55	2.00	0.05	3.26	0.78	65	7.7	95.0	87.3	0.00	0.00	0.00
4	8.00	95.0	87.0	22.55	22.47	2.00	0.04	2.49	0.60	70	13	95.0	82.0	0.03	1.83	0.44
5	10.50	95.0	84.5	22.47	22.33	2.00	0.07	4.25	1.02	75	17.6	95.0	77.4	0.03	1.68	0.40
6	11.50	95.0	83.5	22.33	22.27	2.00	0.03	1.73	0.42							
7	13.00	95.0	82.0	22.27	22.18	2.00	0.04	2.64	0.63							
8	14.50	95.0	80.5	22.18	22.09	2.00	0.04	2.69	0.64							
9	15.00	95.0	80.0	22.09	22.06	2.00	0.02	0.91	0.22							
10	15.50	95.0	79.5	22.06	22.03	2.00	0.02	0.91	0.22							
11	17.00	95.0	78.0	22.03	21.94	2.00	0.05	2.77	0.66							
12	18.50	95.0	76.5	21.94	21.85	2.00	0.05	2.82	0.68							
13	19.00	95.0	76.0	21.85	21.82	2.00	0.02	0.95	0.23							
14	20.00	95.0	75.0	21.82	21.75	2.00	0.03	1.92	0.46							
15	20.50	95.0	74.5	21.75	21.72	2.00	0.02	0.97	0.23							
16	21.00	95.0	74.0	21.72	21.69	2.00	0.02	0.98	0.23							
17	22.50	95.0	72.5	21.69	21.59	2.00	0.05	2.97	0.71							
18	23.00	95.0	72.0	21.59	21.55	2.00	0.02	1.00	0.24							
19	23.50	95.0	71.5	21.55	21.52	2.00	0.02	1.01	0.24							
20	24.50	95.0	70.5	21.52	21.45	2.00	0.03	2.04	0.49							
21	25.00	95.0	70.0	21.45	21.42	2.00	0.02	1.03	0.25							
22	25.50	95.0	69.5	21.42	21.38	2.00	0.02	1.04	0.25							
23	26.00	95.0	69.0	21.38	21.35	2.00	0.02	1.05	0.25							
24	27.00	95.0	68.0	21.35	21.28	2.00	0.04	2.11	0.51							
25	27.50	95.0	67.5	21.28	21.24	2.00	0.02	1.07	0.26							
26	28.50	95.0	66.5	21.24	21.17	2.00	0.04	2.16	0.52							
27	29.00	95.0	66.0	21.17	21.13	2.00	0.02	1.09	0.26							
28	29.50	95.0	65.5	21.13	21.10	2.00	0.02	1.10	0.26							
29	30.00	95.0	65.0	21.10	21.06	2.00	0.02	1.11	0.27							
30	30.50	95.0	64.5	21.06	21.02	2.00	0.02	1.12	0.27							
32	32.00	95.0	63.0	21.02	20.91	4.00	0.03	1.70	0.41							
34	33.00	95.0	62.0	20.91	20.83	4.00	0.02	1.15	0.28							
36	34.20	95.0	60.8	20.83	20.74	4.00	0.02	1.41	0.34							
38	35.50	95.0	59.5	20.74	20.64	4.00	0.03	1.56	0.37							
40	36.80	95.0	58.2	20.64	20.53	4.00	0.03	1.59	0.38							
42	37.30	95.0	57.7	20.53	20.49	4.00	0.01	0.62	0.15							
44	38.10	95.0	56.9	20.49	20.42	4.00	0.02	1.00	0.24							
46	39.00	95.0	56.0	20.42	20.35	4.00	0.02	1.15	0.27							
48	39.90	95.0	55.1	20.35	20.27	4.00	0.02	1.16	0.28							
50	40.80	95.0	54.2	20.27	20.19	4.00	0.02	1.18	0.28							
52	41.70	95.0	53.3	20.19	20.11	4.00	0.02	1.20	0.29							
54	42.30	95.0	52.7	20.11	20.05	4.00	0.01	0.81	0.19							

Tiempo	vel inf.
0	
1	3.11
2	3.98
3	3.26
4	2.49
5	4.25
6	1.73
7	2.64
8	2.69
9	0.91
10	0.91
11	2.77
12	2.82
13	0.95
14	1.92
15	0.97
16	0.98
17	2.97
18	1.00
19	1.01
20	2.04
21	1.03
22	1.04
23	1.05
24	2.11
25	1.07
26	2.16
27	1.09
28	1.10
29	1.11
30	1.12
32	1.70
34	1.15
36	1.41
38	1.56
40	1.59
42	0.62
44	1.00
46	1.15
48	1.16
50	1.18
52	1.20
54	0.81
56	0.96
58	1.11
60	0.98
65	
70	1.83
75	1.68
0	0.00
0	0.00
0	0.00
0	0.00
0	0.00
0	0.00
0	0.00



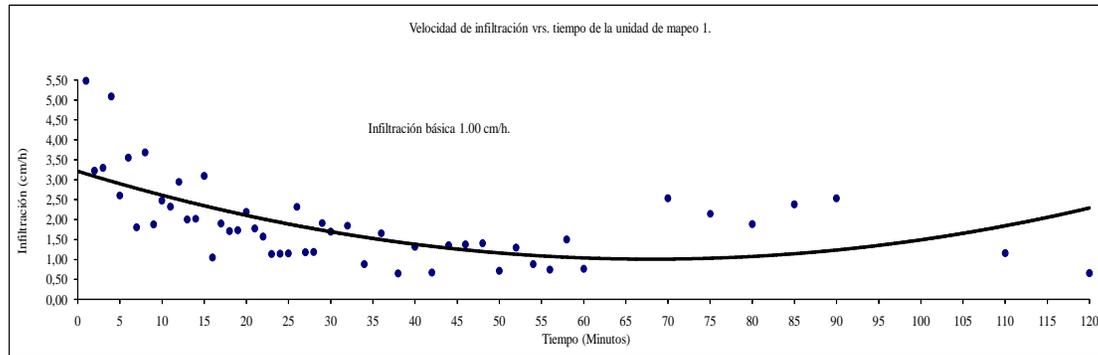
Unidad de mapeo Bosque 67%
Prueba de infiltración 1

Radio = 5 cm.

Coordenadas UTM (m)		Altura	Fecha
Este	Norte	(msnm)	

