

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



TRABAJO DE GRADUACIÓN

**EVALUACIÓN DEL IMPACTO HIDROLÓGICO COMO CONTRIBUCIÓN A LA
CONSERVACIÓN DE ZONAS DE RECARGA HÍDRICA Y DOCUMENTACIÓN TÉCNICA
EN LA REGIÓN II-1 DEL INSTITUTO NACIONAL DE BOSQUES – INAB- - TACTIC,
ALTA VERAPAZ**

ANA IZABEL CASTELLANOS MÉNDEZ

Guatemala, abril 2009

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

TRABAJO DE GRADUACIÓN

**EVALUACIÓN DEL IMPACTO HIDROLÓGICO COMO CONTRIBUCIÓN A LA
CONSERVACIÓN DE ZONAS DE RECARGA HÍDRICA Y ELABORACIÓN DE
DOCUMENTOS TÉCNICOS EN LA REGIÓN II-1 DEL INSTITUTO NACIONAL DE
BOSQUES – INAB- TACTIC, ALTA VERAPAZ**

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

POR

ANA IZABEL CASTELLANOS MENDEZ

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

**EN EL GRADO ACADÉMICO DE
LICENCIADO**

Guatemala, abril 2009

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, Abril de 2009.

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 A LA CONSERVACIÓN DE ZONAS DE RECARGA HÍDRICA Y DOCUMENTACIÓN TÉCNICA EN 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 Licenciada.

Esperando que el mismo llene los requisitos necesarios para su aprobación, me es grato suscribirme,

Atentamente,

ANA IZABEL CASTELLANOS MENDEZ

“ID Y ENSEÑAD A TODOS”

ACTO QUE DEDICO

A:

Dios	Ser supremo que ha sido mi guía y compañero en todo momento.
Virgen María	Madre espiritual que ha sido fuente de fortaleza en mi vida.
Mis padres	Walter Enrique Castellanos Zetina y Ana Izabel Méndez Hoíl, por su amor, apoyo, sacrificio, confianza, enseñanza y por ser un ejemplo de vida, reflejado en la obtención de este logro.
Mis hermanos	Gaby y Kike por brindarme siempre su apoyo incondicional como hermanos y amigos.
Mis abuelos	Aurora Zetina (†), Benjamín Castellanos (†), Luz Hoíl y José Méndez, por su amor, apoyo, consejos y especialmete por el regalo de vida a mis padres.
Mis tíos y primos	Por ser parte importante en mi vida.
Mi novio	Diego Barragán por su paciencia, apoyo y lindos momentos que hemos pasado juntos.
Mis amigos	Flor, Elías, Cano, Gabriel, Maribel, Mayra, América, Mildred, María Eugenia, Dorys, Evelin, Susy, Leslie, Elvira, Pedro, Chaim, Alvaro, Fabricio, René, Sergio y Byron, por su paciencia, lealtad, incondicionalidad y una gran e inolvidable amistad llena de momentos especiales.

TRABAJO DE GRADUACIÓN QUE DEDICO

A:

DIOS

MI FAMILIA

GUATEMALA

POPTÚN, PETEN

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA

FACULTAD DE AGRONOMÍA

INSTITUTO NACIONAL DE BOSQUES

AGRADECIMIENTOS

A:

Ing. Agr. Fredy Hernández Ola por el apoyo, tiempo, orientación y comprensión para la elaboración del presente trabajo.

Ing. Agr. MSc. Tomás Padilla por su colaboración y apoyo en la elaboración y ejecución del presente trabajo.

Ingenieros Agrónomos Jacobo Cotto, Juan Carlos Fuentes y Alejandro Gil por su colaboración, apoyo y soporte en la elaboración de éste trabajo.

Ing. Agr. Ezequiel López y Joel Morales por el apoyo brindado en la fase final del presente trabajo.

Al señor Julio Martínez por el apoyo brindado en durante mi periodo de formación.

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

Las personas que de diferente manera contribuyeron a la realización del presente trabajo, por la colaboración, como la brindada por los técnicos del Instituto Nacional de Bosques (INAB) sub región II-1, el apoyo en la fase de campo del Sr. Carlos Macz y la hospitalidad y amabilidad brindada por la Sra. Silvia Leal.

Índice de General

Título	Página
Índice de Contenido.....	i
Índice de Cuadros.....	v
Índice de Figuras.....	iv
Índice de Tablas.....	vi
Resumen.....	vii

Índice de Contenido

Título	Página
CAPÍTULO I	
FUNCIÓN Y SERVICIOS QUE PRESTA LA SUB REGIÓN II – 1 DEL INSTITUTO NACIONAL DE BOSQUES INAB CON SEDE EN TACTIC, ALTA VERAPAZ.....	1
1.1. Presentación.....	2
1.2. Antecedentes.....	3
1.3. Objetivos.....	4
1.3.1. General.....	4
1.3.2. Específicos.....	4
1.4. Metodología.....	5
1.5. Resultados.....	6
1.5.1. Ubicación geográfica.....	6
1.5.2. Condiciones agroecológicas y recursos naturales.....	6
1.5.3. Recursos físicos.....	7
1.5.3.A. Recurso humano:.....	7
1.5.3.B. Recurso material.....	7
1.5.3.C. Servicios.....	7
1.5.4. Descripción de la actividad productiva y/o situación socioeconómica que se pretende mejorar.....	7
1.5.5. Servicios que presta la institución.....	8
1.5.5.A. Programa de Incentivos Forestales –PINFOR-.....	8
1.5.5.B. Compromisos forestales.....	9
1.5.5.C. Fiscalización de aserraderos y depósitos de madera.....	9
1.5.5.D. Parcelas permanentes.....	10
1.6. Conclusiones.....	11
1.7. Recomendación.....	11
1.8. Bibliografía.....	12
CAPÍTULO II	
“TERCERA FASE DE EVALUACIÓN DEL IMPACTO HIDROLÓGICO EN SUELO CON USOS AGRÍCOLA- PECUARIO- FORESTAL Y CUATRO PORCENTAJES DE COBERTURA FORESTAL EN LA ESTACIÓN HIDROLÓGICA FORESTAL RÍO FRÍO, SANTA CRUZ VERAPAZ, ALTA VERAPAZ”.....	13
2.1. Presentación.....	14
2.2. Definición del problema.....	15
2.3. Justificación.....	16
2.4. Marco teórico.....	17
2.4.1. Marco conceptual.....	17
2.4.1.A. Manejo forestal.....	17
2.4.1.B. Plantación forestal.....	17
2.4.1.C. Sotobosque.....	17

2.4.1.D.	Manejo de sotobosque	17
2.4.1.E.	Hidrología forestal.....	17
2.4.1.F.	Procesos hidrológicos generales	18
2.4.1.G.	Erosión del suelo	20
2.4.1.H.	Tipos de erosión	20
2.4.1.I.	Agentes de la erosión	20
2.4.1.J.	Límites aceptables de erosión	21
2.4.1.K.	Erosión hídrica.....	21
2.4.1.L.	Formas de erosión provocadas por el agua	21
2.4.1.M.	Procesos de la erosión hídrica.....	22
2.4.1.N.	Escorrentía	22
2.4.1.O.	Factores que rigen la escorrentía	22
2.4.1.P.	Medición de la escorrentía y la erosión.....	23
2.4.1.Q.	Balance hídrico del suelo.....	24
2.4.1.R.	Recarga hídrica	26
2.4.1.S.	Resultados obtenidos en investigaciones anteriores.....	28
2.4.2.	Marco referencial.....	31
2.4.2.A.	Localización política y geográfica	31
2.4.2.B.	Límites y colindancias.....	31
2.4.2.C.	Vías de acceso	31
2.4.2.D.	Zona de vida.....	32
2.4.2.E.	Hipsometría, fisiografía y relieve.....	32
2.4.2.F.	Zona de vida.....	32
2.4.2.G.	Geología y geomorfología.....	32
2.4.2.H.	Hipsometría, fisiografía y relieve.....	32
2.4.2.I.	Edafología	33
2.4.2.J.	Recurso hídrico	34
2.4.2.K.	Clima	34
2.4.2.L.	Uso de la tierra	34
2.5.	Objetivos	37
2.5.1.	Objetivo General.....	37
2.5.2.	Objetivos Específicos	37
2.6.	Hipótesis.....	38
2.7.	Metodología.....	39
2.7.1.	Selección del área experimental.....	39
2.7.2.	Selección de los tratamientos.....	40
2.7.3.	Diseño experimental.....	41
2.7.4.	Modelo estadístico.....	41
2.7.5.	Variables de respuesta	42
2.7.6.	Unidad experimental.....	42
2.7.6.A.	Instalación de las parcelas experimentales.....	42
2.7.6.B.	Porcentaje de pendiente de las parcelas	43
2.7.6.C.	Instalación de canales colectores.....	43
2.7.6.D.	Instalación de recipientes colectores.....	44
2.7.6.E.	Mantenimiento a las unidades experimentales.....	44
2.7.6.F.	Fuente de datos meteorológicos.....	45
2.7.7.	Medición de variables.....	45
2.7.7.A.	Escurrimiento superficial.....	45
2.7.7.B.	Cantidad de suelo erosionado.....	46
2.7.7.C.	Determinación de balance hídrico del suelo.....	46
2.7.7.D.	Análisis a efectuar a las muestras recolectadas.....	46
2.7.8.	Análisis de información.....	46

2.8.	Resultados	47
2.8.1.	Datos meteorológicos	47
2.8.2.	Escorrentamiento superficial.....	50
2.8.3.	Análisis efectuados a muestras de suelo recolectadas.....	51
2.8.4.	Escorrentía superficial	51
2.8.4.A.	Análisis de varianza de escorrentía	52
2.8.5.	Suelo erosionado.....	53
2.8.5.A.	Análisis de varianza de la erosión.....	54
2.8.5.B.	Comparación de impacto hidrológico 2006, 2007 y 2008.....	55
2.8.6.	Evapotranspiración	58
2.8.7.	Balance hídrico de suelos.....	59
2.9.	Conclusiones.....	62
2.10.	Recomendaciones.....	64
2.11.	Bibliografía	65
2.12.	Apéndices.....	67

CAPÍTULO III

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

		85
3.1.	Presentación.....	86
3.2.	Servicio 1: Evaluación de actividades relacionadas con el monitoreo de las condiciones hidroclimáticas prevalcientes en la microcuenca del Río Frío, en jurisdicción de la finca Río Frío, Santa Cruz Verapaz, A.V.....	87
3.2.1.	Antecedentes.....	87
3.2.2.	Objetivos	87
3.2.3.	Metodología.....	88
3.2.3.A.	Monitoreo de estaciones climáticas	88
3.2.3.A.a.	Medición de caudales diarios.....	88
3.2.3.A.b.	Medición de la precipitación pluvial.....	89
3.2.3.A.c.	Medición de la temperatura	89
3.2.4.	Resultados	90
3.2.4.A.	Cálculo de caudal	90
3.2.4.B.	Precipitación pluvial y temperatura	91
3.3.	Servicio 2: Apoyo a la Sub-región II-1 en la evaluación y tabulación de datos para Sistema de Registro y Estadística Forestal (SIREF) sobre consumos familiares y visitas de campo con Programa de Incentivos Forestales y compromisos de reforestación en Tactic, Alta Verapaz.	93
3.3.1.	Antecedentes.....	93
3.3.2.	Objetivos	93
3.3.3.	Metodología.....	93
3.3.3.A.	Tabulación de datos al Sistema de Registro y Estadística Forestal –SIREF-.....	93
3.3.3.B.	Evaluación de Proyectos de Incentivos Forestales PINFOR.....	94
3.3.3.C.	Verificación y evaluación de compromisos forestales	94
3.3.4.	Resultados	95
3.3.4.A.	Tabulación de datos a la base del SIREF	95
3.4.	Servicio 3: Evaluación del impacto hidrológico en suelo de uso forestal (Pinus maximinoi) en plantación de dos años de edad y bosque natural en finca Río Frío, Santa Cruz Verapaz, Alta Verapaz.	97
3.4.1.	Objetivos	97
3.4.2.	Metodología.....	98
3.4.2.A.	Selección del área experimental.....	98

3.4.2.B.	Selección de los tratamientos.....	98
3.4.2.C.	Diseño experimental.....	98
3.4.2.D.	VARIABLES DE RESPUESTA.....	98
3.4.2.E.	Unidad experimental.....	98
3.4.2.E.a.	Instalación de las parcelas experimentales.....	98
3.4.2.F.	Medición de variables.....	100
3.4.2.G.	Análisis a efectuar a las muestras recolectadas.....	101
3.4.2.H.	Análisis de información.....	101
3.4.3.	Resultados.....	101
3.4.3.A.	Escurrimiento superficial.....	101
3.4.3.B.	Suelo erosionado.....	102
3.4.3.C.	Análisis físicos efectuados a las muestras de suelo.....	103
3.5.	Conclusiones.....	104
3.6.	Recomendaciones.....	105
3.7.	Bibliografía.....	106

Índice de Figuras

Título	Página	
Figura 1	Croquis de ensayo experimental.....	39
Figura 2	Distribución de parcelas de escorrentía con uso forestal.....	40
Figura 3	Distribución de parcelas de escorrentía con uso agrícola (maíz).....	40
Figura 4	Distribución de parcelas de escorrentía con uso pecuario.....	41
Figura 5	Unidad experimental.....	42
Figura 6	Porcentaje de pendientes en parcelas de uso Forestal.....	43
Figura 7	Porcentaje de pendientes en parcelas de pastos.....	43
Figura 8	Porcentaje de pendientes en parcelas de cultivo.....	43
Figura 9	Canal colector.....	44
Figura 10	Recipientes colectores.....	44
Figura 11	Mantenimiento a unidades experimentales.....	45
Figura 12	Medición de escurrimiento superficial.....	45
Figura 13	Climadiagrama estación hidrológica Río Frío, Sta. Cruz Verapaz, A.V.....	48
Figura 14	Climadiagrama estación hidrológica Río Frío, Sta. Cruz Verapaz, A.V.....	49
Figura 15	Precipitación pluvial total finca Parrachoch, Santa Cruz Verapaz, A.V.....	51
Figura 16	Volumen de escorrentía superficial por tratamiento.....	52
Figura 17	Volumen de suelo erosionado por tratamiento.....	53
Figura 18	Escorrentía superficial entre períodos, microcuenca Río Frío Santa Cruz Verapaz, A. V.....	55
Figura 19	Escorrentía superficial entre períodos, microcuenca Río Frío Santa Cruz Verapaz, A. V.....	56
Figura 20	Erosión hídrica entre períodos, microcuenca Río Frío, Santa Cruz Verapaz, A. V.....	57
Figura 21	Erosión hídrica entre períodos, microcuenca Río Frío, Santa Cruz Verapaz, A. V.....	57
Figura 22	Mapa de ubicación Tactic, A. V.....	68
Figura 23	Mapa de ubicación Santa Cruz Verapaz, A. V.....	69
Figura 24	Mapa de ubicación finca Río Frío, Santa Cruz Verapaz, A. V.....	70
Figura 25	Mapa de ubicación finca Parrachoch Santa Cruz Verapaz, A. V.....	71
Figura 26	Mapa de ubicación de estaciones climáticas en finca Río Frío, Santa Cruz Verapaz, A. V.....	72
Figura 27	Mapa de ubicación de estaciones climáticas en finca Parrachoch, Santa Cruz Verapaz, A. V.....	73

Figura 28	Mapa de ubicación de parcelas de muestreo en finca Río Frío, Santa Cruz Verapaz, A. V.....	74
Figura 29	Mapa de ubicación de parcelas de muestreo en finca Parrachoch, Santa Cruz Verapaz, A. V.....	75
Figura 30	Canal colector	88
Figura 31	Pluviómetro de Lambrecht.....	89
Figura 32	Termómetro Lato.....	89
Figura 33	Hidrógrama de caudal líquido de finca Río Frío, período 2008.....	90
Figura 34	Climadiagrama estación hidrológica Río Frío, Sta. Cruz Verapaz, A.V. finca Río Frío, parte baja.....	91
Figura 35	Climadiagrama estación hidrológica Río Frío, Sta. Cruz Verapaz, A.V. finca Río Frío, parte alta.....	92
Figura 36	Sistema de Registro y Estadística Forestal –SIREF-.....	95
Figura 37	Unidad experimental	99
Figura 38	Croquis de ensayo experimental, finca Río Frío.....	99
Figura 39	Volumen de escorrentía superficial por tratamiento.....	101
Figura 40	Erosión hídrica entre períodos, microcuenca Río Frío, Santa Cruz Verapaz, A. V....	102

Índice de Cuadros

Título	Página	
Cuadro 1	Valores de coeficientes (K_p) según valores de pendientes.....	26
Cuadro 2	Valores de coeficientes (K_v) según tipo de cobertura vegetal.	26
Cuadro 3	Área de las series de suelos encontradas en el área de estudio.	33
Cuadro 4	Uso de la tierra en la finca Río Frío.	35
Cuadro 5	Uso de la tierra finca Parrachoch	35
Cuadro 6	Resumen de resultados de escorrentía superficial	36
Cuadro 7	Resumen de resultados de sedimento erosionado.....	36
Cuadro 8	Resumen de análisis físicos de suelo, Río Frío Santa Cruz Verapaz, Alta Verapaz.....	51
Cuadro 9	Resultados de Análisis Físicos de Suelo, Río Frío Santa Cruz Verapaz, Alta Verapaz.....	67

Índice de Tablas

Título	Página
Tabla 1	Parcelas permanentes a cargo de la Subregión II-1, Tactic, A. V..... 10
Tabla 2	Datos de Estación Hidrológica, Finca Río Parrachoch, año 2008, parte baja (pastos). 47
Tabla 3	Datos de estación hidrológica, finca Río Parrachoch, año 2008, parte alta (cultivo)..... 49
Tabla 4	Precipitación total estación hidrológica forestal Río Frío, Finca Parrachoch.... 50
Tabla 5	Escorrentía superficial en metros cúbicos por hectárea..... 52
Tabla 6	Análisis de varianza a escorrentía superficial. 53
Tabla 7	Suelo Erosionado en toneladas métricas por hectárea..... 54
Tabla 8	Análisis de varianza a Erosión Hídrica..... 54
Tabla 9	Prueba de Tukey a erosión hídrica 55
Tabla 10	Estimación de la evapotranspiración por el método de Hargreaves. 58
Tabla 11	Resumen de la recarga potencial por tratamiento..... 59
Tabla 12	Parámetros utilizados en el cálculo del balance hídrico de suelos por el método de Schosinsky 2001, microcuenca Río Frío 60
Tabla 13	Resumen de balance hídrico por el método Schosinsky..... 61
Tabla 14	Caudal mensual (L/s) año 2008 90
Tabla 15	Precipitación y temperatura mensual de estación hidrológica Río Frío, Sta. Cruz Verapaz, A.V. finca Río Frío, parte baja - 2008 91
Tabla 16	Precipitación y temperatura mensual de estación hidrológica forestal, Río Frío, Sta. Cruz Verapaz, A.V., finca Río Frío, parte alta - 2008 91
Tabla 17	Evaluación de Proyectos de Incentivos Forestal PINFOR. 96
Tabla 18	Verificación y evaluación de compromisos forestales 96
Tabla 19	Escorrentía superficial en metros cúbicos por hectárea..... 101
Tabla 20	Suelo erosionado en toneladas métricas por hectárea. 102
Tabla 21	Resultados de análisis físicos de suelo, Río Frío Santa Cruz Verapaz, Alta Verapaz..... 103
Tabla 22	Evaluaciones PINFOR..... 104
Tabla 23	Evaluaciones a compromisos..... 104

Resumen

El presente informe corresponde al trabajo 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. Realizando las actividades que requiere el Ejercicio Profesional Supervisado –EPS- de la Facultad De Agronomía de la Universidad de San Carlos de Guatemala, en el periodo de Febrero - Noviembre 2008.

El diagnóstico realizado se enfocó en la función y servicios que presta la subregión II-1 Tactic, Alta Verapaz del Instituto Nacional de Bosques, para conocer su situación actual, tomando en cuenta que por su localización se denomina un área prioritaria, por el elevado número de usuarios que requieren los servicios de esta institución, la cual constituye el órgano de dirección y autoridad competente del sector publico, en materia forestal. Y así proponer soluciones para un mejor rendimiento en los servicios prestados a la población.

El objetivo de la investigación fue continuar la evaluación del impacto hidrológico en suelo con uso agrícola, pecuario y cuatro porcentajes de cobertura forestal al 100%, 75%, 67% y 50% en una plantación de *Pinus maximinoi*, la cual es el seguimiento a un 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).

La investigación se realizó durante el año 2008, en la finca experimental Río Frío y Parrachoch, ubicadas 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 escorrentía superficial y pérdida de suelo.

La metodología que se utilizó en esta investigación fue toma de datos en parcelas de escorrentía, luego las muestras se llevaron a la sub región II-1 del INAB, para poder sedimentarlas en conos Imhoff de 1000mL, y así obtener la cantidad de suelo erosionado acumulado, para llevarlos al final de la investigación al laboratorio de suelos de la Facultad de Agronomía y determinar propiedades físicas (dap, CC, PMP y granulometría), las cuales se detallan con mayor precisión en el cuadro de resultados físicos del suelo.

Se realizó una comparación entre las investigaciones que se han llevado a cabo en la finca Río Frío en los dos años anteriores y el actual en donde se muestra que este período ha sido el que

presenta mayor escorrentía y el del año 2007 presenta mayor erosión. En los resultados obtenidos del presente año, el tratamiento que presentó mayor erosión es el agrícola con 14.68TM/ha y el de menor erosión 2.08TM/ha el suelo de uso forestal al 50%, en cuanto a escorrentía superficial con 237.71m³/ha el tratamiento al 67% de cobertura es el que presenta menor escorrentía y por el contrario el tratamiento de mayor escorrentía con 288.94m³/ha es el de 100% de cobertura vegetal.

Los servicios prestados consistieron en la generación de información edafoclimática de la finca Río Frío a través del monitoreo de estaciones climáticas y medición de caudal. 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.



CAPÍTULO I

DIAGNÓSTICO

FUNCIÓN Y SERVICIOS QUE PRESTA LA SUB REGIÓN II – 1 DEL INSTITUTO NACIONAL DE BOSQUES INAB CON SEDE EN TACTIC, ALTA VERAPAZ

1.1. Presentación

El Instituto Nacional de Bosques "INAB" por ser el Servicio Forestal Nacional, constituye el órgano de dirección y autoridad competente del sector público agrícola, en materia forestal. Siendo ésta una institución estatal, con presencia jurídica, autónoma y descentralizada, permitiendo tener una administración ágil; y a la vez asumiendo como misión "Ejecutar y promover las Políticas Forestales Nacionales y facilitar el acceso a asistencia técnica, tecnológica y servicios forestales a silvicultores, municipalidades, universidades, grupos de inversionistas nacionales e internacionales, y otros actores del sector forestal, mediante el diseño e impulso de estrategias y acciones que generen un mayor desarrollo económico, ecológico y social del país".

En cada una de las sub-regiones del INAB existen diferentes actividades para las cuales es necesario el apoyo de técnicos forestales que cumplen con diferentes diligencias como: Evaluación de compromisos de reforestación, Establecimiento y monitoreo de Parcelas Permanentes, Evaluación de Plantaciones inscritas en el Proyectos de Incentivos forestales PINFOR, Evaluación de Planes de manejo Fiscalización de Aserraderos y depósitos de madera. Para la realización de estas actividades los técnicos deben contar con equipo necesario como: boletas de campo, GPS, equipo de transporte, etc. Generando con ello información de relevancia para el manejo futuro de plantaciones forestales.

En el presente informe se obtuvo el detalle de las actividades y servicios que presta la sub región II-1 del INAB, ubicado en la Villa de Tactic, Alta Verapaz, el cual nos sirvió como punto de partida para identificar la problemática que presenta la institución.

1.2. Antecedentes

En diciembre de 1,996 mediante el decreto legislativo 101-96, se aprobó una nueva Ley Forestal para Guatemala y con ella se creó el Instituto Nacional de Bosques, INAB, como el principal ente ejecutor de la misma. Sugiriendo el INAB como una institución autónoma, descentralizada y con patrimonio propio; compartiendo responsabilidades con las municipalidades en materia de administración control forestal. Realizado desde enero 14 de 1997.

Esfuerzos tendientes a su implementación tanto en materia de recursos humanos como de recursos físicos y financiero. Adicionalmente ha tenido que responder a demandas en materia de regulación y control forestal y en el diseño de de acciones de fomento, tales como proyectos surgidos del Plan de Acción Forestal para Guatemala, PAFG, o que fueron apoyados por éste, sirviendo como una base para el INAB. Dentro de la infinidad de actividades que el INAB realiza se encuentra la divulgación del la Ley Forestal y la elaboración de reglamentos específicos: Reglamento de la Ley, Reglamento interno, Manual de Normas, y Procedimientos, Programa emergente de los Incentivos Forestales, las modificaciones a reglamentos (Reglamento de Transporte de Productos Forestales PINFOR). Por lo tanto el Instituto Nacional de Bosques – INAB- es el Servicio Forestal Nacional, que constituye el órgano de dirección y autoridad competente del Sector Público Agrícola, en materia forestal. Siendo esta una institución estatal, con presencia jurídica, autónoma y descentralizada, permitiéndole tener una administración ágil.

1.3. Objetivos

1.3.1. General

- Describir las actividades del departamento de investigación del Instituto Nacional de bosques INAB conjunto a la Sub – Región II-1, ubicada en la Villa de Tactic, Alta Verapaz para saber que servicios presta dicha institución.

1.3.2. Específicos

- Identificar proyectos existentes entre el departamento de investigación y el de Conservación de Ecosistemas Forestales Estratégicos –CEFE- del área metropolitana y la subregión II-1.
- Identificar los servicios que presta la Sub – región II-1, del INAB, ubicada en la Villa de Tactic, Alta Verapaz.
- Identificar los principales problemas que tiene la Sub-región II-1, el Instituto Nacional de Bosques, ubicada en la Villa de Tactic, A.V.

