

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



TRABAJO DE GRADUACIÓN

**CONTRIBUCIÓN AL PROGRAMA DE INVESTIGACIÓN DE HIDROLOGÍA FORESTAL
DEL INSTITUTO NACIONAL DE BOSQUES -INAB-, DESARROLLADO EN LA
MICROCUEENCA RÍO FRÍO, SANTA CRUZ VERAPAZ, ALTA VERAPAZ**

LIDAMAR EUGENIA CARDONA HERNÁNDEZ

Guatemala, noviembre de 2006

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE AGRONOMÍA
ÁREA INTEGRADA

TRABAJO DE GRADUACIÓN

**CONTRIBUCIÓN AL PROGRAMA DE INVESTIGACIÓN DE HIDROLOGÍA FORESTAL
DEL INSTITUTO NACIONAL DE BOSQUES –INAB– , DESARROLLADO EN LA
MICROCUENCA RÍO FRÍO, SANTA CRUZ VERAPAZ, ALTA VERAPAZ**

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

POR

LIDAMAR EUGENIA CARDONA HERNÁNDEZ

EN EL ACTO DE INVESTIDURA COMO

INGENIERA AGRÓNOMA

EN

RECURSOS NATURALES RENOVABLES

EN EL GRADO ACADÉMICO DE LICENCIADA

Guatemala, noviembre de 2006

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

RECTOR

LIC. CARLOS ESTUARDO GÁLVEZ BARRIOS

JUNTA DIRECTIVA DE LA FACULTAD DE AGRONOMÍA

DECANO	Dr. Ariel Abderramán Ortiz López
VOCAL PRIMERO	Ing. Agr. Alfredo Itzep Manuel
VOCAL SEGUNDO	Ing. Agr. Walter Arnoldo Reyes Sanabria
VOCAL TERCERO	Ing. Agr. Danilo Ernesto Dardón Dávila
VOCAL CUARTO	Br. Duglas Antonio Castillo Álvarez
VOCAL QUINTO	P.A. José Mauricio Franco Rosales
SECRETARIO	Ing. Agr. Pedro Peláez Reyes

Guatemala, noviembre de 2006

Guatemala, noviembre de 2006

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

Señores Miembros:

De conformidad con las normas establecidas en la Ley Orgánica de la Universidad de San Carlos de Guatemala, tengo el honor de someter a vuestra consideración el documento:

TRABAJO DE GRADUACIÓN

Contribución al Programa de Investigación de Hidrología Forestal del Instituto Nacional de Bosques -INAB- , desarrollado en la Microcuenca Río Frío, Santa Cruz Verapaz, Alta Verapaz

Como requisito previo a optar el Título de Ingeniero Agrónomo en Sistemas de Producción Agrícola, en el grado académico de Licenciado.

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

Atentamente,

“ID Y ENSEÑAD A TODOS”

Lidamar Eugenia Cardona Hernández

ACTO QUE DEDICO

A:

Dios: Gracias Padre, porque este triunfo se debe a ti, tu estuviste presente en este camino, nunca me dejaste ni me abandonastes, estuviste en esos momentos de alegría como en esos tiempo difíciles. Rodeándome siempre de tu amor y de tu presencia. Gracias por ser el Señor de mi Vida.

Mis padres: Mario Cardona Castillo **varón que lucha por lo que quiere e Irene Hernández López, mujer virtuosa llena de amor y sabiduría. Ustedes han bendecido mi vida al ser mis padres. Pues siempre he contado con su apoyo, amor y amistad. Gracias los amo.**

Mis hermanas: **Princesas del Rey de Reyes** Kimberly Marielos, Esmeralda, Anabella Marisol y Maria del Rosario **gracias por su apoyo, paciencia y amor, que Dios me las bendiga en gran manera, pues son muy especial e importante en mi vida y en este sueño hecho ahora una realidad.**

Mis amigos: Cecilia Ramos, Glenda Sandoval, Alejandra Monterroso, Sandra y Maria Eugenia Gonzáles, Nadia Espinosa, Flor de Maria Más, Karen Calderón, Yasil Cúmez, Carlos Pérez, Samuel Hernández, Oscar Flores, Rodolfo Patzán, Moisés Fuentes y Kenny de Paz. **Perlas preciosas que han dejado sus huellas en mi vida, brindándome esa amistad sincera e incondicional. ¡Que Dios me los bendiga!**

TRABAJO DE GRADUACIÓN QUE DEDICO

A:

Dios Padre, Jesucristo y Espíritu Santo

Por su fidelidad y eterno amor

Guatemala

País hermoso que me vio nacerUniversidad de San Carlos de Guatemala
oportunidad**Institución que me dio la
de ser una profesional**Facultad de Agronomía
profesionales**Formadora de grandes**

AGRADECIMIENTOS

A:

Mis asesores: **Ing. Agr. Guillermo Méndez y el Ing. Agr. M.Sc. Marvin Salguero, gracias por esa dedicación y tiempo invertido en la elaboración de este trabajo.**

Instituto Nacional de Bosques –INAB- **Por brindarme la oportunidad de realizar mi Ejercicio Profesional Supervisado.**

Instituto de Investigaciones Agronómicas **este trabajo** **Por el apoyo financiero para la realización de este trabajo**

Doctor: **Hugo Cardona, por brindarme su apoyo en busca de la institución para realizar mi Ejercicio Profesional Supervisado.**

Subregión II-1 de –INAB-Tax, **Diego Herrera, Vinicio Piox, Erick López, Alexandro En Tactic, Alta Verapaz** **Mildred Morales, Julio Cuellar y el Ing. Infieri Rene Jiménez, por su compañerismo y amistad.**

Las Familias: **Toc y Leal por brindarme ese cariño sincero. Especialmente a Macaria Toc y Silvia Leal. Que Dios me las bendiga.**

Al Ing. M.Sc. Juan Carlos Fuentes, Cesar Axpuc, Ing. Agr. Infieri Alejandro Avalos, Marco Tulio Cruz, Juan Pablo Calito, pues su ayuda fue muy importante en la realización de este trabajo.

ÍNDICE GENERAL

CONTENIDO	PÁGINA
Índice de figuras	iii
Índice de cuadros	vi
RESUMEN	x
CAPÍTULO I: Informe de diagnóstico de la Microcuenca Río Frío Santa Cruz	
Verapaz, Alta Verapaz.....	1
1. INTRODUCCIÓN	2
2. OBJETIVOS	3
3. METODOLOGÍA	4
4. MARCO REFERENCIAL	5
5. RESULTADOS	23
6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	25
7. BIBLIOGRAFÍA.....	26
CAPÍTULO II: Estimación de la recarga hídrica natural potencial de la microcuenca	
Río Frío, Santa Cruz Verapaz, Alta Verapaz	27
RESUMEN.....	28
1. INTRODUCCIÓN.....	29
2. DEFINICIÓN DEL PROBLEMA.....	31
3. MARCO TEÓRICO.....	32
3.1 Marco Conceptual.....	32
3.2 Marco Referencial.....	54
4. OBJETIVOS.....	66
5. METODOLOGÍA.....	67
6. RESULTADOS	75
7. CONCLUSIONES.....	106
8. RECOMENDACIONES	108
9. BIBLIOGRAFÍA	109
10. APÉNDICE	112
CAPÍTULO III: Información de servicios realizados en la Subregión II-1, Tactic y en	
la Finca Río Frío, Santa Cruz Verapaz, Alta Verapaz	145
1. INTRODUCCIÓN	146

2. SERVICIO I: Apoyo Técnico en la Subregión II-1, del Instituto Nacional de Bosque	
-INAB-, Tactic , Alta Verapaz	147
2.1 Objetivos	147
2.2 Metodología	147
2.3 Resultados	149
2.4 Evaluación	154
3. SERVICIO II: Apoyo al levantamiento y monitoreo de las parcelas de escorrentía	
en la Finca Río Frío, Santa Cruz Verapaz, Alta Verapaz	154
3.1 Objetivos	154
3.2 Metodología	154
3.3 Resultados	159
3.4 Evaluación	160
4. BIBLIOGRAFÍA	161

ÍNDICE DE FIGURAS

	PÁGINA
Figura 1 Camino de terracería de la microcuenca Río Frío.....	5
Figura 2 Mapa de ubicación geográfica.....	6
Figura 3 Mapa de ubicación dentro de la vertiente hidrográfica.....	7
Figura 4 Pluviómetro LAMBRECH.....	8
Figura 5 Termómetro SATTO.....	9
Figura 6 Canal de aforo de la microcuenca Río Frío.....	9
Figura 7 Canal construido en la corriente principal de la microcuenca.....	10
Figura 8 Mapa de drenaje y orden de corrientes.....	11
Figura 9 Canal de captación de agua y sedimentos de las parcelas de Escorrentía	12
Figura 10 Mapa de unidades fisiográficas.....	14
Figura 11 Mapa serie de suelos.....	15
Figura 12 Mapa de unidades geológicas.....	16
Figura 13 Mapa de Cobertura Vegetal	18
Figura 14 Bosque denso de coníferas.....	20
Figura 15 Única familia que reside en el interior de la microcuenca.....	22
Figura 16 Mapa de ubicación geográfica.....	55
Figura 17 Mapa de ubicación dentro de la vertiente.....	56
Figura 18 Mapa de drenaje y orden de corrientes.....	58
Figura 19 Mapa de unidades fisiográficas.....	60
Figura 20 Mapa de serie de suelo.....	61
Figura 21 Mapa de unidades geológicas.....	63
Figura 22 Mapa de cobertura vegetal	65
Figura 23 Precipitación media mensual de las estaciones climáticas de la Microcuenca Río Frío, Santa Cruz Verapaz, A. V.....	76
Figura 24 Temperatura media mensual de estaciones climática de la microcuenca Río Frío, Santa Cruz Verapaz, A. V	77
Figura 25 Evapotranspiración mensual de la microcuenca Río Frío, Santa Cruz Verapaz, A. V.....	78

Figura 26. Comportamiento del caudal de la microcuenca Río Frío, Santa Cruz Verapaz, A. V.....	79
Figura 27. Mapa de manantiales aforados.....	81
Figura 28 Mapa de unidades de mapeo.....	83
Figura 29 Mapa de alturas medias.....	85
Figura 30. Mapa de áreas de recarga hídrica natural potencial.....	94
Figura 31 Mapa de unidades críticas de recarga hídrica natural potencial.....	96
Figura 32 Mapa de isoyetas anuales.....	99
Figura 33 Mapa de isopletas anuales.....	100
Figura 34A Curva de infiltración básica de la unidad 1.....	113
Figura 35A Curva de infiltración básica de la unidad 2.....	114
Figura 36A Curva de infiltración básica de la unidad 3.....	115
Figura 37A Curva de infiltración básica de la unidad 4.....	116
Figura 38A Curva de infiltración básica de la unidad 5.....	117
Figura 39A Curva de infiltración básica de la unidad 6.....	118
Figura 40A Curva de infiltración básica de la unidad 7.....	119
Figura 41A Curva de infiltración básica de la unidad 8.....	120
Figura 42A Curva de infiltración básica de la unidad 9.....	121
Figura 43A Curva de infiltración básica de la unidad 10.....	122
Figura 44A Curva de infiltración básica de la unidad 11.....	123
Figura 45A Curva de infiltración básica de la unidad 12.....	124
Figura 46A Curva de infiltración básica de la unidad 13.....	125
Figura 47A Curva de infiltración básica de la unidad 14.....	126
Figura 48A Curva de infiltración básica de la unidad 15.....	127
Figura 49A Curva de infiltración básica de la unidad 16.....	128
Figura 50 Verificación de planes de manejo forestal.....	150
Figura 51 Identificación de trozas a evaluar.....	151
Figura 52 Proceso de las trozas a evaluar.....	152
Figura 53 Expedientes identificados en orden cronológico.....	153
Figura 54 Archivo general de expedientes de PINFOR de la Subregión II-1.....	153
Figura 55 Sistema recolector de escorrentía.....	155
Figura 56 Pluviómetro dentro de las parcelas de escorrentía.....	156
Figura 57 Raleo en las parcelas de escorrentía.....	157

Figura 58 Medición del escurrimiento.....	157
Figura 59 Obtención de muestras de sedimentos.....	158
Figura 60 Medición de la precipitación de los pluviómetros.....	159

ÍNDICE DE CUADROS

	PÁGINA
Cuadro 1 Especies de flora en la microcuenca Río Frío.....	20
Cuadro 2 Especies de fauna en la microcuenca Río Frío.....	21
Cuadro 3 Variables climáticas registradas durante el año hidrológico.....	23
Cuadro 4 Datos del canal de aforo de la microcuenca Río Frío.....	24
Cuadro 5 Elementos del balance hidrológico de una región para un periodo Definido.....	34
Cuadro 6 Valores de coeficientes (Kp) según valores de pendientes.....	37
Cuadro 7 Valores de coeficientes (Kv) según tipo de cobertura vegetal.....	38
Cuadro 8 Matriz de criterios de geología para la determinación de áreas Críticas de recarga hídrica natural.....	39
Cuadro 9 Matriz de criterios de infiltración básica para la determinación de Áreas críticas de recarga hídrica natural.....	40
Cuadro 10 Matriz de criterios de recarga anual para la determinación de Áreas críticas de recarga hídrica natural.....	41
Cuadro 11 Matriz de criterios de pendiente para la determinación de áreas Críticas de recarga hídrica natural.....	41
Cuadro 12 Criterios de susceptibilidad de áreas a ser consideradas áreas Críticas de recarga hídrica natural.....	42
Cuadro 13 Valores medios mensuales de radiación extraterrestre, RMM, Expresada en evaporación equivalente en mm/día.....	52
Cuadro 14 Duración máxima media diaria de horas de brillo solar para Diferentes meses y latitudes.....	52
Cuadro 15 Leyenda fisiográfica de la microcuenca Río Frío, Santa Cruz Verapaz Alta Verapaz.....	59
Cuadro 16 Datos de precipitación pluvial mensual en mm de la microcuenca Río Frío.....	75
Cuadro 17 Datos de temperatura mensual de las estaciones climáticas de la Microcuenca Río Frío.....	77
Cuadro 18 Datos de la evapotranspiración potencial, por el método de Hargreaves.....	78
Cuadro 19 Caudales medios mensuales de la microcuenca Río Frío, Santa Cruz	

Verapaz.....	79
Cuadro 20 Aforo de los principales manantiales de la microcuenca Río Frío...	80
Cuadro 21 Unidades de mapeo en la microcuenca Río Frío.....	82
Cuadro 22 Precipitación media mensual de cada unidad de mapeo.....	84
Cuadro 23 Evapotranspiración potencial media mensual en mm por Unidad de mapeo.....	86
Cuadro 24 Coeficiente de infiltración por unidad de mapeo.....	87
Cuadro 25 Propiedades físicas de los suelos por unidad de mapeo.....	88
Cuadro 26 Cobertura vegetal o uso de la tierra.....	89
Cuadro 27 Cobertura vegetal, retención y profundidad radicular por unidad De mapeo.....	90
Cuadro 28 Resumen de recarga hídrica potencial por unidad de mapeo.....	91
Cuadro 29 Clasificación de recarga potencial por unidad de mapeo.....	92
Cuadro 30 Clasificación de susceptibilidad en principales áreas de recarga Potencial.....	95
Cuadro 31 Precipitación media por medio de isoyetas.....	97
Cuadro 32 Evapotranspiración potencial anual.....	98
Cuadro 33 Caudales mensuales de la microcuenca Río Frío, Santa Cruz Verapaz, Alta Verapaz.....	101
Cuadro 34 Resumen del balance hidrológico de la microcuenca Río Frío.....	101
Cuadro 35 Comparación del balance hídrico de suelo con el balance Hidrológico de la microcuenca Río Frío.....	102
Cuadro 36 Distancias horizontales de acuerdo al cuerpo de agua.....	104
Cuadro 37A Prueba de infiltración unidad 1.....	113
Cuadro 38A Prueba de infiltración unidad 2.....	114
Cuadro 39A Prueba de infiltración unidad 3.....	115
Cuadro 40A Prueba de infiltración unidad 4.....	116
Cuadro 41A Prueba de infiltración unidad 5.....	117
Cuadro 42A Prueba de infiltración unidad 6.....	118
Cuadro 43A Prueba de infiltración unidad 7.....	119
Cuadro 44A Prueba de infiltración unidad 8.....	120
Cuadro 45A Prueba de infiltración unidad 9.....	121
Cuadro 46A Prueba de infiltración unidad 10.....	122

Cuadro 47A Prueba de infiltración unidad 11.....	123
Cuadro 48A Prueba de infiltración unidad 12.....	124
Cuadro 49A Prueba de infiltración unidad 13.....	125
Cuadro 50A Prueba de infiltración unidad 14.....	126
Cuadro 51A Prueba de infiltración unidad 15.....	127
Cuadro 52A Prueba de infiltración unidad 16.....	128
Cuadro 53A Balance hídrico de suelo unidad 1.....	129
Cuadro 54A Balance hídrico de suelo unidad 2.....	130
Cuadro 55A Balance hídrico de suelo unidad 3.....	131
Cuadro 56A Balance hídrico de suelo unidad 4.....	132
Cuadro 57A Balance hídrico de suelo unidad 5.....	133
Cuadro 58A Balance hídrico de suelo unidad 6.....	134
Cuadro 59A Balance hídrico de suelo unidad 7.....	135
Cuadro 60A Balance hídrico de suelo unidad 8.....	136
Cuadro 61A Balance hídrico de suelo unidad 9.....	137
Cuadro 62A Balance hídrico de suelo unidad 10.....	138
Cuadro 63A Balance hídrico de suelo unidad 11.....	139
Cuadro 64A Balance hídrico de suelo unidad 12.....	140
Cuadro 65A Balance hídrico de suelo unidad 13.....	141
Cuadro 66A Balance hídrico de suelo unidad 14.....	142
Cuadro 67A Balance hídrico de suelo unidad 15.....	143
Cuadro 68A Balance hídrico de suelo unidad 16.....	144
Cuadro 69 Proyectos evaluados de PINFOR.....	149
Cuadro 70 Datos de planes de manejo evaluados.....	150
Cuadro 71 Porcentaje de rendimiento de las industrias evaluadas.....	151
Cuadro 72 Asignación de colores para los proyectos de PINFOR.....	159
Cuadro 73 Resultados de suelo erosionado en las parcelas de escorrentía...	160

RESUMEN GENERAL

Los recursos naturales renovables en Guatemala es una fuente de calidad de vida y oportunidades de desarrollo para las poblaciones, por eso es necesario que se tomen acciones que conduzcan a un manejo sostenible, para la disponibilidad y permanencia de los mismos.

Debido a esto el Instituto Nacional de Bosques –INAB- ha implementado el Programa de Investigación de Hidrología Forestal que tiene como objetivo desarrollar investigaciones hídrico-forestales, a su vez el Proyecto de Conservación de Ecosistemas Forestales Estratégicos –CEFE-, éste tiene la responsabilidad de la implementación de proyectos piloto a nivel de cuenca. La Facultad de Agronomía y el Instituto Nacional de Bosques –INAB-, establecieron un convenio para generar información básica de la microcuenca Río Frío. Esta microcuenca es un área modelo para realizar investigaciones hídrico-forestal debido a sus características de recursos hídricos, cobertura y actividad forestal.

Como resultado del convenio entre la FAUSAC y el INAB se presenta este trabajo donde se integra toda la información generada durante el Ejercicio Profesional Supervisado (período de febrero a noviembre de 2005), agrupándolo en tres capítulos los cuales son: diagnóstico, investigación y servicios, con el propósito de contribuir a la investigación de hidrología forestal.