Tiempo (min)	Descenso (cm)	Profundidad total (cm)	Altura (cm)	Velocidad de infiltración		Tiempo (min)	Descenso (cm)	Profundidad total (cm)	Altura (cm)	ln (h1 + r/2)	ln (h2 + r/2)	2 (t2 - t1)	Velocidad de infiltración		
				cm/h	m/día								cm/min	cm/h	m/día
0	0	95.0	95.0	0.00	0.00	46	43.5	95.0	51.5	20.04	19.94	4.00	0.02	1.38	0.33
1	3.5	95.0	91.5	5.48	1.32	48	44.5	95.0	50.5	19.94	19.85	4.00	0.02	1.40	0.34
2	5.5	95.0	89.5	3.23	0.77	50	45	95.0	50.0	19.85	19.80	4.00	0.01	0.71	0.17
3	7.5	95.0	87.5	3.30	0.79	52	45.9	95.0	49.1	19.80	19.72	4.00	0.02	1.30	0.31
4	10.5	95.0	84.5	5.09	1.22	54	46.5	95.0	48.5	19.72	19.66	4.00	0.01	0.88	0.21
5	12	95.0	83.0	2.61	0.63	56	47	95.0	48.0	19.66	19.61	4.00	0.01	0.74	0.18
6	14	95.0	81.0	3.55	0.85	58	48	95.0	47.0	19.61	19.51	4.00	0.03	1.50	0.36
7	15	95.0	80.0	1.81	0.43	60	48.5	95.0	46.5	19.51	19.46	4.00	0.01	0.76	0.18
8	17	95.0	78.0	3.68	0.88	65	11	95.0	84.0	19.46	22.30	10.00	0.00	0.00	0.00
9	18	95.0	77.0	1.88	0.45	70	18	95.0	77.0	22.30	21.88	10.00	0.04	2.53	0.61
10	19.3	95.0	75.7	2.47	0.59	75	23.5	95.0	71.5	21.88	21.52	10.00	0.04	2.15	0.52
11	20.5	95.0	74.5	2.32	0.56	80	28	95.0	67.0	21.52	21.21	10.00	0.03	1.88	0.45
12	22	95.0	73.0	2.95	0.71	85	33.3	95.0	61.7	21.21	20.81	10.00	0.04	2.38	0.57
13	23	95.0	72.0	2.00	0.48	90	38.5	95.0	56.5	20.81	20.39	10.00	0.04	2.53	0.61
14	24	95.0	71.0	2.03	0.49	100	16.5	95.0	78.5	20.39	21.97	20.00	0.00	0.00	0.00
15	25.5	95.0	69.5	3.09	0.74	110	22.5	95.0	72.5	21.97	21.59	20.00	0.02	1.15	0.28
16	26	95.0	69.0	1.05	0.25	120	25.7	95.0	69.3	21.59	21.37	20.00	0.01	0.65	0.16
17	26.9	95.0	68.1	1.90	0.46										
18	27.7	95.0	67.3	1.71	0.41										
19	28.5	95.0	66.5	1.73	0.41										
20	29.5	95.0	65.5	2.19	0.53										
21	30.3	95.0	64.7	1.78	0.43										
22	31	95.0	64.0	1.57	0.38										
23	31.5	95.0	63.5	1.13	0.27										
24	32	95.0	63.0	1.14	0.27										
25	32.5	95.0	62.5	1.15	0.28										
26	33.5	95.0	61.5	2.33	0.56										
27	34	95.0	61.0	1.18	0.28										
28	34.5	95.0	60.5	1.19	0.28										
29	35.3	95.0	59.7	1.92	0.46										
30	36	95.0	59.0	1.70	0.41										
32	37.5	95.0	57.5	1.85	0.44										
34	38.2	95.0	56.8	0.88	0.21										
36	39.5	95.0	55.5	1.66	0.40										
38	40	95.0	55.0	0.65	0.16										
40	41	95.0	54.0	1.32	0.32										
42	41.5	95.0	53.5	0.67	0.16										
44	42.5	95.0	52.5	1.35	0.32										

Tiempo (min)	Infiltración (cm/h)
0.00	
1.00	5.48
2.00	3.23
3.00	3.30
4.00	5.09
5.00	2.61
6.00	3.55
7.00	1.81
8.00	3.68
9.00	1.88
10.00	2.47
11.00	2.32
12.00	2.95
13.00	2.00
14.00	2.03
15.00	3.09
16.00	1.05
17.00	1.90
18.00	1.71
19.00	1.73
20.00	2.19
21.00	1.78
22.00	1.57
23.00	1.13
24.00	1.14
25.00	1.15
26.00	2.33
27.00	1.18
28.00	1.19
29.00	1.92
30.00	1.70
32.00	1.85
34.00	0.88
36.00	1.66
38.00	0.65
40.00	1.32
42.00	0.67
44.00	1.35
46.00	1.38
48.00	1.40
50.00	0.71
52.00	1.30
54.00	0.88
56.00	0.74
58.00	1.50
60.00	0.76
65.00	
70.00	2.53
75.00	2.15
80.00	1.88
85.00	2.38
90.00	2.53
100.00	
110.00	1.15
120.00	0.65



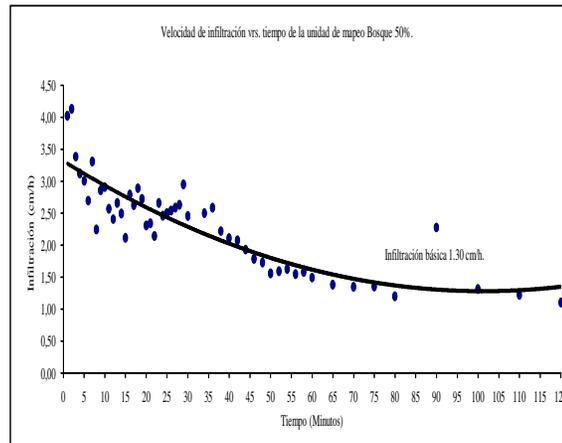
Unidad de mapeo Bosque 50%
Prueba de infiltración 1

Radio = 5 cm.

Coordenadas UTM (m)		Altitud (msnm)	Fecha
Este	Norte		

Tiempo (min)	Descenso (cm)	Profundidad total (cm)	Altura (cm)	$r \ln(h_1 + r/2)$	$r \ln(h_2 + r/2)$	$2(t_2 - t_1)$	Velocidad de infiltración			Tiempo (min)	Descenso (cm)	Profundidad total (cm)	Altura (cm)	$\ln(h_1 + r/2)$	$\ln(h_2 + r/2)$	$2(t_2 - t_1)$	Velocidad de infiltración		
							cm/min	cm/h	m/día								cm/min	cm/h	m/día
0		92,0	92,0	-	-	-	0,00	0,00	0,00	46	19,8	92,0	72,2	21,57	21,57	4,00	0,03	1,79	0,43
1	2,50	92,0	89,5	22,74	22,61	2,00	0,07	4,02	0,97	48	21,5	92,0	70,5	21,57	21,45	4,00	0,03	1,73	0,41
2	5,00	92,0	87,0	22,61	22,47	2,00	0,07	4,13	0,99	50	23,0	92,0	69,0	21,45	21,35	4,00	0,03	1,56	0,37
3	7,00	92,0	85,0	22,47	22,36	2,00	0,06	3,39	0,81	52	24,5	92,0	67,5	21,35	21,24	4,00	0,03	1,59	0,38
4	8,80	92,0	83,2	22,36	22,25	2,00	0,05	3,12	0,75	54	26,0	92,0	66,0	21,24	21,13	4,00	0,03	1,62	0,39
5	10,50	92,0	81,5	22,25	22,15	2,00	0,05	3,01	0,72	56	27,4	92,0	64,6	21,13	21,03	4,00	0,03	1,55	0,37
6	12,00	92,0	80,0	22,15	22,06	2,00	0,05	2,70	0,65	58	28,8	92,0	63,2	21,03	20,93	4,00	0,03	1,58	0,38
7	13,80	92,0	78,2	22,06	21,95	2,00	0,06	3,31	0,79	60	30,1	92,0	61,9	20,93	20,83	4,00	0,02	1,50	0,36
8	15,00	92,0	77,0	21,95	21,88	2,00	0,04	2,25	0,54	65	33,0	92,0	59,0	20,83	20,60	10,00	0,02	1,38	0,33
9	16,50	92,0	75,5	21,88	21,78	2,00	0,05	2,86	0,69	70	35,7	92,0	56,3	20,60	20,37	10,00	0,02	1,35	0,32
10	18,00	92,0	74,0	21,78	21,69	2,00	0,05	2,91	0,70	75	38,3	92,0	53,7	20,37	20,14	10,00	0,02	1,36	0,33
11	19,30	92,0	72,7	21,69	21,60	2,00	0,04	2,57	0,62	80	40,5	92,0	51,5	20,14	19,94	10,00	0,02	1,20	0,29
12	20,50	92,0	71,5	21,60	21,52	2,00	0,04	2,41	0,58	85	4,4	92,0	87,6	19,94	22,50	10,00	0,00	0,00	0,00
13	21,80	92,0	70,2	21,52	21,43	2,00	0,04	2,66	0,64	90	11,0	92,0	81,0	22,50	22,12	10,00	0,04	2,28	0,55
14	23,00	92,0	69,0	21,43	21,35	2,00	0,04	2,50	0,60	100	18,0	92,0	74,0	22,12	21,69	20,00	0,02	1,31	0,32
15	24,00	92,0	68,0	21,35	21,28	2,00	0,04	2,11	0,51	110	24,0	92,0	68,0	21,69	21,28	20,00	0,02	1,23	0,29
16	25,30	92,0	66,7	21,28	21,19	2,00	0,05	2,79	0,67	120	29,0	92,0	63,0	21,28	20,91	20,00	0,02	1,10	0,26
17	26,50	92,0	65,5	21,19	21,10	2,00	0,04	2,62	0,63										
18	27,80	92,0	64,2	21,10	21,00	2,00	0,05	2,90	0,69										
19	29,00	92,0	63,0	21,00	20,91	2,00	0,05	2,72	0,65										
20	30,00	92,0	62,0	20,91	20,83	2,00	0,04	2,31	0,55										
21	31,00	92,0	61,0	20,83	20,76	2,00	0,04	2,34	0,56										
22	31,90	92,0	60,1	20,76	20,68	2,00	0,04	2,14	0,51										
23	33,00	92,0	59,0	20,68	20,60	2,00	0,04	2,66	0,64										
24	34,00	92,0	58,0	20,60	20,51	2,00	0,04	2,46	0,59										
25	35,00	92,0	57,0	20,51	20,43	2,00	0,04	2,50	0,60										
26	36,00	92,0	56,0	20,43	20,35	2,00	0,04	2,54	0,61										
27	37,00	92,0	55,0	20,35	20,26	2,00	0,04	2,59	0,62										
28	38,00	92,0	54,0	20,26	20,17	2,00	0,04	2,63	0,63										
29	39,10	92,0	52,9	20,17	20,07	2,00	0,05	2,95	0,71										
30	40,00	92,0	52,0	20,07	19,99	2,00	0,04	2,46	0,59										
32	3,00	92,0	89,0	19,99	22,58	4,00	0,00	0,00	0,00										
34	6,00	92,0	86,0	22,58	22,42	4,00	0,04	2,50	0,60										
36	9,00	92,0	83,0	22,42	22,24	4,00	0,04	2,59	0,62										
38	11,50	92,0	80,5	22,24	22,09	4,00	0,04	2,23	0,53										
40	13,80	92,0	78,2	22,09	21,95	4,00	0,04	2,11	0,51										
42	16,00	92,0	76,0	21,95	21,82	4,00	0,03	2,07	0,50										
44	18,00	92,0	74,0	21,82	21,69	4,00	0,03	1,94	0,46										