1.4. Metodología

- Se recabaron datos generales sobre la subregión tales como ubicación, recursos con que cuenta, entre otros.
- Se realizó una entrevista semi-estructurada al jefe de personal de la Sub – región II-1, del INAB, ubicada en la Villa de Tactic, Alta Verapaz, en la que se conoció la misión de la institución.
- Se entrevistó a los técnicos encargados de cada uno de los servicios que presta la institución tales como: Compromisos de reforestación, PINFOR y fiscalización de aserraderos, dando a conocer la función de dichos servicios.
- Se investigó por medio de una entrevista semiestructurada la existencia de temas de investigación que estén relacionados con la subregión II-1.
- Se acompañó en ocasiones a los técnicos como apoyo a la realización de sus servicios.
- Se integró y analizó la información recopilada en entrevistas y visitas de campo.

1.5. Resultados

1.5.1. Ubicación geográfica

La sub-región II-1 del Instituto Nacional de Bosques –INAB- se encuentra ubicada en la región Norte de “Las Verapaces” en la Villa de Tactic A. V., a quien se le dio categoría de cabecera municipal en julio de 1952 del año 1545 (Diccionario Municipal de Guatemala 202). El Municipio de Tactic (figura 22) limita al norte con Santa Cruz Verapaz y Cobán A. V., al este con Tamahú A. V. al sur con Purulhá y San Miguel Chicaj, Baja Verapaz y al oeste con Uspantán Quiché, dividiéndose políticamente en un pueblo, ocho aldeas y 45 caseríos, en jurisdicción de la Sierra de Chacos, predominando el idioma maya Pocomchí, con un total de habitantes 17,534.

Las oficinas de la sub-región están ubicadas en la en la 2da. Calle 10-94, zona 3, Tactic, A.V. en las coordenadas latitud norte 15° 19` 8.22” y longitud oeste 84° 20` 52.91” a 1486 metros sobre el nivel del mar, a 183 kilómetros de la capital de Guatemala. Teniendo como vías de acceso la ruta CA-14 con desvío hacia la villa de Tactic en el kilómetro 182.5.

1.5.2. Condiciones agroecológicas y recursos naturales

La zona de vida en la que se encuentra el municipio de Tactic, Alta Verapaz (sub región II-1 del Instituto Nacional de bosques) es Bosque muy húmedo sub tropical “bmhS”(f) según fuera determinado por de la Cruz con base en el sistema de clasificación de L. Holdridge (INAFOR 1,982). Esta zona de vida se caracteriza porque las lluvias van de 4,410 a 6,577mm, con biotemperaturas de 16 a 23 grados Celsius, con evapotranspiración del 0.50%, donde la topografía va de ondulada a accidentada con elevaciones de 1,100 a 1800 msnm con esta cualidad las condiciones de uso adecuado para el suelo es recomendable el aprovechamiento de bosques, los fitocultivos. Las especies forestales que predominan la región son. *Pinus maximinoi*, *Lyquidambar styraciflua*. En estas zonas es común ver actualmente sistemas agroforestales, sistema Taungya, cultivo de maíz, frijol, café, cardamomo, pacaya, árboles frutales como cítricos, aguacate (aguacate hass), injerto (*persea* spp.) y pimienta dioica. Según la clasificación de reconocimiento de suelos de la República de Guatemala hecha por Simons, Tárano y Pinto, la región de Tactic se encuentra en los suelos de los Cerro de Caliza caracterizados por las pendientes inclinadas y suelos poco profundos, incluyendo áreas de rocas no calcáreas, como las de Sierra de las Minas aunque estos cerros tienen un componente calcáreo hay áreas grandes de serpentina.

1.5.3. Recursos físicos

Dentro de los recursos físicos con los que cuenta la sub-región II-1 del Instituto Nacional de Bosques, ubicada en la Villa de Tactic, Alta Verapaz está el edificio con siete ambientes destinados a la secretaria, al Directo sub-regional, tres ambientes para los técnicos de la institución, un ambiente para estudiantes en EPS y un ambiente para expedientes.

1.5.3.A. Recurso humano:

- Un director técnico
- Una secretaria
- Cinco técnicos forestales
- Cuatro técnicos forestales temporales
- Un personal operativo

1.5.3.B. Recurso material

- Seis computadoras de escritorio
- Dos impresoras (tinta)
- Una máquina de escribir (mecánica)
- Dos vehículos doble tracción
- Cuatro motos
- Seis GPS
- equipo forestal: barreno de incremento, brújulas, cintas métricas, cintas diamétricas, clinómetros, hipsómetros, etc.

1.5.3.C. Servicios

- Internet
- Telefax (79529139)
- Energía eléctrica
- Agua potable

1.5.4. Descripción de la actividad productiva y/o situación socioeconómica que se pretende mejorar

Dentro de las actividades que el Instituto Nacional de Bosques está la coordinación y establecimiento de parcelas permanentes de muestreo (PPM) en especies de coníferas (*pinus maximinoi*, *pinus caribaea*), mismas que fueron establecidas en el año 2003.

Una fuente de error importante en las parcelas permanentes es el hecho que en mediciones periódicas no se registre entre la información en el momento que se producen las intervenciones silviculturales.

También cuenta con el Programa de Incentivos Forestales –PINFOR- , el cual es una herramienta de la política forestal nacional de largo plazo que promueve el Instituto Nacional de Bosque –INAB- con miras a impulsar el fomento de la producción forestal sostenible en el país, mediante el estímulo a la inversión en las actividades de reforestación y manejo de bosques naturales.

La misión del PINFOR es fomentar la creación de núcleos de producción forestal regional de alta productividad, para impulsar la oferta de productos forestales competitivos, reducir la deforestación, generar servicios ambientales y empleo en el área rural.

PINFOR incentiva la inversión para el establecimiento y manejo de plantaciones forestales, el manejo sostenido de bosques naturales y la silvicultura con fines ambientales. Además convierte a Guatemala en el líder de la producción de bienes y servicios ambientales de la región. INAB, (2006).

Dentro de las actividades que se pretende realizar en la Práctica Profesional Supervisado –EPS- es el seguimiento de investigación sobre parcelas de escorrentía el cual inició en el año 2006 las cuales se encuentran conformadas por una parcela de pastos, una parcela de cultivo de maíz y parcelas de bosque con cuatro diferentes densidades (100%, 75%, 67% y 50%), de las cuales se hará una comparación con los dos años anteriores.

1.5.5. Servicios que presta la institución

1.5.5.A. Programa de Incentivos Forestales –PINFOR-

Este programa es uno de los principales servicios que presta el INAB ya que por la ubicación geográfica que presenta la sub región, esta se considera como área prioritaria para PINFOR en el año 2008 se han realizado hasta la fecha 28 aprobaciones distribuidos de la siguiente manera:

- 7 aprobaciones de bosques para protección con un área de 539.15ha.
 - 2 aprobaciones en San Cristóbal Verapaz, Alta Verapaz
 - 4 aprobaciones en Senahú
 - 1 aprobación en Santa Cruz Verapaz, Alta Verapaz
- 21 aprobaciones para bosques con reforestación con un área de 595.95ha
 - 16 aprobaciones en San Cristóbal Verapaz, Alta Verapaz

- 1 aprobación en Tucurú
- 4 aprobaciones en Senahú

1.5.5.B. Compromisos forestales

Este servicio consiste en el aprovechamiento de un área forestal, el cual será autorizado siempre y cuando el usuario firme un compromiso de reforestación del área, seguido de esto uno de los técnicos deben realizar visitas para verificar que dicho usuario este cumpliendo con lo establecido en la ley.

En la subregión II-1 se cuenta con 365 compromisos de reforestación que vienen desde el año 2002 y se encuentran distribuidos en el departamento de Alta Verapaz de la siguiente forma:

- | | |
|------------------------------------|---------------------------|
| • 5 compromisos en Tucurú | • 3 compromisos en Panzos |
| • 181 compromisos en Tactic | • 1 compromiso en Tamahú |
| • 121 compromisos en San Cristóbal | • 1 compromiso en Teleman |
| • 48 compromisos en Santa Cruz | • 1 compromiso en Senahú |
| • 4 compromisos en Purulhá | |

1.5.5.C. Fiscalización de aserraderos y depósitos de madera

En este caso el técnico debe realizar revisiones de los aserraderos y depósitos de madera que se encuentren inscritos, los cuales deben cumplir todo lo requerido por la ley.

En la actualidad existen 64 depósitos de madera inscritos y se encuentran localizados en los siguientes municipios del departamento de Alta Verapaz:

- 48 depósitos en San Cristóbal Verapaz
- 11 depósitos en Santa Cruz Verapaz
- 5 depósitos en Tactic

A la vez en dicho departamento existen 20 aserraderos inscritos y se encuentran distribuidos de la siguiente manera:

- 15 industrias en Santa Cruz
- 7 industrias en San Cristóbal
- 5 industrias en Tactic
- 1 industria en Panzos

1.5.5.D. Parcelas permanentes

Este método de parcelas permanentes, es el más generalizado en estudios de crecimiento y rendimiento, sean estas experimentales o bien representativas de inventario continuo. La remediación periódica de unidades de muestra de parcelas permanentes entrega una estimación más precisa del crecimiento comparada con cualquier otro método aplicado con igual intensidad de muestreo (Burkhardt y Strub, 1,974). Estos investigadores plantearon que mientras mas corto el periodo de tiempo entre mediciones, más alta es la correlación entre mediciones sucesivas y mayor la ventaja proporcionada por este tipo de parcelas.

Tabla 1 Parcelas permanentes a cargo de la Subregión II-1, Tactic, A. V.

Finca	Parcela	Ubicación
Cañadas	1	Santa Catalina La Tinta
Sepamac	2	Senahú
Secacao	4	Senahú
Seococ	4	Panzos
Anexo Pambach	4	Santa Cruz Verapaz
Pambach	1	Tactic
El Naranja	1	San Cristóbal Verapaz
San Vicente	2	Santa Cruz Verapaz

Entre los principales problemas que se identificaron en la subregión II-1, Tactic Alta Verapaz podemos mencionar:

1. Falta de personal para fiscalización de aserraderos
2. Falta de personal para visitas a compromisos Forestales
3. Falta de personal para visitas al Programa de Incentivos Forestales
4. Inexistencia de personal para medición de parcelas permanentes
5. Falta de apoyo para realizar medición de parcelas de escorrentía
6. Falta de apoyo para alimentación a la base de datos

1.6. Conclusiones

- Entre los principales servicios que presta la Sub-región II-1 esta la fiscalización de aserraderos la cual debe ser realizada durante todo el año, esta también la evaluación del Programa de incentivos Forestales que inicia en enero y finaliza en el mes de agosto, el monitoreo de Parcelas Permanentes que es realizado en los meses de junio a octubre y por último otro servicio que presta dicha Sub-región es la evaluación de compromisos y planes de manejo que inician en enero y termina en el mes de octubre.
- Existe un proyecto de investigación entre la Sub-región II-1 y el CEFE del área metropolitana, el cual inicio en el año 2004 y consiste en la evaluación de parcelas de escorrentía con suelo de tres diferentes coberturas y cuatro densidades en el caso de Bosque. Esta investigación se tiene contemplado finalizarla en el año 2015.
- Entre los principales problemas que existen en la Sub-región II-1 es la falta de personal ya que por estar localizada en un área que denomina prioritaria existe un alto número de compromisos de reforestación y plantaciones PINFOR.

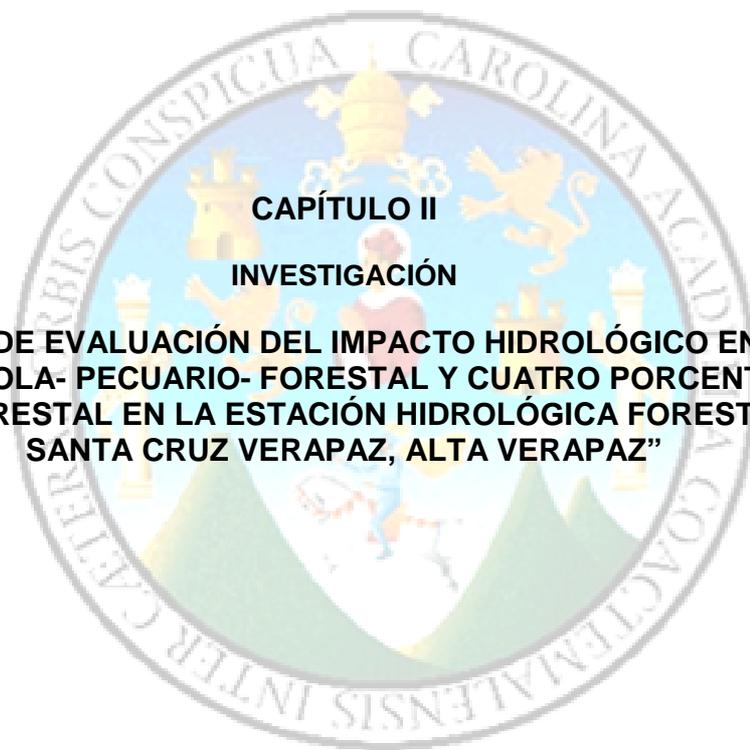
1.7. Recomendación

- Se recomienda ampliar el contrato de técnicos temporales a todo el año, además de la contratación de un técnico forestal para disminuir el tiempo que requieren las evaluaciones que realiza la subregión II-1, como es antes mencionado esta zona esta localizada en un área denominada como prioritaria.

1.8. Bibliografía

1. Cruz, JR De la. 1981. Clasificación de reconocimiento de las zonas de vida de la república de Guatemala. Guatemala, Instituto Nacional Forestal. 42p.
2. INAB (Instituto Nacional de Bosques). 1998. Procedimiento para la evaluación de plantaciones. Guatemala. sp.
3. INAB (Instituto Nacional de Bosques, GT). 2006. PINFOR Programa de incentivos forestales (en línea). Guatemala. Consultado 20 feb 2008. Disponible en <http://inab.gob.gt/espanol/forestal/inversion/nacional/pinfor.htm>
4. INAFOR (Instituto Nacional Forestal, GT). 1983. Mapa de zonas de vida de la república de Guatemala: según el sistema Holdridge. Guatemala, Instituto Geográfico Nacional. Guatemala. Esc. 1:600,000.
5. Vèliz Castro, R. 2005. Diagnóstico situacional de la sub-región II-1 del INAB con sede en Tactic, A.V. Guatemala, INAB. sp.

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



CAPÍTULO II

INVESTIGACIÓN

“TERCERA FASE DE EVALUACIÓN DEL IMPACTO HIDROLÓGICO EN SUELO CON USOS AGRÍCOLA- PECUARIO- FORESTAL Y CUATRO PORCENTAJES DE COBERTURA FORESTAL EN LA ESTACIÓN HIDROLÓGICA FORESTAL RÍO FRÍO, SANTA CRUZ VERAPAZ, ALTA VERAPAZ”

2.1. Presentación

En la actualidad no se cuenta con suficiente información documental básica necesaria para implementar y desarrollar una serie de programas que contribuyan a solucionar los problemas de manejo forestal, de tal modo que las áreas boscosas del país puedan cumplir una de las funciones más importantes, como la constitución en zonas de recarga hídrica. Al no contar con ésta importante información se implementó el presente trabajo de investigación, el cual se desarrolló bajo el marco del convenio técnico entre el INAB y la Facultad de Agronomía de la Universidad San Carlos de Guatemala (FAUSAC), a través del Programa de Ejercicio Profesional Supervisado (EPS).

La presente investigación está orientada a darle seguimiento y sistematización a la información que ha venido generándose a partir del año 2006 sobre escorrentía superficial y erosión hídrica, en tres diferentes usos de suelo, siendo estos: forestal en cuatro porcentajes de cobertura (100%, 75%, 67% y 50%), agrícola y pecuario. Los efectos, que ocurrieron en cada uno de los tratamientos del suelo, se midieron por medio de parcelas de escorrentía instaladas en cada una de las unidades experimentales, en las fincas Río Frío y Parrachoch, teniendo cuatro parcelas por cada tratamiento y cada porcentaje de cobertura en el caso del área ocupada por bosque. El tamaño de las parcelas es de 7.5m x 10.0m conformando un área de 75 metros cuadrados por parcela.

Los resultados obtenidos de la presente investigación, fueron: balance hídrico, erosión hídrica y escorrentía superficial por uso de suelo, siendo el uso agrícola el que cuantificó mayor recarga potencial (1565.15mm), los tratamientos que presentaron menor cantidad de erosión y escorrentía respectivamente fueron bosque al 50% (2.08TM/ha) y bosque el 67% (237.71m³/ha).

El análisis de la información se realizó por medio de una comparación descriptiva y estadística a través de una prueba de medias independientes y posteriormente un análisis de varianza por período o fase.

2.2. Definición del problema

La zona de las Verapaces es característica por su riqueza vegetal la cual se ha visto afectada por desastres naturales como el huracán Mitch en el año 1998, ocasionando grandes pérdidas a nivel ecológico, 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 y esto aumenta la tasa de escurrimiento superficial. Es ahí cuando se considera al bosque como el principal amortiguador de los efectos negativos de tales fenómenos.

A la vez se encuentra en la necesidad de elaborar documentos técnicos que sustenten las decisiones de otorgamiento y seguimiento de manejo forestal. En la actualidad no se cuenta con un documento completo que genere información básica y que muestre el comportamiento que puede tener el suelo ante los eventos de precipitación a través de los años.

Dicha información es necesaria para poder implementar y desarrollar una serie de programas que contribuyan a solucionar los problemas de manejo forestal de tal modo que las áreas boscosas del país puedan cumplir una de sus funciones más importantes, como lo es constituir zonas de recarga hídrica.

Ante la necesidad de saber el comportamiento de la captación hidrológica a través de los años se efectuó una comparación de resultados presentados en las dos fases anteriores realizadas en los años por Chamorro 2006, Flores 2007 y la actual (2008).

2.3. Justificación

La Facultad de Agronomía de la Universidad de San Carlos de Guatemala -FAUSAC- y el Instituto Nacional de Bosques –INAB- promueven el conocimiento acerca del vínculo hidrológico forestal, así como de su relación con la interacción entre clima, suelos y las diferentes especies asociadas a los bosques. El profundizar en el conocimiento de esta dinámica permitirá obtener datos que respalden los criterios técnicos que la administración forestal puede utilizar para responder a los diferentes cuestionamientos sobre el uso racional de los bosques y especialmente en cuanto a su función en recarga hídrica. (Stadmüller, 1996).

En el contexto social actual, es sumamente importante determinar como la reducción de cobertura forestal amenaza la existencia y calidad de las fuentes de agua. Por esa razón, se hace necesario establecer cuales pueden ser las actividades en tierras forestales que tienden a la sostenibilidad, y de qué manera éstas pueden ser reconocidas por la sociedad para un mejor manejo de dichos ecosistemas. Por tanto, es prioritaria la generación de este tipo de información básica que permita la implementación de proyectos piloto en zonas potenciales para la recarga y captación hídrica. Dicha información debe ser sistematizada y llevar una secuencia lógica para estimar productos aplicables que respondan a las situaciones reales del vínculo hidrológico forestal.

La implementación de la Estación Hidrológica Río Frío ubicada en Santa Cruz Verapaz, Alta Verapaz es la unidad piloto de investigación del Instituto Nacional de Bosques –INAB- con el fin de conocer el comportamiento que tendrá el suelo y los factores que influyen a través del tiempo en dicho recurso y de esta manera poder contar con documentos técnicos que sustenten decisiones sobre el manejo forestal en zonas que tengan características similares a esta región. Se ha estimado que para tener resultados significativos dicha investigación debe realizarse como mínimo por un período de diez años.

2.4. Marco teórico

2.4.1. Marco conceptual

2.4.1.A. Manejo forestal

El manejo forestal según Agamez (2004), se define como el aprovechamiento sostenible de los productos deseados y de los servicios ambientales que provee el bosque, sin reducir sus valores inherentes ni su productividad futura. En términos simples, el manejo forestal se puede definir, como la planificación y ejecución del aprovechamiento, recuperación y protección del bosque.

2.4.1.B. Plantación forestal

Según Trujillo (2006), una plantación forestal consiste en el establecimiento de árboles que conforman una masa boscosa y que tienen un diseño, tamaño y especies definidas para cumplir objetivos específicos como plantación productiva, fuente energética, protección de zonas agrícolas, protección de espejos de agua, corrección de problemas de erosión, plantaciones silvopastoriles, entre otras.

2.4.1.C. Sotobosque

A continuación se describen algunas de las definiciones de sotobosque más comunes:

- a) Vegetación arbustiva, que se cría en el bosque, y que alcanza menor altura que los árboles.
- b) Arbustos, matorrales y otras plantas que se sitúan debajo de los árboles del bosque.
- c) Vegetación arbustiva que crece en el estrato inferior de un bosque.

2.4.1.D. Manejo de sotobosque

El manejo del sotobosque se refiere a la remoción o eliminación de este mismo con algún tipo de herramienta como machete, chapeadora, etc. Este procedimiento se hace principalmente como parte del manejo forestal, principalmente los primeros años de vida de la plantación.

2.4.1.E. Hidrología forestal

Hidrología según Gómez de Silva, citado por González (2005), se origina etimológicamente de las palabras *hydros*, que significa agua en griego y *logias*; que significa leyes o ciencia. Se define como la ciencia que estudia las leyes del agua. La palabra forestal es “todo lo relativo a bosques”: del italiano forestales, de forestal, bosque del latín medieval *forestis* “bosque”.

La calidad del agua y el transporte de sedimentos por el agua, se consideran generalmente como verdaderos “indicadores” del buen manejo o del grado de deterioro de una cuenca.

El bosque o la vegetación en general, son algunos de los componentes de las cuencas que pueden ser manipulados por el ser humano. A diferencia de otros componentes como el clima, el relieve, el tipo de suelo, la geología, otros, que no pueden ser modificados por el ser humano, la vegetación constituye un factor modificable que el ser humano puede manejar en una cuenca hidrográfica. Esta flexibilidad es de gran importancia en el manejo de cuencas.

En este contexto, la hidrología forestal o hidrología de bosques, es la ciencia que se ocupa del estudio del comportamiento del ciclo hidrológico bajo el ámbito de los ecosistemas forestales, así como la dinámica en el mismo en función de las variantes de condiciones dentro de estos ecosistemas, producto de su manipulación (uso, remoción, restauración, otra).

Según Rodas (1997), es evidente el vínculo hidrológico forestal a nivel de ecosistemas de bosque tropical húmedo, de tal manera que los diferentes componentes del ciclo hidrológico dentro de éste tipo de ecosistemas- guardan una relación estrecha con el estado de conservación o deterioro de los diferentes componentes del bosque. El mismo autor afirma que “el principal papel del bosque dentro del ciclo hidrológico es en materia de almacenamiento de agua –de lluvia-, básicamente porque bajo el mismo, se favorece la infiltración del agua de lluvia y el escurrimiento se ve disminuido. A nivel de cuencas hidrográficas, ambas situaciones favorecen la estabilidad de los suelos y la posibilidad de almacenamiento y futuro aprovechamiento de aguas sub.-superficiales”. “En materia de distribución de agua (calidad y cantidad), el rendimiento de cuencas forestales es mayor que en cuencas con otro tipo de cobertura como pasto o cultivos, en estos últimos la posibilidad de aprovechar la mayor producción de agua es limitada dado que este mayor escurrimiento superficial ocurre en tiempos relativamente cortos y con mucha inestabilidad. Es posible regular este fenómeno (la producción de agua) bajo un aprovechamiento de la vegetación arbórea. La calidad del agua bajo cuencas forestales está mejor garantizada que bajo otro tipo cobertura”.

2.4.1.F. Procesos hidrológicos generales

A. 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).

B. Precipitación bruta

Según Stadtmüller (1996), 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.

C. 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.

2.4.1.G. 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 (precipitación y velocidad del viento), topografía, grado y longitud del declive, características físico-químicas del suelo, 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 intemperismo.

2.4.1.H. 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.

2.4.1.I. Agentes de la erosión

Los principales agentes de la erosión según el 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.

2.4.1.J. 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.

2.4.1.K. 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.

2.4.1.L. Formas 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.

2.4.1.M. 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.

2.4.1.N. Escorrentía

Según Linsley (1988), se entiende por escorrentía al flujo superficial, subsuperficial y al flujo subterráneo que proviene de la precipitación, los cuales son captados por los cauces de los ríos.

a. Componentes de la escorrentía

El mismo autor afirma que el camino que sigue una gota de agua desde el momento en el cual alcanza la tierra hasta cuando llega al cauce de una corriente es incierto, En este proceso se pueden dar tres situaciones principales:

a.1 *Escorrentía superficial*: Comprende el volumen de agua que avanza sobre la superficie de la tierra hasta alcanzar un canal o dando lugar a la formación de barrancos, arroyos y ríos.

a.2 *Escorrentía subsuperficial*: La porción de agua que se infiltra a través de la superficie de la tierra puede moverse lateralmente en las capas superiores del suelo hasta llegar al cauce de la corriente. Se mueve más lentamente que la escorrentía superficial y alcanza las corrientes posteriormente.

a.3 *Escorrentía subterránea*: Se forma por infiltración del agua en el terreno y luego percola, formando los acuíferos, la cual circula por conductos, constituyendo ríos subterráneos. Parte de esta circulación aflora en fuentes y manantiales, los que también dan lugar a la formación de arroyos y ríos. Lo que viene a constituir el caudal base de los ríos.

2.4.1.O. 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.

2.4.1.P. Medición de la escorrentía y la erosión

Según el Manual de Conservación de Suelos del Colegio de Postgraduados de Chapingo (1991), 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.