El diagnóstico que se realizó en la microcuenca Río Frío, que se encuentra dentro de la finca que lleva el mismo nombre y que es propiedad de la Empresa W. E. Diesseldorff ubicada en el municipio de Santa Cruz Verapaz, fue enfocado a la importancia de los recursos hídricos, y la cobertura forestal a nivel de reconocimiento.

Con base a este análisis la investigación se enfocó en la estimación de la recarga hídrica natural potencial de esta microcuenca, debido a la falta de información técnica sobre las áreas de recarga hídrica natural, donde se concluyó que esta áreas es una unidad de recarga, pero es necesario que se le de un manejo

adecuado. Pues tiene pendientes muy pronunciadas, y posee suelos susceptibles a erosionarse. También se deben de proteger los nacimientos, pues se encuentran cerca de caminos que han sido usados para llevar acabo aprovechamientos forestales, esto puede ocasionar más adelante problemas de sedimentación en todo el trayecto del cauce principal. Por las características que presenta esta unidad de estudio es necesario implementar una planificación, tomando en cuenta el impacto negativo que ocasionan las actividades propias del aprovechamiento.

Uno de los servicios prestados contribuyó al desarrollo de información hídrico-forestal, al monitorear las 16 parcelas de escorrentía, ubicadas dentro de la Finca Río Frío, estas se usaron para evaluar en forma preliminar el efecto de cuatro porcentajes de cobertura, sobre la erosión hídrica del suelo. También se prestó apoyo en las actividades técnicas como administrativas en la Subregión II-1 de – INAB- Tactic, Alta Verapaz.

Para la realización del presente trabajo, se contó con el apoyo financiero del Proyecto de Investigación Forestal, el proyecto CEFE del INAB, y asesoría técnica de la Facultad de Agronomía de la Universidad de San Carlos de Guatemala.

CAPÍTULO I
DIAGNOSTICO DE LA MICROCUENCA RÍO FRÍO, SANTA CRUZ
VERAPAZ, ALTA VERAPAZ

1. INTRODUCCIÓN

La información que se presenta en este diagnóstico fue generada con anterioridad para otros estudios, por lo que solo se hace mención en este estudio de los datos biofísicos y morfométricos de la microcuenca de Río Frío. La microcuenca tiene una extensión de 231.69 ha, posee una densidad de drenaje de 3.4065 km/km², el cual indica que es una cuenca muy bien drenada. La microcuenca por poseer pendientes fuertes, cuenta con suelos susceptibles a la erosión. El área de estudio cuenta con una gran variedad de cobertura vegetal, pues se encuentran plantaciones de pino de diferentes edades y cultivos agrícolas.

El propósito de este diagnóstico es describir la situación actual en la que se encuentra la microcuenca Río Frío, ya que cuenta con dos estaciones climatológicas, un canal de aforo, tres parcelas para medir la escorrentía superficial para generar una base de datos acerca del comportamiento del caudal, cuyo registro se inició a partir de los seis primeros días del mes de Noviembre del año 2004.

También se cuenta con un año hidrológico de información de las estaciones climatológicas, con datos de precipitación media mensual, y temperaturas mínimas y máximas.

Más información de la microcuenca será generada en el periodo de febrero a noviembre del 2005, durante el Ejercicio Profesional Supervisado (EPS), de la Facultad de Agronomía de la Universidad de San Carlos de Guatemala, con el apoyo del INAB, y del personal administrativo y propietario de la finca Río Frío.

2. OBJETIVOS

2.1 GENERAL

Describir y analizar la situación actual de la Microcuenca Río Frío, Santa Cruz Verapaz, Alta Verapaz a través de la información generada y que sirva de base para el planteamiento de otros estudios.

2.2 ESPECIFICOS

- A. Continuar con el registro y sistematización de la información climatológica de la microcuenca Río Frío (temperatura, precipitación).

- B. Continuar con el registro de la información hidrológica de la microcuenca Río Frío.

3. METODOLOGÍA

3.1 Fase de Gabinete inicial

Recopilación de información generada con anterioridad como planes de reforestación (año de plantación y extensión), áreas de bosque natural.

Se recopilaron los datos climáticos (temperatura y precipitación pluvial) y datos del canal de aforo, obtenidos de los meses de diciembre 2004 a febrero 2005.

Se editaron los mapas de ubicación geográfica e hidrográfica, serie de suelos, unidades geológicas, cobertura forestal, unidades fisiográficas de la microcuenca en estudio.

3.2 Fase de Campo

Se comprobó la información de los mapas mediante un recorrido en toda la microcuenca, así mismo se continuo con el monitoreo de las variables climáticas en las dos estaciones climáticas, que se ubican en la parte baja y parte media alta de la microcuenca Río Frío.

Se continuó con el monitoreo del canal de aforo, realizándolo una vez al día para analizar el comportamiento del caudal.

3.3 Fase de Gabinete final

La fase final consistió en la tabulación de los datos climáticos y datos del canal de aforo generados durante todo el año hidrológico, tomando los datos del mes de diciembre del año 2004 a noviembre 2005.

4. MARCO REFERENCIAL

4.1 Ubicación Geográfica

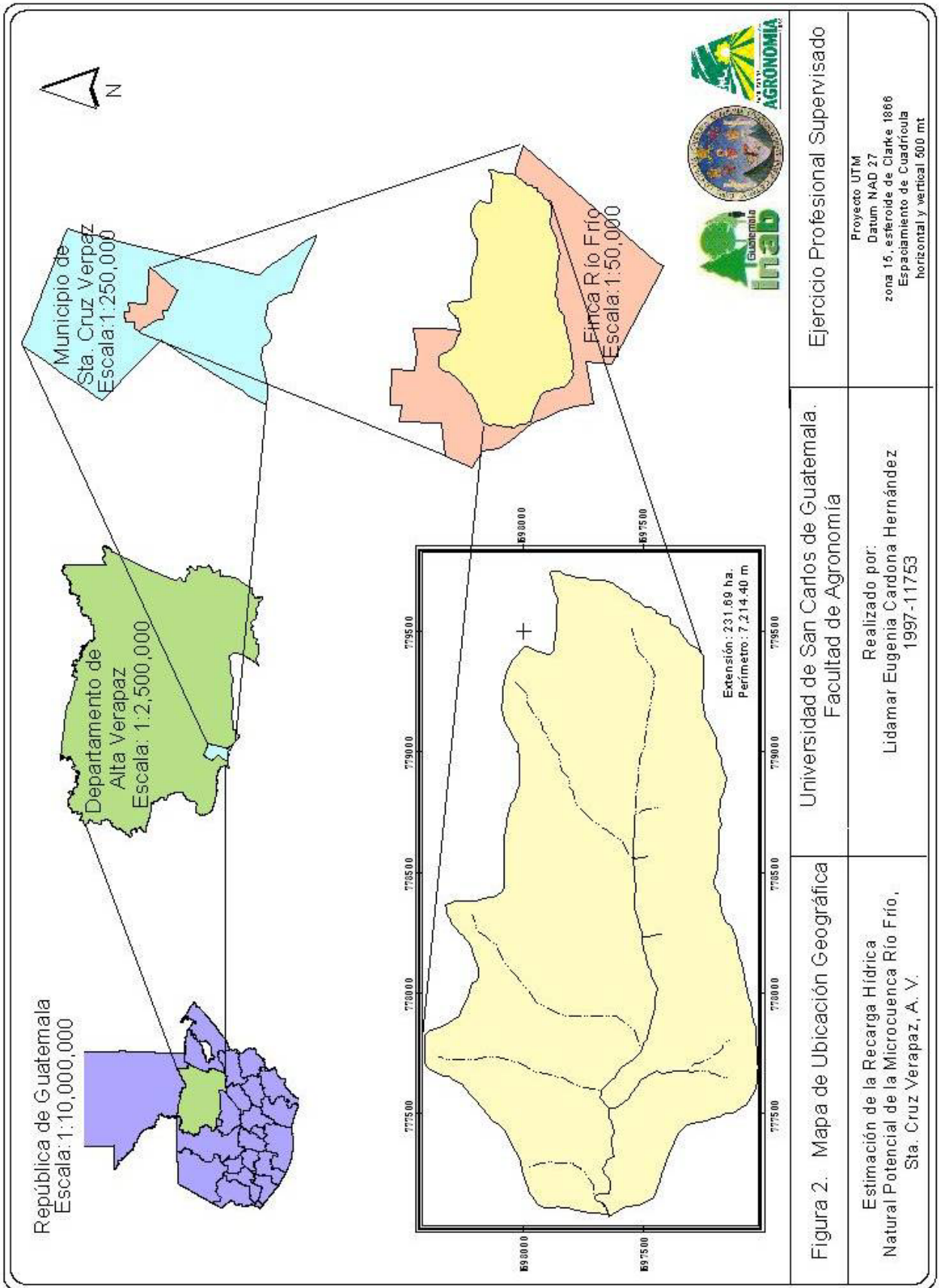
La microcuenca del río Frío, se encuentra ubicada dentro de la finca que lleva el mismo nombre y sus propietarios son los señores Diesseldorff, la cual se encuentra localizada dentro del municipio de Santa Cruz Verapaz, departamento de Alta Verapaz (ver figura 2). A 4.69 kilómetros del centro urbano de Santa Cruz Verapaz (hacia el Norte); y a 9.25 kilómetros del centro urbano del municipio de Tactic. Sus coordenadas UTM están entre 777041 metros y 780395 metros de longitud y 1697115 metros y 1698539 metros de latitud (8). Esta microcuenca pertenece a la cuenca del río Cahabón, y ésta a su vez, forma parte de la vertiente del Caribe (ver figura 3).

4.2 Vías de Acceso

Pasa la carretera asfaltada CA-14 que comunica la ciudad de Guatemala con la ciudad de Cobán. También posee un camino interno de terracería (ver figura 1) en el que se puede transitar todo el año. En el extremo de este camino, antes se reducía hasta formarse una vereda. Pero ahora cuenta con una nueva carretera, que se construyó para poder llevar acabo un aprovechamiento de la finca PATZUNUN, propiedad de Víctor Hugo Murga de la Cruz (8).



Figura 1. Camino de Terracería de la Microcuenca Río Frío



Ejercicio Profesional Supervisado

Universidad de San Carlos de Guatemala.
Facultad de Agronomía

Mapa de Ubicación Geográfica

Realizado por:
Lidamar Eugenia Cardona Hernández
1997-11753

Estimación de la Recarga Hídrica
Natural Potencial de la Microcuenca Río Frío,
Sta. Cruz Verapaz, A. V.

Figura 2.

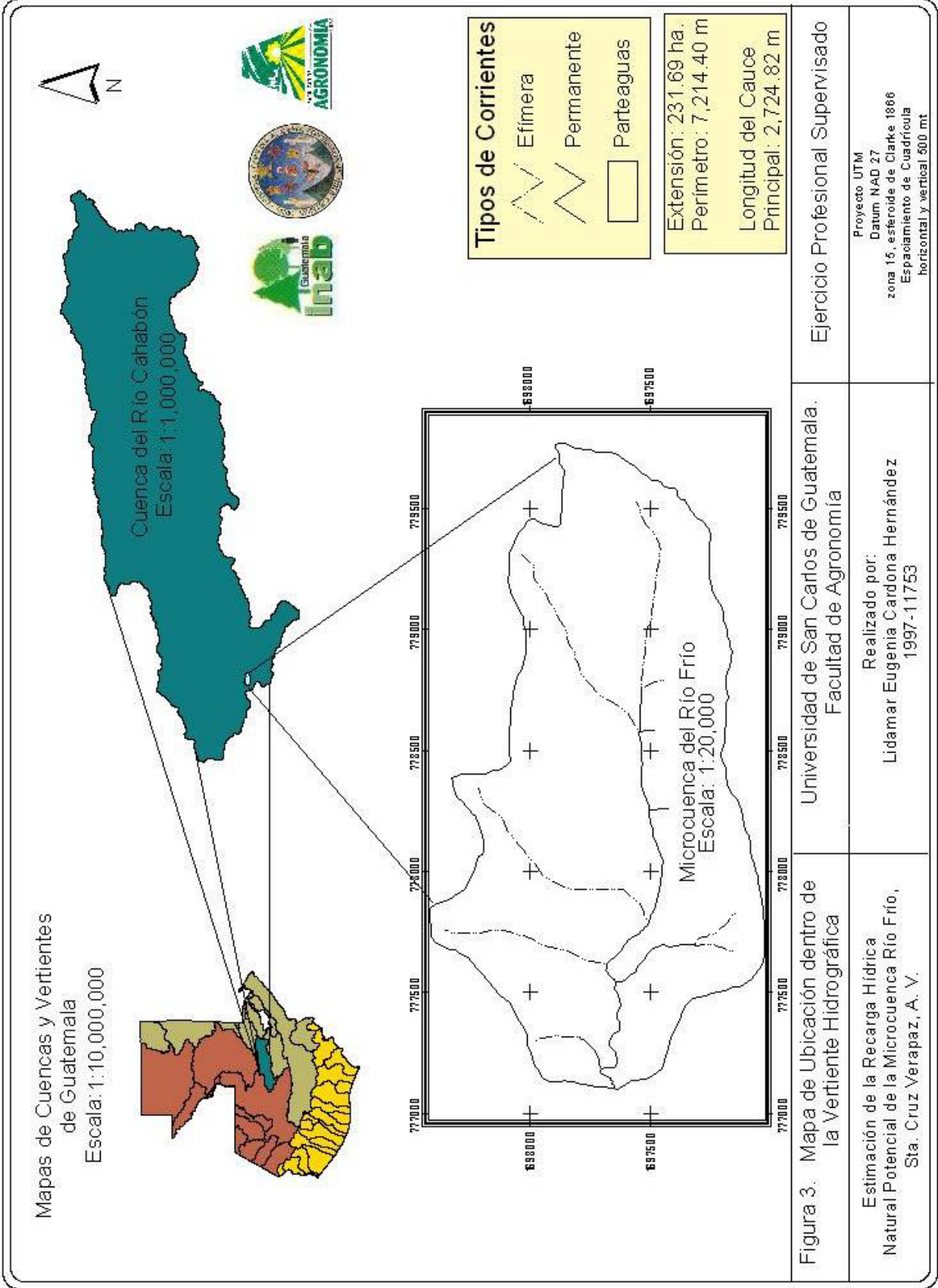


Figura 3. Mapa de Ubicación dentro de la Vertiente Hidrográfica

Estimación de la Recarga Hídrica Natural Potencial de la Microcuenca Río Frio, Sta. Cruz Verapaz, A. V.

Realizado por:
Lidamar Eugenia Cardona Hernández
1997-11753

Ejercicio Profesional Supervisado

4.3 Zona de Vida

La microcuenca se encuentra ubicada dentro de la zona de vida “Bosque muy húmedo subtropical frío” (1). Algunas especies indicadoras de esta zona son: *Pinus maximinoi*, *Persea schiediana*, *Myrica cerífera*, *Liquidámbar sp.*, entre otras.

4.4 Clima

La temperatura media de esta microcuenca es de 22 °C con temperatura mínimas entre 18 y 20 °C, y temperaturas máximas de hasta 30 °C. La microcuenca del Río Frío recibe una precipitación mínima anual entre 800 y 900 mm, y una precipitación máxima anual que oscila entre 2,000 y 3,000 mm (5).

Para generar información climática, se cuenta con dos estaciones climáticas en la parte baja y parte media alta de la microcuenca (ver figura 4), las cuales se monitorearon diariamente.



Figura 4. Pluviómetro LAMBRECH

Las variables que se monitorearon en estas estaciones climáticas son temperatura media diaria (°C) y precipitación diaria (mm), realizándose este monitoreo una vez al día. Cada estación climática posee un termómetro SATO de temperaturas máximas y mínimas (ver figura 5), así como un pluviómetro LAMBRECH (8).



Figura 5. Termómetro SATO

4.5 Recurso Hídrico

El cauce principal del Río Frío constituye una corriente permanente, la cual recibe el aporte de 9 nacimientos a lo largo de su trayectoria. El resto de corrientes son de carácter efímero. El caudal del río es de 0.08352 metros cúbicos por segundo (8).

La microcuenca cuenta con un canal de aforo (ver figura 6) que se construyó en el año 2004, para monitorear el comportamiento del caudal principal (8).



Figura 6. Canal de aforo de la microcuenca Río Frío

El canal de aforo tiene una base de 40 centímetros y una altura de 25 centímetros.

Y esta ubicado dentro de otro canal más grande, cuyo ancho de base es de 1.5 metros con una altura de 0.75 metros tal como se muestra en la siguiente figura:

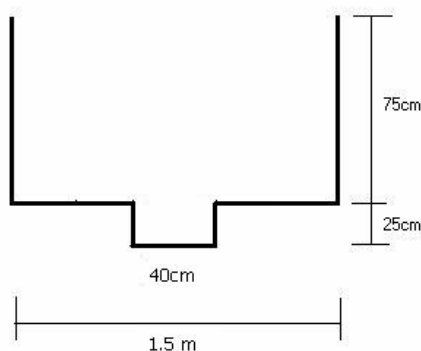
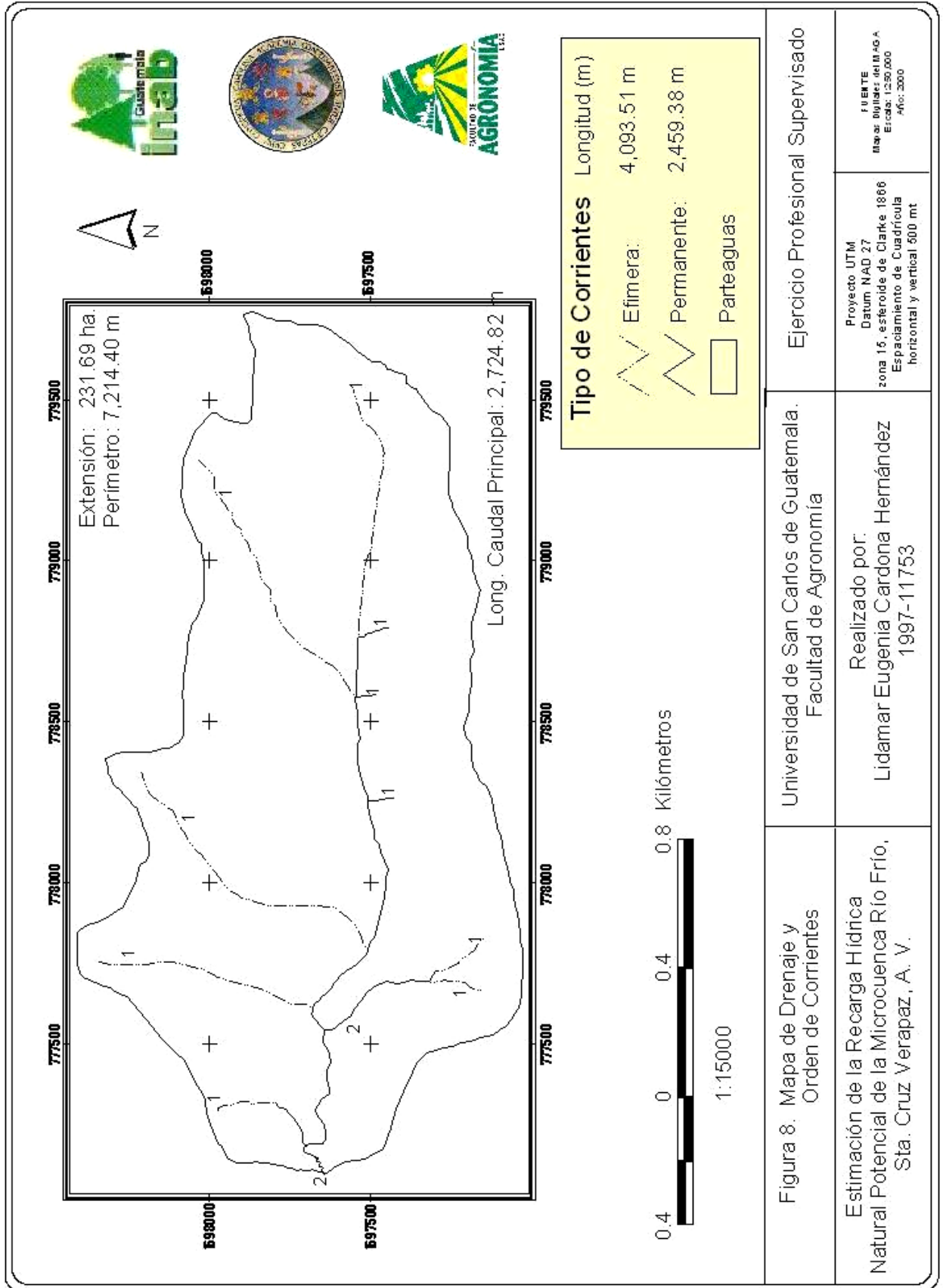


Figura 7. Canal construido en la corriente principal de la microcuenca Río Frío.