Tiempo (min)	Infiltración (cm/h)
1,00	4,02
2,00	4,13
3,00	3,39
4,00	3,12
5,00	3,01
6,00	2,70
7,00	3,31
8,00	2,25
9,00	2,86
10,00	2,91
11,00	2,57
12,00	2,41
13,00	2,66
14,00	2,50
15,00	2,11
16,00	2,79
17,00	2,62
18,00	2,90
19,00	2,72
20,00	2,31
21,00	2,34
22,00	2,14
23,00	2,66
24,00	2,46
25,00	2,50
26,00	2,54
27,00	2,59
28,00	2,63
29,00	2,95
30,00	2,46
32,00	
34,00	2,50
36,00	2,59
38,00	2,23
40,00	2,11
42,00	2,07
44,00	1,94
46,00	1,79
48,00	1,73
50,00	1,56
52,00	1,59
54,00	1,62
56,00	1,55
58,00	1,58
60,00	1,50
65,00	1,38
70,00	1,35
75,00	1,36
80,00	1,20
85,00	
90,00	2,28
100,00	1,31
110,00	1,23
120,00	1,10



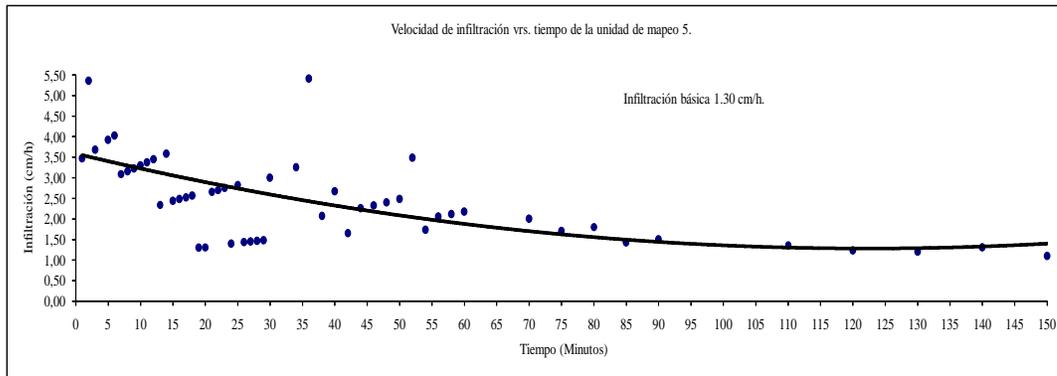
Pastos
Prueba de infiltración 1

Radio = 5 cm.

Coordenadas UTM (m)		Altitud (msnm)	Fecha
Este	Norte		

Tiempo (min)	Descenso (cm)	Profundidad total (cm)	Altura (cm)	Velocidad de infiltración		Tiempo (min)	Descenso (cm)	Profundidad total (cm)	Altura (cm)	$\ln(h_1 + r^2)$	$\ln(h_2 + r^2)$	$2(t_2 - t_1)$	Velocidad de infiltración		
				cm/h	m/día								cm/min	cm/h	m/día
0	0,00	85,0	85,0	0,00	0,00	46	24,00	85,0	61,0	20,91	20,76	4,00	0,04	2,33	0,56
1	2,00	85,0	83,0	3,47	0,83	48	26,00	85,0	59,0	20,76	20,60	4,00	0,04	2,40	0,58
2	5,00	85,0	80,0	5,36	1,29	50	28,00	85,0	57,0	20,60	20,43	4,00	0,04	2,48	0,60
3	7,00	85,0	78,0	3,68	0,88	52	30,70	85,0	54,3	20,43	20,20	4,00	0,06	3,48	0,84
4	10,00	85,0	75,0	5,70	1,37	54	32,00	85,0	53,0	20,20	20,08	4,00	0,03	1,74	0,42
5	12,00	85,0	73,0	3,92	0,94	56	33,50	85,0	51,5	20,08	19,94	4,00	0,03	2,05	0,49
6	14,00	85,0	71,0	4,03	0,97	58	35,00	85,0	50,0	19,94	19,80	4,00	0,04	2,11	0,51
7	15,50	85,0	69,5	3,09	0,74	60	36,50	85,0	48,5	19,80	19,66	4,00	0,04	2,17	0,52
8	17,00	85,0	68,0	3,16	0,76	65	10,00	85,0	75,0	19,66	21,75	10,00	0,00	0,00	0,00
9	18,50	85,0	66,5	3,23	0,77	70	15,00	85,0	70,0	21,75	21,42	10,00	0,03	2,00	0,48
10	20,00	85,0	65,0	3,30	0,79	75	19,00	85,0	66,0	21,42	21,13	10,00	0,03	1,70	0,41
11	21,50	85,0	63,5	3,37	0,81	80	23,00	85,0	62,0	21,13	20,83	10,00	0,03	1,81	0,43
12	23,00	85,0	62,0	3,45	0,83	85	26,00	85,0	59,0	20,83	20,60	10,00	0,02	1,43	0,34
13	24,00	85,0	61,0	2,34	0,56	90	29,00	85,0	56,0	20,60	20,35	10,00	0,03	1,50	0,36
14	25,50	85,0	59,5	3,59	0,86	100	18,00	85,0	67,0	20,35	21,21	20,00	0,00	0,00	0,00
15	26,50	85,0	58,5	2,44	0,59	110	24,00	85,0	61,0	21,21	20,76	20,00	0,02	1,35	0,33
16	27,50	85,0	57,5	2,48	0,60	120	29,00	85,0	56,0	20,76	20,35	20,00	0,02	1,23	0,30
17	28,50	85,0	56,5	2,52	0,61	130	33,50	85,0	51,5	20,35	19,94	20,00	0,02	1,20	0,29
18	29,50	85,0	55,5	2,56	0,62	140	38,00	85,0	47,0	19,94	19,51	20,00	0,02	1,31	0,31
19	30,00	85,0	55,0	1,30	0,31	150	41,50	85,0	43,5	19,51	19,14	20,00	0,02	1,10	0,26
20	30,50	85,0	54,5	1,31	0,31										
21	31,50	85,0	53,5	2,65	0,64										
22	32,50	85,0	52,5	2,70	0,65										
23	33,50	85,0	51,5	2,75	0,66										
24	34,00	85,0	51,0	1,40	0,33										
25	35,00	85,0	50,0	2,83	0,68										
26	35,50	85,0	49,5	1,44	0,34										
27	36,00	85,0	49,0	1,45	0,35										
28	36,50	85,0	48,5	1,46	0,35										
29	37,00	85,0	48,0	1,48	0,35										
30	38,00	85,0	47,0	3,00	0,72										
32	5,00	85,0	80,0	0,00	0,00										
34	8,50	85,0	76,5	3,25	0,78										
36	14,00	85,0	71,0	5,41	1,30										
38	16,00	85,0	69,0	2,07	0,50										
40	18,50	85,0	66,5	2,67	0,64										
42	20,00	85,0	65,0	1,65	0,40										
44	22,00	85,0	63,0	2,26	0,54										