El mismo autor afirma que este método consiste el confinamiento de una pequeña superficie, donde es posible manejar y cuantificar los escurrimientos generados en ellas para que posteriormente y por medio de muestras, cuantificar los sedimentos que acarrearán en suspensión. Hudson, citado por Cifuentes (2000), indica que uno de los mejores usos de las parcelas de escorrentía es para la demostración de hechos conocidos; además, estudios comparativos que pueden demostrar el efecto en la escorrentía y erosión en una simple comparación de la existencia o no de una cubierta de suelo y un tercer uso posible es para obtener datos que se van a emplear para construir o validar un modelo o ecuación destinado a predecir la escorrentía o la pérdida de suelo.

Ortiz, citado por Motta (1997), indica que las parcelas experimentales están constituidas básicamente de dos partes: el área experimental y los dispositivos receptores del agua y del suelo que provienen del área experimental por efecto del escurrimiento originado por las lluvias.

- 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.

b. *El sistema receptor*: Consta del canal colector: que se encuentra situado en la parte inferior del área experimental, constituye el límite inferior de ésta y su función es coleccionar el agua y la tierra arrastrada durante el proceso de escurrimiento y erosión y de los tanques receptores que son depósitos donde se acumulan el agua escurrida y los sólidos arrastrados.

2.4.1.Q. 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. Orozco, Padilla, Salguero (2003).

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. Orozco, Padilla, Salguero (2003).

Los métodos se utilizan dependiendo de la información meteorológica disponible para el área de estudio. Dentro de estos métodos se encuentran: Thornthwaite, Hargreaves. Orozco, Padilla, Salguero (2003).

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 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. Orozco, Padilla, Salguero (2003).

➤ **Obtención del valor de precipitación efectiva**

El método de Schosinsky & Losilla (2000) 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 para 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. Orozco, Padilla, Salguero (2003).

➤ **Ecuación de precipitación efectiva**

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

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

Donde:

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

K_i = Valor de retención vegetal (hojas).

Para bosque, la retención es de 0.20,

Para cultivos en general 0.12 y

Para techos de casas, caminos y áreas Construidas es de 0.1 a 0.05

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

P = Precipitación mensual (mm)

A.3 Determinación de infiltración básica

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

➤ **Relación entre infiltración de agua en suelos y la intensidad de lluvia (Kfc)**

La ecuación que relaciona la capacidad de infiltración de agua en el suelo (infiltración básica – fc-) 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 (Kp)**

Los valores de este factor propuestos por Schosinsky & Losilla (2000) se presentan en el cuadro 1.

Cuadro 1 Valores de coeficientes (Kp) según valores de pendientes.

CATEGORIA	RANGO DE PENDIENTE	COEFICIENTE (Kp)
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, Padilla, Salguero (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 2.

Cuadro 2 Valores de coeficientes (Kv) según tipo de cobertura vegetal.

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

Fuente: Orozco, Padilla, Salguero (2003)

2.4.1.R. Recarga hídrica

Custodio & Llamas (2001), citado en el manual que describe la Metodología para la determinación de áreas críticas de recarga hídrica natural, dice que recarga natural es el volumen de agua que entra en un embalse subterráneo durante un periodo de tiempo, a causa de la infiltración de las

precipitaciones o de un curso de agua. Es equivalente a la infiltración eficaz; además la define como el proceso que implica un incremento de agua hasta la zona de saturación, donde se encuentra el nivel de las aguas subterráneas. Es decir, es la cantidad de agua adicionada a través de pozos de inyección principalmente (recarga artificial) o absorbida a través del suelo y percolada hasta llegar a un acuífero (recarga natural). Esta puede ser directa (infiltración de lluvia) y lateral (aporte de otras áreas o cuencas).

(Jonson, 1975), citado en el manual que describe la Metodología para la determinación de áreas críticas de recarga hídrica natural (2004), menciona que el agua que se infiltra en el suelo se llama agua subsuperficial, pero no toda se convierte en agua subterránea. Tres son los hechos fundamentales que tienen relación con esta agua. Primero, puede ser devuelta a la superficie por fuerzas capilares y evaporada hacia la atmósfera, ahorrándose así gran parte de su recorrido dentro del ciclo hidrológico. Segundo, puede ser absorbido por las raíces de las plantas que crecen en el suelo, ingresando de nuevo a la atmósfera a través del proceso de la transpiración. Tercero, la que se ha infiltrado profundamente en el suelo, puede ser obligada a descender por la fuerza de la gravedad hasta que alcance el nivel de la zona de saturación que constituye el depósito de agua subterránea y que abastece de la misma a los pozos. Una vez superada la capacidad de campo del suelo, el agua desciende por la acción conjunta de las fuerzas capilares y de la gravedad. Es el agua gravitacional.

El mismo autor afirma que en algunos lugares los depósitos de agua subterráneas son recargados rápidamente por la lluvia que cae en terrenos que yacen por encima de aquellos. En otros sitios en los cuales el nivel de los ríos y lagos se halla más alto que la superficie freática y sus lechos son permeables, el depósito es recargado por esos cuerpos líquidos, cuando una corriente o un tramo de esta, brinda su contribución de agua a la zona de saturación se dice que es una corriente influente respecto del agua subterránea. Si por el contrario el agua subterránea se halla a una elevación mayor a la de un río o lago, y percola hacia este se dice que es una corriente efluente de aquella. Algunas secciones de una corriente superficial son efluentes en tanto que otras pueden ser afluentes.

Los principales procesos de transferencia del ciclo hidrológico de una cuenca (precipitación pluvial, escorrentía superficial, evapotranspiración e infiltración) son los elementos importantes en la estimación del balance hídrico de toda la cuenca (sin aporte de otras cuencas) para cuantificar la recarga al acuífero.

2.4.1.S. 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 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 perdidas 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 mas 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 (2006), 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% ($218.1\text{m}^3/\text{ha}$) es el que presentó mayor escorrentía pero es interesante observar que el tratamiento de 100% ($215.6\text{m}^3/\text{ha}$) es el que le sigue, luego el de 75% ($180.7\text{m}^3/\text{ha}$) y por último el de 67% ($177.8\text{m}^3/\text{ha}$). 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% y la mayor escorrentía se produce en una cobertura del 92.39%.
- La recarga anual fue de 1066.67mm/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 (2006), 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 351mm. Seguido, esta el mes de octubre con 261mm, 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 $76\text{m}^3/\text{ha}$. 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 4.03Ton/ha. A diferencia de los otros dos usos de suelo que presentaron bastante similitud entre sus resultados.

Según Flores (2007), en la investigación II Fase de Evaluación de Impacto Hidrológico en suelo con uso agrícola-pecuario y cuatro densidades de Cobertura Forestal, los resultados fueron:

- 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 412.6mm. Para todos los tratamientos evaluados, la mínima precipitación ocurrió en el mes de abril con un valor de 45.10mm.
- Según los datos obtenidos sobre escorrentía indica que no existe una diferencia significativa entre los tres tratamientos de uso de suelo y cuatro porcentajes de cobertura forestal. Cabe mencionar que el tratamiento con menor escorrentía fue donde el uso de suelo es dedicado a pasto, con un promedio de 142.51m³/ha.
- Con respecto a los resultados de suelo erosionado se aprecia un daño significativo en el uso agrícola (maíz) de 25.77Ton/ha. A diferencia de los otros tratamientos que presentaron similitud entre ellos.

2.4.2. Marco referencial

2.4.2.A. Localización política y geográfica

La finca Río Frío se encuentra ubicada administrativamente en el municipio de Santa Cruz Verapaz, departamento de Alta Verapaz, en las coordenadas geográficas: LA 15°20'30" LO 90°25'08" en el kilómetro 192.5. Siendo propiedad de la Empresa W.E. Diesseldorff, posee una extensión total de 407.7 ha. (Ver figura 24).

Así también la finca Parrachoch se encuentra situada administrativamente en el municipio de Tactic, (Ver figura 22) departamento de Alta Verapaz, en las coordenadas geográficas: LA 15°19'43" LO 90° 23'32" en el kilómetro 187.5. Siendo propiedad del señor Ataulfo Ramírez Flores. (Ver figura 25)

2.4.2.B. Límites y colindancias

- Colindancias de la finca Río Frío:
 - Al Norte: Finca Patzunun
 - Al Sur: Comunidad Río Frío
 - Al Este: Finca Parrochoch
 - Al Oeste: Finca Valparaíso, San Rafael y Hermano Pedro
- Colindancias de la finca Parrachoch:
 - Al Norte: Finca Patzunun
 - Al Sur: Carmen Vásquez y Harol Jageenzon.
 - Al Este: Estela Ramírez de Arriola.
 - Al Oeste: Finca Río Frío.

2.4.2.C. Vías de acceso

De la ciudad capital ruta al atlántico Norte CA-14 en el Km. 182.5 se localiza la Villa de Tactic, A.V. (Ver figura 22) cinco kilómetros después 187.5 se encuentra la Finca Parrachoch en el Municipio de Santa Cruz Verapaz, A.V. (Ver figura 23) posteriormente pasando por el Cruce del Cid (Km. 190.5) a dos Kilómetros de éste se encuentra el casco de la finca Río Frío, sobre el Km. 192.5 en la ruta que conduce de Tactic hacia Cobán A.V.

2.4.2.D. 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. Algunas especies indicadoras de esta zona son: *Pinus maximinoi*, *Persea schiediana*, *Myrica cerifera*, *Liquidámbar styraciflua*, entre otras.

2.4.2.E. Hipsometría, fisiografía y relieve

Las fincas se encuentran ubicadas dentro de la región fisiográfica de Tierras calizas Altas del norte según la INAB (2000). La topografía de la finca es variada, pudiéndose encontrar depresiones de 1394 msnm y en las partes mas altas 1841 msnm.

2.4.2.F. 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. Algunas especies indicadoras de esto zona son: *Pinnus maximinoi*, *Persea schiediana*, *Myrica cerífera*, *Liquidambar styraciflua*, entre otras.

2.4.2.G. 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 geofomas 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).

2.4.2.H. 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.

2.4.2.1. Edafología

A. Génesis

Los suelos de esta finca según el Ministerio de Agricultura Ganadería y Alimentación, (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.

B. 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, tal como lo muestra el cuadro 3.

Cuadro 3 Área de las series de suelos encontradas en el área de estudio.

Serie	Símbolo	Área
		%
Carchá	Cr	33.39
Telemán	Te	66.61

Fuente: Simmons, Tárano, Pinto (1959)

Según Simmons, Tárano, Pinto (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 fertilidad natural de estos suelos que puede ser

de baja a regular. El único problema de manejo del suelo es el combate de erosión y peligro de heladas.

C. 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.

2.4.2.J. 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.

2.4.2.K. Clima

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

2.4.2.L. Uso de la tierra

A. Finca Río Frío:

- **Forestal:** La especie principal es el *Pinus Maximinoi*, existiendo otras especies en menor cantidad como: *Liquidámbar styraciflua*, *Cupressus lusitánica*, *Quercus sp*, *Arbustos xalapensis*, *Mirica cerífera*. Formando bosques de coníferas, bosques latifoliados y mixtos.
- **Matorrales:** Formado por guamiles de montes bajos, con especies vegetales de poco valor económico.

- **Protección:** Es un área definida como protección por las características que presenta: a) Pendientes mayores a 55%, b) Alto Porcentaje de pedregosidad, c) especie principal en esta área es *Pinus maximinoi*.
- **Frutales:** Dentro de la finca se encuentra una plantación de *Diospyros kaki*. cultivo permanente, con producción anual y cultivo de *Macadamia integrifolia*.
- **Infraestructura:** se compone solamente por la casa patronal y guardianía.

Cuadro 4 Uso 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 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 (62.83) del área total de la finca.

B. Finca Parrachoch

Los suelos del terreno son franco arenosos, con una profundidad efectiva mayor de 90cm., 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 5 Uso de la tierra finca Parrachoch

Uso	Area ha	%
Bosque	052.43	38.85
Pastos	053.90	39.94
Agricultura	018.45	13.67
Guamil	010.18	7.54
Total	134.96	100

Fuente: Muss (2004)

El cuadro 6 muestra un resumen de resultados de escorrentía superficial en metros cúbico por hectárea obtenidos en los períodos anteriores de investigación en los años 2005, 2006 y 2007.

Cuadro 6 Resumen de resultados de escorrentía superficial

EPS 2005-2007	BOSQUE				PASTO	CULTIVO
	100% m ³ /ha	75% m ³ /ha	67% m ³ /ha	50% m ³ /ha	Pasto m ³ /ha	Maíz m ³ /ha
González M.	153	153	153	161	--	--
Chamorro T.	216	181	178	218	--	--
Carrera R.	--	--	--	--	52	76
Flores H.	185	168	162	188	142	182

Fuente: Flores (2007)

En el cuadro 6 se observa que la cantidad de escorrentía en los diferentes tratamientos ha sido similar, esto debido a que las condiciones no han sido modificadas únicamente en la investigación de Chamorro (2006), donde se le dio manejo al sotobosque de las parcelas, lo que dio lugar a que existiera mayor cantidad de escorrentía.

El cuadro 7 muestra un resumen de resultados de erosión hídrica en toneladas métricas por hectárea obtenidos en los períodos anteriores de investigación en los años 2005, 2006 y 2007.

Cuadro 7 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.	--	--	--	--	0.15	4.03
Flores H.	1.14	1.36	0.74	0.58	0.93	26

Fuente: Flores (2007)

En el cuadro 7 se observan las cantidades de suelo erosionado que se mantienen en cantidades similares debido a que los tratamientos no se les ha aplicado ningún manejo a la cobertura forestal o terrestre.

2.5. Objetivos

2.5.1. Objetivo General

- Contribuir al conocimiento del vínculo hidrológico forestal a través de la determinación del impacto hidrológico derivado de tres usos del suelo agrícola-pecuario-forestal.

2.5.2. Objetivos Específicos

- Comparar la escorrentía superficial y erosión hídrica en tres usos de suelo y cuatro diferentes porcentajes de cobertura forestal.
- Hacer análisis comparativo del impacto hidrológico con respecto a los resultados obtenidos en los años 2006, 2007 y 2008, en tres usos de suelo y cuatro diferentes porcentajes de cobertura forestal.
- Comparar el balance hídrico en tres usos de suelo y cuatro diferentes porcentajes de cobertura forestal

2.6. Hipótesis

- La escorrentía superficial, será igual en los tres usos de suelo y cuatro porcentajes de cobertura.
- La pérdida de suelo por erosión hídrica, será igual en los tres usos de suelo y cuatro porcentajes de cobertura.

2.7. Metodología

2.7.1. Selección del área experimental.

El área experimental se encuentra definida por las investigaciones realizadas en años anteriores en las cuales tomaron como características: áreas bajo las mismas condiciones de pendiente, pero con variaciones en cuanto al uso que se le está dando al suelo en este caso: forestal en el cual se identificaron cuatro diferentes porcentajes de cobertura (100%, 75%, 67%, 50%), pecuario y agrícola este último con cultivo de maíz (ver figura 1). Las áreas que son utilizadas en el experimento se ubican en dos fincas del municipio de Santa Cruz Verapaz, Alta Verapaz, las cuales se encuentran colindantes una con otra permitiendo la similitud entre las condiciones mencionadas, siendo estas: Finca Río Frío en la cual se localizan las 16 parcelas de bosque y Finca Parrachoch en donde están ubicadas las parcelas de cultivo (maíz) y pastos.

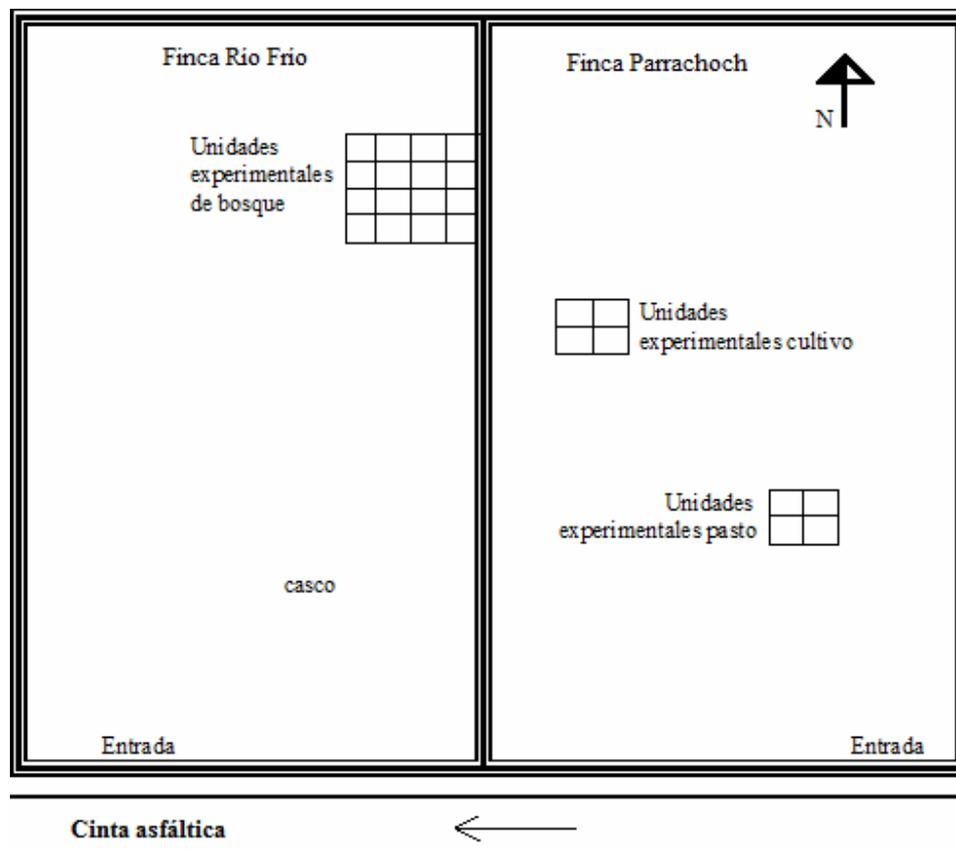


Figura 1 Croquis de ensayo experimental

2.7.2. Selección de los tratamientos.

Los tratamientos evaluados en la presente investigación son tres usos de suelo y cuatro diferentes porcentajes de cobertura forestal los cuales son:

- Uso forestal (100%, 75%, 67% y 50% de cobertura), distribuidas tal como se muestra en la figura 2.

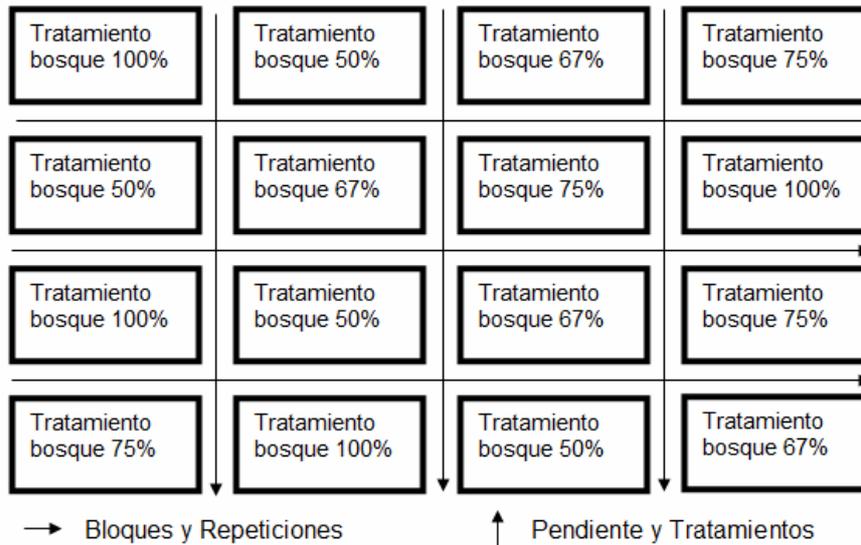


Figura 2 Distribución de parcelas de escorrentía con uso forestal

- La figura 3 muestra la distribución de parcelas con suelo de uso agrícola (maíz).

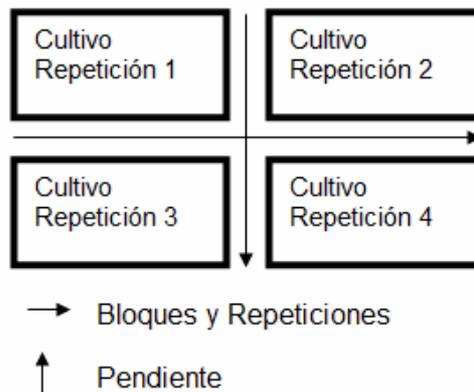


Figura 3 Distribución de parcelas de escorrentía con uso agrícola (maíz).

- La figura 4 muestra la distribución de parcelas de escorrentía en suelo con uso pecuario.

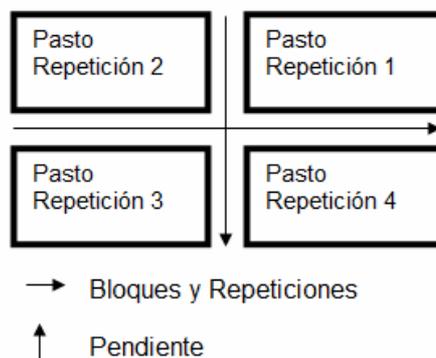


Figura 4 Distribución de parcelas de escorrentía con uso pecuario

2.7.3. Diseño experimental.

Se utilizó el diseño “Bloques Completamente al Azar”, debido a que las condiciones del área piloto de la investigación son homogéneas y no presentan ninguna gradiente de variabilidad. Se realizaron cuatro repeticiones para cada uno de los tratamientos y porcentajes de cobertura, teniendo un total de 24 unidades experimentales con un área de 75m² por unidad experimental.

También se realizó una comparación con los dos períodos anteriores y el actual para lo cual se efectuó un análisis de varianza por período y luego un análisis de varianza de series de experimentos de bloques al azar.

2.7.4. Modelo estadístico

El modelo estadístico que se utilizó para el diseño experimental generó información sistematizada y llevó una secuencia lógica para estimar productos aplicables que respondieron a las situaciones reales del vínculo hidrológico forestal.

Modelo estadístico Bloques Completamente al azar

$$Y_{ij} = \mu + T_i + \beta_j + \epsilon_{ij}$$

Donde:

Y_{ij} = Variable de respuesta de la ij – ésima parcela experimental

μ = Media general

T_i = Efecto de i – ésimo uso del suelo

β_j = Efecto del j – ésimo bloque

ϵ_{ij} = Error experimental asociado a la ij – ésima parcela experimental

$i = 1, 2, 3, \dots t$

$j = 1, 2, 3, \dots r$

2.7.5. Variables de respuesta

Las variables de respuesta se encontraron fueron las siguientes:

- i) Volumen de escurrimiento superficial total en metros cúbicos por hectárea por año y porcentaje de escorrentía.
- ii) Cantidad de suelo erosionado en toneladas métricas por hectárea y lámina de suelo en centímetros.
- iii) Granulometría del suelo erosionado.

2.7.6. Unidad experimental.

2.7.6.A. Instalación de las parcelas experimentales

Las parcelas de escorrentía se encuentran instaladas en las unidades experimentales para darle continuidad al trabajo de las fases anteriores, realizadas por Thylma Chamorro en el año 2006 y Hugo Flores en el 2007, cada uno de los tratamientos que son: tres diferentes usos de suelo siendo forestal en cuatro porcentajes de cobertura (100%, 75%, 67% y 50%), (ver figura 28) agrícola (maíz) y pecuario (ver figura 29) están delimitadas por tablas de 0.30metros de ancho que circulan cada una de ellas con el fin de evitar la penetración de escorrentía superficial de áreas aledañas. El tamaño de las parcelas es de 7.5m x 10.0m teniendo así un área de 75 metros cuadrados por parcela, (ver figura 5)

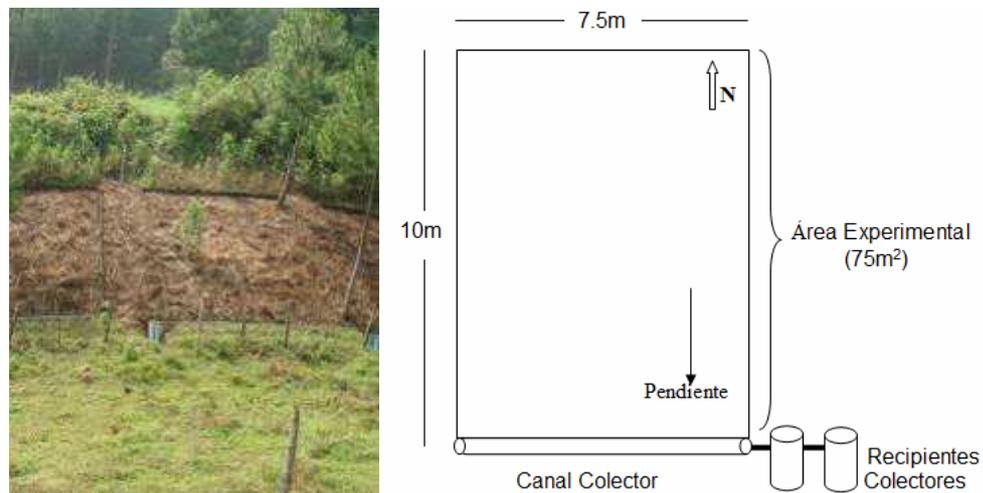


Figura 5 Unidad experimental

2.7.6.B. Porcentaje de pendiente de las parcelas

En la figura 6 se observa la distribución de pendientes en los tratamientos de uso forestal.

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

Fuente: Proyecto de CEFE (2007)

Figura 6 Porcentaje de pendientes en parcelas de uso Forestal

En la figura 7 se observa la distribución de pendientes en los tratamientos de uso pecuario.

▲ N	48%	40%
	45%	45%

Fuente: Proyecto de CEFE (2007)

Figura 7 Porcentaje de pendientes en parcelas de pastos

En la figura 8 se observa la distribución de pendientes en el tratamiento de uso de suelo agrícola (maíz).