La microcuenca posee dos tipos de corrientes, la corriente permanente tiene una longitud de 2,459.38 metros, y la corriente efímera tiene una longitud de 4,093.51 metros. Esta microcuenca es de orden tres. Posee un radio de bifurcación medio de 3.75. Esta microcuenca tiene una extensión de 231.69 hectáreas (ver figura 8). Además, tiene una relación de forma de 0.31 por lo que se le considera como una cuenca de forma alargada, (2). La relación circular es de 0.56. Tiene un radio de elongación de 0.63. Se tiene una densidad de drenaje de de 3.4065 km/Km^2 , por lo que se considera una microcuenca bien drenada (2).

Esta microcuenca presenta una pendiente media de 58.54%, que según (2), esta cuenca tiene un relieve “muy pronunciado”. Además, la microcuenca del Río Frío presenta una altitud media de 1,670 msnm, posee una elevación mínima de 1,400 msnm, el punto más bajo dentro de la microcuenca. También posee una elevación máxima de 1,920 msnm. Presenta un coeficiente de relieve muy bajo ($3.38 \cdot 10^{-5}$) lo que indica que es una cuenca joven, con un proceso de erosión incipiente (2).



4.5.1 Usos del recurso Hídrico

El recurso hídrico dentro de esta microcuenca, es usado para consumo humano y usos domésticos, especialmente por la única familia que reside en su interior. Después de transcurrido el punto de aforo, el agua de esta microcuenca es depositada a la corriente del río Cahabón, aproximadamente a 50 metros del punto de aforo (8).

4.6 Recurso Suelo

En la microcuenca se encuentran tres parcelas de escurrimiento superficial dentro de la plantación de *Pinus maximinoi* de 7 años. Estas parcelas poseen una pendiente aproximada de 33 a 35%, de donde, una de ellas posee el 100% de los individuos plantados; la otra posee una cubierta de aproximadamente 60% de individuos plantados; y la tercera parcela no posee cubierta forestal, pues todos los individuos plantados inicialmente fueron extraídos con fines de la investigación (ver figura 9)(8).



Figura 9. Canal de captación de agua y sedimentos, de las parcelas de escorrentía.

El registro de estas parcelas no se llevaron acabo, pues es un tema de investigación en otra área de la finca.

4.6.1 Fisiografía

La microcuenca Río Frío se encuentra ubicada en la región fisiográfica de las “Tierras altas Sedimentarias” (ver figura 10) (7).

4.6.2 Serie de Suelos

Esta microcuenca presenta dos series de suelos, la serie de suelos Carchá (Cr), con 35.71 Ha. que representan un 15.41%, por o tanto, es la menos extensa, y la serie de suelos Telemán (Te), con 195.98 Ha., que es 84.59%, por lo, que es la más extensa de estas dos (ver figura 11) (5).

4.6.3 Geología

Existen dentro de esta microcuenca dos unidades geológicas, las cuales pertenecen a la era Mesozoica. Estas unidades son “Carbonatos del Cretácico” (Ksd) que ocupa cerca del 84.32%, con una extensión de 217.79 ha. de la microcuenca. Y, “Formación Todos Santos” (JKts) que ocupa cerca del 15.68%, con una extensión de 40.50 ha (ver figura 12) (3).

4.7 Uso Actual de la Tierra y Cobertura Forestal de la Microcuenca

Solamente el 0.43% de la extensión total de la microcuenca corresponde a cultivos agrícolas, un 0.53% a infraestructura, un 0.33% a Zacate (>75%). Aproximadamente el 98.71% de la extensión total de la microcuenca corresponde a cubierta forestal presente en distintas modalidades o tipos de bosque, incluyendo desde bosque denso, plantaciones, hasta bosque secundario bajo (ver figura 13).

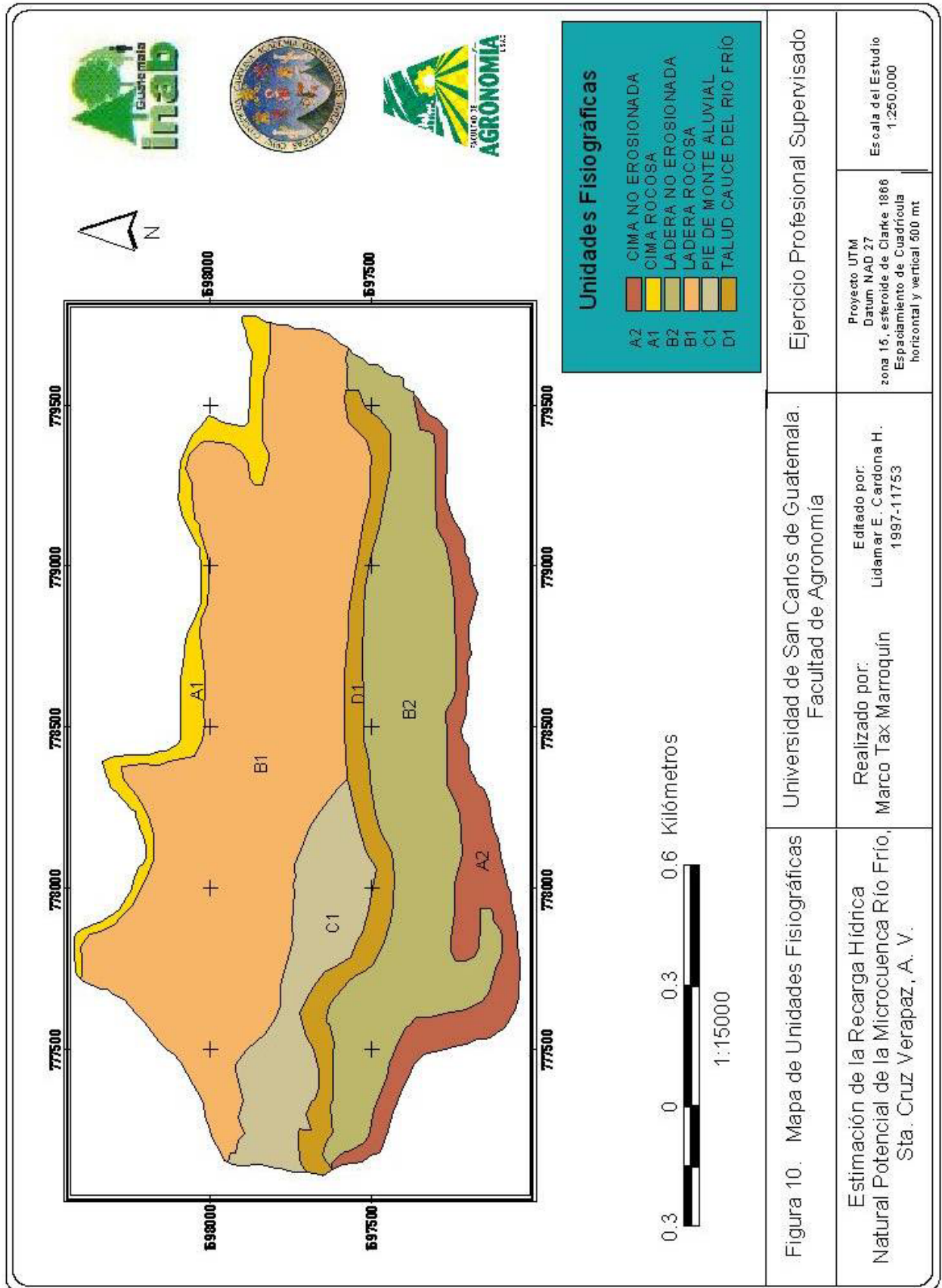


Figura 10. Mapa de Unidades Fisiográficas
 Estimación de la Recarga Hídrica
 Natural Potencial de la Microcuenca Río Frio,
 Sta. Cruz Verapaz, A. V.

Universidad de San Carlos de Guatemala.
 Facultad de Agronomía

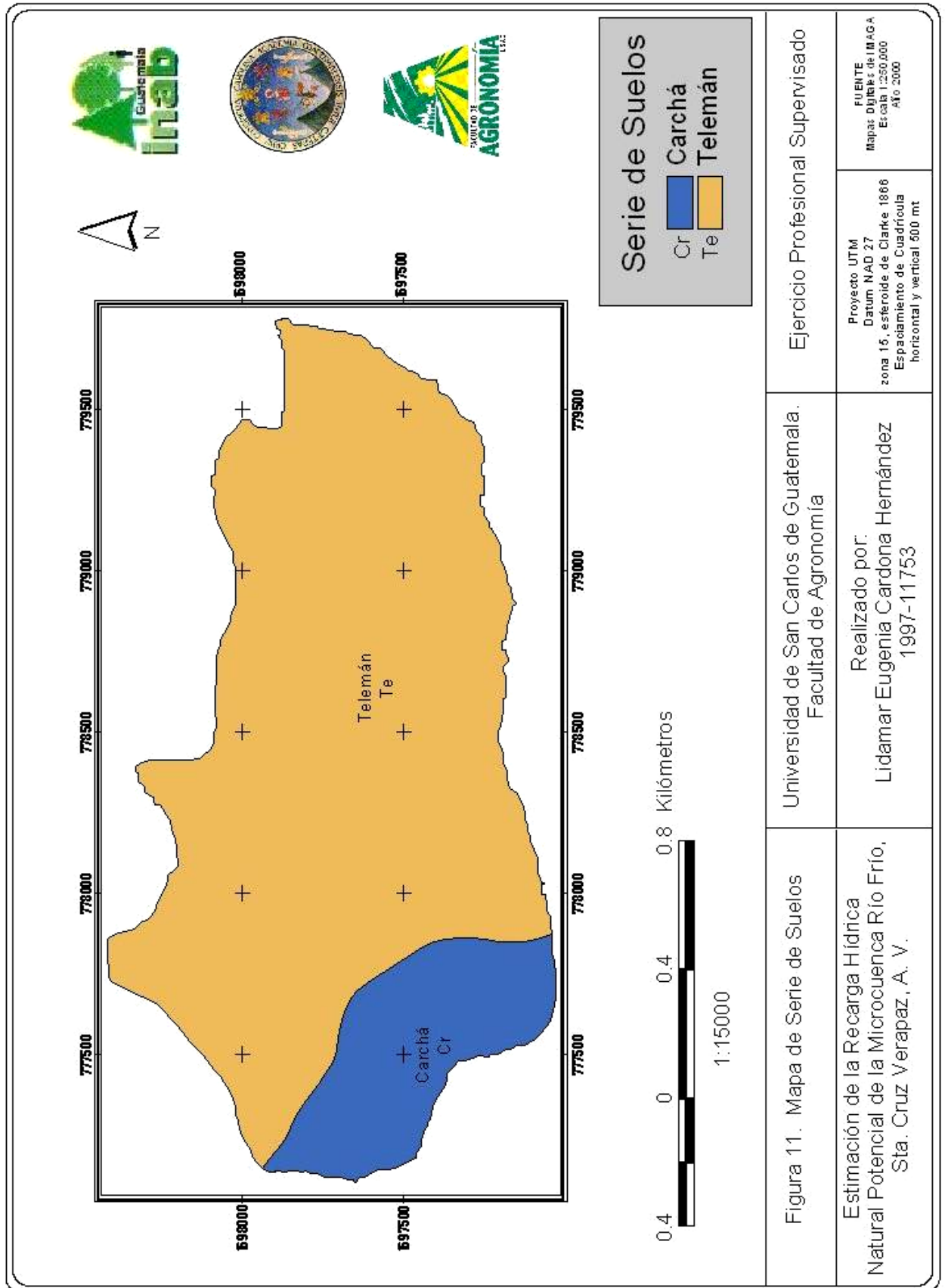
Ejercicio Profesional Supervisado

Realizado por:
 Marco Tax Marroquin

Editado por:
 Lidamar E. Cardona H.
 1997-11753

Proyecto UTM
 Datum NAD 27
 zona 15, estereode de Clarke 1886
 Espalamiento de Cuadrícula
 horizontal y vertical 500 mt

Escala del Estudio
 1:250,000



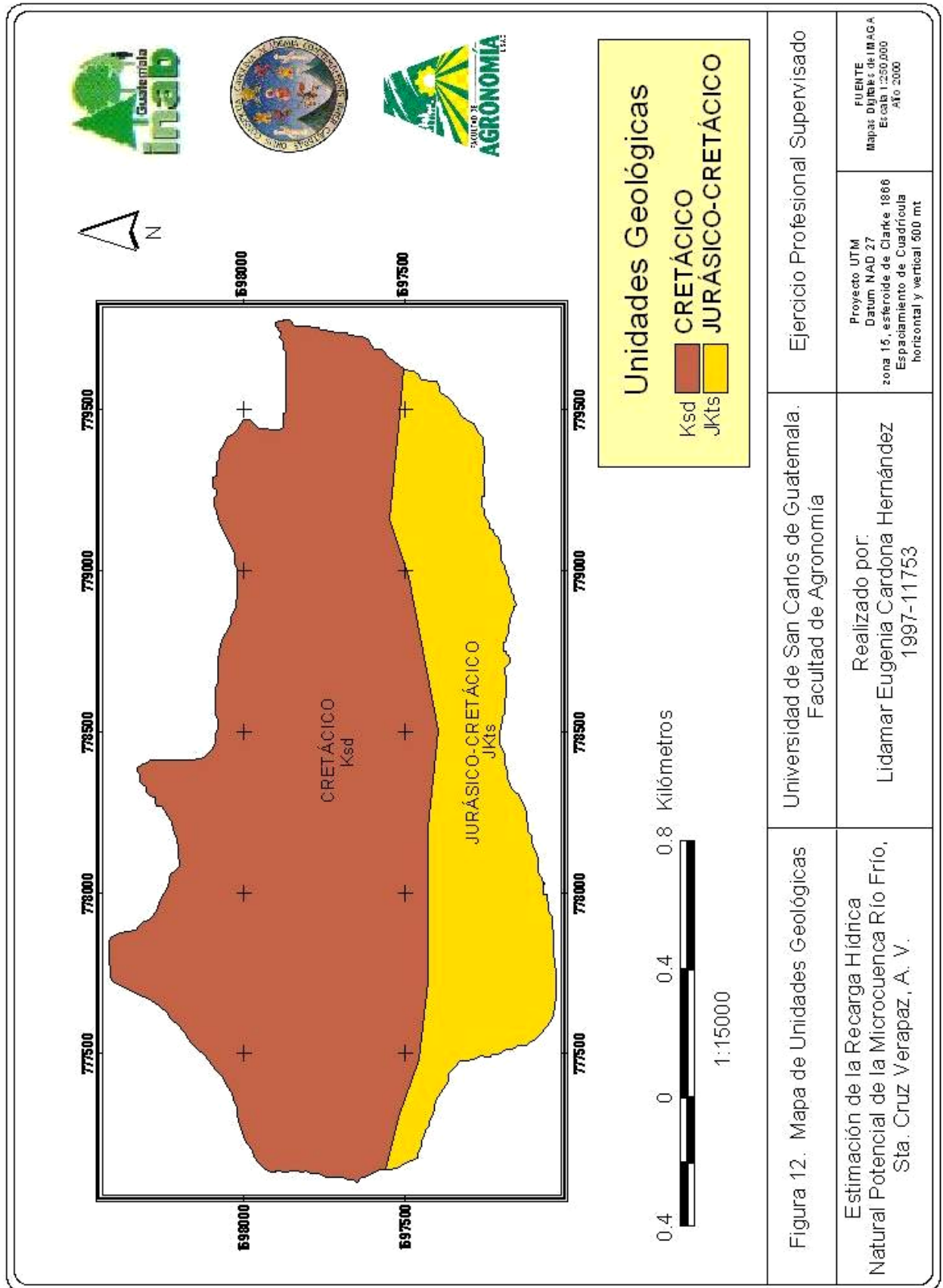


Figura 12. Mapa de Unidades Geológicas
Estimación de la Recarga Hídrica
Natural Potencial de la Microcuenca Río Frio,
Sta. Cruz Verapaz, A. V.

Universidad de San Carlos de Guatemala.
Facultad de Agronomía

Realizado por:
Lidamar Eugenia Cardona Hernández
1997-11 753

Ejercicio Profesional Supervisado

Proyecto UTM
Datum NAD 27
zona 15, esferoide de Clarke 1886
Espalamiento de Cuadrícula
horizontal y vertical 500 mt

FUENTE
Mapas Digitales de INAGA
Escala 1:250,000
Año 2000

4.7.1 Plantaciones Forestales de 3 años

Estas plantaciones forestales presentan un porcentaje de rendimiento de cerca del 90% (4), teniendo una densidad inicial de plantación de 1,111 árboles por hectárea. Además, presentan una altura promedio de 7 metros, con un 100% de individuos sanos, con un diámetro a la altura del pecho (DAP) promedio de 11.77cm (4).

Además, a través del levantamiento de una parcela de 100 metros cuadrados se pudo determinar que la copa de estas reforestaciones representa una cobertura aproximada de 31%; es decir, de cada 10,000 metros cuadrados de área, cerca de 3,100 metros cuadrados están cubiertos perfectamente por la copa de estos árboles (4).

4.7.2 Plantación Forestal de 5 años

Esta plantación aún no ha recibido ningún raleo, por lo que su densidad actual es igual a la inicial 1,600 árboles por hectárea. Ya empieza a existir contacto leve entre copas. Cerca del 60% de individuos son víctimas de plantas trepadoras, las que se encuentran apretando el fuste del árbol. Tan solo el 6% de los individuos son víctimas del ataque de roya del pino (8).

4.7.3 Plantación Forestal de 7 años

Después de haber extraído el 30% de individuos durante el primer raleo, se tiene en esta plantación una densidad de 1,120 árboles por hectárea, y aún después de este raleo se observa contacto leve entre copas. Este segmento de bosque constituye la sección de plantación más grande dentro de la microcuenca pues constituye cerca del 19% del área total de la finca (8).