Tiempo (min)	Infiltración (cm/h)
1,00	3,47
2,00	5,36
3,00	3,68
4,00	5,70
5,00	3,92
6,00	4,03
7,00	3,09
8,00	3,16
9,00	3,23
10,00	3,30
11,00	3,37
12,00	3,45
13,00	2,34
14,00	3,59
15,00	2,44
16,00	2,48
17,00	2,52
18,00	2,56
19,00	1,30
20,00	1,31
21,00	2,65
22,00	2,70
23,00	2,75
24,00	1,40
25,00	2,83
26,00	1,44
27,00	1,45
28,00	1,46
29,00	1,48
30,00	3,00
32,00	
34,00	3,25
36,00	5,41
38,00	2,07
40,00	2,67
42,00	1,65
44,00	2,26
46,00	2,33
48,00	2,40
50,00	2,48
52,00	3,48
54,00	1,74
56,00	2,05
58,00	2,11
60,00	2,17
65,00	
70,00	2,00
75,00	1,70
80,00	1,81
85,00	1,43
90,00	1,50
100,00	
110,00	1,35
120,00	1,23
130,00	1,20
140,00	1,31
150,00	1,10



ANEXO B: Balance hídrico de suelos por tratamiento.

BALANCE HÍDRICO DE SUELOS

Zona de estudio: Unidad de mapeo Bosque 100%

Uso actual de la tierra: Bosque

Textura del suelo: Franco arenoso

Simbología

fc: Capacidad de infiltración

I: Infiltración

CC: Capacidad de campo

PM: Punto de marchites

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

Kv: Factor por vegetación

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) 696,00

Kp (0.01%) 0,06

Kv (0.01%) 0,20

Kfc (0.01%) 0,92

I (0.01%) 1,00

DS (g/cm³) 0,8163

PR (mm) 2500

HSi (mm) 1008,95

No. de mes con que inicia HSi; 1,2,3...12? 10

Lluvia retenida 0,20

Por peso

(%) (mm)

CC 49,44 1008,95

PM 38,84 792,63

CC-PM 10,60 216,32

Concepto	Mes												Total
	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	
P (mm)	412,60	242,50	12,00	71,22	76,34	131,60	45,10	73,00	185,60	176,40	441,40	329,20	2196,96
Ret (mm)	82,52	48,50	5,00	14,24	15,27	26,32	9,02	14,60	37,12	35,28	88,28	65,84	441,99
Pi (mm)	330,08	194,00	7,00	56,97	61,07	105,28	36,08	58,40	148,48	141,12	353,12	263,36	1754,97
ESC (mm)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
ETP (mm)	114,82	95,62	89,45	94,74	100,01	122,60	132,93	142,45	143,26	144,63	115,14	122,60	1418,25
HSi (mm)	1008,95	1008,95	1008,95	943,54	929,41	920,15	932,90	893,91	881,78	1008,95	1006,61	1008,95	
C ₁	1,00	1,00	1,00	0,96	0,91	1,00	0,82	0,74	1,00	1,00	1,00	1,00	
C ₂	1,00	1,00	0,62	0,54	0,49	0,51	0,31	0,25	0,44	0,98	1,00	1,00	
HD (mm)	546,40	410,32	223,32	207,89	197,85	232,81	176,36	159,68	237,63	357,44	567,10	479,68	
ETR (mm)	114,82	95,62	72,40	71,11	70,33	92,53	75,08	70,53	102,88	143,46	115,14	122,60	1146,49
HSf (mm)	1008,95	1008,95	943,54	929,41	920,15	932,90	893,91	881,78	927,38	1006,61	1008,95	1008,95	
DCC (mm)	0,00	0,00	65,40	79,54	88,79	76,04	115,04	127,17	81,57	2,34	0,00	0,00	
Rp (mm)	215,26	98,38	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	235,64	140,76	690,05
NR (mm)	0,00	0,00	82,45	103,17	118,47	106,11	172,89	199,09	121,95	3,51	0,00	0,00	907,65

BALANCE HÍDRICO DE SUELOS

Zona de estudio: Unidad de mapeo Bosque 75%

Uso actual de la tierra: Bosque

Textura del 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 marchites	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	Rp: Recarga potencial
Kv: Factor por vegetación	NR: Necesidad de riego
Kfc: Factor estimado con base a la prueba de infiltración	Ret: Retención de lluvia

fc (mm/d)	228,00				
Kp (0.01%)	0,06				
Kv (0.01%)	0,20				
Kfc (0.01%)	0,69				
I (0.01%)	0,95				
DS (g/cm ³)	0,8333				
PR (mm)	2500				
HSi (mm)	995,17				
No. de mes con que inicia HSi;1,2,3...12?	10				
Lluvia retenida	0,20				

Concepto	Mes												Total
	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	
P (mm)	412,60	242,50	12,00	71,22	76,34	131,60	45,10	73,00	185,60	176,40	441,40	329,20	2196,96
Ret (mm)	82,52	48,50	5,00	14,24	15,27	26,32	9,02	14,60	37,12	35,28	88,28	65,84	441,99
Pi (mm)	314,08	184,60	6,66	54,21	58,11	100,18	34,33	55,57	141,28	134,28	336,00	250,59	1669,89
ESC (mm)	16,00	9,40	0,34	2,76	2,96	5,10	1,75	2,83	7,20	6,84	17,12	12,77	85,08
ETP (mm)	114,82	95,62	89,45	94,74	100,01	122,60	132,93	142,45	143,26	144,63	115,14	122,60	1418,25
HSi (mm)	995,17	995,17	995,17	927,01	908,45	895,38	902,56	861,43	846,25	995,17	987,77	995,17	
C ₁	1,00	1,00	1,00	0,94	0,89	1,00	0,77	0,69	0,97	1,00	1,00	1,00	
C ₂	1,00	1,00	0,67	0,59	0,54	0,52	0,37	0,30	0,42	0,96	1,00	1,00	
HD (mm)	567,19	437,71	259,78	239,16	224,51	253,51	194,84	174,95	245,48	387,39	581,72	503,71	
ETR (mm)	114,82	95,62	74,82	72,77	71,18	93,00	75,45	70,75	99,62	141,67	115,14	122,60	1147,45
HSf (mm)	995,17	995,17	927,01	908,45	895,38	902,56	861,43	846,25	887,91	987,77	995,17	995,17	
DCC (mm)	0,00	0,00	68,16	86,72	99,78	92,61	133,73	148,92	107,26	7,39	0,00	0,00	
Rp (mm)	199,26	88,98	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	213,46	127,99	629,70
NR (mm)	0,00	0,00	82,79	108,69	128,61	122,21	191,21	220,62	150,90	10,35	0,00	0,00	1015,38

BALANCE HÍDRICO DE SUELOS

Zona de estudio: Unidad de mapeo Bosque 67%

Uso actual de la tierra: Bosque

Textura del 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 marchites	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	Rp: Recarga potencial
Kv: Factor por vegetación	NR: Necesidad de riego
Kfc: Factor estimado con base a la prueba de infiltración	Ret: Retención de lluvia

fc (mm/d)	240,00				
Kp (0.01%)	0,06				
Kv (0.01%)	0,20				
Kfc (0.01%)	0,70				
I (0.01%)	0,96				
DS (g/cm ³)	0,7273				
PR (mm)	2500				
HSi (mm)	1106,41				
No. de mes con que inicia HSi;1,2,3...12?	10				
Lluvia retenida	0,20				