▲ N	41%	40%
	46%	40%

Fuente: Proyecto de CEFE (2007)

Figura 8 Porcentaje de pendientes en parcelas de cultivo

2.7.6.C. Instalación de canales colectores.

Estos canales están hechos de hojalata, colocados en la parte más baja de las parcelas con un leve desnivel (ver figura 9), los cuales permitirán la colecta y transporte de agua de escorrentía y sedimentos que provenga de cada unidad experimental hacia los recipientes colectores.



Figura 9 Canal colector

2.7.6.D. Instalación de recipientes colectores.

Para esto se utilizó recipientes de plástico en forma de cono truncado de 68 litros de capacidad, 62cm. de altura, 46.5cm. diámetro superior y 33.5cm. diámetro inferior colocando dos por cada unidad experimental (ver figura 10). En dichos recipientes se midió el volumen de agua de escorrentía y la cantidad de suelo erosionado. Para la obtención del volumen de escorrentía se calibraron los recipientes, determinando el volumen de agua en función de la altura de agua caída en cada recipiente.



Figura 10 Recipientes colectores

2.7.6.E. Mantenimiento a las unidades experimentales.

Como se observa en la figura 11, constantemente se dio mantenimiento a cada unidad experimental, como limpias y cuidados al equipo que se encuentra dentro de ellas, esto con el fin evitar cualquier factor que pueda alterar el cumplimiento de la investigación.



Figura 11 Mantenimiento a unidades experimentales

2.7.6.F. Fuente de datos meteorológicos

Dentro de cada una de las fincas se encuentran instaladas dos estaciones climáticas siendo estas Finca Río Frío en la cual la primera estación está ubicada en la parte baja a 1437 msnm en las coordenadas geográficas LA 16°20'30.35" LO 90°25'3. 62" y la otra situada en la parte alta a 1525 msnm en las coordenadas geográficas LA 15°20'27.32" LO 90°24'13.36" (ver figura 26) y Finca Parrachoch en donde se localiza una de las estaciones a 1475 msnm en las coordenadas geográficas LA 15°19'48.72" LO 90°24'15.17" y la siguiente a 1491 msnm en las coordenadas geográficas LA 15°19'54.61" LO 90°24'10.14" (ver figura 27) dichas estaciones climáticas cuentan con el siguiente equipo: pluviómetro y termómetro de máxima y mínima, las cuales se monitorearon diariamente.

2.7.7. Medición de variables.

2.7.7.A. Escurrimiento superficial.

Como muestra la figura 12, la medición de la escurrentía se efectuó seguido de cada evento de lluvia que ocurrió en el área, tomando en cuenta que el agua llega hasta los recipientes colectores en cualquiera de las unidades experimentales. La medición se realizó con una cinta métrica, lo cual permitió obtener la profundidad en el recipiente de agua escurrida para luego determinar la lámina de agua.



Figura 12 Medición de escurrimiento superficial

2.7.7.B. Cantidad de suelo erosionado.

El material erosionado por la escorrentía se cuantificó tomando en cuenta los sólidos en suspensión y sedimentos depositados en el fondo del recipiente.

Para la determinación de éstos se utilizaron conos de sedimentación (Imhoff).

2.7.7.C. Determinación de balance hídrico del suelo.

Los cálculos de recarga se realizaron en una hoja de cálculo de Excel, específica para desarrollar los balances hídricos, por el método de Schosinsky, en la cual se introducen las variables del suelo (densidad aparente, capacidad de infiltración, pendiente y granulometría), grados de humedad (capacidad de campo y punto de marchitez permanente), cobertura (Retención de lluvia y profundidad radicular) y clima (precipitación efectiva y evapotranspiración). Con esta información el programa calculó la recarga potencial, de la unidad en lámina de agua. Los cálculos se efectuaron con un intervalo mensual.

2.7.7.D. Análisis a efectuar a las muestras recolectadas.

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

- Densidad aparente
- Granulometría
- Densidad real
- Porcentajes de humedad (15atm. y 1/3atm.)

2.7.8. Análisis de información.

Una vez colectados todos los datos necesarios durante los 10 meses en que se realizó la investigación, se hizo la comparación descriptiva y posteriormente se obtuvieron las conclusiones y plantearon recomendaciones pertinentes del estudio.

Los datos de escorrentía superficial y erosión hídrica fueron sometidos a un análisis de varianza (ANDEVA), para establecer la existencia de diferencias significativas entre los tratamientos evaluados. Como fue el caso en erosión hídrica en donde se presentaron diferencias entre los tratamientos, se utilizó la prueba múltiple de medias de Tukey.

Se realizó un análisis de varianza conjunto para realizar comparaciones entre los datos de los dos períodos anteriores y los generados este año por el método de análisis de varianza de series de experimentos de bloques al azar.

2.8. Resultados

Para la tabulación de resultados es necesaria la previa obtención de algunos datos concretos para su posterior utilización, tal es el caso de datos meteorológicos y análisis físicos de muestras de suelo.

2.8.1. Datos meteorológicos

En la tabla 2 se detalla la precipitación y evapotranspiración registrada en la parte baja de la finca Parrachoch, en el período de estudio (2008).

Tabla 2 Datos de estación hidrológica, finca Río Parrachoch, año 2008, parte baja (pastos).

Mes	Pp mensual mm	ETP mm	T° media mensual °C
Enero	138.0	44.95	16.84
Febrero	029.0	49.76	18.76
Marzo	101.5	54.86	13.79
Abril	055.5	58.45	13.87
Mayo	262.5	69.93	21.39
Junio	189.0	66.96	21.00
Julio	375.6	66.58	20.00
Agosto	245.0	68.34	20.82
Septiembre	299.0	63.21	21.95
Octubre	510.0	53.90	18.41
Noviembre	115.5	43.52	16.2
Diciembre	66.5	42.30	16.89

En la figura 13 se observa el comportamiento de temperatura, precipitación y evapotranspiración que presentó la parte baja de la finca Parrachoch, durante el año 2008.

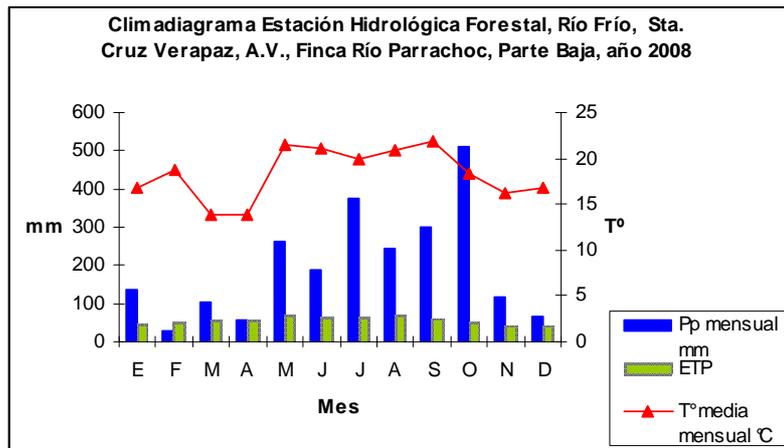


Figura 13 Climadiagrama estación hidrológica Río Frío, Sta. Cruz Verapaz, A.V.

La figura 13 muestra la marcada diferencia entre estaciones climáticas (seca y lluviosa) que se presentan en el país y uno de los factores que la expresa es la cuantificación de precipitación. Así mismo podemos observar que el mes más seco que presentó este período de investigación comprendido de enero a diciembre es el mes de febrero (29mm) y el mes mas lluvioso fue octubre (510mm) en la estación localizada en los tratamientos de suelo con uso pecuario.

En la mayoría de los meses la evapotranspiración tiene un comportamiento normal a excepción de los meses de febrero y abril en donde presenta mayor evapotranspiración que precipitación esto consecuencia de la poca actividad lluviosa y temperaturas de éstos meses ocasionando un desequilibrio en el suelo, liberando más agua de la que entro al sistema, el mes que presento mayor ETP es mayo con 69.93mm.

En lo que a temperatura respecta, la estación localizada la parte baja de la finca muestra un promedio diario de 18.32°C. El mes más caluroso que presentó es el mes de septiembre (21.95°C) para la estación de la parte baja, por el contrario en el mes de mayo se registraron las temperaturas más bajas (13.78°C).

En la tabla 3 se detalla la precipitación y evapotranspiración registrada en la parte alta de la Finca Parrachoch, en el período de estudio (2008).

Tabla 3 Datos de estación hidrológica, finca Río Parrachoch, año 2008, parte alta (cultivo).

Mes	Pp mensual mm	ETP mm	T° media mensual °C
Enero	166.0	44.95	16.93
Febrero	036.8	49.76	19.34
Marzo	120.4	54.86	18.77
Abril	056.5	58.45	19.60
Mayo	279.0	69.93	20.80
Junio	208.9	66.96	19.87
Julio	387.5	66.58	18.18
Agosto	265.0	68.34	20.63
Septiembre	324.0	63.21	20.21
Octubre	586.0	53.90	17.10
Noviembre	138.5	43.52	15.28
Diciembre	078.0	42.30	15.24

En la figura 14 se observa el comportamiento de temperatura, precipitación y evapotranspiración que presentó la parte baja de la finca Parrachoch, durante el año 2008.

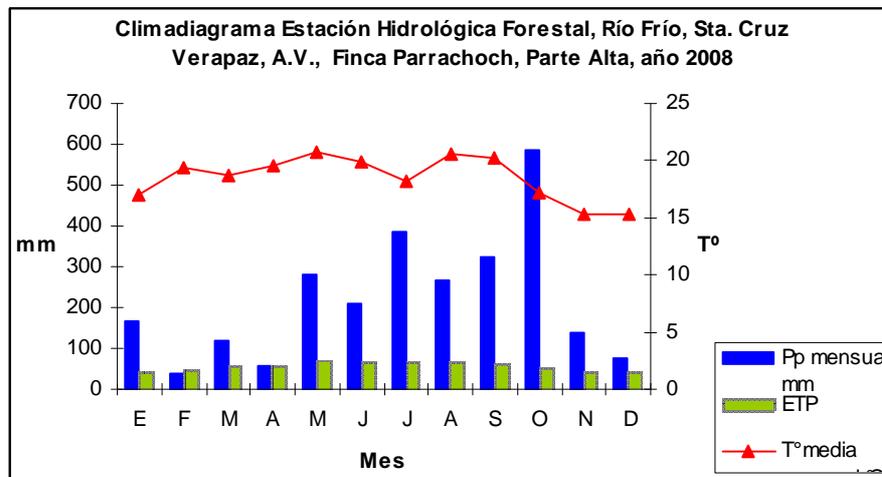


Figura 14 Climadiagrama estación hidrológica Río Frío, Sta. Cruz Verapaz, A.V.

La estación hidrológica de la parte alta ocupada por los tratamientos de uso agrícola (maíz) presentó una precipitación media mensual del 220.51mm, el mes más seco que presentó este período de investigación (año 2008) es el mes de febrero con 36.8mm.

Al igual que en la estación ubicada en la parte baja de la finca, en la mayoría de los meses la evapotranspiración tiene un comportamiento normal a excepción de los meses de febrero (49.76mm) y abril (58.45mm) cuantificando mayor salida que entrada de agua al sistema como consecuencia de la poca actividad lluviosa y temperaturas registradas para éstos meses.

El promedio anual de temperatura es de 19.14°C, el mes más caluroso que se presentó para la parte alta fue el mes de mayo (20.80°C) al igual que en la parte baja de la finca el mes de diciembre se registra las temperaturas más bajas (15.24°C).

2.8.2. Esgurrimiento superficial

Los datos de precipitación fueron tomados en dos de las estaciones climáticas instaladas en la Estación Hidrológica Forestal Río Frío ubicadas en la Finca Parrachoch y los datos se muestran en la tabla 4.

Tabla 4 Precipitación total estación hidrológica forestal Río Frío, Finca Parrachoch

Mes	Pp Total (mm)
Enero	0304.0
Febrero	0065.8
Marzo	0221.9
Abril	0112.0
Mayo	0541.5
Junio	0397.9
Julio	0763.1
Agosto	0510.0
Septiembre	0623.0
Octubre	1096.0
Noviembre	0254.0
Diciembre	0144.5

Como se puede observar en la figura 15, las máximas precipitaciones en el período de estudio ocurrieron durante los meses de julio, septiembre y octubre con valores que va de 763.1, 623.0 y 1,096.0 mm respectivamente, en caso del último mes el incremento de precipitación se debe al temporal ocurrido durante dicho mes. Para todos los tratamientos evaluados, la mínima precipitación ocurrió en el mes de febrero con un valor de 65.8 mm.

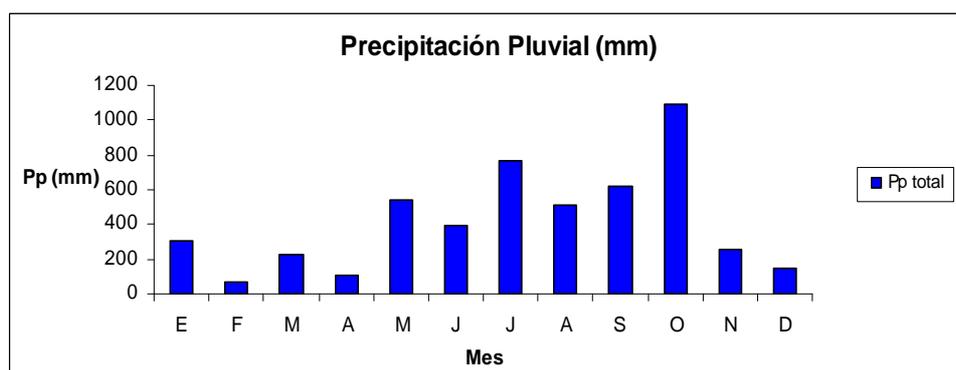


Figura 15 Precipitación pluvial total finca Parrachoch, Santa Cruz Verapaz, A.V.

2.8.3. Análisis efectuados a muestras de suelo recolectadas.

En el cuadro 8 se presenta un resumen de los análisis físicos que se le hicieron a las muestras recolectadas dentro de cada una de las 24 parcelas evaluadas en el período de investigación.

Cuadro 8 Resumen de análisis físicos de suelo, Río Frío Santa Cruz Verapaz, Alta Verapaz

Tratamiento	Iden	%		gr/cc		%			Clase textural
		CC	PPM	Da	Dr	Arcilla	Limo	Arena	
Cultivo	C	38.255	30.895	0.808	1.812	19.660	35.890	44.452	Franco
Pastos	P	57.225	39.005	0.665	1.787	13.212	33.935	52.852	Franco arenoso
Bosque	100%	51.135	48.377	0.659	1.825	09.767	31.455	58.777	Franco arenoso
	75%	50.577	45.735	0.696	1.737	10.145	32.315	57.540	Franco arenoso
	67%	50.140	47.200	0.634	1.750	11.112	29.590	59.302	Franco arenoso
	50%	54.460	50.630	0.661	1.800	09.767	26.395	56.340	Franco arenoso

Fuente: Laboratorio de Suelos, FAUSAC (2008).

Se determinó por medio del análisis físico, que la clase textural del suelo en pastos es franco, en cultivos y bosque franco arenoso, presentando una densidad aparente promedio de 0.687g/cc, notando que todos los tratamientos a excepción del uso agrícola tienen las mismas características del suelo, las cuales fueron criterio para la selección inicial del área.

2.8.4. Escorrentía superficial

En la figura 16, se muestra la cantidad de escorrentía superficial, expresada en m³/ha en cada uno de los tratamientos evaluados.

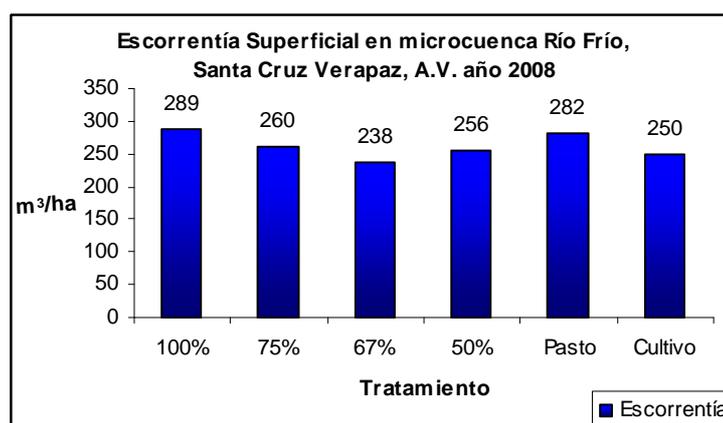


Figura 16 Volumen de escorrentía superficial por tratamiento

Los resultados de la figura 16 muestran que el tratamiento con menor volumen de agua de escorrentía superficial son los suelos con cobertura boscosa al 67%, con un promedio de 238m³/ha y los tratamientos que presentan mayor escorrentía de agua con poca diferencia entre ellos son los suelos con cobertura de boscosa al 100% y suelos con uso pecuario presentando el primero un volumen de 289m³/ha y el segundo 282m³/ha. Como se muestra los suelos con cobertura boscosa al 67% reducen la escorrentía y favorecen la infiltración del agua al subsuelo, esto debido al porcentaje de pendiente, el agua interceptada por las copas de los árboles, a la presencia de la abundante materia orgánica con que cuenta la primera capa de suelo en esta área y al sotobosque existente ya que, a menor porcentaje de cobertura forestal mayor desarrollo de sotobosque presenta el área experimental, la cual conjuntamente a la materia orgánica funge como colchón a las gotas de lluvia de tal manera que la precipitación tiene mayores posibilidades de infiltración en el suelo y evita que aumente la escorrentía.

2.8.4.A. Análisis de varianza de escorrentía

En la tabla 5 se presentan las medias en m³/ha de escorrentía superficial por tratamiento.

Tabla 5 Escorrentía superficial en metros cúbicos por hectárea.

Tratamientos	Repeticiones				Total	Media
	I	II	III	IV		
100%	393.691	251.750	273.583	236.753	1155.778	288.9443
75%	253.909	317.960	275.661	191.772	1039.304	259.8255
67%	255.955	226.229	253.563	215.077	950.826	237.706
50%	286.744	206.228	273.243	255.838	1022.055	255.5133
Pasto	319.341	283.530	245.028	281.017	1128.918	282.229
Cultivo	249.657	282.637	234.967	232.140	999.402	249.8503

En la tabla 6, se presentan el análisis de varianza de escorrentía recolectada en cada una de las 23 parcelas evaluadas expresado en metros cúbicos.

Tabla 6 Análisis de varianza a escorrentía superficial.

FV	GL	SC	CM	F	F tabla
Bloque	3	10123.306	3374.435	2.219	3.287
Tratamientos	5	07676.393	1535.278	1.009	2.901
EE	15	22809.959	1520.663		
Total	23	40609.659			

C.V. = 14.864

Según el análisis de varianza de escorrentía superficial (tabla 5), indica que no existe diferencia significativa entre los seis tratamientos de uso de suelo y cuatro porcentajes de cobertura forestal. Es decir; que ninguno de los tratamientos es diferente con respecto a escorrentía superficial a los otros. El ensayo tuvo un coeficiente de variación de 14.86%, el tratamiento con menor escorrentía fue el de uso forestal al 67%, con un promedio de 238m³/ha.

2.8.5. Suelo erosionado

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

En la figura 17, se presenta la cantidad de suelo erosionado, expresado en TM/ha en cada uno de los tratamientos evaluados.

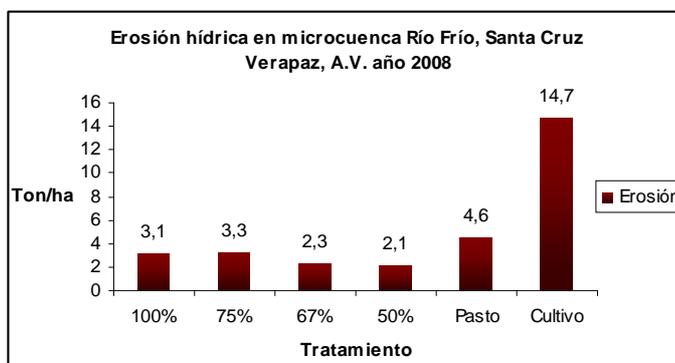


Figura 17 Volumen de suelo erosionado por tratamiento.

Los resultados de la figura 17 muestran que el tratamiento con menor volumen de suelo erosionado, es decir el uso de suelo que se recomienda en el área de estudio es el de cobertura forestal al 50%, que presentó una erosión de 2.10TM/ha, seguido por el de cobertura forestal al 67% con 2.30TM/ha. Esto se debe al sotobosque con que cuentan los tratamientos. Por el contrario, cuando se utilizó con cobertura agrícola, la erosión fue mayor con 14.70TM/ha. Esto debido, al tipo de cobertura que existe en el suelo (maíz) ya que como es bien sabido este es un cultivo anual teniendo un suelo en ocasiones totalmente descubierto y 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 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. También es importante mencionar que existió presencia de animales que son propiedad del poseedor de la finca los cuales actuaron como agentes físicos externos y alteraron los resultados de erosión ya que en ocasiones se alimentaban del cultivo que se estableció en el área experimental. Con respecto a los tratamientos de uso forestal al 67%, 100% y el uso pecuario brindan una similar protección, disminuyendo la erosión hídrica.

2.8.5.A. Análisis de varianza de la erosión

En la tabla 7 se presentan las medias en Ton/ha de erosión hídrica por tratamiento.

Tabla 7 Suelo erosionado en toneladas métricas por hectárea.

Tratamiento	Repeticiones				Total	Media
	I	II	III	IV		
100%	02.083	02.522	04.214	03.412	12.233	03.06
75%	02.799	03.154	03.504	03.717	13.175	03.29
67%	02.477	02.710	01.657	02.450	09.296	02.32
50%	01.723	01.978	01.833	02.795	08.330	02.08
Pasto	04.565	04.048	04.437	05.399	18.451	04.61
Cultivo	13.356	18.455	11.730	15.198	58.740	14.68

En la tabla 8, se presentan el análisis de varianza de suelo erosionado recolectada de cada una de las 24 parcelas evaluadas expresado en toneladas métricas.

Tabla 8 Análisis de varianza a erosión hídrica.

FV	GL	SC	CM	F	F tabla
Bloque	3	005.487	01.829	01.098	3.287
Tratamientos	5	465.208	93.041	55.851	2.901*
EE	15	024.988	01.665		
Total	23	495.683			

C.V.= 25.764

Según el análisis de varianza de la tabla 8 muestra que con un nivel de significancia del 5% al menos uno de seis tratamientos tiene diferencia en la pérdida de suelo por erosión hídrica.

Tal como se muestra en la tabla 9 según la prueba de Tukey con un nivel de significancia del 5% el tratamiento que obtuvo la mayor cantidad de erosión hídrica estadísticamente es el tratamiento del suelo con uso agrícola. Y los tratamientos restantes poseen una diferencia significativa respecto a dicho tratamiento, pero no entre ellos.

Tabla 9 Prueba de Tukey a erosión hídrica

Tratamiento	Media	Tukey
Cultivo	5.784	a
Pasto	1.845	b
75%	1.317	b
100%	1.223	b
67%	0.929	b
50%	0.833	b

2.8.5.B. Comparación de impacto hidrológico 2006, 2007 y 2008

Debido a que este experimento ha sido realizado en años anteriores (2006 y 2007), se realizó un análisis de series de experimentos en bloques al azar a través del tiempo, esto con la finalidad de comparar los resultados de los dos períodos anteriores y el actual, y así tener mayor certeza en cuanto a resultados considerando un gradiente de variación como el tiempo en este caso.

Según el análisis de varianza existe diferencia significativa entre tratamientos y entre periodos en lo que a escorrentía superficial respecta, para saber que período y en cual de los tratamientos existe mayor escorrentía superficial se realizó una prueba de Tukey y los resultados obtenidos se muestran en la figura 18.

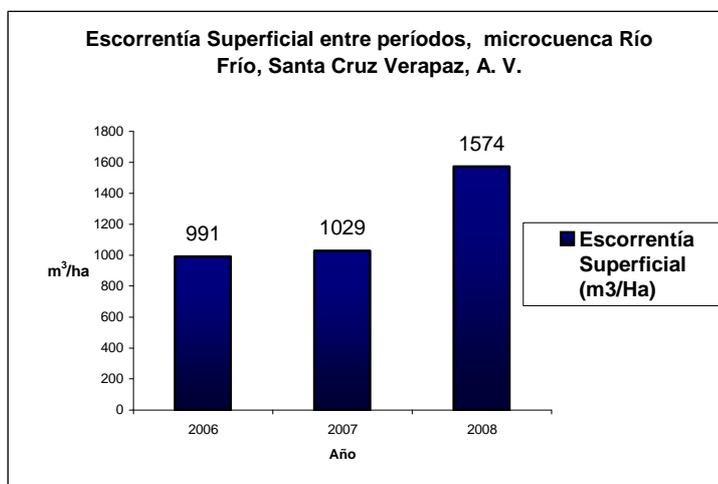


Figura 18 Escorrentía superficial entre períodos, microcuenca Río Frío Santa Cruz Verapaz, A. V.

En la prueba de Tukey se observó que el año que cuantificó mayor escorrentía superficial fue el 2008, seguido por el 2007 y el que presentó menor escorrentía es el período del 2006, esto radica en el incremento de lluvia que existió en el área de las Verapaces durante el año 2008, a diferencia de los dos años anteriores en los que se reportaron menos eventos de lluvia.