El diámetro a la altura de pecho (DAP) oscila en valores entre 20.37 centímetros, con una altura total media de aproximadamente 12 metros. Esta plantación comprende una parte dentro del Programa de Incentivos Forestales -PINFOR-, y otra parte como compromiso de reforestación (8).

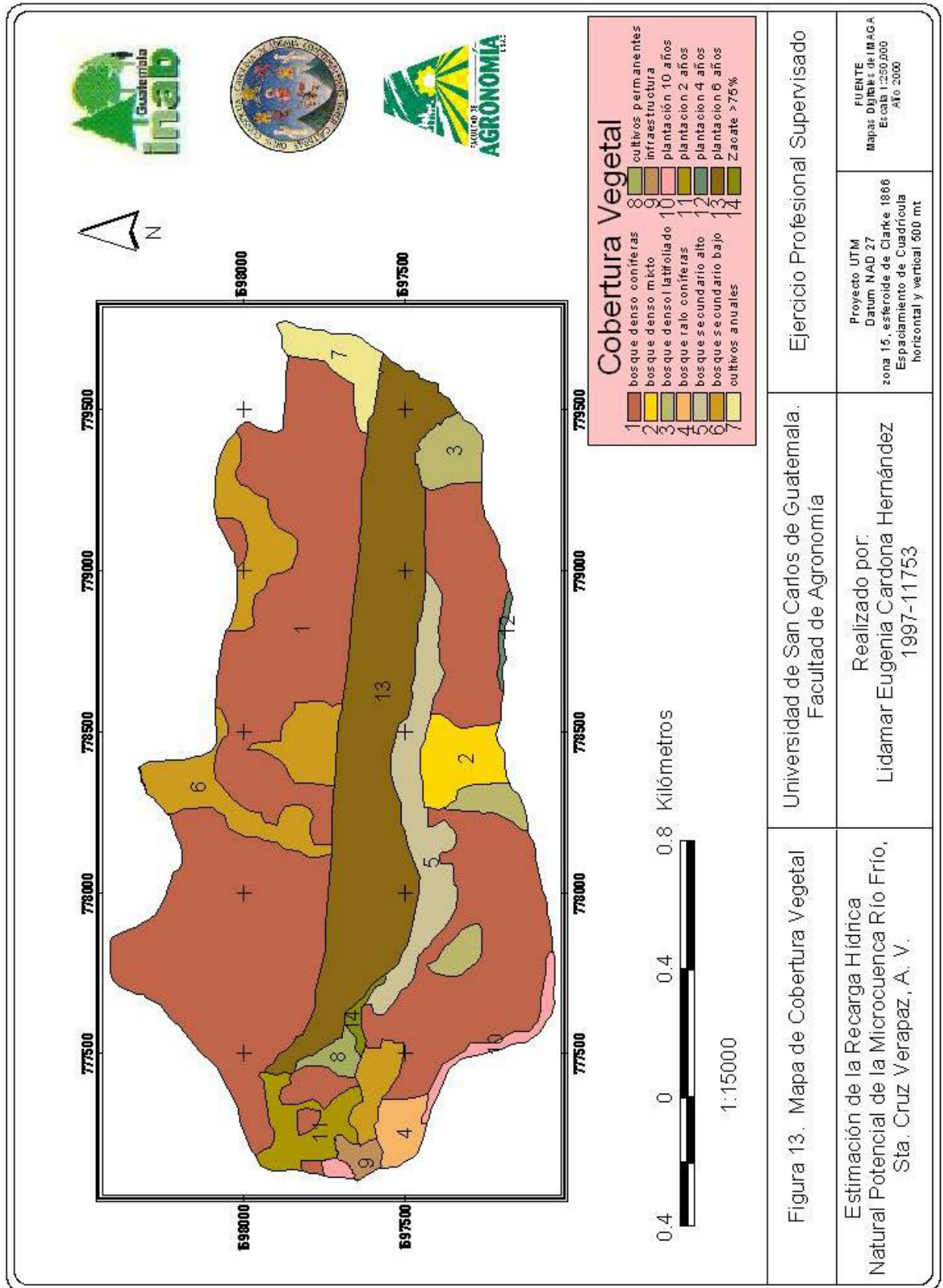


Figura 13. Mapa de Cobertura Vegetal
Estimación de la Recarga Hídrica
Natural Potencial de la Microcuenca Río Frio,
Sta. Cruz Verapaz, A. V.

Universidad de San Carlos de Guatemala.
Facultad de Agronomía

Realizado por:
Lidamar Eugenia Cardona Hernández
1997-11 753

Ejercicio Profesional Supervisado

Proyecto UTM
Datum NAD 27
zona 15, esferoide de Clarke 1866
Espalamiento de Cuadrícula
horizontal y vertical 500 mt

FUENTE
Mapas Digitales de INAGA
Escala 1:250,000
Año 2000

4.7.4 Plantación Forestal de 11 años

Esta plantación presenta una densidad de 1,200 individuos por hectárea. Se observa un contacto intenso entre copas, con un diámetro a la altura de pecho que oscila entre 18 cm. Por la ausencia de luz directa, las malezas y sotobosque en esta plantación no se desarrollan muy bien. Por esta razón, no se observó la agresividad de malezas (8).

4.7.5 Bosque Ralo de Coníferas

A pesar de denominarse bosque ralo de coníferas, se observó la presencia de especies latifoliadas. En total fueron encontrados 8 metros cuadrados/ha de área basal de *Pinus maximinoi* y un metro cuadrado por hectárea de latifoliadas. No se observó regeneración natural en el suelo del bosque. Entre las plantas del sotobosque, no se observaron malezas de hoja angosta (8).

4.7.6 Bosque Denso Latifoliado

En la parte central de la cuenca se presenta un bosque denso latifoliado correspondiente a *Liquidámbar sp* en casi su totalidad. Luego al moverse hacia la parte Este, vuelve a aparecer otro segmento dentro de la categoría de bosque denso latifoliado, pero este corresponde a Encino y algunas otras especies.

4.7.7 Bosque Denso Mixto

Este constituye especialmente a dos especies, que son *Pinus maximinoi* y *Liquidámbar sp*, predominando esta última, pero no mayor de 60% (8)

4.7.8 Bosque Denso Coníferas

Este estrato es el de mayor cobertura, pues ocupa cerca del 53.37% de la extensión total de la microcuenca. Sin embargo, aún dentro de este tipo de bosque hay mucha variabilidad en cuanto a vegetación. Por ejemplo, en el cerro Norte de la microcuenca posee un área basal de 25 metros cuadrados por hectárea y una altura media de 36 metros, mientras que el estrato Sur apenas posee 21 metros cuadrados por hectárea y con una altura media de 21 metros (ver figura 14) (8).



Figura 14. Bosque Denso de Coníferas

4.8 Biodiversidad

En la microcuenca se encuentran las siguientes especies de flora y fauna:

Cuadro 1. Especies de flora

No.	Nombre común	Nombre científico
1	Encino	<i>Quercus sp.</i>
2	Pino	<i>Pinus maximinoi</i>
3	Liquidámbar	<i>Liquidambar styraciflua</i>
4	Taxiscobo	<i>Arbustus xalapensis</i>
5	Guachipin	<i>Diphyssa carthagensis</i>
6	Nogal	<i>Junglas guatemalensis</i>
7	Guarumo	<i>Cecropia peltata</i>
8	Amate	<i>Ficus glabrata</i>
9	Capulín	<i>Ardicia paschalis</i>
10	Ciprés	<i>Cupressus lusitanica</i>
11	Casuarina	<i>Casuarina esquisifolia</i>

Fuente: Plan de ordenamiento de la finca Río Frío URL

Las especies más representativas en la microcuenca son el *Pinus maximinoi* y *Liquidámbar sp.* El *Pinus maximinoi* esta presente en regeneración natural y en plantaciones de 3, 5, 7, 11 años de edad. En el cuadro 2 se nombran las especies de fauna que se encuentran dentro de la microcuenca Río Frío (9).

Cuadro 2. Especies de fauna

No.	Nombre común	Nombre científico
1	Armadillo	<i>Dasopus novencinctus</i>
2	Coche de monte	<i>Tayassu tajacu</i>
3	Cabro	<i>Mazama americana</i>
4	Cotuza	<i>Dasy procta punctata</i>
5	Tepescuintle	<i>Agouti paca</i>
6	Conejo	<i>Silvilagus sp</i>
7	Ardilla	<i>Sclurus sp</i>
8	Taltuza	<i>Orthogromys sp.</i>
9	Puercoespín	<i>Sphiggurus mexicanus</i>
10	Mapache	<i>Procyon lotor</i>
11	Micoleón	<i>Potos falvus</i>
12	Codorniz	<i>Odonthophoros guttatus</i>
13	Paloma perdiz	<i>Geotrygon montana</i>
14	Chacha	<i>Penelope nigra</i>
16	Tacuacín	<i>Didelphis marsupiales</i>

Fuente: Plan de ordenamiento de la finca Río Frío

4.8 Aspecto social

La microcuenca del Río Frío se ubica dentro de la finca conocida con el mismo nombre. Esta finca es propiedad de la empresa “W, DIESEL DORFF, SUCESTORES”, quienes han colaborado con algunas prácticas de campo organizadas por el INAB en esta subregión. Esta finca cuenta con un administrador, un caporal y una planilla temporal.

Dentro de la microcuenca, únicamente se encuentra una familia conformada por dos varones, cuatro mujeres y 12 niños, la cual reside en el interior de la microcuenca (ver figura 15).



Figura 15. Única Familia que reside en el interior de la microcuenca Río Frío.

4.9 Aspectos Culturales

En la microcuenca se encuentran dos Cuevas en la cual son visitadas por los habitantes de la región para realizar prácticas religiosas mayas en cualquier época del año.

5. RESULTADOS

Los datos generados por un año hidrológico (diciembre 2004 a noviembre 2005), por las estaciones climáticas de la parte baja y media alta de la microcuenca Río Frío, se presentan en el siguiente cuadro:

Cuadro 3. Variables climáticas registradas durante el año hidrológico

MES	ESTACIÓN PARTE BAJA		ESTACIÓN PARTE MEDIA ALTA	
	Pp mensual (mm)	T media mensual °C)	Pp mensual (mm)	T media mensual °C)
Diciembre (2004)	54.40	13.40	119.4	15.4
Enero (2005)	169.60	15.79	180.1	12.7
Febrero (2005)	2.62	17.80	15.75	16.9
Marzo (2005)	52.15	22.40	90.4	21.4
Abril (2005)	73.07	23.20	93.76	22.6
Mayo (2005)	61.75	24.14	92.6	23.0
Junio (2005)	391.30	26.53	388.7	23.4
Julio (2005)	245.0	25.77	265.0	23.2
Agosto (2005)	388.90	26.16	334.05	22.6
Septiembre (2005)	463.15	24.91	419.05	22.3
Octubre (2005)	105.20	23.27	157.9	21.9
Noviembre (2005)	286.45	21.81	248.55	19.5

Los meses de diciembre y septiembre, reportan la precipitación más alta, mientras el mes de mayo es el mes que reporto menos precipitación, por ser parte de la época seca. Mientras los meses de siembre, enero, febrero y noviembre son los meses más fríos en la microcuenca.

Los resultados generados por el canal de aforo durante los meses de diciembre 2004 a noviembre 2005, se presentan en el siguiente cuadro:

Cuadro 4. Datos del canal de aforo de la microcuenca Río Frío

MES	Q (L/s) mensual	Q (m ³ /s)
diciembre-04	67.56	0.0676
enero-05	39.70	0.0397
febrero-05	19.74	0.0197
marzo-05	19.03	0.0190
abril-05	14.84	0.0148
mayo-05	10.78	0.0108
junio-05	22.41	0.0224
julio-05	36.67	0.0367
agosto-05	42.23	0.0422
septiembre-05	67.19	0.0672
octubre-05	53.09	0.0531
noviembre-05	43.45	0.0435
Promedio	36.39	0.0364

Mientras más llueve, más alta es el caudal, pues los meses más altos son los meses de diciembre y septiembre, pues fueron los meses en que se incremento la precipitación pluvial.

5.1 Análisis de la Problemática

La microcuenca Río Frío es una unidad experimental, que tiene un alto recurso hídrico, distribuido en nueve nacimientos principales que alimentan el cauce principal, reportando una precipitación media de 2349.4 mm. Además tiene una cobertura forestal de un 98.71% presentado en diferentes modalidades. Debido a esto el recurso hídrico de la microcuenca es susceptible al impacto negativo que ocasionan las prácticas inadecuadas de manejo forestal. Dando como resultado que el agua que antes se infiltraba y alimentaba el manto freático ahora pase a formar parte de la escorrentía superficial, provocando problemas de erosión y sedimentación.

6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1 Conclusiones

- A. La microcuenca Río Frío posee un recurso hídrico importante, el canal de aforo reporta un caudal medio de $0.0364 \text{ m}^3/\text{s}$ el cual se mantiene poco estable durante el año, y nueve nacimientos que tienen una variación mínima de caudal tanto en época seca como en época lluviosa, y una precipitación media de 2349.4 mm anuales, cuenta también con un 98.71% de cobertura forestal entre plantaciones de diferentes edades y regeneración natural.
- B. La microcuenca Río Frío es una unidad experimental enfocada en investigaciones de hidrología forestal debido a sus características con respecto a los recursos hídrico-forestal y que se encuentra ubicada en un área de importancia para la recarga hídrica.
- C. Debido en que la microcuenca Río Frío cuenta con altas pendientes, producción forestal, y posee suelos susceptibles a erosionarse, la problemática se enfocó en el impacto que las actividades propias del manejo forestal causan a los nacimientos, al caudal principal y a la variabilidad de la precipitación pluvial.

6.2 Recomendaciones

- A. Debido a que en todo el trayecto del caudal principal se encuentran nacimientos que lo enriquecen, se recomienda que estos se delimiten como áreas de protección y que no se hagan aprovechamientos forestales a menos de 50 metros de distancia horizontal.
- B. La microcuenca Río Frío posee una pendiente muy pronunciada con alto riesgo de erosión, un 98.71% de cobertura forestal, y una alta precipitación por lo que es necesario que se planifiquen y se organicen de una manera adecuada las actividades de aprovechamiento forestal para que no ocasionen problemas de sedimentación y de escorrentía superficial y subsuperficial, debido a que la microcuenca se encuentra en un área de recarga hídrica.

7. BIBLIOGRAFÍA

1. Cruz, JR De la. 1981. Clasificación de zonas de vida de Guatemala a nivel de reconocimiento: sistema Holdridge. Guatemala, Instituto Nacional Forestal. 24 p.
2. Herrera Ibáñez, I. 1995. Manual de hidrología. Guatemala, USAC, Facultad de Agronomía. 223 p.
3. _____. 2002. Hidrogeología práctica. Guatemala, USAC, Facultad de Agronomía. 70-190 p.
4. INAB (Instituto Nacional de Bosques, GT). 1997. Expediente de manejo forestal de la finca Río Frío, Tactic, Alta Verapaz, Guatemala. Guatemala. s.p.
5. 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.
6. Martínez, A; Navarro, J. 1996. Hidrología forestal el ciclo hidrológico – manual x textos Valladolid, España, Universitario Ciencias no 18. p. 19,12, 15, 45, 51, 179, 199.
7. Simmons, C; Tárano, JM; Pinto, JH. 1959. Clasificación a nivel de reconocimiento de los suelos de la república de Guatemala. Trad. por Pedro Tirado Sulsona. Guatemala, José De Pineda Ibarra. 1000 p.
8. Tax Marroquín, MA. 2004. Diagnóstico y generación de información hidrológica básica de la microcuenca del río frío, Santa Cruz Verapaz, Alta Verapaz. Guatemala, Instituto Nacional de Bosques. 54 p.
9. Universidad Rafael Landivar, GT. 2002. Plan de ordenación de la finca Río Frío, Alta Verapaz, Guatemala. Guatemala. 35p.

CAPÍTULO II

INVESTIGACIÓN

**“ESTIMACIÓN DE LA RECARGA HÍDRICA NATURAL
POTENCIAL DE LA MICROCUENCA RÍO FRÍO, SANTA
CRUZ VERAPAZ ALTA VERAPAZ**

**“ESTIMATE OF THE NATURAL POTENCIAL HYDRIC
RECHARGE OF THE MICROBASIN OF RÍO FRÍO, SANTA
CRUZ VERAPAZ, ALTA VERAPAZ”**

**ESTIMACIÓN DE LA RECARGA HÍDRICA NATURAL POTENCIAL DE LA
MICROCUECA RÍO FRÍO, SANTA CRUZ VERAPAZ, ALTA VERAPAZ**

**“ESTIMATE OF THE NATURAL POTENCIAL HYDRIC RECHARGE OF THE
MICROBASIN OF RÍO FRÍO, SANTA CRUZ VERAPAZ, ALTA VERAPAZ”**

RESUMEN

En Guatemala el recurso hídrico se ha visto afectado por el mal manejo de las cuencas hidrográficas. Por lo tanto, es importante generar información acerca de las áreas de recarga hídrica natural, para darles un manejo y/o protección especial. Para estimar la recarga hídrica natural potencial, se delimitaron las 16 unidades de mapeo aun nivel de reconocimiento, sobreponiendo los mapas de unidades geológicas, serie de suelo y cobertura vegetal, para realizar pruebas de infiltración. Por cada prueba se tomaron muestras de suelo, para analizar las partículas primarias y grados de humedad. También se tabularon los datos climáticos medios mensuales, y se aforaron los nacimientos en verano como en invierno. La recarga hídrica natural potencial reportada por los balances hídricos del suelo fue de 544.91 mm anuales, el balance hidrológico reportó 643 mm anuales. Esto se debe a que el balance hídrico del suelo es estimado en una hoja de cálculo en Excel y es por unidad de mapeo, mientras en hidrológico es resultado de lo medido en el campo y es a nivel de microcuenca en forma general. El 70.27% del área total de la microcuenca es de unidades con muy alta recarga hídrica, mientras el 22.11% es de áreas críticas de recarga, por lo que deben considerarse en la planificación como unidades de manejo especial. Posee un 98.71% de cobertura forestal en plantaciones de diferentes edades como en regeneración natural por lo que es necesario planificar ejecutar y organizar de una manera adecuada las actividades de aprovechamiento para mitigar los impactos negativos en los recursos hídricos y edáficos de la microcuenca pues esta se considera un área modelo para realizar investigaciones enfocadas en hidrología forestal.

1. INTRODUCCIÓN

En Guatemala se está viviendo una degradación ambiental, lo que ha provocado una alteración en lo que a recursos naturales se refiere, como lo son suelos, bosques y agua. Por lo que, en los últimos años, se están generando proyectos de investigación para su uso y conservación. Se han establecido normas como la Ley Forestal que en su artículo 47º, dice, que hay que proteger de manera especial las áreas de recarga hídrica, y para darle cumplimiento a este artículo, en el departamento de Alta Verapaz se ha dado inicio a las investigaciones de hidrología forestal donde se pretende conservar las funciones del bosque como son, mantener la productividad del suelo, garantizar una alta calidad del agua y la reducción de la ocurrencia de desastres naturales.

Por lo tanto, es importante la generación de información para poder cumplir con todos los criterios y disposiciones legales mencionadas, esto nos impulsa a desarrollar más actividades en áreas priorizadas de recarga hídricas natural como en este caso en la Microcuenca Río Frío que se localiza en el municipio de Santa Cruz Verapaz, Alta Verapaz, en la zona central de la República de Guatemala. Esta microcuenca pertenece a la cuenca del río Cahabón y posee una extensión de 231.69 hectáreas, razón por la que se le denomina en el nivel de microcuenca, tiene una densidad de drenaje de 3.4065 km/Km², por lo que se considera una microcuenca bien drenada.