Por peso		
(%)	(mm)	
CC	60,85	1106,41
PM	45,34	824,39
CC-PM	15,51	282,01

Concepto	Mes												Total
	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	
P (mm)	412,60	242,50	12,00	71,22	76,34	131,60	45,10	73,00	185,60	176,40	441,40	329,20	2196,96
Ret (mm)	82,52	48,50	5,00	14,24	15,27	26,32	9,02	14,60	37,12	35,28	88,28	65,84	441,99
Pi (mm)	317,99	186,89	6,74	54,89	58,84	101,42	34,76	56,26	143,04	135,95	340,19	253,71	1690,68
ESC (mm)	12,09	7,11	0,26	2,09	2,24	3,86	1,32	2,14	5,44	5,17	12,93	9,65	64,28
ETP (mm)	114,82	95,62	89,45	94,74	100,01	122,60	132,93	142,45	143,26	144,63	115,14	122,60	1418,25
HSi (mm)	1106,41	1106,41	1106,41	1036,81	1016,98	1002,47	1008,80	964,60	946,68	1106,41	1099,95	1106,41	
C ₁	1,00	1,00	1,00	0,95	0,89	0,99	0,78	0,70	0,94	1,00	1,00	1,00	
C ₂	1,00	1,00	0,71	0,63	0,58	0,56	0,41	0,34	0,46	0,97	1,00	1,00	
HD (mm)	600,00	468,90	288,75	267,31	251,43	279,50	219,16	196,46	265,33	417,96	615,74	535,72	
ETR (mm)	114,82	95,62	76,33	74,72	73,35	95,09	78,96	74,18	100,55	142,40	115,14	122,60	1163,76
HSf (mm)	1106,41	1106,41	1036,81	1016,98	1002,47	1008,80	964,60	946,68	989,17	1099,95	1106,41	1106,41	
DCC (mm)	0,00	0,00	69,59	89,42	103,94	97,61	141,81	159,72	117,23	6,45	0,00	0,00	
Rp (mm)	203,17	91,28	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	218,59	131,11	644,15
NR (mm)	0,00	0,00	82,71	109,44	130,59	125,11	195,78	228,00	159,94	8,68	0,00	0,00	1040,26

BALANCE HÍDRICO DE SUELOS

Zona de estudio: Unidad de mapeo Bosque 50%

Uso actual de la tierra: Bosque

Textura del suelo: Franco arenoso

Simbología

fc: Capacidad de infiltración

I: Infiltración

CC: Capacidad de campo

PM: Punto de marchites

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

Kv: Factor por vegetación

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) 312,00

Kp (0.01%) 0,06

Kv (0.01%) 0,20

Kfc (0.01%) 0,76

I (0.01%) 1,00

DS (g/cm³) 0,7143

PR (mm) 2500

HSi (mm) 1207,70

No. de mes con que inicia HSi; 1,2,3...12? 10

Lluvia retenida 0,20

Por peso

(%) (mm)

CC 67,63 1207,70

PM 50,51 901,98

CC-PM 17,12 305,72

Concepto	Mes												Total
	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	
P (mm)	412,60	242,50	12,00	71,22	76,34	131,60	45,10	73,00	185,60	176,40	441,40	329,20	2196,96
Ret (mm)	82,52	48,50	5,00	14,24	15,27	26,32	9,02	14,60	37,12	35,28	88,28	65,84	441,99
Pi (mm)	330,08	194,00	7,00	56,97	61,07	105,28	36,08	58,40	148,48	141,12	353,12	263,36	1754,97
ESC (mm)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
ETP (mm)	114,82	95,62	89,45	94,74	100,01	122,60	132,93	142,45	143,26	144,63	115,14	122,60	1418,25
HSi (mm)	1207,70	1207,70	1207,70	1137,31	1117,74	1103,07	1110,20	1063,15	1043,08	1207,70	1205,02	1207,70	
C ₁	1,00	1,00	1,00	0,96	0,91	1,00	0,80	0,72	0,95	1,00	1,00	1,00	
C ₂	1,00	1,00	0,73	0,66	0,61	0,60	0,45	0,38	0,50	0,99	1,00	1,00	
HD (mm)	635,80	499,72	312,72	292,30	276,83	306,37	244,30	219,57	289,58	446,84	656,16	569,08	
ETR (mm)	114,82	95,62	77,39	76,55	75,75	98,15	83,13	78,47	103,90	143,80	115,14	122,60	1185,31
HSf (mm)	1207,70	1207,70	1137,31	1117,74	1103,07	1110,20	1063,15	1043,08	1087,65	1205,02	1207,70	1207,70	
DCC (mm)	0,00	0,00	70,39	89,96	104,64	97,50	144,55	164,62	120,05	2,68	0,00	0,00	
Rp (mm)	215,26	98,38	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	235,30	140,76	689,70
NR (mm)	0,00	0,00	82,45	108,16	128,90	121,95	194,35	228,60	159,41	3,51	0,00	0,00	1027,33

BALANCE HÍDRICO DE SUELOS

Zona de estudio: Unidad de mapeo Pastos

Uso actual de la tierra: Pasto Natural

Textura del suelo: Franco arenoso

Simbología

fc: Capacidad de infiltración

I: Infiltración

CC: Capacidad de campo

PM: Punto de marchites

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

Kv: Factor por vegetación

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) 312,00

Kp (0.01%) 0,06

Kv (0.01%) 0,18

Kfc (0.01%) 0,76

I (0.01%) 1,00

DS (g/cm³) 0,7843

PR (mm) 400

HSi (mm) 225,53

No. de mes con que inicia HSi; 1,2,3...12? 10

Lluvia retenida 0,12

Por peso

(%) (mm)

CC 71,89 225,53

PM 55,39 173,77

CC-PM 16,50 51,76

Concepto	Mes												Total
	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	
P (mm)	412,60	242,50	12,00	71,22	76,34	131,60	45,10	73,00	185,60	176,40	441,40	329,20	2196,96
Ret (mm)	49,51	29,10	5,00	8,55	9,16	15,79	5,41	8,76	22,27	21,17	52,97	39,50	267,20
Pi (mm)	363,09	213,40	7,00	62,67	67,18	115,81	39,69	64,24	163,33	155,23	388,43	289,70	1929,76
ESC (mm)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
ETP (mm)	114,82	95,62	89,45	94,74	100,01	122,60	132,93	142,45	143,26	144,63	115,14	122,60	1418,25
HSi (mm)	225,53	225,53	225,53	187,81	203,11	220,29	225,53	198,76	191,77	225,53	225,53	225,53	
C ₁	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	
C ₂	1,00	1,00	0,00	0,00	0,00	0,77	0,00	0,00	0,74	1,00	1,00	1,00	
HD (mm)	414,85	265,16	58,76	76,71	96,52	162,32	91,45	89,23	181,33	207,00	440,20	341,46	
ETR (mm)	114,82	95,62	44,73	47,37	50,00	108,34	66,47	71,23	124,31	144,63	115,14	122,60	1105,25
HSf (mm)	225,53	225,53	187,81	203,11	220,29	225,53	198,76	191,77	225,53	225,53	225,53	225,53	
DCC (mm)	0,00	0,00	37,73	22,43	5,25	0,00	26,78	33,76	0,00	0,00	0,00	0,00	
Rp (mm)	248,27	117,78	0,00	0,00	0,00	2,22	0,00	0,00	5,26	10,60	273,29	167,10	824,52
NR (mm)	0,00	0,00	82,45	69,80	55,25	14,26	93,24	104,99	18,96	0,00	0,00	0,00	438,94

BALANCE HÍDRICO DE SUELOS

Zona de estudio: Unidad de mapeo Cultivos

Uso actual de la tierra: Cultivo (Maiz)