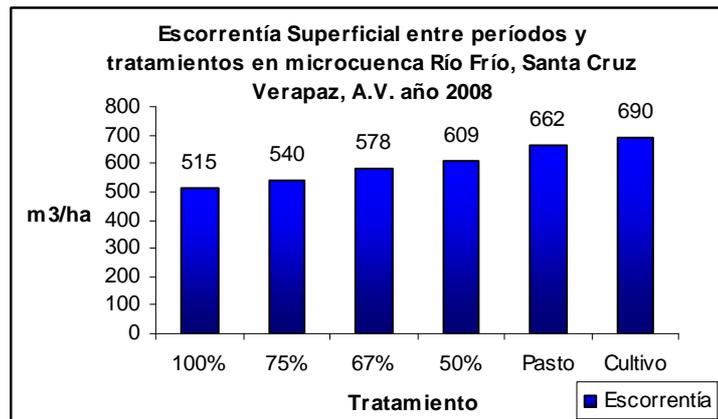


Figura 19 Escorrentía superficial entre períodos, microcuenca Río Frío Santa Cruz Verapaz, A. V.

En cuanto al tratamiento que presentó menor escorrentía superficial durante los tres períodos de estudio es el suelo con uso pecuario (ver figura 19), en este resultado influye principalmente la cobertura que éste posee ya que el impacto de la las gotas no es directo al suelo evitando un proceso brusco en cada evento de lluvia, es importante mencionar que aunque el tratamiento de suelo con uso pecuario es el que presenta menor escorrentía superficial los tratamientos de suelo con uso forestal al 100%, 75% y 67% no presentan diferencia significativa con respecto al uso pecuario lo cual también radica en la cobertura que posee el suelo ya que contribuyen al ciclo del agua en el cual influyen factores que necesitan de un proceso, y entre dichos factores podemos mencionar evaporación, evapotranspiración e infiltración, además éstos ayudan a disminuir el impacto hidrológico y a mantener las zonas de recarga en el país las cuales son indispensables para la sostenibilidad de recursos vitales como bosque y agua.

En el caso de la variable erosión hídrica, se observó que con un nivel de significancia del 5%, el análisis de varianza indica que si existe diferencia significativa por lo menos en alguno de los tratamientos, además existe diferencia entre los períodos que lleva de estudio la investigación.

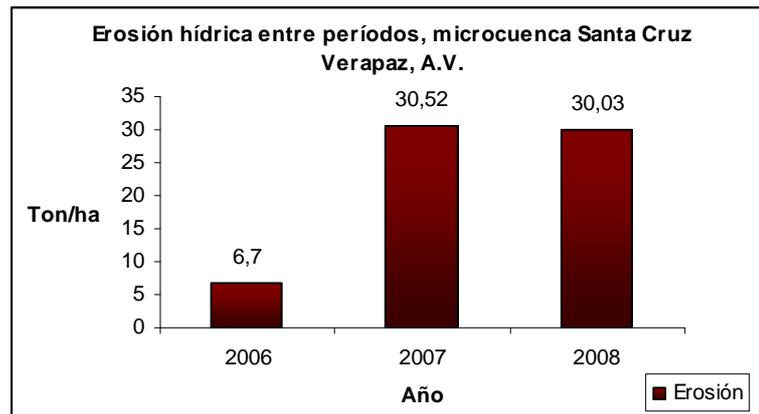


Figura 20 Erosión hídrica entre períodos, microcuenca Río Frío, Santa Cruz Verapaz, A. V.

Según indica la prueba de Tukey realizada entre tratamientos y períodos de investigación aplicada a la variable de erosión hídrica el año que cuantificó mayor erosión hídrica fue el 2007, seguido por el 2008 y el que presentó menor erosión es el período del 2006, (ver figura 20), existe la posibilidad que el aumento erosivo del año 2007 se deba a que el suelo estuvo mucho mas tiempo descubierto que el siguiente período (2008).

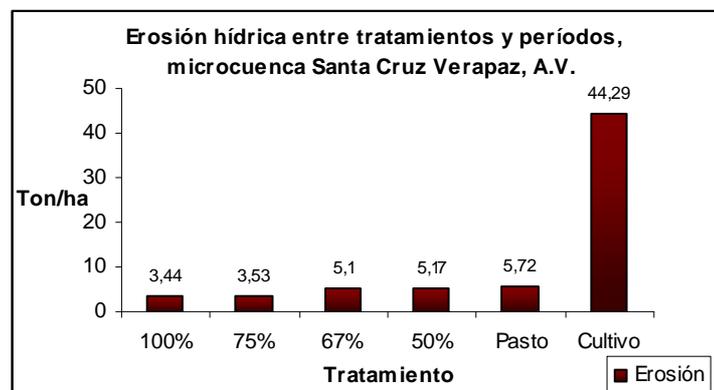


Figura 21 Erosión hídrica entre períodos, microcuenca Río Frío, Santa Cruz Verapaz, A. V.

En cuanto a tratamientos el suelo con uso agrícola es el que presenta mayor cantidad de suelo erosionado, por lo que es el uso menos recomendado para el área de estudio, 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 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. Cabe mencionar que al implementar cultivos anules en áreas de recarga hídrica, éstos no proporcionan al suelo la protección permanente que éste requiere principalmente al momento de cosecha y siembra ya que en ese lapso el suelo se encuentra totalmente desprovisto de cobertura, además debe tomarse en cuenta la presencia de algunos agentes físicos como plagas y otros animales que pueden alterar la plantación y por ende el suelo, como lo es la aplicación de algún insecticida o fungicida que no sea biológico en el primer caso, o la compactación del suelo si el agente es de mayor tamaño.

2.8.6. Evapotranspiración

Se estimó la evapotranspiración con los valores de temperatura diaria; estos valores de evapotranspiración se pueden observar en la tabla 10.

Tabla 10 Estimación de la evapotranspiración por el método de Hargreaves.

Mes	Temperatura °C	RS (mm/día)	TMF	RMM (Mm/mes)	Duración del día (h)	S (%)	RSM	ETP (mm)
Enero	16.9	12.29	62.39	380.99	11.3	09.20	096.05	44.95
Febrero	19.1	13.51	66.29	391.79	11.6	09.45	100.00	49.75
Marzo	16.2	14.83	61.23	459.73	12.0	09.77	119.44	54.87
Abril	16.7	15.77	62.12	473.10	12.5	10.18	125.44	58.44
Mayo	21.1	16.02	69.97	496.62	12.8	10.43	133.25	69.93
Junio	20.4	16.00	68.78	480.00	13.0	10.59	129.79	66.95
Julio	19.1	16.02	66.35	496.62	12.9	10.51	133.77	66.58
Agosto	20.7	15.93	69.30	493.83	12.6	10.26	131.46	68.33
Septiembre	21.1	15.33	69.95	459.90	12.2	09.94	120.47	63.20
Octubre	17.8	14.07	63.95	436.17	11.8	09.61	112.37	53.89
Noviembre	17.0	12.66	62.60	379.80	11.4	06.89	096.17	45.15
Diciembre	17.2	11.9	62.96	368.90	11.2	06.83	092.59	43.72
					145.3	113.66		685.80

- RS = Radiación solar
- TMF = Temperatura media mensual °F
- RMM = Radiación mensual extraterrestre
- S = Brillo solar mensual
- RSM = Radiación solar incidente mensual
- ETP = Evapotranspiración potencial

La estimación realizada en la tabla 10 es de importancia para la elaboración de climadiagramas y balance hídrico, si comparamos estos datos con los de años anteriores comprobamos con que existió menor evapotranspiración en el actual año debido a al mayor número de eventos lluviosos, el mes que presentó mayor evapotranspiración es mayo con 69.93mm.

2.8.7. Balance hídrico de suelos

El balance hídrico se aplicó para cada uno de los tratamientos del área experimental en estudio.

Los resultados de volumen obtenidos sobre recarga potencial del suelo en cada tratamiento se resume en la tabla 11.

Tabla 11 Resumen de la recarga potencial por tratamiento.

Tratamiento	Recarga potencial (mm/año)
Bosque 100 %	1352.33
Bosque 75 %	1267.71
Bosque 67 %	1291.74
Bosque 50 %	1411.83
Pastos	1547.77
Cultivos	1381.36

Como se observa en la tabla 11, la recarga potencial entre tratamientos es similar siendo el tratamiento de suelo con uso pecuario el que muestra mayor recarga, esto se debe a la disponibilidad de cobertura con que cuenta el suelo ya que durante los eventos de lluvia las pérdidas de agua solamente fueron por retención vegetal (0.18) y no existe perdida por escurrimiento caular. La absorción por raíces es menor que en bosques al igual que la evapotranspiración, es por esto que las parcelas con tratamiento de pastos lograron una mayor infiltración. Cabe mencionar que a pesar que éste tratamiento presenta mayor recarga no cumple con los requerimientos de conservación de zonas recarga hídrica y calidad del agua como lo hacen las parcelas de bosque en este caso especialmente la de cobertura al 50%. Los tratamientos de cobertura forestal presentan una recarga menor al de cobertura pecuaria, esto se debe a la retención de gotas de lluvia ocasionada por las copas provocando que la cantidad de agua que llega al suelo sea menor y por ende disminuye el agua a infiltrarse.

Para obtener la recarga hídrica en bosques, se utilizó un porcentaje de retención del 20% (cobertura 100%) esto debido a que el bosque se encuentra en condiciones naturales, es decir sin alteraciones del hombre, ya que no se aplicó ningún tipo de limpia y éste cuenta con cobertura de sotobosque dentro del mismo, pero conforme varía el porcentaje de cobertura el porcentaje de

retención disminuye por tal motivo se utilizó 18% (cobertura 75%), 16% (cobertura 67%) y 15% (cobertura de 50%).

Los tratamientos de bosque y cultivo presentaron una menor recarga hídrica al suelo comparándolos con el área de pastos, sin embargo los primeros protegieron de una mejor manera al mismo en cuanto a escorrentía y erosión, esto debido a la retención de lluvia por el material vegetativo que poseen. En el caso del bosque por medio de las copas, provocando así que las gotas de lluvia no tengan impacto directo con el suelo y den lugar al desprendimiento y arrastre de partículas del mismo. A diferencia del tratamiento de cultivos, la cobertura vegetal ocasional de éste no brindó la misma protección al suelo, causando un significativo daño en cuanto a erosión del suelo y disminución de infiltración de agua. Es importante mencionar que a pesar de ser un suelo que en la mayoría del tiempo estuvo descubierto la recarga no fue la menor y es por el impacto directo de lluvia al suelo sin alguna retención.

Para el cálculo de balance hídrico fue preciso utilizar algunos parámetros los cuales se detallan en la tabla 12.

Tabla 12 Parámetros utilizados en el cálculo del balance hídrico de suelos por el método de Schosinsky 2001, microcuenca Río Frío

Tratamiento	P. Raíz (cm)	dap (gr/cc)	C.C. (%)	P.M.P. (%)	Kp	Kv	fc (mm/día)	Lluvia retenida
100%	2500	0.66	51.14	48.38	0.06	0.2	696	0.2
75%	2500	0.7	50.58	48.38	0.06	0.18	228	0.18
67%	2500	0.63	50.14	47.2	0.06	0.16	240	0.16
50%	2500	0.66	54.46	50.63	0.06	0.15	312	0.15
Pasto	400	0.67	57.23	39.01	0.06	0.18	312	0.12
Cultivo	400	0.81	38.26	30.9	0.06	0.10	300	0.12

P. raíz = Profundidad radicular
 Dap = Densidad aparente
 CC = Capacidad de campo
 PMP = Punto de marchitez permanente
 Kp = Factor de pendiente
 Kv = Factor de vegetación
 Fc = Infiltración básica

En la tabla 13 se presenta un resumen de balance hídrico de suelo por el método Schosinsky el cual fue utilizado para la elaboración de la presente investigación.

Tabla 13 Resumen de balance hídrico por el método Schosinsky.

Bosque 100%				
Entrada		Salida		%
Variable	mm	Variable	Mm	
Precipitación pluvial	2,516.85	Evapotranspiración real	661.15	26.27
		Escorrentía superficial	0	0
		Retención vegetal	503.37	20.000001
		Recarga potencial	1352.33	53.73
Total	2,516.85	Total	2,516.85	100
Bosque 75%				
Entrada		Salida		%
Variable	mm	Variable	Mm	
Precipitación pluvial	2,516.85	Evapotranspiración real	654.79	26.01625047
		Escorrentía superficial	0	0
		Retención vegetal	453.03	17.9998808
		Recarga potencial	1267.71	50.36891352
Total	2,516.85	Total	2,375.53	94.3850448
Bosque 67%				
Entrada		Salida		%
Variable	Mm	Variable	Mm	
Precipitación pluvial	2,516.85	Evapotranspiración real	660.41	26.23954546
		Escorrentía superficial	0	0
		Retención vegetal	402.7	16.00015893
		Recarga potencial	1291.74	51.32367841
Total	2,516.85	Total	2,354.85	93.5633828
Bosque 50%				
Entrada		Salida		%
Variable	Mm	Variable	Mm	
Precipitación pluvial	2,516.85	Evapotranspiración real	668.24	26.55064863
		Escorrentía superficial	0	0
		Retención vegetal	377.59	15.00248326
		Recarga potencial	1411.83	56.0951189
Total	2,516.85	Total	2,457.66	97.64825079
Pastos				
Entrada		Salida		%
Variable	Mm	Variable	Mm	
Precipitación pluvial	2,516.85	Evapotranspiración real	666.01	26.461982
		Escorrentía superficial	0	0
		Retención vegetal	303.074	12.041798
		Recarga potencial	1547.767608	61.49622
Total	2,516.85	Total	2,516.85	100
Cultivo				
Entrada		Salida		%
Variable	Mm	Variable	Mm	
Precipitación pluvial	2,516.85	Evapotranspiración real	641.39	25.48383893
		Escorrentía superficial	0	0
		Retención vegetal	303.074	12.04179828
		Recarga potencial	1381.36	54.88447861
Total	2,516.85	Total	2,325.82	92.41011582

2.9. Conclusiones

- Estadísticamente no existe diferencia significativa entre los 6 tratamientos, en cuanto a escorrentía superficial se refiere, sin embargo es importante destacar que el tratamiento que cuantificó mayor protección al suelo fue el de cobertura forestal al 67% (238m³/ha). En cuanto a análisis estadístico sobre erosión hídrica si existió diferencia significativa entre tratamientos, siendo el uso agrícola (maíz) el que presentó mayor cantidad de suelo erosionado (14.68 TM/ha) y el tratamiento de uso forestal al 50% (2.08 TM/ha) presentó menor erosión. Por lo tanto se rechaza hipótesis nula que hace referencia a erosión hídrica.
- En el análisis comparativo realizado con los resultados de las investigaciones anteriores (2006 y 2007), se tiene que la cantidad de escorrentía en los diferentes tratamientos, ha sido mayor en este último período comprendido en el 2008, (año 2006 991m³/ha, año 2007 1029 m³/ha y 2008 1574 m³/ha) consecuencia del aumento en número de eventos lluviosos y lámina de agua, presentando 2169mm en el año 2006, 2170mm para el año 2007 y 2517mm en el presente año (2008), el tratamiento con menor escorrentía entre fases es suelo con uso pecuario (515m³/ha).
- Haciendo la salvedad que a pesar que éste tratamiento presentó menor escorrentía no es el recomendado para implementar en la microcuenca ya que no cumple con los requerimientos de conservación de zonas de recarga hídrica la cual es el motivo de la presente investigación, caso contrario de las plantaciones de bosque las cuales a pesar de presentar una diferencia insignificante con respecto al área de pasto éstas si cumplen con los requerimientos de conservación de la zona de recarga hídrica, especialmente el tratamiento al 67% de cobertura.
- En cuanto a erosión hídrica, el comportamiento es el mismo, el tratamiento más erosivo es el suelo con uso agrícola (44.29TM/ha). Cabe mencionar que los tratamientos año con año han venido aumentando éste factor, a excepción del área de cultivo, éste disminuyó en el presente período y para que esto ocurra debe darse mayor cuidado al suelo.

- La recarga anual se calcula en 1352.33mm/año para el tratamiento de bosque al 100%; 1267.71mm/año para 75%; 1291.74mm/año al 67%; 1411.83mm/año para 50%; 1547.77mm/año para pastos y 1381.36mm/año para cultivos. La recarga potencial es similar entre tratamientos de bosque y pastos, esto debido a la homogeneidad de las condiciones con que cuentan. Con respecto al área ocupada por pastos, la recarga varía por las condiciones de cobertura del suelo las cuales facilitan la infiltración del agua.
- En esta fase de investigación se cuantifico mayor recarga potencial (alrededor de 500 mm) que en años anteriores esto radica en la frecuencia de de eventos lluviosos a diferencia de los primeros dos períodos que presentaron menor número de eventos lluviosos. En comparación al comportamiento de recarga potencial entre fases éste es similar de acuerdo a tratamientos principalmente en los años 2006 y 2008.

2.10. Recomendaciones

- Según los resultados de la investigación en el período 2008 se recomienda implementar plantaciones forestales al 50% para lograr una sostenibilidad del bosque y así un equilibrio en el ecosistema alcanzando con esto la conservación de zonas de recarga hídrica en el país.
- Realizar manejo forestal adecuado, incluyendo podas y limpiezas a las parcelas que se encuentran bajo estudio de diferentes porcentajes de cobertura forestal, para poder mantener el período que requiere la investigación el cual es como mínimo diez años.
- Es preciso que los canales colectores en las parcelas no estén descubiertos para disminuir el porcentaje de error que existe en la investigación, alterando los resultados de cantidad de escorrentía superficial.
- Se recomienda el uso forestal en el área para contribuir a la conservación de las fuentes de agua existentes en la zona. Este tipo de cobertura favorece a la infiltración del suelo, reduce la escorrentía superficial y por ende la erosión hídrica, a diferencia del suelo con uso pecuario el cual no cumple con los requerimientos sostenibles para zonas de recarga hídrica.
- Sustituir de pluviómetros por pluviógrafos, para adquirir mejor interpretación de los datos obtenidos, los primeros solamente miden lámina de agua y los pluviógrafos miden otros factores como intensidad y duración.
- Se recomienda que el período de investigación sea extendido a todo el año para poder obtener datos anuales y no por períodos de 10 meses.

2.11. Bibliografía

1. Agámez, M. 2004. Seminario establecimiento y manejo de plantaciones (en línea). Colombia, El Semillero. Consultado 7 mar 2005. Disponible en www.elsemillero.net/Archivos/SECUENCA%20DIDACTICA%20DE%20LA%20PLANTACI%20D3N2.doc. Citado por: González, ME. 2006. Contribución al programa de investigación en hidrología para la administración forestal del Instituto Nacional de Bosques – INAB -, desarrollado en la finca Río Frío, Santa Cruz Verapaz, Alta Verapaz. Tesis Ing. Agr. Guatemala, USAC. 100 p.
2. 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.
3. 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.
4. 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.
5. Colegio de Postgraduados Chapingo, MX. 1991. Manual de conservación de suelo y agua. 3 ed. Chapingo, México. 606 p.
6. Custodio, E; Llamas, MR. 2001. Hidrología subterránea. 2 ed. Barcelona, España, Omega. v. 1-2, 235 p.
7. Cruz, JR De la. 1981. Clasificación de zonas de vida de Guatemala a nivel de reconocimiento. Guatemala, Instituto Nacional Forestal. 24 p.
8. Fassbender, HW. 1983. Suelos y sistemas de producción agroforestales. Turrialba, Costa Rica, CATIE. 151 p.
9. Flores, HL. 2007. II Fase de evaluación de impacto hidrológico en suelo con uso agrícola, pecuario y cuatro densidades de cobertura forestal en la estación hidrológica forestal Río Frío, Santa Cruz Verapaz, Alta Verapaz. Tesis Ing. Agr. Guatemala, USAC. 138 p.
10. 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.
11. IGN (Instituto Geográfico Nacional, GT). Mapa topográfico de la república de Guatemala: hoja Tactic, no. 2162-I y Santa Cruz, no. 2162-III. Guatemala. Esc. 1:250,000. s.p.
12. INAB (Instituto Nacional de Bosques, GT). 2000. Manual para la clasificación de tierras por capacidad de uso. Guatemala. 96 p.
13. INAB (Instituto Nacional de Bosques, GT). 2006. Documento base: estación hidrológica “Río Frío”, impacto hidrológico derivado de los tratamientos silviculturales, bosques naturales y plantaciones de coníferas. Guatemala. s.p. (Documento no publicado).

14. Johnson, EE. 1995. El agua subterránea y los pozos. Minnesota, US, Jonson. 513 p.
15. León, T; Castillo. 1998. Efectos de plantaciones forestales sobre suelo y agua. Santafé de Bogotá, Programa CONIF-MINAMBIENTE sobre evaluación del impacto ambiental de las plantaciones forestales en Colombia. 158 p. (Serie Técnica no. 40).
16. Linsley, A. 1988. Hidrología para ingenieros. 2 ed. México, McGraw-Hill. 386 p.
17. López, CF. 1998. Efecto de la cobertura de cultivos sobre la erosión hídrica del suelo en la cuenca media del río Itzapa, San Andrés Itzapa, Chimaltenango, Guatemala. Tesis Ing. Agr. Guatemala, USAC. 58 p.
18. 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.
19. Martínez, A. 1995. Hidrología forestal: el ciclo hidrológico. Valladolid, España, Universidad de Valladolid. s.p. (Serie: Manuales y Textos Universitarios Ciencias no. 18).
20. Motta Franco, E. 1997. Efecto de la cobertura y la pendiente del terreno en la erosión del suelo, cuenca alta río Itzapa, Chimaltenango, (fase IV). EPSA Investigación Inferencial. Guatemala, USAC, Facultad de Agronomía. 67 p.
21. Orozco, E; Padilla, T; Salguero, M. 2003. Manual técnico para la determinación de las áreas potenciales de recarga hídrica INAB-FAUSAC, Guatemala, 33 p.
22. Rodas, O. 1997. El papel del bosque en el ciclo hidrológico. Guatemala, Plan de Acción Forestal para Guatemala / Instituto Nacional de Bosques. 10 p.
23. Sánchez, GA. 1998. Evaluación de la cobertura vegetal y manejo de tres cultivos, sobre la erosión hídrica en la parte media de la cuenca del río Itzapa, San Andrés Itzapa (Fase II), Chimaltenango, Guatemala. Tesis Ing. Agr. Guatemala, USAC. 55 p.
24. Schosinsky, G; Losilla, M. 2000. Modelo analítico para determinar la infiltración con base en la lluvia mensual. Revista Geológica de América Central. no. 23:44-54.
25. Simmons, C; Tárano, JM; Pinto, JH. 1959. Clasificación a nivel de reconocimiento de los suelos de la república de Guatemala. Guatemala, Instituto Agropecuario Nacional. 1000 p.
26. Stadmüller, T. 1996. Impacto hidrológico del manejo forestal de bosques naturales tropicales medidas para mitigarlo. Cosa Rica, Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza. 62 p.
27. Tax, M. 2004. Diagnóstico de la microcuenca Río Frío, Santa Cruz Verapaz, Alta Verapaz. Diagnóstico EPSA. Guatemala, Instituto Nacional de Bosques. 124 p.
28. Trujillo N, E. 2006. Plantación forestal: planeación para el éxito. El Mueble y la Madera no. 51:21-29. Consultado 24 ene 2007. Disponible en: <http://www.revistamm.com/rev51/forestal.pdf>
29. Universidad Rafael Landivar, GT. 2002. Plan de ordenación de la finca Río Frío, Alta Verapaz, Guatemala. Guatemala. 35 p.