La realización de este estudio, se obtuvo por la asesoría de catedráticos de la Facultad de Agronomía, Universidad de San Carlos de Guatemala -USAC-, así también la subárea de Ejercicio Profesional Supervisado de Agronomía -EPSA-. También el apoyo técnico y financiero del Proyecto de Investigación Forestal, el Proyecto de Conservación de Ecosistemas Forestales Estratégicos -CEFE- y la Subregión II-1 del Instituto Nacional de Bosque -INAB-.

En esta investigación se generó información climática del periodo de febrero a noviembre de 2005. Se estimó un volumen anual de recarga hídrica, usando el balance hídrico del suelo con datos mensuales de 544.913 mm anuales. También se calculó el almacenamiento de agua anual en la microcuenca por medio del cálculo del balance hidrológico obteniendo 643 mm anuales.

Se delimitaron las áreas de muy alta recarga hídrica natural potencial que representan el 70.27 % del área total de la microcuenca, aportando el 92.39% de la recarga total.

Las áreas críticas de Recarga hídrica natural, corresponden a las unidades de bosque secundario bajo (UM 8) y alto (UM 12). Y, la plantación de pino de 7 años de edad (UM13), estas unidades corresponden al 22.11 % del área total de la microcuenca y representa al 7.16% de recarga total.

Se propusieron lineamientos para el manejo de las áreas críticas, protección y conservación de los nacimientos, y manejo forestal sostenible. Estos son una adaptación del documento "Impacto hidrológico del manejo forestal de bosques naturales tropicales: medida para mitigarlo", de Stadtmüller (1994).

2. DEFINICIÓN DEL PROBLEMA

En Guatemala, por el aumento de la población, las comunidades han ocupado las tierras de vocación forestal para usos agrícolas, dando como resultado, el inadecuado manejo forestal en las partes altas de las cuencas hidrográficas.

Lo anterior ha ocasionado que los suelos queden desprovistos de cobertura vegetal, y pierdan la capacidad de infiltración y sean muy susceptibles de ser arrastrados por el agua de lluvia, sobre todo cuando se encuentran en elevadas pendientes (19). Esto disminuye la percolación al manto freático y la alimentación de los acuíferos. A nivel mundial se cuenta con menos del 0.4% de agua dulce (16)

Por lo tanto, es importante generar información acerca de las áreas de recarga hídrica natural, para darles un manejo y/o protección especial.

En la microcuenca Río Frío, se delimitaron las áreas de recarga hídrica, a un nivel de reconocimiento, para conocer los volúmenes de agua que se recargan por efecto de lluvia y en qué áreas se presenta en mayor medida. También se identificaron las áreas críticas de mayor susceptibilidad a disminuir la recarga.

Es necesario que las autoridades de la Finca donde se encuentra ubicada la microcuenca, estudiantes epesistas de la Facultad de Agronomía y personal del INAB, trabajen conjuntamente para que las recomendaciones generales de manejo forestal a las áreas críticas de recarga se lleven a cabo, para que éstas mejoren su capacidad de recarga, y, así mismo, brinden una protección al suelo, y garantizar una alta calidad de agua y estabilización del flujo superficial y subsuperficial en la microcuenca Río Frío.

3. MARCO TEÓRICO

3.1 MARCO CONCEPTUAL

3.1.1 Cuenca Hidrográfica

La cuenca hidrográfica es la unidad básica de estudio en hidrología al tener la ventaja de poder evaluar cuantitativamente el escurrimiento del recurso agua, con más exactitud que cualquier otra unidad arbitraria (7).

Posee una línea divisoria entre cuencas que corresponde a la extensión comprendida entre dos valles próximos, y por lo tanto son las partes que poseen la mayor cota de una cuenca, recibe el nombre de parte aguas (7).

3.1.2 Tipos de corrientes

Existen tres tipos de corrientes, la permanente es aquella que siempre lleva agua o tiene un caudal en cualquier época del año. La efímera es aquella que sólo lleva agua cuando ocurre una precipitación. Es la corriente típica de zanjones y surcos. La corriente intermitente es aquella clase de corriente que lleva agua en alguna época del año, como en verano o invierno (7).

3.1.3 Ciclo Hidrológico

Los recursos hídricos tienen como referencia al ciclo hidrológico, el cual consiste en la continua circulación de agua sobre nuestro planeta (15).

Los factores responsables del movimiento del agua en la atmósfera son:

1. La energía térmica solar, produce una circulación del aire en la atmósfera debido al recalentamiento desigual de la superficie terrestre, originando varios fenómenos meteorológicos.
2. La fuerza de gravedad, responsable de los fenómenos de precipitación, infiltración, convección, etc.
3. Atracción solar y lunar, origina las mareas y las corrientes marinas, etc.
4. Presión atmosférica, a causa de los vientos. En meteorología se llama viento al desplazamiento horizontal de aire y corriente al desplazamiento vertical.
5. Las fuerzas intermoleculares, originan fenómenos capilares y de viscosidad, afectando la velocidad de flujo.

6. Actividades humanas, actividades de riegos, drenajes, embalses, etc. (14).

Las fases principales del ciclo hidrológico son:

1. Evaporación del suelo, plantas y océanos.
2. Formación y desplazamientos de nubes y niebla.
3. Condensación del agua y precipitación en forma de lluvia, nieve, granizo, etc.
4. Escorrentía superficial, sobre el suelo.
5. Infiltración, en el perfil del suelo.
6. Percolación a estratos más profundos.
7. Flujo subterráneo y retorno a la superficie (manantiales y pozos).
8. Formación de corrientes superficiales, como ríos y arroyos.
9. Descarga en lagos, océanos y mares.
10. Evaporación....y repetición del ciclo (14).

Este ciclo se compone de otros ciclos en distintos subsistemas (continentales, regionales o locales) y aunque el total del volumen del agua en el ciclo hidrológico permanece constante, la distribución del agua cambia continuamente sobre cada región o sobre las cuencas de los ríos, de aquí que en los estudios locales sea necesario estudiar el clima durante una serie de años (15, 30 ó 40), y así obtener los datos medios sobre precipitaciones caídas en una región (19).

3.1.4 Balance Hidrológico

El balance hidrológico es la diferencia entre el total de entrada y total de salida que deben ser igual al cambio de agua en almacenamiento en ese volumen. Debe considerarse que si las entradas superan a las salidas existe una acumulación (aumento de almacenamiento) y lo contrario, si las salidas superan a las entradas, existe un déficit (9).

La ecuación fundamental de la hidrología puede aplicarse al establecimiento del balance hidrológico de una región. De acuerdo al sistema hidrológico regional y al uso que se hace del agua en una región, se pueden identificar los elementos del balance:

$$P + Qa + Qr + - E - Qe - D = +/- \Delta A$$

Cuadro 5. Elementos del balance hidrológico de una región para un período definido.

ENTRADAS	SALIDAS
Alimentación directa:	Evapotranspiración Real, E
- Precipitación Pluvial, P	Escurrimiento sobre el terreno, Qa.
	Escorrentía en los ríos, Qra.
Cambio en los almacenamientos, +/- A	

Fuente: Herrera, I. 1995

A. Elementos de entrada del balance hidrológico

a. Precipitación pluvial (P)

La precipitación que figura en la ecuación, incluye solo la lámina caída en la región bajo consideración, se mide con pluviómetros. La lámina de precipitación media puede ser calculada por el método de las curvas de Isoyetas (7).

B. Elementos de salida del balance hidrológico

a. Evapotranspiración real (E)

No es común encontrar registro de medición directa de la evapotranspiración real, comúnmente se utilizan para estimar la evapotranspiración ecuaciones empíricas. Estas ecuaciones son las de Thornthwaite, Penman y Blaney-Criddle (7).

b. Escurrimiento (Qa)

El escurrimiento está constituido por una lámina tenue de agua que fluye hacia la red de drenaje de la región. Esta lámina está presente solamente durante unos momentos después de una tormenta o una inundación. Se puede estimar por una de las formas del flujo uniforme o por las ecuaciones del flujo inestable. (7)

c. Escorrentía en los ríos (Qra)

Generalmente se expone de registros de escorrentía superficial en unos puntos de una región que constituye en una estación de aforo. En puntos donde no hay estación hidrométrica se puede hacer una estimación de la escorrentía por correlación con parámetros tales como la escorrentía en otros puntos de la región, la precipitación, etc. (7)

C. Cambio en los almacenamientos (+/- ΔA)

El cambio en los almacenamientos ocurridos en el fin y en el principio del periodo considerando, puede estimarse por la medición de los niveles de agua superficiales. El almacenamiento de humedad del suelo se obtiene por diferencia, estableciendo el balance hídrico del suelo (7).

3.1.5 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 (8).

A. 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 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. Los métodos se utilizan dependiendo de la información meteorológica disponible para el área de estudio (14).

B. Determinación de la precipitación efectiva

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

a. Obtención del valor de precipitación efectiva

Para determinar la precipitación efectiva, se utilizará el método desarrollado por Schosinsky & Losilla (2000) (23). El método se basa en la utilización de una ecuación resultante de correlación estadística en análisis de bandas de pluviógrafo. Considera la velocidad de infiltración del suelo como el factor principal que condiciona la cantidad de precipitación pluvial que puede infiltrarse. Esta depende básicamente de las características físicas del suelo como lo son la textura, estructura, compactación y contenido de humedad (14).

El método considera tres aspectos: i) Relación entre la infiltración de agua en el suelo y la intensidad de lluvia (K_{fc}) (fracción que infiltra por efecto de textura del suelo, ii) Factor de pendiente del terreno (K_p) (fracción que infiltra por efecto de pendiente) y iii) Factor de cobertura vegetal (K_v) (fracción que infiltra por efecto de la cobertura vegetal). La suma de cada uno de los factores indica el valor de coeficiente de infiltración para el respectivo suelo e indica la capacidad del mismo a permitir la infiltración dentro de él. Adicionalmente se considera la cantidad de agua de lluvia que retiene la vegetación a través de sus hojas y que se evapora sin llegar al suelo y por consiguiente no se infiltra (14). La ecuación de precipitación efectiva (20), es la siguiente:

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

Donde:

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

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

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

P = Precipitación mensual

C. Determinación de infiltración básica

El método más recomendable en cada una de las pruebas de infiltración es el de Porchet o Cilindro Invertido (4), por considerarse de buen grado de precisión y por su versatilidad en el campo (14).

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

La ecuación que relaciona la capacidad de infiltración de agua en el suelo (infiltración básica – f_c) con la intensidad de lluvia (23) es la siguiente:

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

Donde:

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

\ln = Logaritmo natural

f_c = Valor de infiltración básica en mm/h

b. Factor de pendiente del terreno (K_p)

Los valores de este factor se presentan en el cuadro 6 (14).

Cuadro 6. Valores de coeficientes (K_p) según valores de pendientes.

Valor de pendiente	Coficiente (K_p) propuesto
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: Instituto Nacional del Bosque (2003). Metodología para la determinación de áreas de recarga hídrica natural
INAB-FAUSAC

c. 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 7.

Cuadro 7. Valores de coeficientes (Kv) según tipo de cobertura vegetal.

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

Fuente: Instituto Nacional del Bosque (2003). Metodología para la determinación de áreas de recarga hídrica natural INAB-FAUSAC

D. Cálculo de balance hídrico de suelos

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

E. Elaboración de mapa de recarga hídrica

Como primer resultado se deberá elaborar un mapa de la cuenca, el cual contenga los valores de recarga anual determinados de cada una de las áreas de mapeo identificadas y analizadas, realizando agrupamientos de áreas con recargas similares mediante una codificación de color o texturizado en la presentación (14).

F. Determinación y elaboración de mapa de áreas críticas de recarga hídrica

Posterior a determinar la recarga hídrica natural en cada una de las unidades de mapeo, se deben identificar aquellas áreas que por sus aportes en láminas de recarga

potencial, constituyan áreas principales de recarga hídrica natural, y dentro de estas aquellas que por sus características específicas, se consideren susceptibles a disminuir su potencial de recarga al ser sometidas a un manejo contrario a su capacidad. A estas áreas se les denominará áreas críticas. Estas áreas críticas deberán ser objeto de un manejo especial que permita mantener y/o mejorar sus características (14). Las áreas críticas se podrán reconocer considerando básicamente los siguientes aspectos:

1. Geología
2. Infiltración básica
3. Recarga anual (lámina anual)
4. Pendiente

Basados en la metodología de establecimiento de áreas críticas de recarga a acuíferos, para cada uno de estos aspectos se utilizan criterios o categorías a las cuales se les asignó un código o valor específico (14).

Las áreas deberán de ser evaluadas en cada uno de los aspectos y luego la sumatoria de todos los códigos dará como resultado la categoría en la cual se ubica dicha área (14).

Cuadro 8. Matriz de criterios de geología para la determinación de áreas críticas de recarga hídrica natural.

Geología	Código
Rocas ígneas o metamórficas no fracturadas	0
Rocas ígneas o metamórficas fracturadas	1
Arenas finas, basaltos permeables, karst	2
Arenas gruesas y gravas	3

*Fuente: Instituto Nacional del Bosque (2003). Metodología para la determinación de áreas de recarga hídrica natural
INAB-FAUSAC*

Los códigos son asignados en base a las características del material geológico en función de su permeabilidad; así tenemos, que las rocas ígneas o metamórficas no fracturadas poseen permeabilidades bajas lo cual dificulta la recarga a los acuíferos; las rocas fracturadas (ígneas o metamórficas) permiten mejor circulación de agua y por lo tanto tiene mejor permeabilidad favoreciendo la recarga profunda; las arenas finas, basaltos y karst, poseen debido a su granulometría gran cantidad de poros, a través de los cuales circula el agua facilitando la recarga; por último, las gravas y arenas gruesas poseen poros de gran tamaño a través de los cuales circula el agua con gran facilidad y se consideran medios adecuados para la recarga hídrica a los acuíferos (14).

Cuadro 9. Matriz de criterios de infiltración básica para la determinación de áreas críticas de recarga hídrica natural.

Tasa de Infiltración Básica (cm/hr)	Código
< 0.15	0
0.15 – 1.5	1
>1.5 – 15	2
>15	3

Fuente: Instituto Nacional del Bosque (2003). Metodología para la determinación de áreas de recarga hídrica natural INAB-FAUSAC

La tasa de infiltración tiene influencia en la velocidad con la cual el agua penetra en las primeras capas del suelo, mientras mayor sea esa tasa de infiltración mayor será la oportunidad de las precipitaciones de infiltrar en el perfil del suelo, los valores más bajos de tasas de infiltración son para suelos de granulometría fina los cuales causan mayor escorrentía al momento de intensidades de lluvia altas. Mientras que los suelos con alto contenido de arenas gruesas y gravas tienen tasas de infiltración altas, lo cual favorece la infiltración (14).

Cuadro 10. Matriz de criterios de recarga anual para la determinación de áreas críticas de recarga hídrica natural.

Recarga anual (mm/año)	Código
0 – 50	0
50 – 100	1
100 – 150	2
150 – 200	3
>200	4

Fuente: Instituto Nacional del Bosque (2003). Metodología para la determinación de áreas de recarga hídrica natural INAB-FAUSAC

Cuadro 11. Matriz de criterios de pendiente para la determinación de áreas críticas de recarga hídrica natural.

Pendiente (%)	Código
0 – 12	0
12 – 26	1
26 – 36	2
36 – 55	3
> 55	4

Fuente: Instituto Nacional del Bosque (2003). Metodología para la determinación de áreas de recarga hídrica natural INAB-FAUSAC

La pendiente es un factor importante pues es determinante al momento de la escorrentía y sus efectos al suelo, los suelos con relieves más planos no favorecen la escorrentía del agua y permiten un mayor tiempo de contacto del agua con el suelo favoreciendo la infiltración, mientras que suelos de altas pendientes aumentan la velocidad de la escorrentía, por lo tanto se consideran críticas las áreas que tienen altas pendientes por el grado de degradación que pueden causar y la alteración de las condiciones actuales de recarga de estas áreas (14).

Cuadro 12. Criterios de susceptibilidad de áreas a ser consideradas áreas críticas de recarga hídrica natural.

Categoría	Rango
Baja	0 – 5
Moderada	6 – 9
Alto	10 – 12
Muy alta	13 – 14

Fuente: Instituto Nacional del Bosque (2003). Metodología para la determinación de áreas de recarga hídrica natural INAB-FAUSAC

3.1.6 Recarga Hídrica Natural

Es la cantidad de agua absorbida a través del suelo y percolada hasta llegar a un acuífero. Esta puede ser directa (infiltración de lluvia) y lateral (aporte de otras áreas o cuencas) (14).

Las recargas de agua en la zona de saturación (acuífero) provenientes de fuentes superficiales, comprenden tres pasos: Infiltración del agua desde la superficie a la zona de suelo no saturado, el movimiento descendente de agua a través de los materiales comprendidos en la zona de aireación, y la emigración de parte del agua al manto freático, aumentando así las reservas subterráneas (14).

Una vez que la zona de los suelos ha recibido agua a toda su capacidad, toda el agua adicional desciende por gravedad, ya sea directamente hasta el manto freático o a la zona intermedia. En virtud de que la zona intermedia no es afectada por el proceso de evaporación o absorción de las raíces de las plantas, que normalmente retienen mucha agua, la mayor parte del agua tiende a moverse hacia abajo en respuesta a la fuerza de gravedad (14).

A. Factores que afectan la recarga hídrica

a. Clima

Entre los factores del clima que influyen en la recarga hídrica natural están la precipitación y la evapotranspiración (14)

i. Precipitación Pluvial

Como precipitación se conocen todas las formas de humedad que caen a la tierra, provenientes de las nubes, como agua, hielo y nieve. La precipitación constituye la entrada primordial del sistema hidrológico y es el factor principal que controla la hidrología en una región (14).

Durante un evento de lluvia, dos aspectos condicionan la infiltración: La duración y la intensidad, una lluvia moderada de larga duración favorece la infiltración, las lluvias intensas saturan muy rápidamente el suelo, perdiéndose en escorrentía superficial (14). Estas lluvias también compactan el suelo reduciendo su habilidad para absorber el agua. Por lo que para fines de infiltración, es mejor que llueva constantemente y no unos pocos eventos lluviosos muy intensos (14).

La precipitación se mide por la altura que alcanza el agua sobre una superficie plana, horizontal, sin que se produzcan pérdidas por evaporación o infiltración (17). Los instrumentos que nos sirven para registrar la lámina precipitada en un área concreta son generalmente los pluviómetros, que son recipientes estandarizados. El pluviómetro consta fundamentalmente de tres partes. Un área de captación en la parte superior, que se comunica con un recipiente de área menor mediante un embudo. La relación entre las dos áreas es generalmente de diez, de tal manera que al introducir una escala graduada en centímetros en el recipiente inferior, se lee la precipitación real en milímetros. Cada milímetro medido de precipitación representa la altura (en lámina precipitada) que tendría un cubo de área igual a un metro cuadrado (14).