Textura del suelo: Arcilloso

Simbología

fc: Capacidad de infiltración

I: Infiltración

CC: Capacidad de campo

PM: Punto de marchites

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

Kv: Factor por vegetación

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) 312,00

Kp (0.01%) 0,06

Kv (0.01%) 0,18

Kfc (0.01%) 0,76

I (0.01%) 1,00

DS (g/cm³) 0,7843

PR (mm) 400

HSi (mm) 225,53

No. de mes con que inicia HSi;1,2,3...12? 10

Lluvia retenida 0,12

Por peso

(%) (mm)

CC 71,89 225,53

PM 55,39 173,77

CC-PM 16,50 51,76

Concepto	Mes												Total
	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	
P (mm)	412,60	242,50	12,00	71,22	76,34	131,60	45,10	73,00	185,60	176,40	441,40	329,20	2196,96
Ret (mm)	49,51	29,10	5,00	8,55	9,16	15,79	5,41	8,76	22,27	21,17	52,97	39,50	267,20
Pi (mm)	363,09	213,40	7,00	62,67	67,18	115,81	39,69	64,24	163,33	155,23	388,43	289,70	1929,76
ESC (mm)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
ETP (mm)	114,82	95,62	89,45	94,74	100,01	122,60	132,93	142,45	143,26	144,63	115,14	122,60	1418,25
HSi (mm)	225,53	225,53	225,53	187,81	203,11	220,29	225,53	198,76	191,77	225,53	225,53	225,53	
C ₁	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	
C ₂	1,00	1,00	0,00	0,00	0,00	0,77	0,00	0,00	0,74	1,00	1,00	1,00	
HD (mm)	414,85	265,16	58,76	76,71	96,52	162,32	91,45	89,23	181,33	207,00	440,20	341,46	
ETR (mm)	114,82	95,62	44,73	47,37	50,00	108,34	66,47	71,23	124,31	144,63	115,14	122,60	1105,25
HSf (mm)	225,53	225,53	187,81	203,11	220,29	225,53	198,76	191,77	225,53	225,53	225,53	225,53	
DCC (mm)	0,00	0,00	37,73	22,43	5,25	0,00	26,78	33,76	0,00	0,00	0,00	0,00	
Rp (mm)	248,27	117,78	0,00	0,00	0,00	2,22	0,00	0,00	5,26	10,60	273,29	167,10	845,32
NR (mm)	0,00	0,00	82,45	69,80	55,25	14,26	93,24	104,99	18,96	0,00	0,00	0,00	438,94

CAPÍTULO III

**SERVICIOS REALIZADOS EN LA FINCA RÍO FRÍO SANTA
CRUZ VERAPAZ Y EN LA SUBREGION II-1 DEL INSTITUTO NACIONAL
DE BOSQUES -INAB- TACTIC, ALTA VERAPAZ.**

1. INTRODUCCIÓN

El departamento de Alta Verapaz es uno de los departamentos que se dedica a la producción forestal, debido a esto, la Región II del Instituto Nacional de Bosques –INAB- reporta 46,325 ha de manejo forestal sostenible, de lo cual el 12% de administración forestal lo cubre la subregión II-1, ubicada en el municipio de Tactic, Alta Verapaz, indicando que ésta es la segunda subregión con mayor carga de trabajo.

Además, el Instituto Nacional de Bosques en virtud del mandato legal referido a la identificación y priorización de zonas de recarga hídrica, ha implementado el Programa de Investigación en Hidrología Forestal dirigido por el Proyecto de Conservación de Ecosistemas Forestales Estratégicos (CEFE). El cual se fundamenta en que el sector forestal influye en la regulación de los recursos hídricos y edafológicos.

A nivel nacional se han delimitado áreas de acción prioritarias debido a su cobertura forestal y sus características hídricas en el lugar. Debido a esto, en el departamento de Alta Verapaz, se ha dado inicio a una serie de investigaciones hídricas forestales.

Las servicios que se realizaron durante el Ejercicio Profesional Supervisado –EPS-, periodo de febrero a noviembre de 2007, en la subregión II-1, se enfocaron en el apoyo técnico por la carga de trabajo que se tiene en esta institución. Pues tiene a su cargo los municipios de San Cristóbal Verapaz, Santa Cruz Verapaz, Tactic y los municipios que se encuentran ubicados en las Bocas del Polochic, dando un total de 265,942.61 ha., de extensión territorial que abarca dicha sede.

2. SERVICIO 1

Apoyo Técnico en la Subregión II-1 del Instituto Nacional de Bosques -INAB-, Tactic, Alta Verapaz.

2.1 Objetivos

- Apoyar en las actividades técnicas de evaluación de Proyectos de Incentivos forestales -PINFOR-.
- Apoyar en las actividades técnicas para la verificación de los planes de manejo forestal en las diferentes comunidades y propiedades privadas.
- Realizar verificaciones de planes de manejo para aprovechamiento forestal, dictaminando la aprobación o desaprobación de los mismos.
- Apoyar en la fiscalización tanto como en depósitos como en aserraderos para determinar la procedencia lícita de la madera que en ellos se encuentra o transporta.

2.2 Metodología

2.2.1 Evaluación de Proyectos de Incentivos Forestal PINFOR.

- Se visitaron las comunidades y fincas privadas para evaluar los proyectos de PINFOR.
- En cada proyecto se procedió a levantar parcelas circulares de 100 m², en las que se tomaron datos dasométricos como: altura y diámetro a la altura del pecho (DAP). Además, se evaluaron las variables de sobrevivencia, fitosanidad, calidad de la planta, estado de desarrollo, limpias y deshierbes oportunos, fajas cortafuegos para prevención de incendios.
- Los resultados obtenidos fueron anotados en libretas de campo, para luego dictaminar cada proyecto.
- A finales del mes de agosto fueron enviados a las oficinas centrales los dictámenes técnicos de cada proyecto para ser efectivo su pago.

2.2.2 Verificación de Planes de Manejo Forestal

- Lo primero que se realizó fue la revisión del plan de manejo propuesto por el regente encargado del proyecto.
- Luego se procedió a verificar en el lugar dónde se encuentra, tomando datos de altura, diámetro a la altura del pecho DAP, del 30% del total de los árboles que hay en cada rodal, también se observó el estado fitosanitario del área que será aprovechada.
- Con los datos recabados en el campo se estimó el volumen por hectárea de la madera existente en toda el área propuesta en el plan de aprovechamiento.
- Con el análisis de los resultados obtenidos en el campo se elaboró el dictamen técnico en el cual se autorizó el volumen de madera a aprovechar, así como el área destinada para el compromiso de reforestación, otorgando la licencia forestal necesaria para poder llevar a cabo el aprovechamiento.

2.3 Resultados

2.3.1 Evaluación de proyectos integrados a PINFOR

Durante el período del -EPS- se brindó apoyo en la evaluación 9 proyectos en diferentes fincas privadas, empresas y cooperativas, llevándose a cabo el levantamiento de 97 parcelas circulares de 100 metros cuadrados.

Cuadro 29 Proyectos Pinfor evaluados.

No.	Nombre del Proyecto	No. De parcelas	Altura Promedio (mts)	Diámetro promedio (cm)	Prom/arboles/ parcela	Total de arboles/ parcelas
1	Finca Pezzarosi	4	7	10	9	36
2	Finca Rio Frio	5	9	13.5	8	40
3	Comunidad Mexabaj	7	0.45	----	8	56
4	Finca Pachilja	7	4	3.5	9	63
5	Finca Santa Teresa	6	1.45	1.33	10	60
6	Finca mayagua	17	1.80	2	9	153
7	Finca Pancox	40	0.40	-----	10	400
8	Comunidad Palestina I	5	1.5	2	9	45
9	Comunidad San José	6	0.40	---	9	54

2.3.2 Verificación de planes de manejo

Durante esta práctica se apoyó a los técnicos forestales de esta subregión en la verificación de planes de manejo forestal de las siguientes fincas:

Cuadro 30 Planes de manejo verificados como apoyo a la sub region II-1.

No.	Nombre	Ubicación
1	Juan Carlos Hass	Santa Cruz A. V.
2	Finca las Rocas	Tucuru A. V.
3	Finca las Camelias	Santa Cruz A. V.
4	Finca Rasquish	San Cristóbal A. V.
5	Finca el Chacal	San Cristóbal A. V.