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

2.12. Apéndices

Infiltración básica registrada en los suelos del área de estudio 2007

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

Cuadro 9 Resultados de Análisis Físicos de Suelo, Río Frío Santa Cruz Verapaz, Alta Verapaz

Tratamiento	Iden	%		gr/cc		%			Clase textural
		CC	PPM	Da	Dr	Arcilla	Limo	Arena	
Cultivo	1C	31.94	30.56	0.9756	1.85	23.86	42.76	33.39	Franco
	2C	34.51	30.62	0.8163	1.80	21.76	31.50	46.74	Franco
	3C	39.83	29.79	0.7143	1.80	21.76	31.50	46.74	Franco
	4C	46.74	32.61	0.7273	1.80	11.26	37.80	50.94	Franco arenoso
Pastos	1P	58.86	40.45	0.6349	1.80	11.26	33.60	55.14	Franco arenoso
	2P	59.09	38.07	0.6349	1.75	11.26	35.70	53.04	Franco arenoso
	3P	54.71	40.19	0.6667	1.80	15.46	31.50	53.04	Franco arenoso
	4P	56.24	37.31	0.7273	1.80	14.87	34.94	50.19	Franco arenoso
Bosque	1B	49.98	48.22	0.6349	2.0	6.47	22.34	71.19	Franco arenoso
	2B	54.85	53.36	0.6897	2.0	8.57	30.74	60.69	Franco arenoso
	3B	52.60	51.02	0.6557	1.75	10.67	32.84	56.49	Franco arenoso
	4B	46.73	45.83	0.7018	1.65	10.67	32.84	56.49	Franco arenoso
	5B	55.21	44.37	0.7407	1.75	10.67	20.24	69.09	Franco arenoso
	6B	58.54	46.75	0.7273	1.80	8.57	30.74	60.69	Franco arenoso
	7B	52.48	51.64	0.5634	1.80	7.06	21.00	71.94	Franco arenoso
	8B	52.02	50.98	0.6349	1.80	10.67	41.24	48.09	Franco
	9B	52.08	49.25	0.6154	1.70	13.36	31.50	55.14	Franco arenoso
	10B	54.13	53.66	0.6250	1.80	8.57	20.24	71.19	Franco arenoso
	11B	51.61	47.07	0.6780	1.70	10.67	28.64	60.69	Franco arenoso
	12B	55.15	51.10	0.5634	1.70	13.36	36.46	50.19	Franco arenoso
	13B	40.33	35.04	0.7547	1.75	13.36	28.06	58.59	Franco arenoso
	14B	50.46	45.06	0.7547	1.80	8.57	30.74	60.69	Franco arenoso
	15B	53.65	51.13	0.5882	1.65	11.26	34.36	24.39	Franco arenoso
	16B	45.43	43.29	0.6780	1.80	10.67	37.04	52.29	Franco arenoso

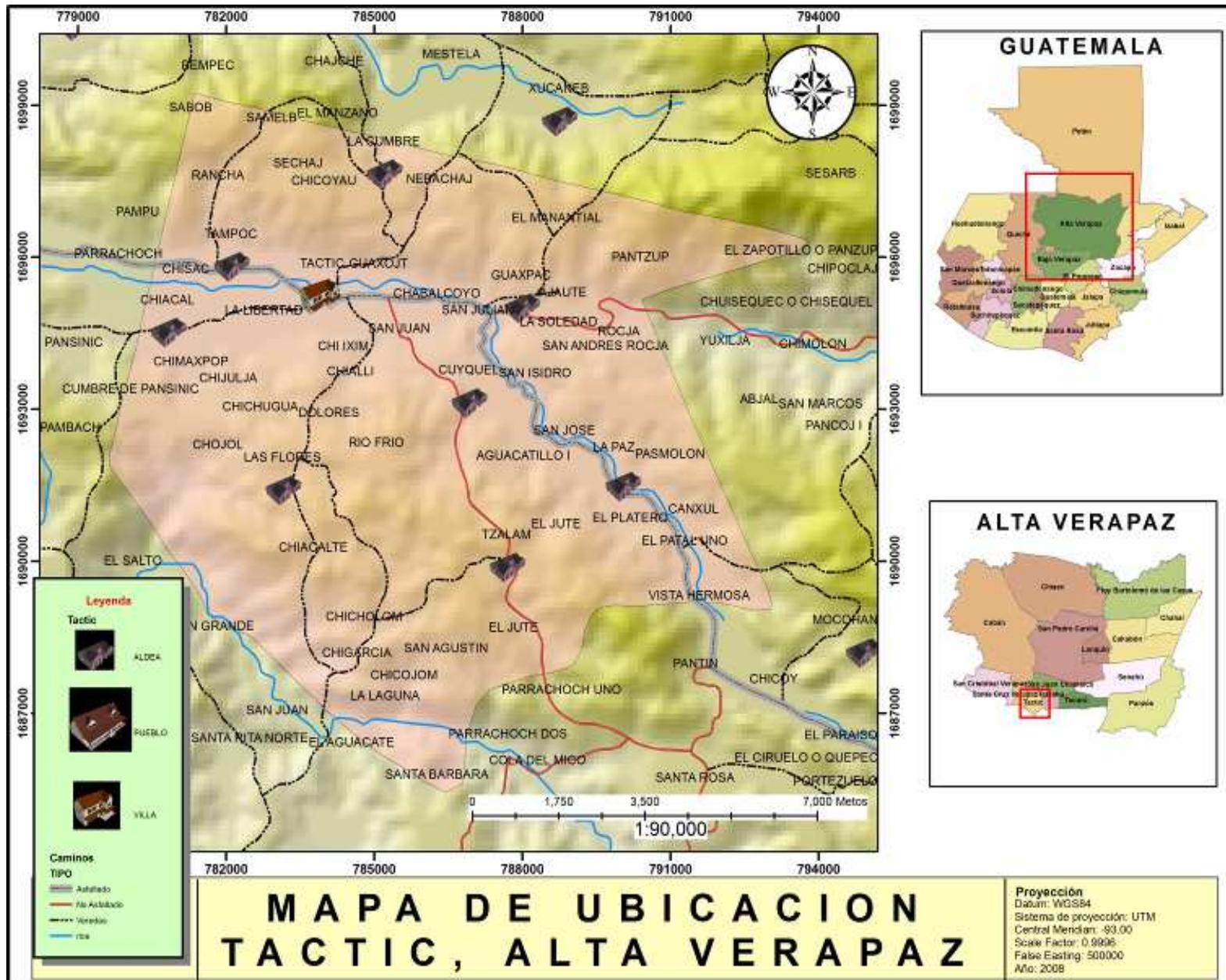


Figura 22 Mapa de ubicación Tactic, A. V.



Figura 23 Mapa de ubicación Santa Cruz Verapaz, A. V.



Figura 24 Mapa de ubicación finca Río Frío, Santa Cruz Verapaz, A. V.



Figura 25 Mapa de ubicación finca Parrachoch Santa Cruz Verapaz, A. V.



Figura 26 Mapa de ubicación de estaciones climáticas en finca Río Frío, Santa Cruz Verapaz, A. V.



Figura 27 Mapa de ubicación de estaciones climáticas en finca Parrachoch, Santa Cruz Verapaz, A. V.



Figura 28 Mapa de ubicación de parcelas de muestreo en finca Río Frío, Santa Cruz Verapaz, A. V.

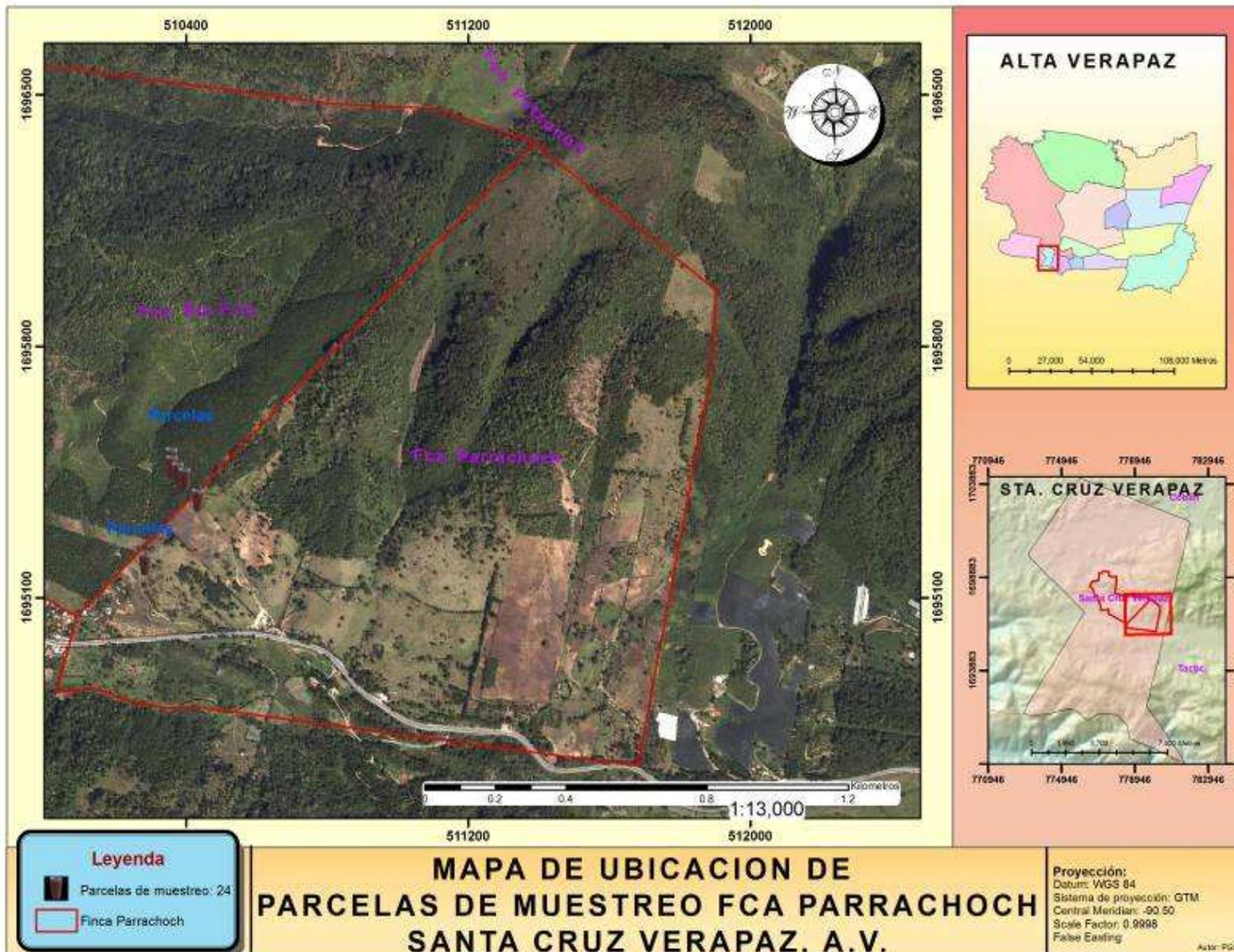


Figura 29 Mapa de ubicación de parcelas de muestreo en finca Parrachoch, Santa Cruz Verapaz, A. V.

BALANCE HÍDRICO DE SUELOS

Zona de Estudio: Unidad de Mapeo Bosque 100%

Estación climática: Estación Hidrológica Forestal Río Fío Santa Cruz Verapaz, A. V.

Textura de 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 (ver léame)

Kv: Factor por vegetación (ver léame)

Kfc: Factor estimado con base a la prueba de infiltración

P: Precipitación Media Mensual.

Pi: Precipitación que infiltra.

ESC: Escorrentía Superficial

ETP: Evapotranspiración Potencial.

ETR: Evapotranspiración Real.

HSi: Humedad de Suelo Inicial.

HD: Humedad Disponible

HSf: Humedad de Suelo Final.

DCC: Déficit de Capacidad de Campo.

Rp: Recarga Potencial

NR: Necesidad de Riego.

Ret: Retención de lluvia

fc [mm/d]	696						
Kp [0.01%]	0.06						
Kv [0.01%]	0.20					Por peso	
Kfc [0.01%]	0.9174					(%) (mm)	
I [0.01%]	1	CC	51.14	842.45			
DS (g/cm ³):	0.66	PM	48.38	797.01			
PR (mm)	2500.00	(CC-PM)	2.76	45.44			
HSi (mm)	842.45						
Nº de mes con que inicia HSi;1,2,3...12?	10						
Lluvia retenida [0.01%] : Bosques=0.2, otros=0.12	0.20						

Concepto	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Total
P (mm)	548.00	127.00	72.25	152.00	32.90	110.95	56.00	270.75	198.95	381.55	255.00	311.50	2516.85
Ret [mm]	109.60	25.40	14.45	30.40	6.58	22.19	11.20	54.15	39.79	76.31	51.00	62.30	503.37
Pi (mm)	438.40	101.60	57.80	121.60	26.32	88.76	44.80	216.60	159.16	305.24	204.00	249.20	2013.48
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)	53.90	43.52	42.30	44.95	49.76	54.86	58.45	69.93	66.96	66.58	68.34	63.21	53.00
HSi (mm)	842.45	842.45	842.45	842.45	842.45	831.84	842.45	837.58	842.45	842.45	842.45	842.45	
C1	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	
C2	1.00	1.00	1.00	1.00	0.48	1.00	0.70	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	
ETR (mm)	53.90	43.52	42.30	44.95	36.93	54.86	49.67	69.93	66.96	66.58	68.34	63.21	661.15
HSf (mm)	842.45	842.45	842.45	842.45	831.84	842.45	837.58	842.45	842.45	842.45	842.45	842.45	
DCC (mm)	0.00	0.00	0.00	0.00	10.61	0.00	4.87	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
Rp (mm)	384.50	58.08	15.50	76.65	0.00	23.29	0.00	141.80	92.20	238.66	135.66	185.99	1352.33
NR (mm)	0.00	0.00	0.00	0.00	23.44	0.00	13.65	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	37.09

BALANCE HÍDRICO DE SUELOS

Zona de Estudio: Unidad de Mapeo Bosque 75%

Estación climática: Estación Hidrológica Forestal Río Fío Santa Cruz Verapaz, A. V.

Textura de Suelo: Franco arenoso

Simbología

fc: Capacidad de Infiltración.

I: Infiltración.

CC: Capacidad de Campo.

PM: Punto de Marchitez.

PR: Profundidad de Raíces.

(CC-PM): Rango de Agua Disponible.

DS: Densidad de Suelo.

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

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

Kp: Factor por pendiente (ver léame)

Kv: Factor por vegetación (ver léame)

Kfc: Factor estimado con base a la prueba de infiltración

P: Precipitación Media Mensual.

Pi: Precipitación que infiltra.

ESC: Escorrentía Superficial

ETP: Evapotranspiración Potencial.

ETR: Evapotranspiración Real.

HSi: Humedad de Suelo Inicial.

HD: Humedad Disponible

HSf: Humedad de Suelo Final.

DCC: Déficit de Capacidad de Campo.

Rp: Recarga Potencial

NR: Necesidad de Riego.

Ret: Retención de lluvia

fc [mm/d]	228			
Kp [0.01%]	0.06			
Kv [0.01%]	0.18		Por peso	
Kfc [0.01%]	0.6915		(%)	(mm)
I [0.01%]	0.9315	CC	50.58	880.04
DS (g/cm ³):	0.70	PM	48.38	841.76
PR (mm)	2500.00	(CC-PM)	2.20	38.28
HSi (mm)	880.04			
Nº de mes con que inicia HSi;1,2,3...12?	10			
Lluvia retenida [0.01%] : Bosques=0.2, otros=0.12	0.18			

Concepto	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Total
P (mm)	548.00	127.00	72.25	152.00	32.90	110.95	56.00	270.75	198.95	381.55	255.00	311.50	2516.85
Ret [mm]	98.64	22.86	13.01	27.36	5.92	19.97	10.08	48.74	35.81	68.68	45.90	56.07	453.03
Pi (mm)	418.59	97.01	55.19	116.11	25.13	84.75	42.78	206.81	151.97	291.45	194.78	237.94	1922.49
ESC (mm)	30.77	7.13	4.06	8.53	1.85	6.23	3.14	15.20	11.17	21.42	14.32	17.49	141.32
ETP (mm)	53.90	43.52	42.30	44.95	49.76	54.86	58.45	69.93	66.96	66.58	68.34	63.21	53.00
HSi (mm)	880.04	880.04	880.04	880.04	880.04	871.42	880.04	876.33	880.04	880.04	880.04	880.04	
C1	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	
C2	1.00	1.00	1.00	1.00	0.36	1.00	0.59	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	
ETR (mm)	53.90	43.52	42.30	44.95	33.75	54.86	46.48	69.93	66.96	66.58	68.34	63.21	654.79
HSf (mm)	880.04	880.04	880.04	880.04	871.42	880.04	876.33	880.04	880.04	880.04	880.04	880.04	
DCC (mm)	0.00	0.00	0.00	0.00	8.62	0.00	3.71	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
Rp (mm)	364.69	53.49	12.89	71.16	0.00	21.27	0.00	133.17	85.01	224.87	126.44	174.73	1267.71
NR (mm)	0.00	0.00	0.00	0.00	24.63	0.00	15.67	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	40.30

BALANCE HÍDRICO DE SUELOS

Zona de Estudio: Unidad de Mapeo Bosque 67%

Estación climática: Estación Hidrológica Forestal Río Fío Santa Cruz Verapaz, A. V.

Textura de Suelo: Franco arenoso

Simbología

fc: Capacidad de Infiltración.

I: Infiltración.

CC: Capacidad de Campo.

PM: Punto de Marchitez.

PR: Profundidad de Raíces.

(CC-PM): Rango de Agua Disponible.

DS: Densidad de Suelo.

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

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

Kp: Factor por pendiente (ver léame)

Kv: Factor por vegetación (ver léame)

Kfc: Factor estimado con base a la prueba de infiltración

P: Precipitación Media Mensual.

Pi: Precipitación que infiltra.

ESC: Escorrentía Superficial

ETP: Evapotranspiración Potencial.

ETR: Evapotranspiración Real.

HSi: Humedad de Suelo Inicial.

HD: Humedad Disponible

HSf: Humedad de Suelo Final.

DCC: Déficit de Capacidad de Campo.

Rp: Recarga Potencial

NR: Necesidad de Riego.

Ret: Retención de lluvia

fc [mm/d]	240			
Kp [0.01%]	0.06			
Kv [0.01%]	0.16		Por peso	
Kfc [0.01%]	0.7034		(%)	(mm)
I [0.01%]	0.9234	CC	50.14	795.10
DS (g/cm ³):	0.63	PM	47.20	748.47
PR (mm)	2500.00	(CC-PM)	2.94	46.62
HSi (mm)	795.10			
Nº de mes con que inicia HSi;1,2,3...12?	10			
Lluvia retenida [0.01%] : Bosques=0.2, otros=0.12	0.16			

Concepto	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Total
P (mm)	548.00	127.00	72.25	152.00	32.90	110.95	56.00	270.75	198.95	381.55	255.00	311.50	2516.85
Ret [mm]	87.68	20.32	11.56	24.32	5.26	17.75	8.96	43.32	31.83	61.05	40.80	49.84	402.70
Pi (mm)	425.05	98.51	56.04	117.90	25.52	86.06	43.44	210.00	154.31	295.94	197.79	241.61	1952.15
ESC (mm)	35.27	8.17	4.65	9.78	2.12	7.14	3.60	17.43	12.81	24.56	16.41	20.05	162.01
ETP (mm)	53.90	43.52	42.30	44.95	49.76	54.86	58.45	69.93	66.96	66.58	68.34	63.21	53.00
HSi (mm)	795.10	795.10	795.10	795.10	795.10	783.79	795.10	789.49	795.10	795.10	795.10	795.10	
C1	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	
C2	1.00	1.00	1.00	1.00	0.48	1.00	0.68	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	
ETR (mm)	53.90	43.52	42.30	44.95	36.82	54.86	49.04	69.93	66.96	66.58	68.34	63.21	660.41
HSf (mm)	795.10	795.10	795.10	795.10	783.79	795.10	789.49	795.10	795.10	795.10	795.10	795.10	
DCC (mm)	0.00	0.00	0.00	0.00	11.30	0.00	5.60	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
Rp (mm)	371.15	54.99	13.74	72.95	0.00	19.89	0.00	134.47	87.35	229.36	129.45	178.40	1291.74
NR (mm)	0.00	0.00	0.00	0.00	24.24	0.00	15.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	39.26

BALANCE HÍDRICO DE SUELOS

Zona de Estudio: Unidad de Mapeo Bosque 50%

Estación climática: Estación Hidrológica Forestal Río Fío Santa Cruz Verapaz, A. V.

Textura de Suelo: Franco arenoso

Simbología

fc: Capacidad de Infiltración.

I: Infiltración.

CC: Capacidad de Campo.

PM: Punto de Marchitez.

PR: Profundidad de Raíces.

(CC-PM): Rango de Agua Disponible.

DS: Densidad de Suelo.

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

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

Kp: Factor por pendiente (ver léame)

Kv: Factor por vegetación (ver léame)

Kfc: Factor estimado con base a la prueba de infiltración

P: Precipitación Media Mensual.

Pi: Precipitación que infiltra.

ESC: Escorrentía Superficial

ETP: Evapotranspiración Potencial.

ETR: Evapotranspiración Real.

HSi: Humedad de Suelo Inicial.

HD: Humedad Disponible

HSf: Humedad de Suelo Final.

DCC: Déficit de Capacidad de Campo.

Rp: Recarga Potencial

NR: Necesidad de Riego.

Ret: Retención de lluvia

fc [mm/d]	312			
Kp [0.01%]	0.06			
Kv [0.01%]	0.15		Por peso	
Kfc [0.01%]	0.7623		(%)	(mm)
I [0.01%]	0.9723	CC	54.46	899.82
DS (g/cm ³):	0.66	PM	50.63	836.53
PR (mm)	2500.00	(CC-PM)	3.83	63.28
HSi (mm)	899.82			
Nº de mes con que inicia HSi;1,2,3...12?	10			
Lluvia retenida [0.01%] : Bosques=0.2, otros=0.12	0.15			

Concepto	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Total
P (mm)	548.00	127.00	72.25	152.00	32.90	110.95	56.00	270.75	198.95	381.55	255.00	311.50	2516.85
Ret [mm]	82.20	19.05	10.84	22.80	5.00	16.64	8.40	40.61	29.84	57.23	38.25	46.73	377.59
Pi (mm)	452.91	104.96	59.71	125.63	27.13	91.70	46.28	223.77	164.43	315.34	210.75	257.45	2080.07
ESC (mm)	12.89	2.99	1.70	3.57	0.77	2.61	1.32	6.37	4.68	8.97	6.00	7.33	59.19
ETP (mm)	53.90	43.52	42.30	44.95	49.76	54.86	58.45	69.93	66.96	66.58	68.34	63.21	53.00
HSi (mm)	899.82	899.82	899.82	899.82	899.82	886.08	899.82	893.27	899.82	899.82	899.82	899.82	
C1	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	
C2	1.00	1.00	1.00	1.00	0.64	1.00	0.81	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	
ETR (mm)	53.90	43.52	42.30	44.95	40.86	54.86	52.83	69.93	66.96	66.58	68.34	63.21	668.24
HSf (mm)	899.82	899.82	899.82	899.82	886.08	899.82	893.27	899.82	899.82	899.82	899.82	899.82	
DCC (mm)	0.00	0.00	0.00	0.00	13.73	0.00	6.55	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
Rp (mm)	399.01	61.44	17.41	80.68	0.00	23.10	0.00	147.29	97.47	248.76	142.41	194.24	1411.83
NR (mm)	0.00	0.00	0.00	0.00	22.63	0.00	12.17	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	34.80

BALANCE HÍDRICO DE SUELOS

Zona de Estudio: Unidad de Mapeo Pastos

Estación climática: Estación Hidrológica Forestal Río Fío Santa Cruz Verapaz, A. V.

Textura de 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 (ver léame)

Kv: Factor por vegetación (ver léame)

Kfc: Factor estimado con base a la prueba de infiltración

P: Precipitación Media Mensual.

Pi: Precipitación que infiltra.

ESC: Escorrentía Superficial

ETP: Evapotranspiración Potencial.

ETR: Evapotranspiración Real.

HSi: Humedad de Suelo Inicial.

HD: Humedad Disponible

HSf: Humedad de Suelo Final.

DCC: Déficit de Capacidad de Campo.

Rp: Recarga Potencial

NR: Necesidad de Riego.

Ret: Retención de lluvia

fc [mm/d]	312			
Kp [0.01%]	0,06			
Kv [0.01%]	0,18		Por peso	
Kfc [0.01%]	0,7623		(%)	(mm)
I [0.01%]	1	CC	57,23	152,22
DS (g/cm ³):	0,67	PM	39,01	103,75
PR (mm)	400,00	(CC-PM)	18,22	48,47
HSi (mm)	152,22			
Nº de mes con que inicia HSi;1,2,3...12?	10			
Lluvia retenida [0.01%] : Bosques=0.2, otros=0.12	0,12			

Concepto	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Total
P (mm)	548,00	127,00	72,25	152,00	32,90	110,95	56,00	270,75	198,95	381,55	255,00	311,50	2516,85
Ret [mm]	65,76	15,24	8,67	18,24	5,00	13,31	6,72	32,49	23,87	45,79	30,60	37,38	303,07
Pi (mm)	482,24	111,76	63,58	133,76	27,90	97,64	49,28	238,26	175,08	335,76	224,40	274,12	2213,78
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)	53,90	43,52	42,30	44,95	49,76	54,86	58,45	69,93	66,96	66,58	68,34	63,21	53,00
HSi (mm)	152,22	152,22	152,22	152,22	152,22	141,58	152,22	148,58	152,22	152,22	152,22	152,22	
C1	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	
C2	1,00	1,00	1,00	1,00	0,55	1,00	0,81	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	
ETR (mm)	53,90	43,52	42,30	44,95	38,54	54,86	52,92	69,93	66,96	66,58	68,34	63,21	666,01
HSf (mm)	152,22	152,22	152,22	152,22	141,58	152,22	148,58	152,22	152,22	152,22	152,22	152,22	
DCC (mm)	0,00	0,00	0,00	0,00	10,64	0,00	3,64	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
Rp (mm)	428,34	68,24	21,28	88,81	0,00	32,14	0,00	164,69	108,12	269,18	156,06	210,91	1547,77
NR (mm)	0,00	0,00	0,00	0,00	21,86	0,00	9,17	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	31,03

BALANCE HÍDRICO DE SUELOS

Zona de Estudio: Unidad de Mapeo Cultivo de Maíz

Estación climática: Estación Hidrológica Forestal Río Fío Santa Cruz Verapaz, A. V.

Textura de Suelo: Franco

Simbología

fc: Capacidad de Infiltración.

I: Infiltración.

CC: Capacidad de Campo.

PM: Punto de Marchitez.

PR: Profundidad de Raíces.

(CC-PM): Rango de Agua Disponible.

DS: Densidad de Suelo.

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

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

Kp: Factor por pendiente (ver léame)

Kv: Factor por vegetación (ver léame)

Kfc: Factor estimado con base a la prueba de infiltración

P: Precipitación Media Mensual.

Pi: Precipitación que infiltra.

ESC: Escorrentía Superficial

ETP: Evapotranspiración Potencial.

ETR: Evapotranspiración Real.

HSi: Humedad de Suelo Inicial.

HD: Humedad Disponible

HSf: Humedad de Suelo Final.

DCC: Déficit de Capacidad de Campo.

Rp: Recarga Potencial

NR: Necesidad de Riego.