El aislamiento que existe entre el colector donde se depositará el agua y la cámara de aire que queda entre él y el depósito, trata de evitar las posibles pérdidas por evaporación (19). Para una red pluviométrica seguir las siguientes recomendaciones:

1. Regiones planas: lo ideal es un aparato cada 600-900 km². Es aceptable uno cada 900 - 3000 km².
2. Regiones montañosas: lo ideal, 1 aparato cada 100 - 250 km². Se acepta 1 por cada 250 - 1000 km².
3. Regiones áridas: se recomienda un pluviómetro cada 1500 - 10000 km². (14).

ii. Evapotranspiración

Una gran parte del agua que llega a la tierra, vuelve a la atmósfera en forma de vapor, directamente por evaporación este se refiere al resultado del proceso físico por el cual el agua que se encuentra en forma líquida en el suelo cambia a estado gaseoso, retornando directamente a la atmósfera en forma de vapor. El monto evaporado desde suelos forestales es muy bajo por las condiciones microclimáticas que predominan en los bosques: alta humedad, baja irradiación, bajas temperaturas extremas y poco movimiento del aire (25).

Otra parte del agua vuelve a la atmósfera través de las plantas por transpiración este es la pérdida de agua, principalmente por las estomas, que pasa a la atmósfera en forma de gas relacionados con los procesos productivos de las plantas. La demanda y el consumo de agua por los árboles varían fuertemente entre zonas ecológicas y depende mucho de las características de las especies. Sin embargo, los bosques son las coberturas que tiene las tasa más altas de transpiración de todas las coberturas vegetales. La evapotranspiración entra, dentro del balance hídrico, considerado como pérdidas. (25).

Dado que la evapotranspiración depende de dos factores muy variables y difíciles de medir, el contenido de humedad del suelo y el desarrollo vegetal de la planta (19). Thornthwaite introduce el concepto de *evapotranspiración potencial* o pérdidas por evapotranspiración, en el doble supuesto de un desarrollo vegetal óptimo y una capacidad de campo permanentemente completa. Será por lo tanto un límite superior de la cantidad de agua que vuelva a la atmósfera por evaporación y transpiración y que se conoce con el nombre de *evapotranspiración real* (17).

Fundamentalmente son tres los factores que intervienen en la evapotranspiración:

1. El clima este influye por la temperatura, la humedad relativa, la velocidad del viento, el número de horas de iluminación afecta, la radiación solar (14).
2. El suelo se refiere a la cantidad de agua almacenada, ya que a medida que aumenta la sequía y se aproxima al "punto de marchitez", es aprisionada el agua con mayor intensidad, siendo cada vez menor el volumen cedido a las plantas y a la atmósfera, disminuyendo la evapotranspiración por ambas causas a la vez (14).

3. La planta influye por la especie, según mayor o menor número de estomas por unidad de superficie, y el período de vegetación en el que se encuentre (14).

b. Suelo

Esta comprobado el papel beneficioso de una cubierta forestal por la mayoría de los trabajos de investigación, para la protección de los suelos. Como elemento físico de una cuenca vertiente, el suelo es un regulador de escorrentía superficial y subterránea que actúa a través de su capacidad de retención de agua (19). Las características del suelo que influyen en la recarga hídrica natural son las siguientes:

i. Textura

La textura y la estructura de los suelos, su composición química y su capacidad de retención de agua constituyen elementos mayores de la potencialidad de los sitios forestales (19).

Normalmente el área de estudio, tiene suelos de características variables, las cuales influyen el balance hídrico de los suelos y por lo tanto, para determinar este aspecto, se deben tomar muestras de suelo de los lugares donde se realizan las pruebas de infiltración. A estas muestras se determinan su composición porcentual de arena, arcilla y limo y clase de textura (21).

ii. Estructura

La estructura es importante porque afecta básicamente la velocidad de infiltración del agua (14). Define el tamaño de los poros, la existencia de poros grandes reduce la tensión capilar pero favorece directamente la entrada de agua (4), razón por la cual un suelo arenoso, a pesar de poseer menor porcentaje de espacio poroso que un suelo arcilloso, favorece la infiltración, debido a que sus poros son mayores. El tipo de estructura afecta en la recarga hídrica, disminuye en un suelo con estructura laminar, y por el contrario se aumenta en un suelo con estructura granular (14).

iii. Densidad aparente

El material sólido que compone un suelo tiene una densidad real del orden de 2.5 gr/cc, pero el volumen que ocupa realmente en el terreno es mucho mayor, pues el

volumen aumenta debido a la cantidad de poros del suelo, los cuales están llenos de aire o de agua (22).

La densidad aparente es de vital importancia en el análisis de balance hídrico. Para el estudio de un área, se debe analizar las mismas muestras de suelo extraídas al momento de realizar las pruebas de infiltración, el método de laboratorio normalmente utilizado es el volumétrico o de la probeta (21).

iv. Contenido de agua en el suelo

La capacidad de los suelos para almacenar el agua es una característica muy importante en el balance hídrico, mientras menor sea la capacidad de los suelos para retener el agua infiltrada, mayores serán las posibilidades de que esta agua pase a formar parte de la humedad de estratos inferiores, hasta alcanzar la zona saturada (acuíferos) (21). De esta manera para el cálculo del balance hídrico de suelos se determinan grados típicos de saturación del suelo o contenidos de humedad del mismo, los cuales son:

1. Capacidad de campo, este es la cantidad que contiene un suelo cuando tras una fuerte precipitación ha drenado ya toda el agua gravitacional (19).
2. Punto de marchitez permanente, este es el grado de humedad de un suelo que rodea la zona radicular de la vegetación, tal que la fuerza de succión de las raíces es menor que la retención del agua por el terreno y en consecuencia las plantas no pueden extraerla (22).
3. Humedad aprovechable, es el agua que utilizan las plantas, es la diferencia entre la humedad correspondiente a la capacidad de campo y al punto de marchitez permanente (4).

v. Capacidad de Infiltración “f”

La infiltración se define como el proceso por el cual el agua penetra por la superficie del suelo en un determinado tiempo, atraviesa la superficie del terreno y ocupa total o parcialmente los poros del suelo o las formaciones geológicas subyacentes, percolando y llegando hasta sus capas inferiores saturadas. Se suele expresar en mm/hora, cm/min, o cm/h). Su papel es fundamental en el estudio de la recarga de acuíferos (14).

Los principales factores que afectan la infiltración en una cuenca pueden agruparse en los siguientes grupos:

1. Características físicas del suelo: Textura, estructura y condición del suelo (compactación y contenido de humedad). Suelos con texturas gruesas, poco grado de estructuración y compactación y con un bajo contenido de humedad, tienen una mayor capacidad de infiltración que los suelos con características diferentes (14).
2. La vegetación: La implantación de vegetación en un terreno desnudo aumenta la infiltración. Los efectos principales de la cubierta vegetal son: a. Disminuye la velocidad de la escorrentía superficial y consecuentemente aumenta el tiempo de oportunidad de infiltración. b. Reduce y elimina el impacto de las gotas de lluvia. c. Aumenta la porosidad del suelo por los canalillos que crean las raíces. d. Mejora la estructura del suelo gracias al incremento de materia orgánica. La infiltración es mayor en masas arbóreas adultas que en las jóvenes, en los montes claros que en los rasos. La infiltración en un suelo forestal puede llegar a ser 50 veces superior a la de otro terreno similar pero sometido a usos agrícolas (19).
3. Precipitación: Cuando la intensidad de la precipitación es menor que la capacidad de infiltración, toda el agua que cae se introduce en el suelo, mientras que si es superior, el terreno no es capaz de absorber toda el agua que cae (19). Con el tiempo, si la lluvia es lo suficientemente intensa, el contenido de humedad del suelo aumenta hasta que se llega a la saturación. En este momento se empiezan a llenar las depresiones del terreno y se originan "*charcos o anegamiento*" dando inicio a la escorrentía superficial directa (14).
4. Pendiente del terreno: A mayor pendiente el agua tiene menos tiempo para poder infiltrarse, pues permanece en contacto con la superficie un intervalo menor (19).
5. Características del agua: El agua influye principalmente a través de tres características:
 - a. Turbidez del agua: Afecta principalmente por la materia en suspensión transportada. En las zonas donde sedimenta el material arrastrado, se taponan los poros del suelo favoreciendo el encharcamiento.
 - b. Conductividad: El contenido en sales también influye, produciendo en ocasiones la formación de flóculos con los coloides del suelo y reduciendo la intensidad de infiltración. En suelos salinos (formación de costras

salinas), tras largas lluvias puede suceder lo contrario. EL progresivo lavado del suelo facilita la desaparición de las sales y el aumento de los poros. c. Temperatura: La temperatura del agua afecta a su viscosidad y en consecuencia, a la facilidad con que atravesará el perfil edáfico. Si las temperaturas son muy bajas, el agua se puede helar produciendo la impermeabilización del horizonte superficial. Por último, conviene mencionar que la carga de agua existente sobre el suelo también influye en el proceso de infiltración. A mayor presión hidrostática del agua en la superficie del suelo mayor será la tasa de infiltración (19).

La secuencia triple: entrada de agua, circulación y almacenamiento de agua en el suelo, hacen que se presenten dificultades en la medida de la infiltración de agua en una cuenca determinada. Existen diferentes métodos pero el más exacto es el método de Porchet.

Se llevan acabo pruebas de infiltración con el objeto de determinar la relación entre la lámina de agua que se infiltra en el suelo y el tiempo en que tarda en hacerlo expresado en mm/h, cm/min o cm/h. Cabe mencionar que si el suelo se encuentra en condiciones secas la velocidad de infiltración será mucho mayor que la obtenida en condiciones saturadas. Es decir que a medida que el suelo se satura, la velocidad de infiltración (f) disminuye hasta alcanzar un punto de equilibrio, cuyo valor se denomina Capacidad de Infiltración Saturada o Infiltración Básica (f_c), la cual se considera similar a la conductividad eléctrica o permeabilidad (K) (14).

c. Topografía

La topografía influye debido al tiempo de contacto del agua con la superficie, en condiciones planas el agua cae a la superficie y su movimiento será lento lo que dará un mayor tiempo para que esta se infiltre, caso contrario en condiciones accidentadas el agua cae y debido la inclinación el terreno se desplaza a mayor velocidad pasando más rápido a formar parte del agua de escorrentía (14).

d. Estratigrafía geológica

Es la rama de la geología que trata de la formación, composición, distribución, cronología, clasificación, secuencia y correlación temporal de las rocas dispuestas en capas o estratos (9). Es de gran importancia realizar un estudio de la disposición de los

diferentes materiales geológicos, ya que estos pueden afectar grandemente la cantidad de recarga hídrica (14).

e. Cobertura Vegetal

Dentro de este factor, se debe considerar la profundidad radicular, que se encuentra dentro de los 30 cm de suelo, para cultivos agrícolas y un metro en cobertura de bosque y cultivos permanentes de frutales u otros (14). Otro factor es la retención radicular una gran cantidad de lluvia que cae durante la primera parte de una tormenta es depositada en la cobertura vegetal como intercepción. Aun cuando el efecto de la cobertura no tiene mayor importancia en las avenidas más grandes, la intercepción debida a algunos tipos de vegetación puede representar una porción considerable de la lluvia anual (17).

f. Esguerrimiento

Se entiende por esguerrimiento al flujo superficial, subsuperficial y al flujo subterráneo que proviene de la precipitación, los cuales son captados por los cauces de los ríos (17).

i. La esgorrentía superficial

Corresponde al agua que no se infiltra en ningún momento, producto de una mayor intensidad de precipitación con respecto a la capacidad de infiltración del suelo, y que alcanza la red de drenaje moviéndose por la superficie del terreno bajo la acción de la gravedad (19).

ii. Esgorrentía 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 a cauce de la corriente. Se mueve más lentamente que la esgorrentía superficial y alcanza las corrientes posteriormente. El límite entre ésta y la esgorrentía superficial es confuso, ya que el agua que circula bajo la superficie puede reaparecer al aire libre e incorporarse a la esgorrentía superficial y viceversa (19).

iii. 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 afluentes manantiales, los que también dan lugar a la formación de arroyos y ríos. Lo que viene a constituir el caudal base de los ríos (17).

Se deben ubicar los manantiales en coordenadas geográficas y/o coordenadas UTM, y su altitud en msnm, utilizando un Sistema de Posicionamiento Global (GPS). Se deberán aforar los manantiales principales (14).

3.1.7 Método de Porchet o Cilindro Invertido para el cálculo de Infiltración Básica

Este método se considera preciso y versátil en el campo (4). Es conocido también como el de cilindro excavado en el suelo o cilindro invertido. Consiste en excavar en el suelo un agujero cilíndrico de radio R, el cual se llena de agua hasta una altura conocida "h", y medir un cambio en el tiempo (dt) para suponer la capacidad de infiltración (f) en ese intervalo como constante (14). La superficie por la cual se infiltra el agua es:

$$S = R(2h + R)$$

Para un tiempo, suficientemente pequeño para que pueda suponerse constante la capacidad de infiltración, f, se verificará la igualdad:

$$R(2h + R)f = R^2 (dh/dt)$$

Separando variables tenemos la ecuación diferencial:

$$f dt = -R (dh/(2h+R))$$

Al integrar resulta:

$$f = (R/2(t_2-t_1)) * \ln ((2h_1 + R)/(2h_2 + R))$$

Por lo tanto, para determinar f, basta medir pares de valores (h₁, t₁), (h₂, t₂), de forma que t₂ y t₁ no difieran demasiado y entrar con ellos en la expresión dada (14).

El procedimiento para la realización de la prueba consiste en limpiar el área, hacer el agujero, agregar agua en él hasta alcanzar humedad cercana al punto de saturación

del suelo, luego colocando nivel de referencia para la toma de las profundidades, se aplica agua y se toman los datos h y t, a intervalos pequeños (14).

3.1.8 Método de las líneas isoyetas para el análisis de precipitación pluvial

Las isoyetas son las líneas que unen los puntos de igual precipitación. Para la aplicación de este método, se dibuja la cuenca a escala y se ubican las estaciones de precipitación con sus valores respectivos (14).

Estaciones que queden por fuera de la cuenca también se pueden considerar. Se trazan líneas de igual precipitación, tal como se trazan las curvas de nivel. Si P_1, P_2, \dots, P_n son los valores de las isoyetas y a_1, a_2, \dots, a_n son las áreas entre isoyetas, el valor promedio de la precipitación será para una área determinada (14).

Este método, permite, si la persona que lo está usando conoce el área tener en cuenta variaciones locales de la precipitación, topografía, etc. Sin embargo, en regiones montañosas tropicales, para aplicar con éxito esta metodología es necesario contar con un buen número de estaciones, pues la precipitación varía con la altura, en distancias muy cortas (14).

3.1.9 Método de Hargreaves para el cálculo de evapotranspiración potencial

Es uno de los métodos más prácticos y confiables. Este investigador diseñó una fórmula específica para la región Centroamericana. La fórmula diseñada por Hargreaves es la siguiente: (14)

$$\text{ETP} = 0.0075 * \text{TMF} * \text{RSM}, \text{ mm/mes}$$

Donde:

ETP = Evapotranspiración en mm/mes

TMF = Temperatura media mensual en grados Fahrenheit

RSM = Radiación solar incidente mensual

Donde:

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

Donde:

RMM = Radiación mensual extraterrestre, mm/mes

RMM = RS * No. de días del mes

S = Radiación solar (Datos de cuadro 14)

Cuadro 13. Valores medios mensuales de radiación extraterrestre, RMM, expresada en evaporación equivalente en mm/día

LATITU	Norte	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
15	11.29	13.51	14.83	15.77	16.02	16.00	16.02	15.93	15.33	14.07	12.66	11.9	

Fuente: Herrera, I. 1995

S = Brillo solar mensual en %

$S = K_s * (100 - HR)^{1/2}$ (con dato de humedad relativa)

S = Duración máxima media diaria de horas de brillo solar (cuadro 17)

K_s = Constante igual a 12.5

HR = Humedad relativa media en %

Cuadro 14. Duración máxima media diaria de horas de brillo solar para diferentes meses y latitudes

LATITUD	NORTE	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
15	11.3	11.6	12.0	12.5	12.8	13.0	12.9	12.6	12.2	11.8	11.4	11.2	

Fuente: Herrera, I. 1995

3.1.10 Método volumétrico para el cálculo de aforos de agua superficial

Es usado para corrientes pequeñas como manantiales de agua o riachuelos, siendo el método más exacto (14).

En forma general podemos indicar que el método de aforo volumétrico, consiste en hacer llegar un caudal a un depósito impermeable cuyo volumen sea conocido y contar el tiempo total en que se llena el depósito (14).

$$Q = \frac{\text{Volumen}}{\text{Tiempo}} = m^3/s$$

3.2 MARCO REFERENCIAL

3.2.1 Ubicación geográfica

La microcuenca Río Frío, se encuentra ubicada dentro de la finca que lleva el mismo nombre, la cual se encuentra localizada dentro del municipio de Santa Cruz Verapaz, departamento de Alta Verapaz (ver figura16). A 4.69 kilómetros del centro urbano de Santa Cruz Verapaz (hacia el Norte); y a 9.25 kilómetros del centro urbano del municipio de Tactic. El punto de aforo, se encuentra ubicado sobre el kilómetro 186 de la carretera CA-14 que comunica la ciudad de Guatemala con la ciudad de Cobán. Esta microcuenca posee una extensión total de 231.69 hectáreas, con un perímetro de 7,214.40 metros (26). Sus coordenadas UTM están entre 777041 metros y 780395 metros de longitud y 1697115 metros y 1698539 metros de latitud.

Esta microcuenca pertenece a la cuenca del río Cahabón, y ésta a su vez, forma parte de la vertiente del Caribe. (Ver figura 17)

3.2.2 Vías de acceso

Se puede acceder sobre la carretera que comunica a la ciudad capital con Cobán, sobre la ruta del Atlántico. Dentro de la microcuenca posee un camino interno de terracería en el que puede transitarse, todo el año.

3.2.3 Zona de vida

La microcuenca se encuentra ubicada dentro de la zona de vida “Bosque muy Húmedo Subtropical frío” (3).