2.4 Evaluación

Durante la ejecución del servicio denominado Asistencia Técnica en la Sub-Región II-1 del Instituto Nacional de Bosques -INAB- Tactic, Alta Verapaz, se realizaron las actividades siguientes.

Cuadro 31 Resumen de actividades realizadas como asistencia técnica.

No.	Actividad	Cantidad
1	Evaluación de proyectos de reforestación del PINFOR	09
2	Verificación de planes de manejo	05
3	Fiscalización de aserraderos	02
4	Fiscalización de depósitos	03
5	Compromisos de reforestación	07
6	Revisión de Informes de Exentos y Licencia de Consumo	02
7	Aprobación de plantaciones voluntarias	04

Las actividades anteriormente mencionadas fueron asignadas por el Director Sub-Regional, debido a la carga laboral que dicha Sub-Región posee.

3. SERVICIO 2

Apoyo en el monitoreo de caudales y estaciones climáticas en la estación Hidrológica Forestal Río Frío, Santa Cruz Verapaz, Alta Verapaz.

3.1 Objetivos

- Sistematizar la información climática básica de la estación hidrográfica Río Frío, Santa Cruz Verapaz, Alta Verapaz.
- Monitorear el caudal del afluente principal de la estación hidrográfica Río Frío.
- Monitorear la temperatura y precipitación pluvial registradas en las estaciones climáticas instaladas en la estación hidrográfica.

3.2 Metodología

3.2.1 Monitoreo de caudales

Se midió con una regla graduada en centímetros la altura del caudal que pasa en el canal de aforo construido en cauce del río, realizándose registros diarios en boletas diseñadas para este fin.

3.2.2 Monitoreo de estaciones climáticas

La estación de la parte baja de la microcuenca, se encuentra ubicada a una altitud de 1440 msnm y la estación de la parte media alta se encuentra a una altitud de 1520 msnm.

- **Registro de la temperatura**

El registro de la temperatura se llevó a cabo diariamente tanto para la estación ubicada en la parte baja (1440msnm), como para la ubicada en la parte media alta de la microcuenca, anotándose los valores registrados en las boletas diseñadas para este fin.

- **Registro de la precipitación pluvial**

Para la medición de la precipitación captada por los pluviómetros instalados en las dos estaciones, se utilizó una probeta graduada en milímetros anotándose diariamente los datos en las boletas respectivas.

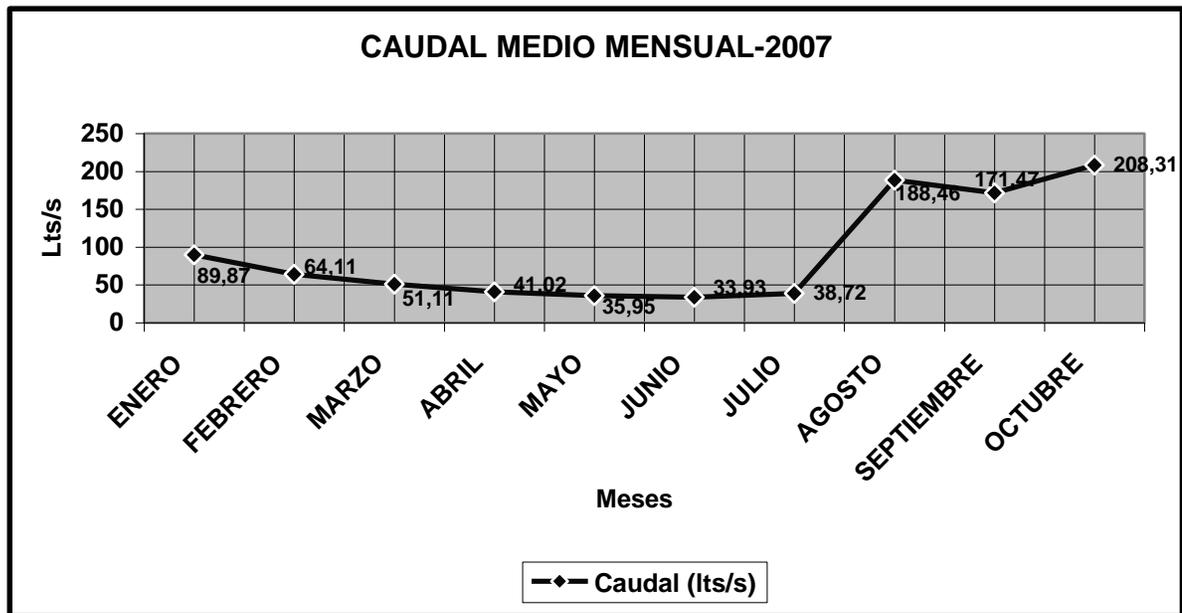
3.3 Resultados

3.3.1 Monitoreo del caudal

Durante los meses de monitoreo (enero a septiembre) se registraron los siguientes resultados en cuanto al caudal del afluente principal de la microcuenca

Cuadro 32 Caudal medio mensual de la microcuenca Río Frío.

MES	ESTACIÓN PARTE BAJA-CAUDAL	
	Caudal medio mensual (lts/s)	Caudal medio mensual (m3/s)
ENERO	89.87	0,09
FEBRERO	64.11	0,06
MARZO	51.11	0,05
ABRIL	41.02	0,04
MAYO	35.95	0,04
JUNIO	33.93	0,03
JULIO	38.72	0,04
AGOSTO	188.46	0,19
SEPTIEMBRE	171.47	0,17

**Figura 19** Comportamiento del caudal medio mensual.

En el cuadro 32 y figura 19 se puede observar el comportamiento del caudal de la microcuenca, el cual se mantiene poco estable durante el año, registrándose una baja considerable en el mes de julio (33.93 lts/s), e incrementándose este en los meses de Agosto a Octubre coincidiendo con el tiempo donde la época lluviosa es más marcada, lo que favorece el incremento del caudal de los nacimientos que alimentan al cauce principal de esta microcuenca.

3.3.2 Monitoreo de la Precipitación Pluvial

A continuación se presentan los registros de precipitación mensual, ocurridos tanto en la parte baja como en la parte media alta de la microcuenca.

Cuadro 33 Precipitación pluvial y temperatura registrada en la parte baja de la microcuenca Río Frío.

MES	ESTACIÓN PARTE BAJA		
	Pp mensual (mm)	Pp media mensual (mm)	T media mensual °C)
ENERO	125,85	4,06	18,97
FEBRERO	43,20	1,54	20,61
MARZO	84,15	2,71	20,64
ABRIL	57,85	1,93	22,05
MAYO	71,05	2,30	22,82
JUNIO	164,75	5,50	24,75
JULIO	212,85	6,87	23,60
AGOSTO	424,75	13,38	13,95
SEPTIEMBRE	328,05	10,94	19,15