Ret: Retención de Lluvia

fc [mm/d]	300			
Kp [0.01%]	0.06			
Kv [0.01%]	0.10		Por peso	
Kfc [0.01%]	0.7537		(%)	(mm)
I [0.01%]	0.9137	CC	38.26	123.64
DS (g/cm ³):	0.81	PM	30.90	99.85
PR (mm)	400.00	(CC-PM)	7.36	23.79
HSi (mm)	123.64			
Nº de mes con que inicia HSi;1,2,3...12?	10			
Lluvia retenida [0.01%] : Bosques=0.2, otros=0.12	0.12			

Concepto	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Total
P (mm)	548.00	127.00	72.25	152.00	32.90	110.95	56.00	270.75	198.95	381.55	255.00	311.50	2516.85
Ret [mm]	65.76	15.24	8.67	18.24	5.00	13.31	6.72	32.49	23.87	45.79	30.60	37.38	303.07
Pi (mm)	440.63	102.12	58.09	122.22	25.49	89.21	45.03	217.70	159.97	306.79	205.04	250.47	2022.75
ESC (mm)	41.61	9.64	5.49	11.54	2.41	8.43	4.25	20.56	15.11	28.97	19.36	23.65	191.03
ETP (mm)	53.90	43.52	42.30	44.95	49.76	54.86	58.45	69.93	66.96	66.58	68.34	63.21	53.00
HSi (mm)	123.64	123.64	123.64	123.64	123.64	123.64	123.64	123.64	123.64	123.64	123.64	123.64	
C1	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	
C2	1.00	1.00	1.00	1.00	0.00	1.00	0.44	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	
ETR (mm)	53.90	43.52	42.30	44.95	24.88	54.86	41.96	69.93	66.96	66.58	68.34	63.21	641.39
HSf (mm)	123.64	123.64	123.64	123.64	123.64	123.64	123.64	123.64	123.64	123.64	123.64	123.64	
DCC (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	
Rp (mm)	386.73	58.60	15.79	77.27	0.61	34.35	3.07	147.77	93.01	240.21	136.70	187.26	1381.36
NR (mm)	0.00	0.00	0.00	0.00	24.88	0.00	16.49	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	41.37

Análisis de la varianza Escorrentía

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
esc	25	0.42	0.13	14.96

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC Tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	Valor p
Modelo	17470.63	8	2183.83	1.43	0.2568
tratamiento	6528.54	5	1305.71	0.86	0.5306
bloque	9836.70	3	3278.90	2.15	0.1339
Error	24391.99	16	1524.50		
Total	41862.61	24			

Test : Tukey Alfa: 0.05 DMS: 87.32464

Error: 1524.4993 gl: 16

tratamiento	Medias	n	
T3	237.71	4	A
T4	248.01	4	A
T6	249.85	4	A
T2	259.83	4	A
T1	277.96	4	
T5	282.23	4	A

Letras distintas indican diferencias significativas(p<=0.05)

Análisis de la varianza Erosión

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
erosión	25	0.95	0.92	26.81

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC Tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	Valor p
Modelo	484.95	8	60.62	35.94	<0.0001
tratamiento	474.35	5	94.87	56.25	<0.0001
bloque	7.25	3	2.42	1.43	0.3804
Error	26.99	16	1.69		
Total	511.94	24			

Test : Tukey Alfa: 0.05 DMS: 2.90464

Error: 1.6867 gl: 16

tratamiento	Medias	n	
T4	2.08	4	A
T3	2.32	4	A
T1	3.06	4	A
T2	3.29	4	A
T5	4.61	4	A
T6	14.68	4	B

Letras distintas indican diferencias significativas(p<=0.05)

Análisis de la varianza Escorrentía

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
esc	72	0.82	0.72	16.95

Modelo desbalanceado en celdas.

Se presentan las sumas de cuadrado secuenciales (Tipo I).

Para otra descomposición de la SC del modelo especifique los contrastes apropiados.

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC Tipo I)

F.V.	SC	gl	CM	F	Valor p
Modelo	234085.29	26	9003.28	7.89	<0.0001
tratamiento	29817.66	5	5963.53	5.23	0.0007
bloque	16168.03	3	5389.34	4.73	0.0060
año	137558.75	2	68779.38	60.31	<0.0001
tratamiento*año	45176.86	10	4517.69	3.96	0.0006
bloque*año	5363.99	6	894.00	0.78	0.5870
Error	51317.68	45	1140.39		
Total	285402.97	71			

Test: Tukey Alfa: 0.05 DMS: 41.08982

Error: 1140.3929 gl: 45

tratamiento	Medias	n			
T5	171.72	12	A		
T6	179.98	12	A	B	
T3	192.82	12	A	B	C
T2	202.87	12	A	B	C
T4	218.15	12		B	C
T1	223.19	12			C

Letras distintas indican diferencias significativas(p<=0.05)

Test : Tukey Alfa: 0.05 DMS: 88.60155

Error: 1140.3929 gl: 45

tratamiento	año	Medias	n							
T5	III	90.43	4	A						
T6	III	108.75	4	A	B					
T5	II	142.51	4	A	B	C				
T3	II	162.99	4	A	B	C	D	E		
T2	II	168.03	4	A	B	C	D	E		
T3	III	177.76	4	A	B	C	D	E	F	
T2	III	180.74	4		B	C	D	E	F	
T6	II	181.33	4		B	C	D	E	F	
T1	II	185.40	4		B	C	D	E	F	
T4	II	188.33	4		B	C	D	E	F	
T1	III	215.59	4			C	D	E	F	G
T4	III	218.10	4			C	D	E	F	G
T3	I	237.71	4				D	E	F	G
T6	I	249.85	4					E	F	G
T4	I	255.51	4					E	F	G
T2	I	259.83	4						F	G
T5	I	282.23	4							G
T1	I	288.94	4							G

Letras distintas indican diferencias significativas(p<=0.05)

Análisis de la varianza Erosión

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
erosión	72	0.98	0.97	29.63

Modelo desbalanceado en celdas.

Se presentan las sumas de cuadrado secuenciales (Tipo I).

Para otra descomposición de la SC del modelo especifique los contrastes apropiados.

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC Tipo I)

F.V.	SC	gl	CM	F	Valor p
Modelo	2814.06	26	108.23	88.26	<0.0001
tratamiento	1756.75	5	351.35	286.50	<0.0001
bloque	7.43	3	2.48	2.02	0.1246
año	247.91	2	123.96	101.08	<0.0001
tratamiento*año	797.24	10	79.72	65.01	<0.0001
bloque*año	4.72	6	0.79	0.64	0.6962
Error	55.19	45	1.23		
Total	2869.24	71			

Test: Tukey Alfa: 0.05 DMS: 1.34745

Error: 1.2263 gl: 45

tratamiento	Medias	n	
T4	1.15	12	A
T3	1.18	12	A
T1	1.67	12	A
T2	1.72	12	A
T5	1.91	12	A
T6	14.76	12	B

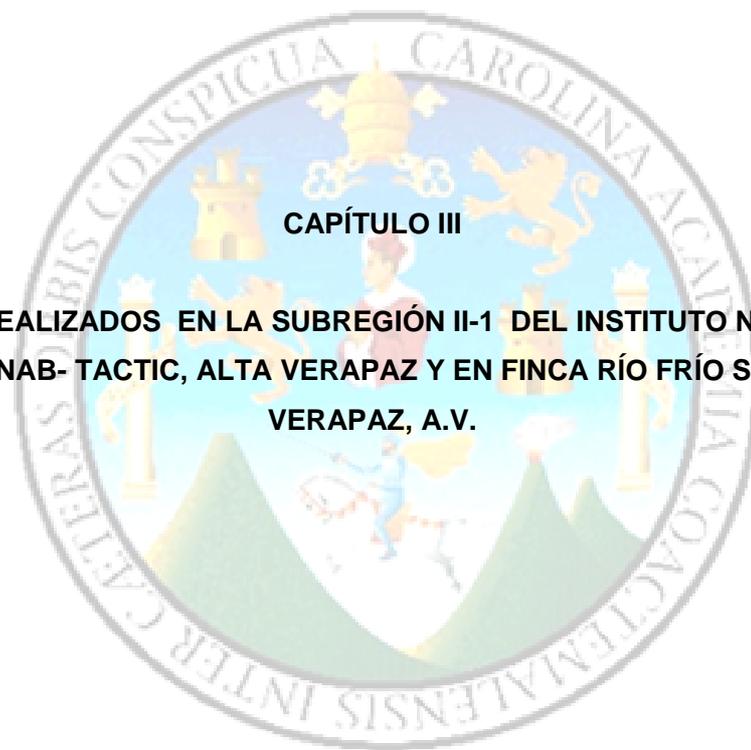
Letras distintas indican diferencias significativas(p<=0.05)

Test: Tukey Alfa: 0.05 DMS: 2.90549

Error: 1.2263 gl: 45

tratamiento	año	Medias	n				
T5	III	0.18	4	A			
T3	III	0.47	4	A	B		
T2	III	0.52	4	A	B		
T4	II	0.58	4	A	B		
T3	II	0.74	4	A	B		
T4	III	0.78	4	A	B		
T1	III	0.91	4	A	B		
T5	II	0.93	4	A	B		
T1	II	1.22	4	A	B	C	
T2	II	1.36	4	A	B	C	
T4	I	2.08	4	A	B	C	D
T3	I	2.32	4	A	B	C	D
T1	I	2.76	4	A	B	C	D
T2	I	3.29	4		B	C	D
T6	III	3.84	4			C	D
T5	I	4.61	4				D
T6	I	14.68	4				E
T6	II	25.77	4				F

Letras distintas indican diferencias significativas(p<=0.05)



CAPÍTULO III

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

3.1. Presentación

Alta Verapaz es un departamento con alta producción forestal en la que el Instituto Nacional de Bosques-INAB- tiene a su cargo siete sub-regiones, en el municipio de Tactic se encuentra la sub-región II-1, la cual ocupa el segundo puesto en cuanto a carga de trabajo se refiere, tiene a su cargo una extensión territorial de 265,942.61 has. Comprendida por los municipios de San Cristóbal, Santa Cruz Verapaz, Tactic, Senahú, Tucurú, Panzos, Telemán, Tamahú y La Tinta.

Una de las líneas de investigación del INAB es el Manejo Forestal e Impacto Hidrológico, la cual se basa en determinar la intensidad de uso permisible de una masa forestal sin causar daños irreversibles en el ambiente, particularmente en el rendimiento hídrico y erosión de suelos, y con ello contribuir al manejo de presiones socio ambientales, asociadas con los impactos hidrológicos y edáficos en zonas intervenidas forestalmente. El Proyecto de Conservación de Ecosistemas Forestales Estratégicos (CEFE) del INAB, tiene bajo su responsabilidad la implementación de proyectos piloto para la conservación y manejo de áreas de recarga hídrica críticas en el país. Además tiene bajo su cargo el programa de investigación en hidrología forestal el cual es la base para la implementación de la línea de investigación antes mencionada.

Los servicios que se realizaron durante el Ejercicio Profesional Supervisado –EPS-, periodo febrero a noviembre del año 2008, en la subregión II-1, se enfocaron en el apoyo técnico hacia la institución por la carga de trabajo que se tiene en ésta y apoyo al CEFE con respecto a los temas de impacto Hidrológico y manejo forestal.

3.2. Servicio 1: Evaluación de actividades relacionadas con el monitoreo de las condiciones hidroclimáticas prevaecientes en la microcuenca del Río Frío, en jurisdicción de la finca Río Frío, Santa Cruz Verapaz, A.V.

3.2.1. Antecedentes

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. Y por la existencia de zonas en las que no se tiene claridad de la relación hidrológica forestal se enfrenta constantemente a una disyuntiva en la toma de decisiones con respecto a la orientación de instrumentos de política que permitan la restauración o protección hidrológico forestal es por esto que 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.

Además se están realizando trabajos sobre identificación y priorización de zonas de recarga hídrica y cuantificando la demanda de servicios propios de la administración forestal.

Dentro de las acciones realizadas en este tema específicamente en la Finca Río Frío, se ha trabajado en cooperación con la empresa W.E. Disseldorf propietarios de dicha finca, el apoyo de la Sub-Región II-1 del Instituto Nacional de Bosques, Tactic, Alta Verapaz, el Proyecto de Conservación de Ecosistemas Forestales Estratégicos y la Facultad de Agronomía de la Universidad de San Carlos de Guatemala, en la definición de la metodología para identificar tierras forestales de captación y regulación hidrológica a nivel de cuencas y su aplicación en el campo.

3.2.2. Objetivos

- Calcular el caudal medio del afluente principal de la microcuenca Río Frío, durante los meses de enero a octubre.
- Calcular la precipitación pluvial media mensual registrada en las dos estaciones instaladas dentro de la microcuenca.
- Calcular la temperatura media mensual registrada en los termómetros de las dos estaciones instaladas dentro de la microcuenca.

3.2.3. Metodología

3.2.3.A. Monitoreo de estaciones climáticas

Dentro de la Finca Río Frío se encuentra ubicada parte de la microcuenca que lleva el mismo nombre; la cual cuenta con dos estaciones climáticas en las que se miden factores climáticos básicos como temperatura y precipitación; además de esto se mide el caudal líquido del cauce principal.

Las dos estaciones se encuentran situadas en la parte baja y en la parte alta de la microcuenca, la primera situada en las coordenadas 90°25'3.62" y 15°20'30.35" a una altura de 1437 msnm y la segunda situada geográficamente en 90°24'13.36" y 15°20'27.32" con altura de 1525 msnm, el caudal se encuentra ubicado en las coordenadas 90°25'7.71" y 15°20'33.09" a una altura de 1417msnm.

El monitoreo de las estaciones climáticas constó básicamente de tres partes las cuales son:

3.2.3.A.a. Medición de caudales diarios

Durante los meses de enero a octubre. Se midió la profundidad del caudal que fluye por un canal de aforo construido al cauce del río Cahabón en el año 1994, con una escala limnimétrica. Dicha medición se hizo diariamente y los registros se anotaron en boletas diseñadas para este fin.

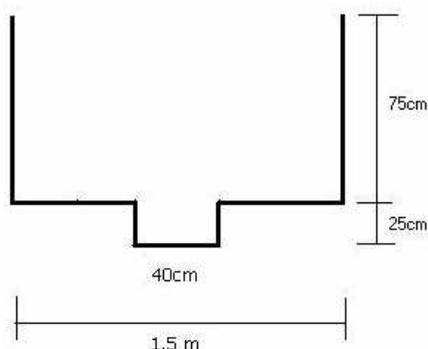


Figura 30 Canal colector

$$Q = \text{área} \cdot \text{velocidad}$$

$$\text{Área} = (\text{base} \cdot \text{nivel del agua})$$

$$\text{Velocidad} = (1/n) (R^{2/3}) (S^{1/2})$$

Donde:

$$R = (\text{base} \cdot \text{nivel del agua}) / (\text{base} + 2 \cdot \text{nivel del agua})$$

S = Pendiente de canal en metros por cada 1000 metros

n = coeficiente de rugosidad *El valor sugerido para concreto es de 0.013*

3.2.3.A.b. Medición de la precipitación pluvial

Para la medición de la precipitación se utilizaron los pluviómetros de LAMBRECHT instalados en las dos estaciones ubicadas dentro de la microcuenca. Dicha medición se hizo con una probeta graduada en mL (50 mL), anotándose diariamente los datos en las boletas respectivas. Al finalizar cada mes se hizo una sumatoria de la precipitación diaria reportada.



Figura 31 Pluviómetro de Lambrecht

3.2.3.A.c. Medición de la temperatura

La medición de la temperatura se hizo tanto en la estación de la parte baja de la microcuenca como en la estación de la parte alta. Para dicha medición de estos datos se utilizaron termómetros LATO con temperaturas máximas y mínimas; los datos obtenidos diariamente se anotaron en boletas diseñadas para este fin.



Figura 32 Termómetro Lato

3.2.4. Resultados

3.2.4.A. Cálculo de caudal

Tabla 14 Caudal mensual (L/s) año 2008

Caudal	
Mes	Medio mensual L/s
E	22.45
F	18.06
M	15.71
A	13.68
M	12.8
J	57.58
J	57.47
A	61.34
S	53.1
O	158.66

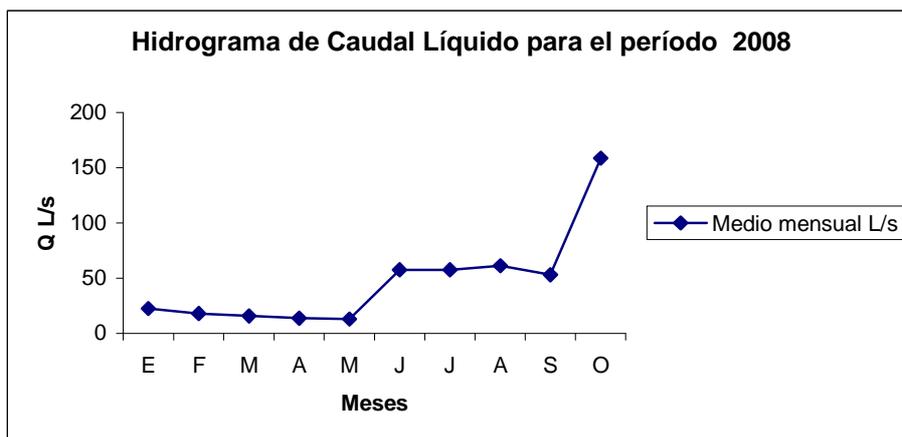


Figura 33 Hidrograma de caudal líquido de finca Río Frío, período 2008

En la figura 33 se observa el comportamiento del caudal medio mensual de la microcuenca Río Frío, el cual inicia en el mes de enero con 22.45 litros por segundo; en los meses posteriores disminuye la cantidad de agua que proviene de los nacimientos de la cuenca, esto se debe a la presencia de la época seca que caracteriza a ciertas zonas del país, quedando notoriamente marcada en el mes de mayo y demostrándose en la cantidad de agua que es transportada por el canal, los rangos de líquido acarreado en los primeros meses del año van de 18 a 12 L/s, en el mes de junio se denota el inicio de la época lluviosa la cual se expresa claramente en el municipio de Santa Cruz Verapaz, A. V. los rangos oscilan entre 58 y 62 L/s, la disminución de precipitación del mes de septiembre (53.1L/s) se debió a la presencia de la canícula las cual se mostró en las dos últimas semanas del mes de septiembre y es en el mes de octubre en donde se observa un notable aumento del caudal llegando a 158.66 L/s debido al temporal que se

presentó en el municipio provocando éste un incremento de los nacimientos que alimentan al cauce principal de la microcuenca.

3.2.4.B. Precipitación pluvial y temperatura

Tabla 15 Precipitación y temperatura mensual de estación hidrológica Río Frío, Sta. Cruz Verapaz, A.V. finca Río Frío, parte baja - 2008

Mes	Pp mensual mm	T° media mensual °C
Enero	148.6	15.338
Febrero	33.35	17.293
Marzo	94.85	17.677
Abril	62.65	18.633
Mayo	228.75	20.29
Junio	224.75	20.033
Julio	428.25	19
Agosto	243.5	19.338
Septiembre	362.3	20.85
Octubre	378.5	16.63

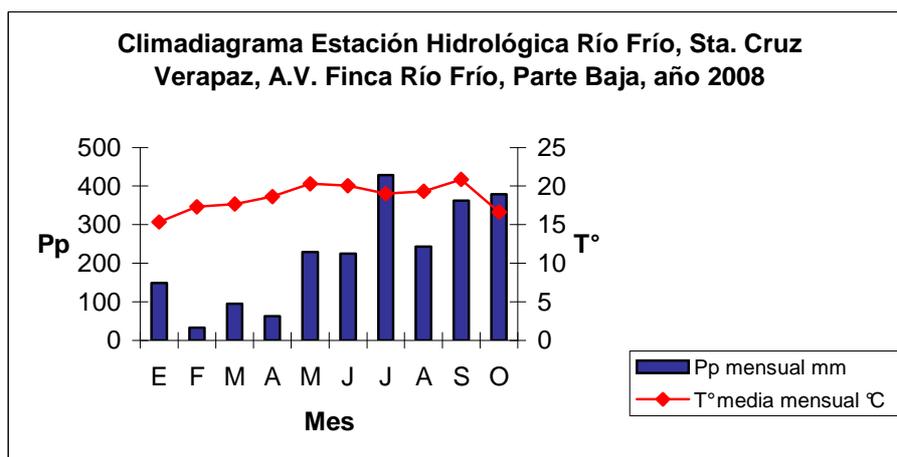


Figura 34 Climadiagrama estación hidrológica Río Frío, Sta. Cruz Verapaz, A.V. finca Río Frío, parte baja

Tabla 16 Precipitación y temperatura mensual de estación hidrológica forestal, Río Frío, Sta. Cruz Verapaz, A.V., finca Río Frío, parte alta - 2008

Mes	Pp mensual mm	T° media mensual °C
Enero	189.5	15.758
Febrero	36.65	17.862
Marzo	115.15	17.919
Abril	115.15	19.183
Mayo	691.95	19.387
Junio	249.35	19.066
Julio	430.8	18.516
Agosto	251.4	18.903
Septiembre	423.625	19.516
Octubre	468	16.61

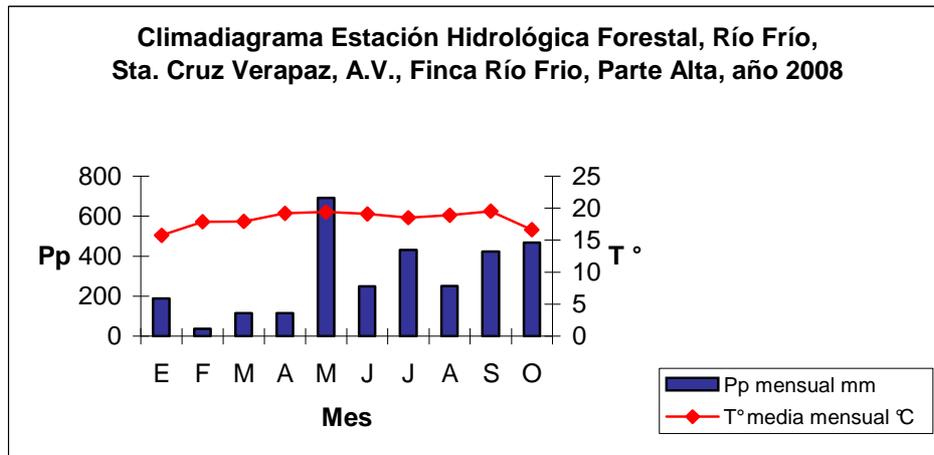


Figura 35 Climadiagrama estación hidrológica Río Frío, Sta. Cruz Verapaz, A.V. finca Río Frío, parte alta

En las figuras 34 y 35 es notable la diferencia entre estaciones climáticas (seca y lluviosa) que se presentan en el país y uno de los factores que la expresan es la cuantificación de precipitación con respecto a las alturas que poseen ambas estaciones hidrológicas ya que en la estación localizada en la parte alta (1525msnm) se encontró una precipitación media mensual del 297.1575mm y en la parte baja (1437msnm) 220.55mm la diferencia radica en que la estación de la parte alta se encuentra influenciada por los vientos provenientes del valle del Polochic y a la orografía de la cadena montañosa que se presenta en el área de las Verapaces, la cual influye en la zona en que se localiza la estación de la parte alta en la Finca Río Frío, ocasionando el fenómeno ocurrido en mayo, mes en el que inicia la época lluviosa en el país dicho mes muestra claramente que la actividad lluviosa se presenta con mayor intensidad en la parte alta de la finca a diferencia de la estación localizada en la parte baja ya que ésta muestra mayor precipitación en el mes de junio.

Así mismo podemos observar que el mes más seco que presentó este período de investigación comprendido de enero a octubre fue el mes de febrero en las dos estaciones hidrológicas.

En lo que a temperatura respecta ésta no presenta altos rangos de diferencia en las dos estaciones hidrológicas ya que la parte baja presenta un promedio anual de 18.51°C y la parte alta 18.27°C, mostrando una diferencia poco significativa de 0.24°C, lo que nos indica que los 88msnm de diferencia existente en las estaciones no tiene efecto con respecto a la temperatura. El mes más caluroso que se presentó durante este período en las dos estaciones localizadas en la finca es septiembre y esto se debe como lo mencionamos anteriormente a la presencia del fenómeno de canícula en los últimos días de éste mes, y por el contrario en el mes de octubre se

registraron las temperaturas más bajas la cual se hizo sentir en toda la región de las verapaces debido a fenómenos atmosféricos que se presentaron.

3.3. Servicio 2: Apoyo a la Sub-región II-1 en la evaluación y tabulación de datos para Sistema de Registro y Estadística Forestal (SIREF) sobre consumos familiares y visitas de campo con Programa de Incentivos Forestales y compromisos de reforestación en Tactic, Alta Verapaz.

3.3.1. Antecedentes

La Sub-región II – 1 está localizada en el departamento de Tactic, Alta Verapaz, ésta cumple diferentes actividades que contemplan desde la inscripción de motosierras, Alimentación a Estadística de Base de Datos con Consumos Familiares y Planes de Manejo, Aprobación de planes de manejo, Evaluación de Compromisos de Reforestación, Evaluación de plantaciones inscritas en el Programa de Incentivos Forestales (PINFOR) y Fiscalización de Aserraderos y Depósitos de Madera. Debido al crecimiento de la actividad forestal en la región el trabajo se ha incrementado considerablemente, por lo que el apoyo técnico y logístico se hace necesario para completar eficazmente todas las atribuciones de las que está encargado el INAB.

Por la falta de personal y la magnitud del trabajo que se desarrolla en dicha Sub-región, ésta recibe el apoyo tanto de Colegios que desarrollan carreras afines al tema de manejo forestal, de Universidades locales como Universidades San Carlos de Guatemala y Rafael Landívar por medio de sus practicas o EPS, también reciben el apoyo de la Escuela Nacional Central de Agricultura (ENCA), la ESTEFOR de Huehuetenango y el Instituto Técnico en Recursos Naturales (ITERN).

3.3.2. Objetivos

- Tabular datos a la base SIREF con lo referente a Consumos Familiares de la Sub-región II – 1, Tactic, Alta Verapaz, para consulta del personal del INAB.
- Realizar visitas de campo conjuntamente con técnicos de la sub-región II-1, Tactic, Alta Verapaz, para la posterior elaboración de expedientes.

3.3.3. Metodología

3.3.3.A. Tabulación de datos al Sistema de Registro y Estadística Forestal –SIREF-

- Se elaboraron algunos consumos familiares provenientes de las municipalidades de San Cristóbal, Santa Cruz y Senahú, Tactic.
- Posteriormente se ingresaron los datos a la base del SIREF del Instituto Nacional de Bosques.

3.3.3.B. Evaluación de Proyectos de Incentivos Forestales 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.