3.2.4 Clima

La clasificación climática de la microcuenca según Thornwhaite es “Muy húmedo-templado” (AB`2). Por lo cual la temperatura media de esta microcuenca es de 22 °C con temperaturas mínimas entre 18 y 20 °C, y temperaturas máximas de hasta 30 °C. La microcuenca Río Frío recibe una precipitación mínima anual entre 800 y 900 mm, y una precipitación máxima anual que oscila entre 2,000 y 3,000 mm (18)

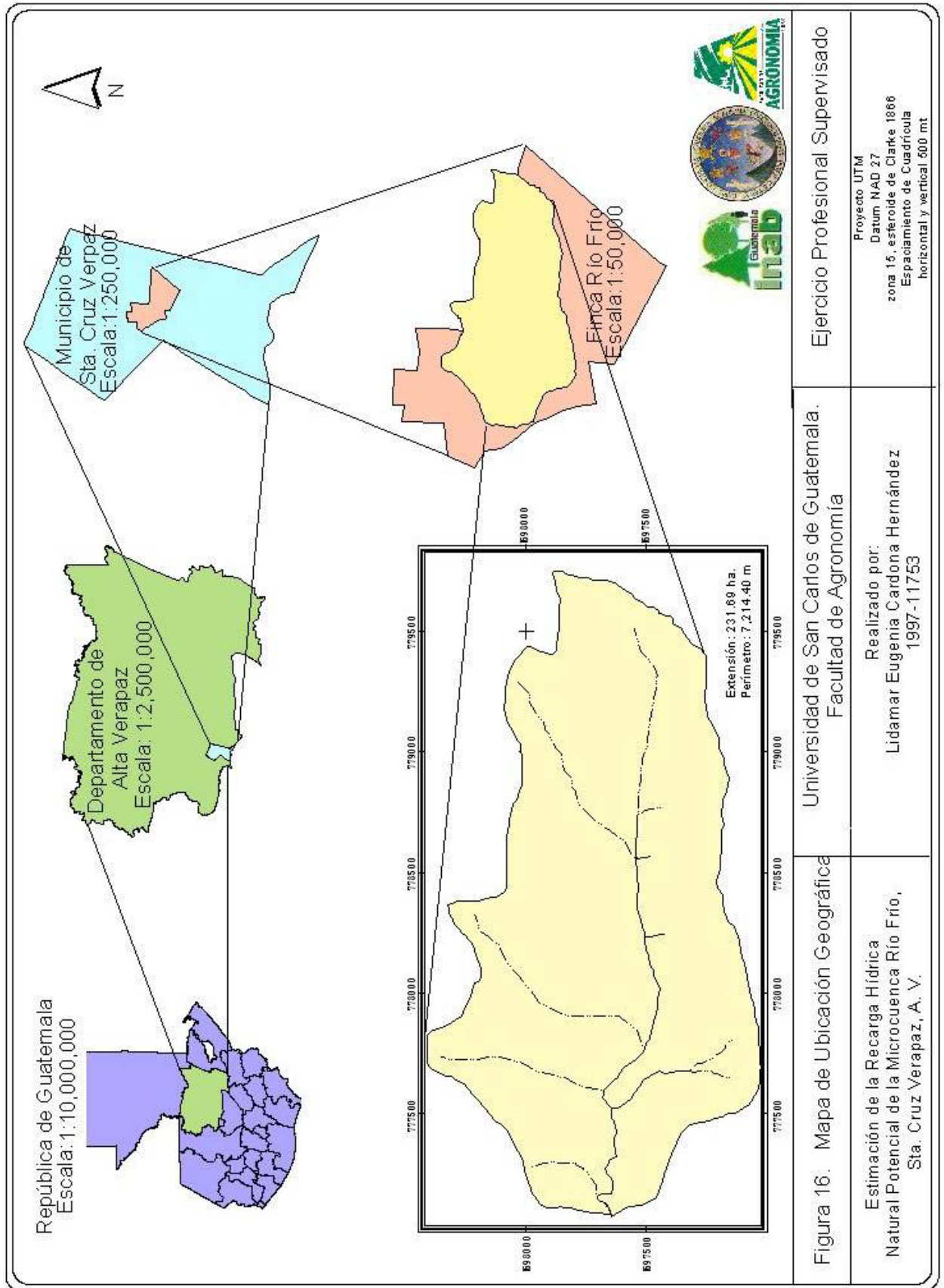


Figura 16: Mapa de Ubicación Geográfica

Universidad de San Carlos de Guatemala.
Facultad de Agronomía

Estimación de la Recarga Hídrica Natural Potencial de la Microcuenca Río Frio, Sta. Cruz Verapaz, A. V.

Ejercicio Profesional Supervisado

Realizado por:
Lidamar Eugenia Cardona Hernández
1997-11753

Proyecto UTM
Datum NAD 27
zona 15, esferoide de Clarke 1866
Espaliamiento de Cuadrícula horizontal y vertical 500 mt

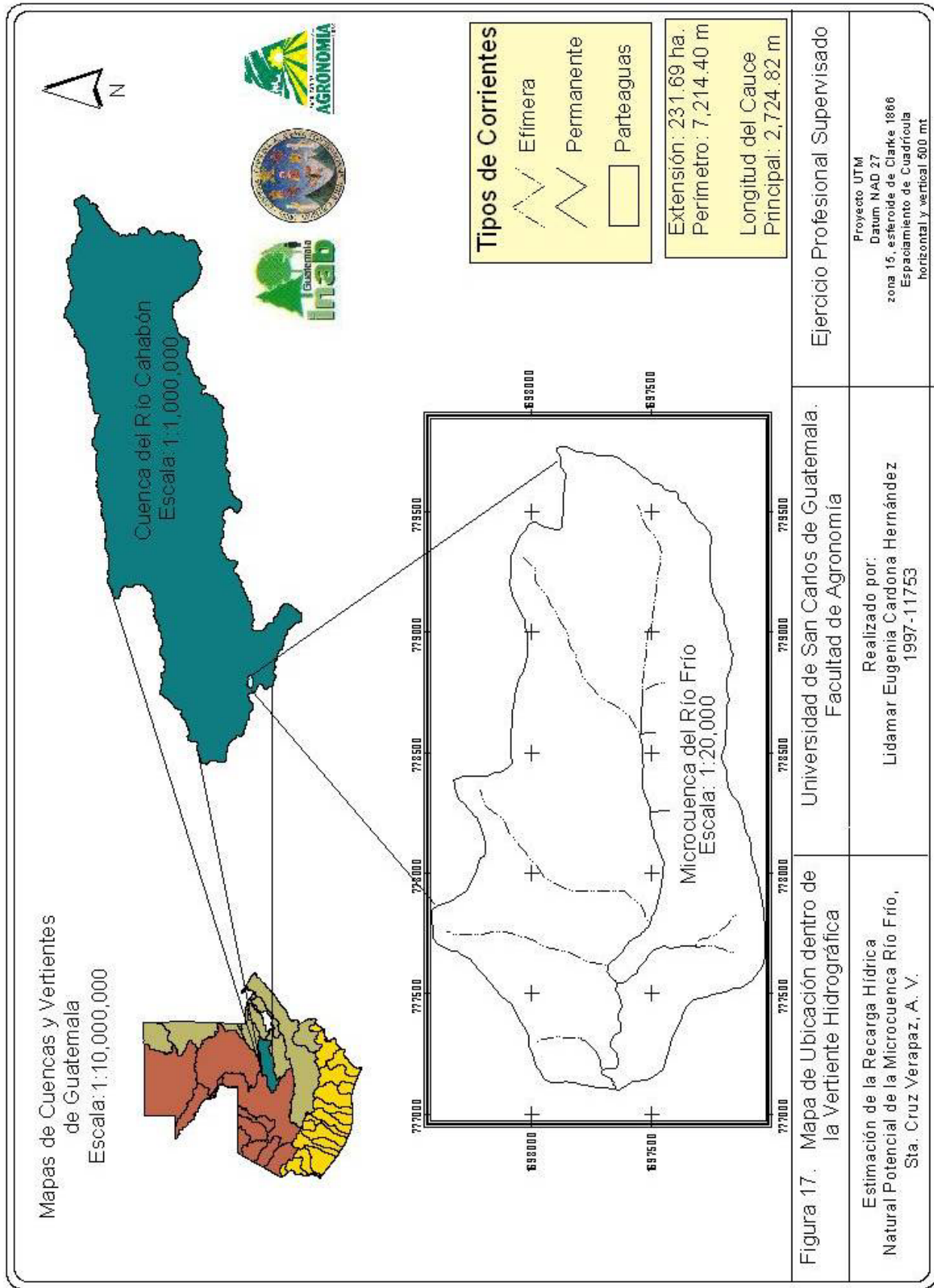


Figura 17. Mapa de Ubicación dentro de la Vertiente Hidrográfica

Para generar información climática, se cuenta con dos estaciones climáticas en la parte baja y parte media alta de la microcuenca, las cuales se monitorean diariamente durante todo un ciclo hidrológico. Parte de esta información se empezó en el mes de noviembre de 2004.

Estas estaciones están ubicadas en los puntos con coordenadas UTM, NAD 27 CENTRAL, ZONA 15:

- Estación parte baja: 77179 y 1967696¹
- Estación parte media alta: 778756 y 1697542²

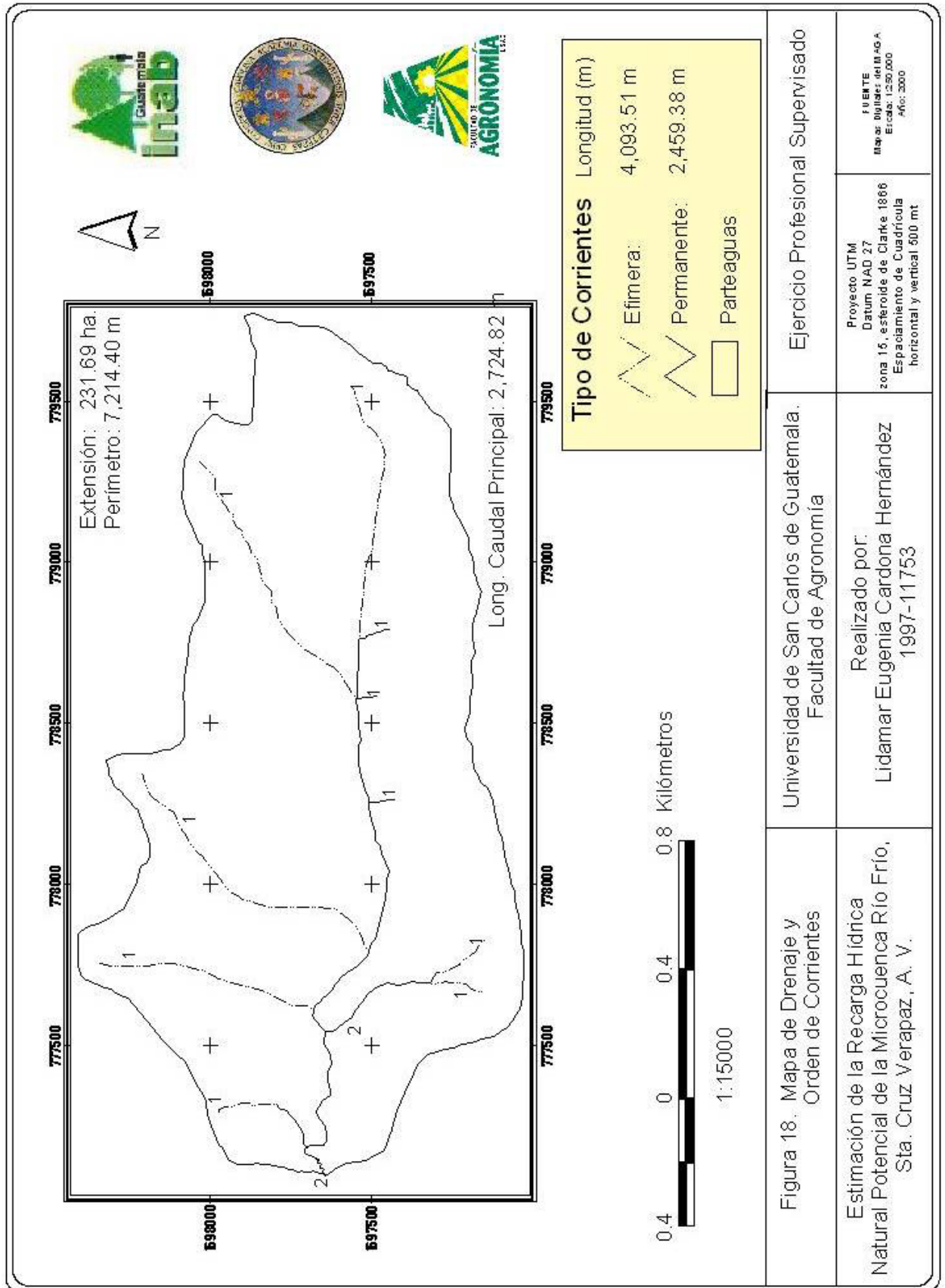
Las variables que se monitorean en estas estaciones climáticas son temperatura media diaria (°C) y precipitación diaria (mm), realizándose este monitoreo una vez al día y cada estación climática posee un termómetro SATO de temperaturas máximas y mínimas, así como un pluviómetro LAMBRECH (26)

3.2.5 Recurso hídrico

El cauce principal de Río Frío tiene 2,724.82 metros de longitud y constituye una corriente permanente, la cual recibe el aporte de algunos nacimientos a lo largo de su trayectoria. Sin embargo, el afluente que más agua le aporta es el del afluente que nace en una cueva en la parte baja de la microcuenca, llegando a fusionarse con la corriente principal unos pocos metros arriba del punto de aforo. Las corrientes permanentes del río tienen 4,093.51 metros. El resto de corrientes son de carácter efímero y tiene 2,459.38 metros (ver figura 18) (26).

¹ Instalada por Jacobo Cotto, EPS 2004

² Instalada por Marco Tax, EPS 2005



3.2.6 Fisiografía

La microcuenca Río Frío se encuentra ubicada en la región fisiográfica de las “Tierras altas Sedimentarias”. Estas se caracterizan por tener tierras calizas, dolomías, clásticas y plutónicas. Además, esta microcuenca se encuentra dentro del gran paisaje denominado “Montañas de Tactic, Tucurú y Senahú”. El paisaje es el de “Talud cauce del Río Frío”, encontrándose dentro de éste, cuatro subpaisajes: cimas agudas, laderas escarpadas, pie de monte, talud cauce (ver figura 19) (26).

Cuadro 15. Leyenda Fisiográfica de la microcuenca del Río Frío, Santa Cruz Verapaz, Alta Verapaz.

REGIÓN FISIAGRÁFICA	ZONA DE VIDA	GRAN PAISAJE	PAISAJE	SUB PAISAJE	ELEMENTOS DEL PAISAJE	CODIGO DE UNIDAD
Tierras Altas Sedimentarias	Bosque muy húmedo sub tropical frío	Montañas escarpadas de Tactic	Talud cauce del Río Frío	Cimas agudas	cima rocosa	A1
					cima no erosionada	A2
				Laderas Escarpadas	ladera rocosa	B1
					ladera no erosionada	B2
				Pie de Monte	pie de monte aluvial	C1
				Talud Cauce	talud cauce del río frío	D1

Fuente: Tax, M. 2004

3.2.7 Serie de suelos

Esta microcuenca presenta dos series de suelos, la serie de suelos Carchá (Cr), con 35.71 ha. que representan un 15.41%, por o tanto, y la serie de suelos Telemán (Te), con 195.98 ha., que es 84.59%, por lo, que es la más extensa de estas dos (ver figura 20) (24).

Estas dos series de suelos permiten comprender que la microcuenca posee un drenaje de rápido a moderado, con una alta capacidad de abastecimiento de humedad, suelos de color café oscuro a muy oscuro. 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 posiblemente no sea mayor de 60 centímetros. No existe ninguna capa que limite la penetración de raíces, sino hasta los 75 centímetros de profundidad del suelo. El único problema de manejo del suelo es el combate de erosión y peligro de heladas (24).

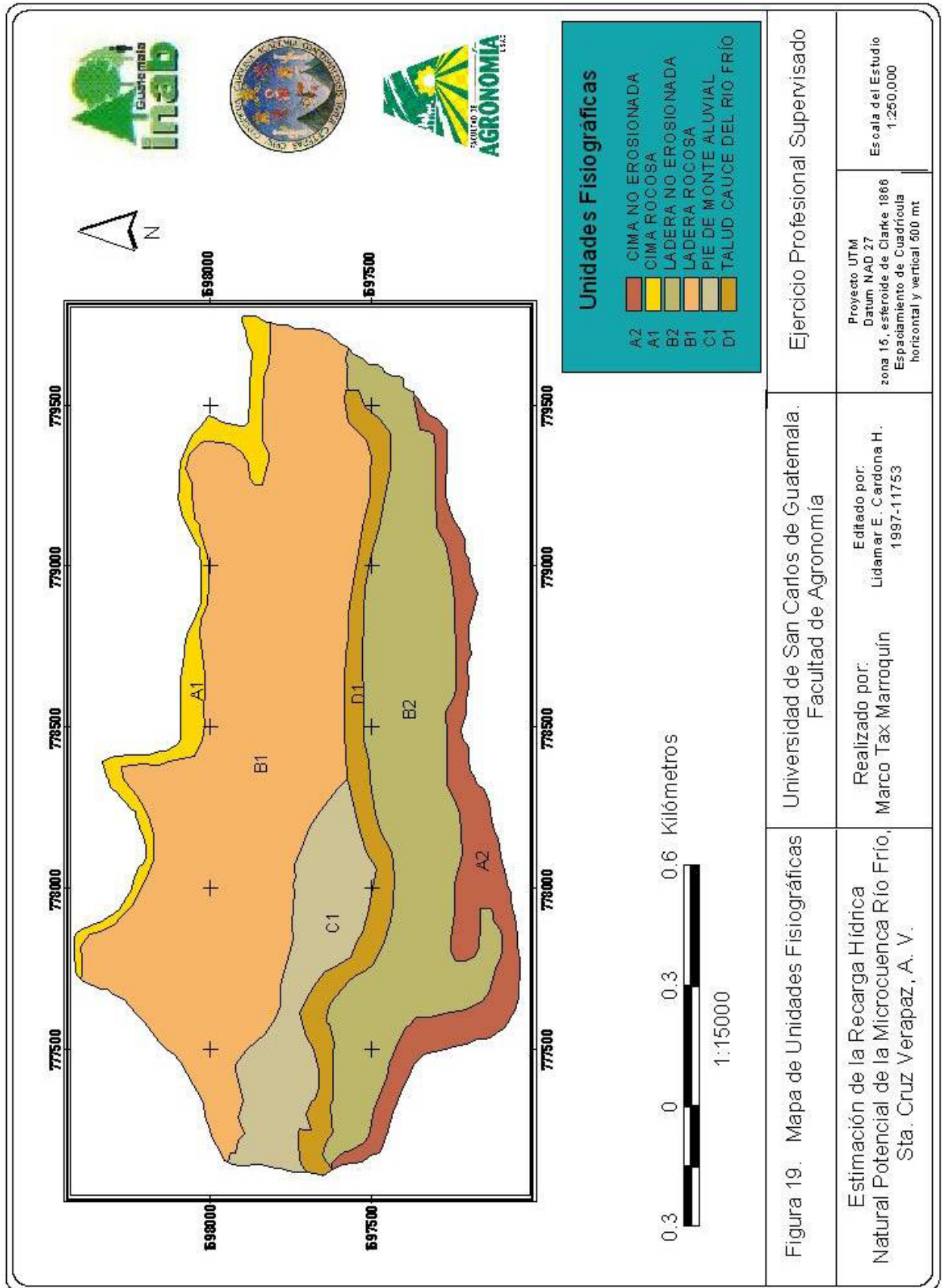


Figura 19. Mapa de Unidades Fisiográficas
 Estimación de la Recarga Hídrica
 Natural Potencial de la Microcuenca Río Frio,
 Sta. Cruz Verapaz, A. V.