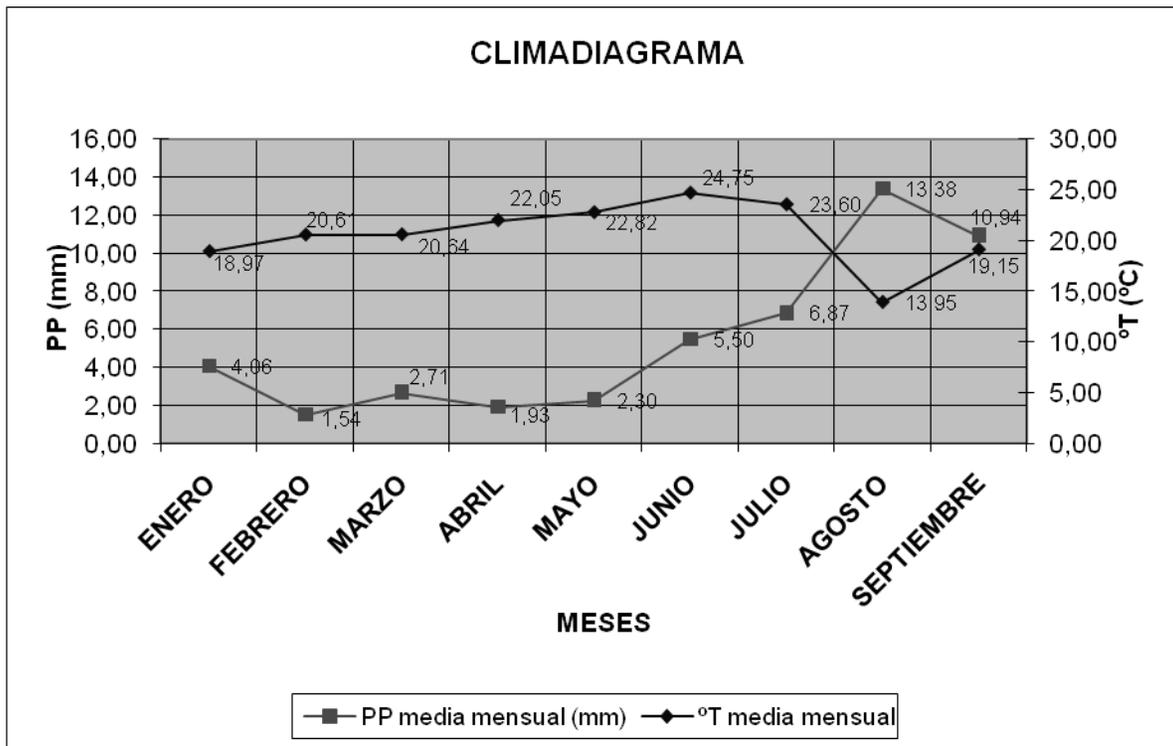


Figura 20 Climadiagrama de la parte baja de la microcuenca Río Frío.

Cuadro 34 Precipitación pluvial y temperatura en la parte media alta de la microcuenca Río Frío.

MES	ESTACIÓN PARTE ALTA		
	Pp mensual (mm)	Pp media mensual (mm)	T media mensual °C
ENERO	171,10	5,52	17,06
FEBRERO	68,85	2,46	18,95
MARZO	83,00	2,70	18,30
ABRIL	50,85	1,70	19,30
MAYO	70,75	2,30	19,21
JUNIO	169,85	5,70	19,80
JULIO	178,50	5,76	19,31
AGOSTO	283,60	9,15	14,06
SEPTIEMBRE	301,65	10,055	19,15

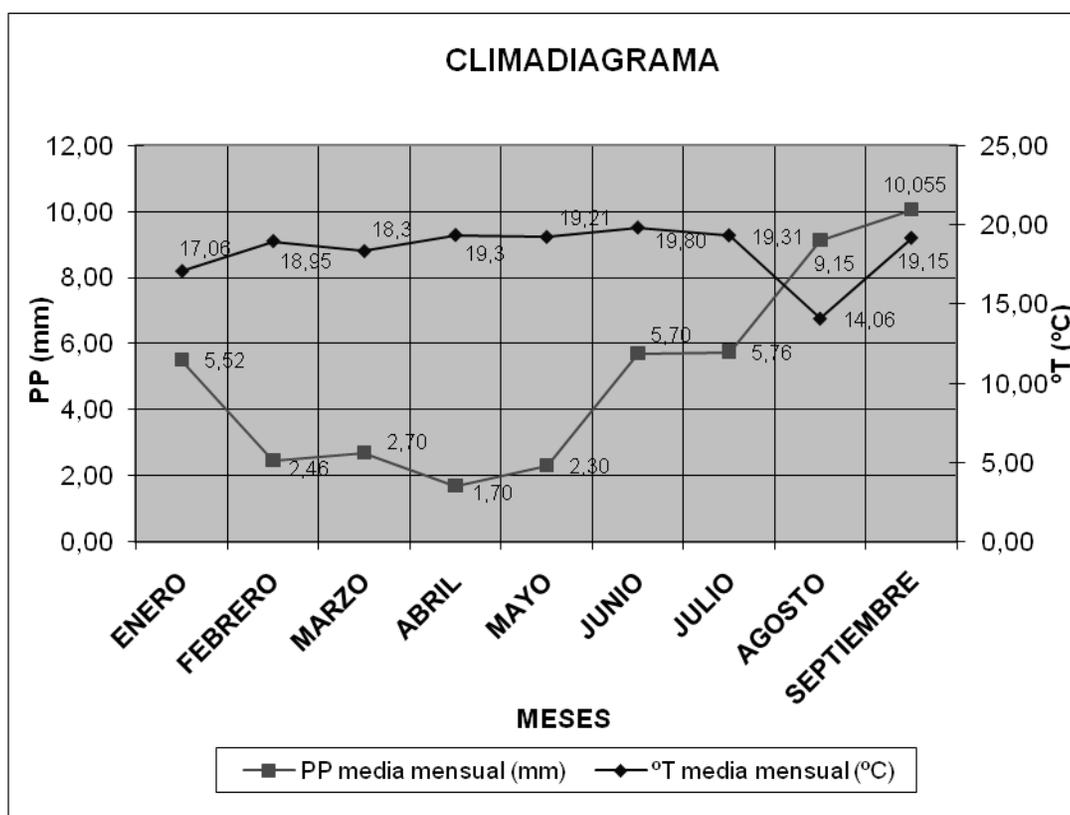


Figura 21 Climadiagrama de la parte media alta de la microcuenca Río Frío.

De acuerdo al cuadro 33 y 34 a la figura 20 y 21, la distribución de la precipitación en la Estación Hidrológica Forestal Río Frio durante los meses de Enero a Noviembre del año 2007 se definió por dos periodos uno lluvioso y otro seco; el período lluvioso se dio en los meses de agosto y septiembre, representando 669.03 mm (46.29% de la precipitación promedio del período monitoreado); y el otro que no es un período propiamente dicho, se localiza en el mes de junio y julio alcanzando 362.98 mm (25.11 % del promedio registrado). El periodo seco representa 293.78 mm del promedio registrado (20.33% del promedio registrado) se ubica, entre los meses de febrero, marzo, abril y mayo, El 8.28% restante que representa 119.54 mm del promedio registrado en la época de monitoreo corresponde al mes de Enero. En el área de estudio se presentó una precipitación promedio de 1445.33 mm, en un período de 9 meses de monitoreo.

3.3.3 Monitoreo de la temperatura

Según el cuadro 33 y 34, figura 20 y 21, la temperatura media de la microcuenca es de 19.56 °C, elevándose ligeramente entre los meses de marzo, abril, mayo y junio. Descendiendo gradualmente a partir del mes de julio hasta el mes de agosto, elevándose nuevamente en el mes de septiembre El coeficiente de temperatura por cada metro de diferencia en altura entre cada estación es de 0.02°C, por lo que para cada 100 metros de ascensión se supone una pérdida de temperatura de 2°C aproximadamente, para las condiciones de esta microcuenca específicamente.

3.4 Evaluación

Se realizó el monitoreo del caudal del afluente principal y las estaciones climáticas establecidas en la microcuenca Río Frío, durante 36 semanas comprendidas del mes de Enero al mes de Septiembre 2007, estableciendo que en esta área, la época lluviosa y época seca es bien marcada y que fenómenos como la canícula no afecta de sobremanera en la ocurrencia de las precipitaciones y en la elevación de las temperaturas, presentándose poca variación en las mismas durante los meses en que generalmente se presenta este fenómeno.

4. BIBLIOGRAFIA

1. INAB (Instituto Nacional de Bosques, GT). 2004. Boletín de estadística forestal. Guatemala. 34 p.
2. _____. 2005. Programa de hidrología forestal. Guatemala. 38 p.

Vo. Bo.: _____
Ing. Agr. Rolando Udine Aragón Barrios

5. ANEXOS

**Boleta de monitoreo de estaciones climáticas de la microcuenca Río Frío,
Santa Cruz Verapaz, Alta Verapaz**

Ubicación: _____

MES: _____

DÍA	CAUDAL (cm)	PRECIPITACIÓN (ml)	TEMPERATURA	
			Mínima (°C)	Máxima (°C)
1				
2				
3				
4				
5				
6				
7				
8				
9				
10				
11				
12				
13				
14				
15				
16				
17				
18				
19				
20				
21				