3.3.3.C. Verificación y evaluación de compromisos forestales

- Se procedió a verificar en el lugar dónde se encuentra el compromiso de reforestación y posteriormente se evaluaba el área reforestada.
- En cada compromiso 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.

3.3.4. Resultados

3.3.4.A. Tabulación de datos a la base del SIREF

Se tabularon datos de 119 consumos familiares provenientes de los municipios de Santa Cruz, Tactic, San Cristóbal y Tamahú.

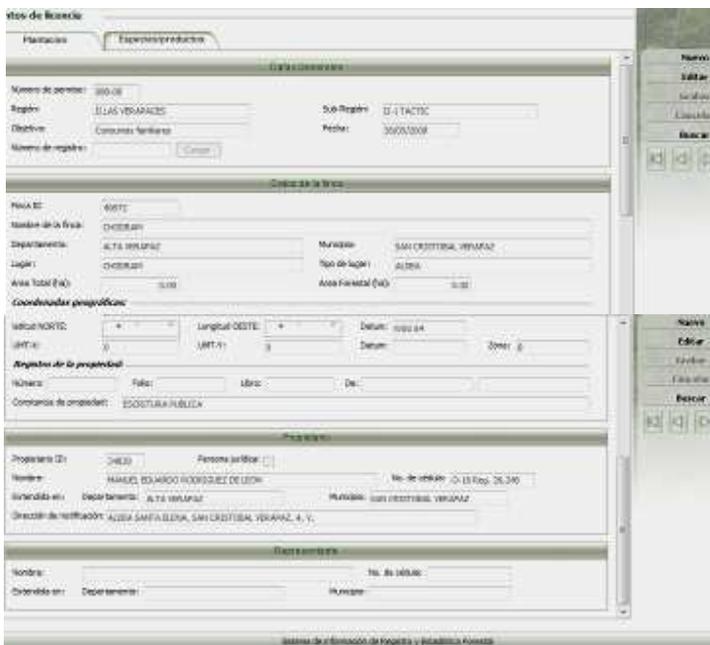


Figura 36 Sistema de Registro y Estadística Forestal –SIREF-

Tabla 17 Evaluación de Proyectos de Incentivos Forestal PINFOR.

No.	Nombre del Proyecto	Ubicación	Ext. Has.
1	Daniel Flores	Tactic	17.00
2	Platanar Grande	Tactic	59.40
3	Rodolfo Aguirre	Tactic	45.00
4	Rosa García	Tactic	13.17
5	Oscar Molina	Tactic	01.00
6	Alfonso Cojoc Laj	San Cristóbal	34.00
7	Antonio Oton Cal	San Cristóbal	04.49
8	Celestino Chocoj Ical	San Cristóbal	08.54
9	Cresencio Mo	San Cristóbal	24.85
10	Denis Oliverio Morales	San Cristóbal	06.78
11	Manuel de Jesús Calel	San Cristóbal	02.00
12	Huber Rodríguez	San Cristóbal	05.91
13	Roberto Ja Caal	Santa Cruz	02.00
14	Burmester	Santa Cruz	13.50
15	RAW S.A.	Santa Cruz	17.00
16	Cafetales de Guatemala	Tucurú	09.52
17	María Sara Santa Cruz	Tamahú	18.00
18	Agrícola Vinaros S. A.	Panzos	28.54
19	Cooperativa Agrícola Integral Corralpec, R. L.	Panzos	134.0
20	Molinos del Norte	Teleman	13.88

Tabla 18 Verificación y evaluación de compromisos forestales

No.	Nombre del Proyecto	Ubicación		Ext. Has.
1	Pablo Cal	Chicuz	San Cristóbal	00.50
2	Alfredo Quej	Chicuz	San Cristóbal	00.70
3	Augusto Gualim	Chicuz	San Cristóbal	04.13
4	Antonio Ti	Chicuz	San Cristóbal	00.55
5	Miguel Gualim	Chicuz	San Cristóbal	00.17
6	Alberto Cal	Chepenal	San Cristóbal	0.044
7	Gerardo Lem	Quejá	San Cristóbal	00.26
8	Alberto Ical	Quejá	San Cristóbal	06.34
9	Emiliano Herrera	Santa Elena	San Cristóbal	00.21
10	Jesús Lem	Baleu	San Cristóbal	00.50
11	Alejandro Cac	Baleu	San Cristóbal	00.30
12	Jesús Morán	Baleu	San Cristóbal	00.27
13	Raúl Lem	Baleu	San Cristóbal	00.20
14	Joaquina Lem	Baleu	San Cristóbal	00.50
15	Julio Cruz	Baleu	San Cristóbal	01.15
16	Reginaldo Tello	Baleu	San Cristóbal	00.40
17	Carlos Lem	Baleu	San Cristóbal	00.35

3.4. Servicio 3: Evaluación del impacto hidrológico en suelo de uso forestal (*Pinnus maximinoi*) en plantación de dos años de edad y bosque natural en finca Río Frío, Santa Cruz Verapaz, Alta Verapaz.

El Instituto Nacional de Bosques –INAB–, en virtud del mandato legal referido a la identificación y priorización de zonas de recarga hídrica y en virtud de las demandas de servicios propios de la administración forestal, se enfrenta, al igual que la mayoría de servicios forestales públicos, ante la incertidumbre técnica y administrativa vinculada a la aprobación de licencias de manejo forestal y/o de restauración de sitios (tierras) con aptitud forestal, con o sin cobertura. Ante esta situación, ha realizado varias acciones que tienden a definir un concepto de tierras forestales de captación hídrica y su priorización y ubicación espacial.

Actualmente, se tienen implementadas dos estaciones experimentales demostrativas en la Finca Río Frío, Santa Cruz Verapaz, A. V., las cuales cuentan con un pluviómetro y dos termómetros con el objetivo específico de determinar funciones que expliquen la relación entre el bosque y su manejo. Dichas estaciones operan en la fincas desde hace ya seis años.

Las estaciones hidrológicas forestales pretenden implementar procedimientos que permitan monitorear y comparar, el efecto que se produce en el comportamiento hidrológico de una microcuenca hidrográfica, sometida a uso forestal (plantación de coníferas) con prácticas silviculturales.

La implementación de la estación hidrológica es responsabilidad del INAB, por medio de sus dependencias Proyecto de Conservación de Ecosistemas Forestales Estratégicos, Proyecto de Investigación Forestal y Subregión II-1. A la vez, el INAB, cuenta con el apoyo de socios como la empresa W.E. Diesseldorff, propietaria de la finca, y la Facultad de Agronomía de la Universidad de San Carlos de Guatemala, FAUSAC, en aspectos técnico-científicos.

3.4.1. Objetivos

- Comparar escorrentía superficial en suelo de cobertura forestal con parcelas de plantación de dos años y bosque natural, de *Pinnus maximinoi*.
- Comparar erosión hídrica en suelo de cobertura forestal con parcelas de plantación de dos años y bosque natural, de *Pinnus maximinoi*.

3.4.2. Metodología

3.4.2.A. Selección del área experimental.

El área experimental se encuentra definida por investigación realizada el año anterior por Hugo Leonel Flores en la cual tomaron como características: áreas bajo las mismas condiciones de pendiente, las cuales están conformadas por 8 parcelas con uso forestal y se localizan en Finca Río Frío, Santa Cruz Verapaz, Alta Verapaz. Cada una de las parcelas mide 10 metros de largo y 7.5 metros de ancho.

3.4.2.B. Selección de los tratamientos.

Los tratamientos que fueron evaluados en la presente investigación son de uso forestal uno es bosque natural y el otro es plantación de dos años de edad.

3.4.2.C. Diseño experimental.

Se utilizó el diseño “Bloques Completamente al azar”, para la implementación de las parcelas, debido a que las condiciones del área piloto de la investigación son homogéneas y no presentan ninguna gradiente de variabilidad. Se realizarán cuatro repeticiones para cada uno de los tratamientos y densidades, teniendo un total de 8 unidades experimentales con un área de 75 metros cuadrados por unidad experimental.

Se realizó una prueba de medias para comparar las variables existentes entre parcelas y tratamientos siendo estas escurrimientos superficiales y cantidad de suelo erosionado.

3.4.2.D. Variables de respuesta

Las variables de respuesta se encuentran las siguientes:

- iv) Volumen de escurrimiento superficial total en milímetros por hectárea por año y porcentaje de escorrentía.
- v) Cantidad de suelo erosionado en toneladas métricas por hectárea y lámina de suelo en centímetros.
- vi) Granulometría del suelo erosionado.

3.4.2.E. Unidad experimental.

3.4.2.E.a. Instalación de las parcelas experimentales

Las parcelas de escorrentía se encuentran instaladas en las unidades experimentales para darle continuidad al trabajo de la fase anterior, realizada por Hugo Flores en el año 2007, cada uno de los tratamientos que son plantación de un año de edad y bosque natural de *Pinnus maximinoi* están delimitadas por tablas de 0.30 metros de ancho que circulan cada una de ellas con el fin

de evitar la penetración de escorrentía superficial de áreas aledañas. El tamaño de las parcelas será de 7.5 mts x 10.0 mts. teniendo así un área de 75 metros cuadrados por parcela.



Figura 37 Unidad experimental

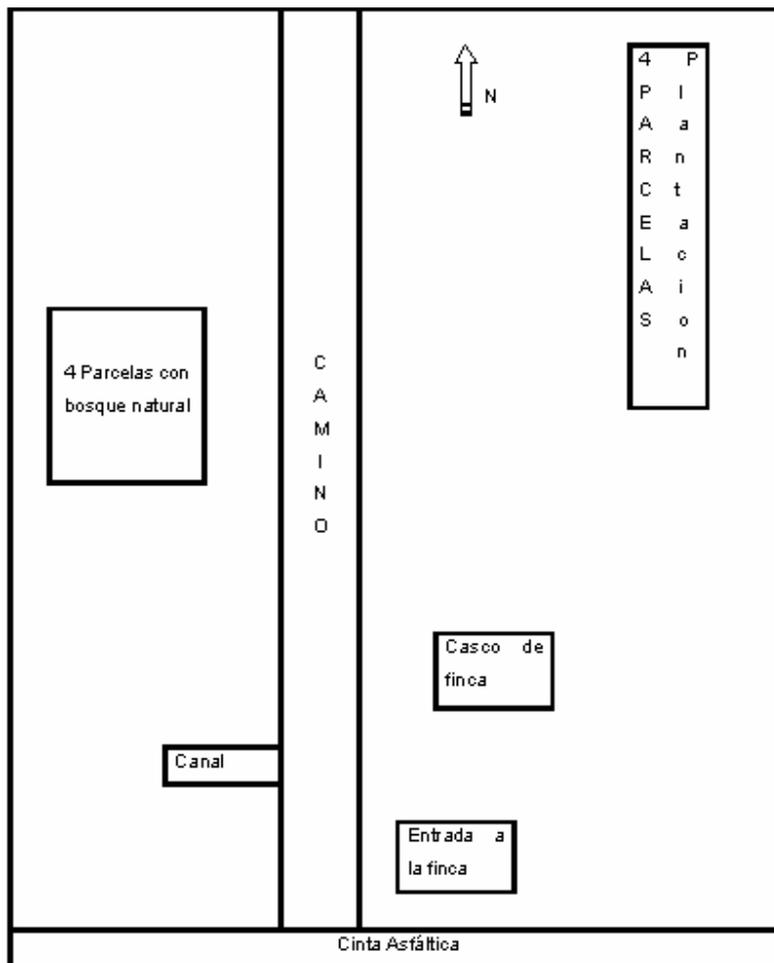


Figura 38 Croquis de ensayo experimental, finca Río Frío

- **Instalación de canales colectores.**

Estos canales serán hechos de hojalata, colocados en la parte más baja de las parcelas con un leve desnivel, los cuales permitirán la colecta y transporte de agua de escorrentía y sedimentos que provenga de cada unidad experimental hacia los recipientes colectores.

- **Instalación de recipientes colectores.**

Para esto se utilizarán recipientes de plástico de 68 litros de capacidad, colocando dos por cada unidad experimental. En dichos recipientes se medirá el volumen de agua de escorrentía y la cantidad de suelo erosionado. Para la obtención del volumen de escorrentía se calibrarán los recipientes, determinando el volumen de agua en función de la altura de agua caída en cada recipiente.

- **Mantenimiento a las unidades experimentales.**

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

- **Fuente de datos meteorológicos**

Dentro de la finca Río Frío se encuentran instaladas dos estaciones climáticas la cual está ubicada en la parte baja a 1437 msnm en las coordenadas geográficas LA 90°25'3.62" LO 15°20'30.35" y la otra situada en la parte alta a 1 525 msnm en las coordenadas geográficas LA 90°24'13.36" LO 15°20'27.32" dichas estaciones climáticas cuentan con el siguiente equipo: Pluviómetro LAMBRECHT y termómetro LATO que mide temperatura máxima y mínima, las cuales se deben monitorear diariamente.

3.4.2.F. Medición de variables.

- **Escurrimiento superficial.**

La medición de la escorrentía se efectuará seguido de cada evento de lluvia que ocurra en el área, tomando en cuenta que el agua llegue hasta los recipientes colectores en cualquiera de las unidades experimentales. La medición se efectuará con una regla graduada o cinta métrica, lo cual permitirá obtener la profundidad en el recipiente de agua escurrida para luego determinar la lámina de agua.

- **Cantidad de suelo erosionado.**

El material erosionado por la escorrentía se cuantificará tomando en cuenta los sólidos en suspensión y sedimentos depositados en el fondo del recipiente.

Para la determinación de sólidos en suspensión, se utilizarán conos de sedimentación.

3.4.2.G. Análisis a efectuar a las muestras recolectadas.

Dentro de las características físicas que se determinarán en las muestras de suelo están las siguientes.

- Densidad aparente
- Granulometría
- Densidad Real
- Porcentaje de humedad

3.4.2.H. Análisis de información.

Una vez colectados todos los datos necesarios durante el tiempo que dure la investigación, se realizara la comparación descriptiva y para luego obtener las conclusiones y plantear las recomendaciones pertinentes del estudio.

Los datos de escorrentía superficial y erosión hídrica serán sometidos a una prueba de medias, para establecer diferencias entre los tratamientos a evaluados.

3.4.3. Resultados

3.4.3.A. Esguerrimiento superficial

Tabla 19 Escorrentía superficial en metros cúbicos por hectárea.

Tratamientos	Repeticiones				Total	Media
	I	II	III	IV		
Plantación 2 años	240.072062	162.715407	245.497845	174.370714	822.656027	205.664007
Bosque Natural	180.605845	242.053482	137.117517	171.456961	731.233806	182.808451

En la figura 39, se muestra la cantidad de escorrentía superficial, expresada en m³/ha en cada uno de los tratamientos evaluados.

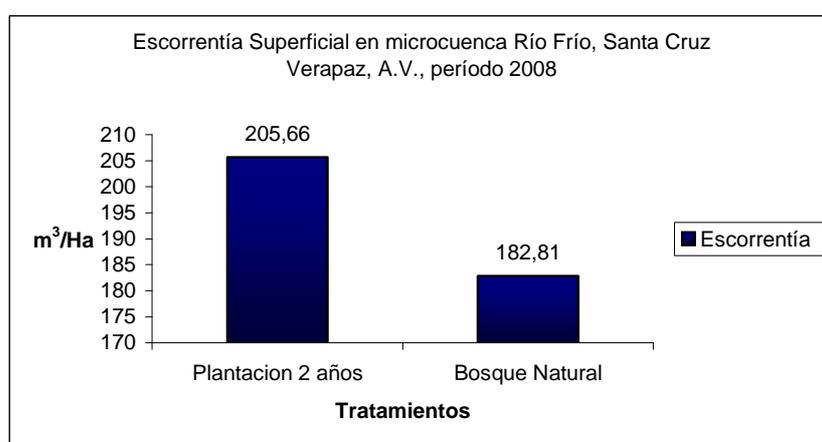


Figura 39 Volumen de escorrentía superficial por tratamiento

Los resultados de la figura 39 indican que los tratamientos correspondientes a la plantación de dos años tuvieron mayor escorrentía superficial en comparación a las áreas ocupadas por bosque natural esto se debe a que ésta última cuenta con mayor cobertura la cual reduce la escorrentía y favorecen la infiltración del agua al subsuelo esto debido a: que el agua es interceptada por las copas de los árboles, a la presencia de la abundante materia orgánica con que cuenta la primera capa de suelo en esta área y al sotobosque existente la cual conjuntamente a la materia orgánica funge como colchón a las gotas de lluvia de tal manera que la precipitación tiene mayores posibilidades de infiltración en el suelo y evita que aumente la escorrentía. A diferencia de ésta el área ocupada por la plantación de dos años proporciona menor protección al suelo.

3.4.3.B. Suelo erosionado

Tabla 20 Suelo erosionado en toneladas métricas por hectárea.

Tratamientos	Repeticiones				Total	Media
	I	II	III	IV		
Bosque Natural	3.30370791	3.29541784	1.41237115	1.56967292	9.58116983	2.39529246
Plantación 2 años	2.47425871	3.79665416	5.72058545	1.22295296	13.2144513	3.30361282

En la figura 40, se presenta la cantidad de suelo erosionado, expresado en TM/ha en cada uno de los tratamientos evaluados.

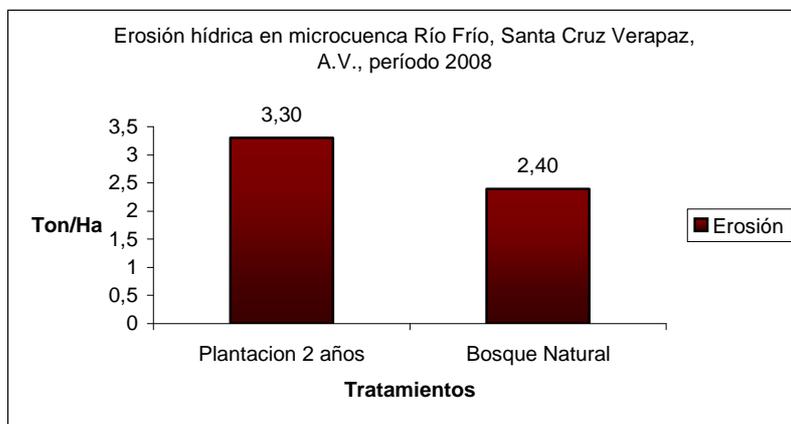


Figura 40 Erosión hídrica entre períodos, microcuenca Río Frío, Santa Cruz Verapaz, A. V.

En la figura 10 se demuestra que la cobertura que se recomienda para el área de estudio por presentar menor erosión es el tratamiento con bosque natural, esto se debe a la retención de copas, escurrimiento caulinar y la presencia de sotobosque, factores que contribuyen a que el impacto de gotas de lluvia no sea directo sobre el suelo evitando así el arrastre de partículas por acción de escurrimiento. Con respecto al área ocupada por la plantación de dos años esta

presenta una diferencia de 0.9Ton/ha en comparación al área ocupada por bosque natural y esto se debe a la altura y área basal con que cuenta, ocasionando el aumento erosivo en el área.

3.4.3.C. Análisis físicos efectuados a las muestras de suelo

Tabla 21 Resultados de análisis físicos de suelo, Río Frío Santa Cruz Verapaz, Alta Verapaz

Iden	%		gr/cc		%			Clase textural
	CC	PMP	Da	Dr	Arcilla	Limo	Arena	
1BM	38.79	30.73	0.8163	1.95	21.76	25.96	52.29	Franco arcillo arenoso
2BM	44.32	33.71	0.8000	1.90	17.56	24.82	57.62	Franco arenoso
3BM	43.06	33.03	0.7843	1.90	19.66	31.12	49.22	Franco
4BM	48.10	27.36	0.7547	1.95	14.87	34.94	50.19	Franco arenoso
1PL	41.07	24.56	0.8000	1.95	33.77	37.04	29.19	Franco arcilloso
2PL	41.44	27.53	0.8696	1.90	35.87	28.64	35.49	Franco arcilloso
3PL	35.42	22.72	0.9756	1.95	25.37	24.44	50.19	Franco arcillo arenoso
4PL	49.66	33.56	0.7407	1.85	12.77	16.04	71.14	Franco arenoso

Fuente: Laboratorio de Suelos, FAUSAC (2008).

BM = Bosque Natural

PL = Plantación de dos años

Se determinó por medio del análisis físico, que la clase textural del suelo en bosque natural es franco arenoso y en plantación de dos años franco arcilloso, presentando una densidad aparente promedio de 1.92 g/cc, notando que existen diferencias entre tratamientos en cuanto a clases texturales.

3.5. Conclusiones

- El caudal medio del afluente principal de la microcuenca Río Frío, Santa Cruz Verapaz, A.V. fue de 47.85L/s, el cual constituye un 17% de la precipitación total durante el período de investigación (enero-octubre), tomando en cuenta en este caso que es parte del agua que escurre e infiltra para alimentar a los 11 nacimientos de la Finca Río Frío, Santa Cruz Verapaz, A.V., se calcula que el 83% restante está constituido por infiltración, evapotranspiración y evaporación.
- La precipitación media mensual de la parte alta (1525msnm) de la cuenca es 297.1575mm y de la parte baja (1437msnm) es 220.55mm durante los 305 días que comprendió el período de investigación en el año 2008.
- La temperatura media mensual registrada en los termómetros LATO de las dos estaciones climáticas de la Finca Río Frío Santa Cruz Verapaz, A. V. son 18.51°C para la parte baja y 18.27°C para la parte alta.
- Se tabularon 119 Consumos Familiares a la base de datos del Sistema de Registro y Estadística Forestal –SIREF- de la Sub-región II-1, Tactic, A.V. la cual es para uso exclusivo del personal del INAB.
- En el Período del Ejercicio Profesional Supervisado se realizaron 20 visitas para evaluación de Programa de Incentivos Forestales –PINFOR- y 17 evaluaciones de Compromisos forestales, estos últimos comprendiendo solamente el municipio de San Cristóbal.

Tabla 22 Evaluaciones PINFOR

No. De evaluación	Municipio
5	Tactic
7	San Cristóbal
3	Santa Cruz
1	Tucurú
1	Tamahú
2	Panzos
1	Teleman

Tabla 23 Evaluaciones a compromisos

No. De evaluación	Ubicación
5	Chicuz San Cristóbal
1	Chepenal, San Cristóbal
2	Quejá, San Cristóbal
1	Santa Elena, San Cristóbal
8	Baleu, San Cristóbal

- En cuanto a escorrentía superficial en suelo de cobertura forestal (*Pinnus maximinoi*) el suelo que presenta mayor escorrentía superficial es el de parcelas de plantación de dos años con 205.66m³/ha y el bosque natural 182.81m³/ha, éste último cuantificó mayor protección al suelo.
- Con respecto a erosión hídrica en suelo de cobertura forestal (*Pinnus maximinoi*) el tratamiento que proporcionó mayor protección al suelo es el de bosque natural con 2.40 Ton/ha y con una diferencia de 0.9 Ton/ha el tratamiento de parcelas de plantación de dos años demostró ser más erosivo y perjudicial para el suelo. (3.3.Ton/ha).

3.6. Recomendaciones

- La toma de datos para determinar el caudal debe ser realizada como mínimo dos veces al día, preferiblemente cada doce horas, para obtener un caudal medio representativo y así poder realizar cálculos más puntuales los cuales tendrán mejores fundamentos al momento de interpretarlos.
- La sustitución de pluviómetros por pluviógrafos, para poder obtener mejor interpretación de los datos obtenidos ya que los primeros solamente miden lámina de agua y los pluviógrafos miden otros factores como intensidad y duración.
- Debería existir una opción en el SIREF para obtener un resumen detallado de consumos familiares y así poder tener un control anual y/o mensual.
- Continuar con la extensión de contratos de técnicos temporales asignados a PINFOR y así poder contar con ellos para supervisar compromisos de reforestación, planes de manejo y otras actividades con las que debe cumplir la sub-región y así agilizar las inspecciones y ofrecer un mejor servicio a los usuarios de la institución.
- Se recomienda mantener el bosque natural en el área para contribuir a la conservación de las fuentes de agua existentes en la zona, este tipo de cobertura favorece a la infiltración del suelo, reduce la escorrentía superficial y por ende la erosión hídrica.
- La sustitución de pluviómetros por pluviógrafos, para adquirir mejor interpretación de los datos obtenidos, los primeros solamente miden lámina de agua y los pluviógrafos miden otros factores como intensidad y duración.
- Es preciso que los canales colectores en las parcelas no estén descubiertos para disminuir el porcentaje de error que existe en la investigación, alterando los resultados de cantidad de escorrentía superficial.

3.7. Bibliografía

1. Colegio de Postgraduados Chapingo, MX. 1991. Manual de conservación de suelo y agua. 3 ed. Chapingo, México. 606 p.
2. Custodio, E; Llamas, MR. 2001. Hidrología subterránea. 2 ed. Barcelona, España, Omega. v. 1-2, 235 p.
3. Cruz, JR De la. 1981. Clasificación de zonas de vida de Guatemala a nivel de reconocimiento. Guatemala, Instituto Nacional Forestal. 24 p.
4. IGN (Instituto Geográfico Nacional, GT). Mapa topográfico de la república de Guatemala: hoja Tactic, no. 2162-I y Santa Cruz, no. 2162-III. Guatemala. Esc. 1:250,000. s.p.
5. INAB (Instituto Nacional de Bosques, GT). 2000. Manual para la clasificación de tierras por capacidad de uso. Guatemala. 96 p.
6. INAB (Instituto Nacional de Bosques, GT). 2006. Documento base: estación hidrológica "Río Frío", impacto hidrológico derivado de los tratamientos silviculturales, bosques naturales y plantaciones de coníferas. Guatemala. s.p. (Documento no publicado).
7. Tax, M. 2004. Diagnóstico de la microcuenca Río Frío, Santa Cruz Verapaz, Alta Verapaz. Diagnóstico EPSA. Guatemala, Instituto Nacional de Bosques. 124 p.
8. 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