Universidad de San Carlos de Guatemala.
 Facultad de Agronomía

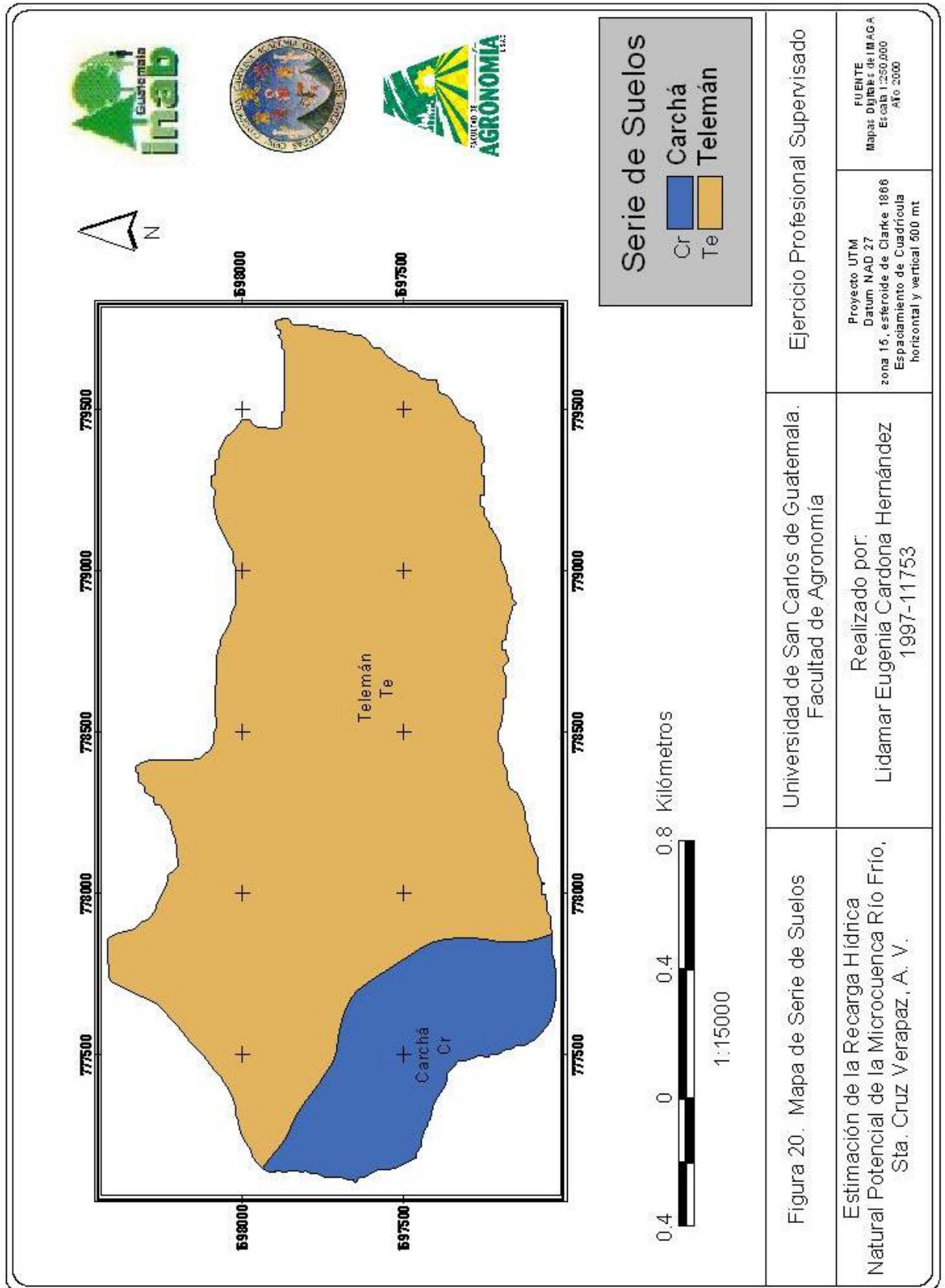
Realizado por:
 Marco Tax Marroquin

Editado por:
 Lidamar E. Cardona H.
 1997-11753

Ejercicio Profesional Supervisado

Proyecto UTM
 Datum NAD 27
 zona 15, estereode de Clarke 1886
 Espalamiento de Cuadrícula
 horizontal y vertical 500 mt

Escala del Estudio
 1:250,000



3.2.8 Geología

Existen dentro de esta microcuenca dos unidades geológicas, las cuales pertenecen a la era Mesozoica (9). Estas unidades son “Carbonatos del Cretácico” (Ksd) que ocupa cerca del 84.32%, con una extensión de 217.79 ha. de la microcuenca. Y, “Formación Todos Santos” (JKts) que ocupa cerca del 15.68%, con una extensión de 40.50 ha (ver figura 21). Las características de estas unidades geológicas se presentan a continuación:

A. Carbonatos del Cretácico

Comprende las formaciones Cobán y Campur. La formación Cobán puede ser dividida en cuatro miembros A, B, C y D, comprendiendo calizas y dolomitas con halita e intercalaciones de anhidritas. La formación Campur consiste de calizas, dolomitas y lutitas, con alto contenido de fósiles, los cuales son la base de diferenciación de estas rocas con formación Cobán. Son rocas que abarcan casi todo el cretácico, siendo muy importante puesto que la formación Cobán es la unidad donde se encuentran los reservorios de petróleo en el país (9). Estas formaciones se localizan principalmente al Centro y Sur de los departamentos de Petén, Belice y Quiché, en el Norte y Sur de Izabal y en casi todo el departamento de Alta Verapaz y Huehuetenango, así como unas pequeñas áreas distribuidas en San Pedro y San Juan Sacatepéquez, en Tecpán y San José Poaquil.

Esta unidad posee aproximadamente una edad absoluta de 500 millones de años. Además, pertenece a la era Mesozoica (8).

B. Formación Todos Santos

Esta unidad se define como una secuencia continental y marina de capas rojas del Jurásico superior que aflora en el poblado de Todos Santos en los Altos Cuchumatanes. Esta constituida por una secuencia alargada de conglomerados, lutitas y areniscas, que se observa en superficie, principalmente en los departamentos de Huehuetenango y Quiché, existiendo además pequeñas áreas en las Verapaces (8). Esta unidad posee una edad absoluta aproximadamente de 64 a 136 millones de años. También pertenece a la era Mesozoica.

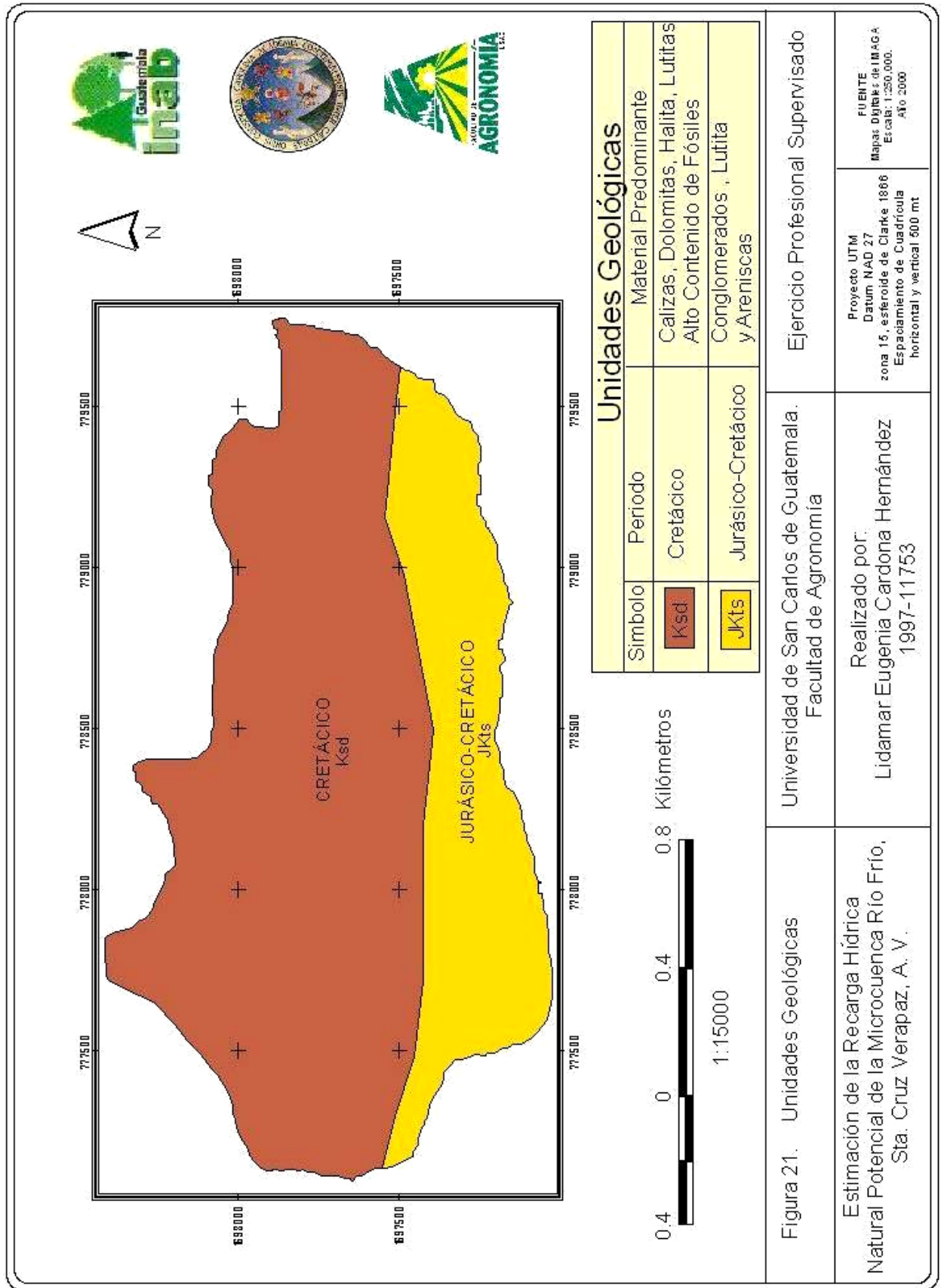


Figura 21. Unidades Geológicas

Estimación de la Recarga Hídrica Natural Potencial de la Microcuenca Río Frío, Sta. Cruz Verapaz, A. V.

Universidad de San Carlos de Guatemala. Facultad de Agronomía

Realizado por:
Lidamar Eugenia Cardona Hernández
1997-11753

Ejercicio Profesional Supervisado

Proyecto UTM
Datum NAD 27
zona 15, este de Clarke 1866
Espaciamiento de Cuadrícula horizontal y vertical 600 mt
FUENTE
Mapas Digitales de IMAGA
Escala: 1:250,000.
Año 2000

3.2.9 Uso actual de la tierra y cobertura forestal

Solamente el 0.43% de la extensión total de la microcuenca corresponde a cultivos agrícolas, un 0.53% a infraestructura, un 0.33% a Zacate (>75%). Aproximadamente el 98.71% de la extensión total de la microcuenca corresponde a cubierta forestal presente en distintas modalidades o tipos de bosque, incluyendo desde bosque denso, plantaciones, hasta bosque secundario bajo (ver figura 22) (26).

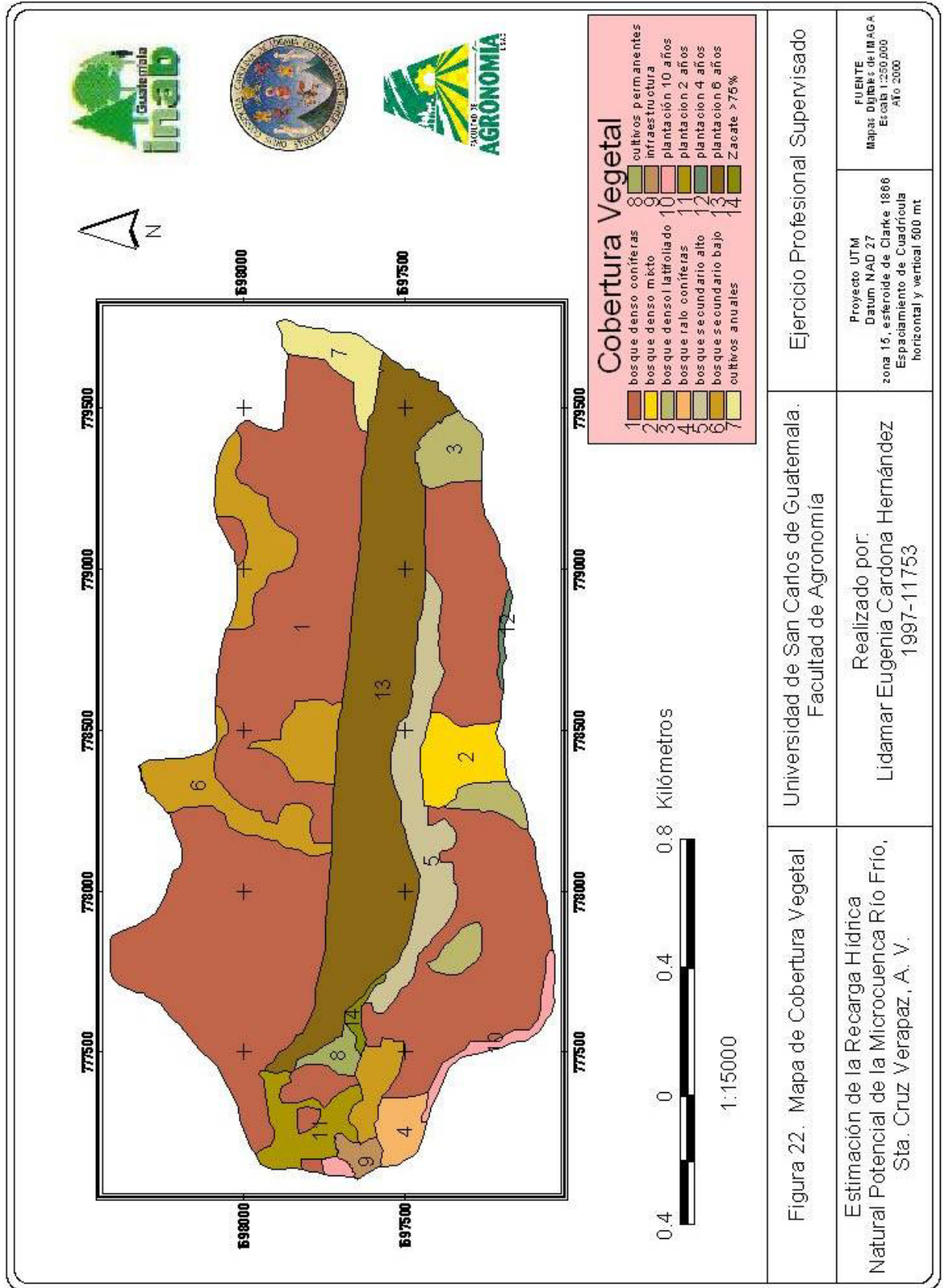


Figura 22. Mapa de Cobertura Vegetal
 Estimación de la Recarga Hídrica
 Natural Potencial de la Microcuenca Río Frio,
 Sta. Cruz Verapaz, A. V.

Universidad de San Carlos de Guatemala.
 Facultad de Agronomía

Realizado por:
 Lidamar Eugenia Cardona Hernández
 1997-11 753

Ejercicio Profesional Supervisado

Proyecto UTM
 Datum NAD 27
 zona 15, esferoide de Clarke 1866
 Espaliamiento de Cuadrícula
 horizontal y vertical 500 mt

FUENTE
 Mapas Digitales de INAGA
 Escala 1:250,000
 Año 2000

4. OBJETIVOS

GENERAL

- Estimar la recarga hídrica natural potencial de la microcuenca Río Frío, Santa Cruz Verapaz, Alta Verapaz.

ESPECÍFICOS

- A. Determinar y elaborar el mapa de áreas potenciales de recarga hídrica natural de la microcuenca de Río Frío.
- B. Determinar el comportamiento de las variables meteorológicas con influencia en el balance hídrico de la microcuenca.
- C. Comparar el balance hídrico del suelo con el balance hidrológico de la microcuenca Río Frío.
- D. Proponer lineamientos de manejo adecuado para las áreas críticas de recarga hídrica natural potencial.

5. METODOLOGÍA

5.1 FASE INICIAL DE GABINETE

5.1.1 Recopilación de información existente

1. Recopilación de información generada de la zona sobre recursos naturales en tesis, estudios hídricos y diagnósticos hechos con anterioridad.
2. Consulta a los mapas del MAGA (2000) (18) a escala 1:250,000, de cobertura vegetal, serie de suelos, geología, y los de cuencas hidrográficas.

5.1.2 Recopilación de información climática

1. Se generó información de los datos climáticos de precipitación pluvial, temperatura mínima y máxima de las dos estaciones meteorológicas del INAB que están ubicadas en la Finca Río Frío.

5.1.3 Elaboración de mapas

1. Se editaron los mapas de ubicación geográfica e hidrográfica, serie de suelos, unidades geológicas, cobertura forestal, unidades fisiográficas de la microcuenca en estudio.
2. Se superpusieron los mapas de serie de suelos, geología y cobertura forestal, para obtener el mapa de las unidades de mapeo. Y se eliminaron unidades de mapeo menor de 0.500 ha. Teniendo en total 16 unidades de mapeo. La información que nos proporciona la serie de suelos como características y propiedades físicas que afectan al movimiento y retención del agua. La geología del lugar nos indica la permeabilidad de los estratos según el origen del material parental de esta microcuenca, y la cobertura forestal influye en la infiltración de un suelo y la profundidad radicular.

5.2 FASE DE CAMPO

5.2.1 Verificación de mapa preliminares

Se comprobó la información de los mapas mediante un caminamiento en toda la microcuenca.

5.2.2 Generación de información climática

1. Se monitorearon en forma diaria las estaciones meteorológicas de la microcuenca ubicadas en la parte baja (1420 msnm) y parte media alta (1520 msnm) de la misma tomando los datos de precipitación y temperaturas máximas y mínimas, en el periodo de febrero a noviembre de 2005.

5.2.3 Realización de pruebas de infiltración

1. Se efectuaron pruebas de infiltración en cada unidad de mapeo, con el método de Porchet o cilindro invertido. La ecuación de la infiltración de este método es:

$$fc = (R/2(t_2 - t_1)) * \ln ((2h_1 + R)/(2h_2 + R))$$

fc = capacidad de infiltración o infiltración básica del suelo.

r = radio del agujero

t = tiempo (min.)

ln = logaritmo natural

h = altura del agua en el agujero.

2. También en cada unidad de mapeo donde se realizaron las pruebas de infiltración se tomaron muestras de suelo aproximadamente 1 kilogramo.
3. Estas muestras se llevaron al laboratorio donde se realizaron análisis de partículas primarias del suelo (Densidad aparente, textura), y grados de humedad (Capacidad de Campo y Punto de Marchitez Permanente). De esta manera, es posible estimar la cantidad de agua de precipitación pluvial, que luego de infiltrarse en el suelo se percola por fuerzas gravitacionales a estratos más profundos.
4. La información que se obtuvo de las pruebas de infiltración es base para la determinación del balance hídrico del suelo de la microcuenca.

5.2.4 Aforo de los manantiales

1. Se georeferenciaron y aforaron con el método volumétrico los nacimientos principales en época de estiaje (abril 2005), como en época de lluvia (diciembre 2005).
2. La información de los aforos a manantiales determinan el potencial y/o disponibilidad de agua subterránea que drena dentro de la microcuenca.
3. En los meses de febrero a noviembre de 2005, en forma diaria se tomaron datos del caudal en el punto de aforo que se encuentra a una altura de 1419 mnsnm. En la microcuenca Río Frío.

5.3 FASE DE GABINETE FINAL

5.3.1 Procesamiento y Análisis de Información Climática

A. Precipitación

1. Se tabularon los datos de precipitación diaria, para obtener la precipitación media mensual y anual, de las estaciones de la parte baja (1420 msnm) y de la parte media alta (1520) de la microcuenca.
2. La precipitación media mensual para cada unidad de muestreo se determinó utilizando un gradiente. Primero se calculó área entre curvas para obtener el área de ese polígono, para luego multiplicar según fuera el valor de la curva estos datos se suman según la cantidad de curvas a nivel que abarca dicha unidad de muestreo. Este resultado se dividió entre el área total de la unidad de mapeo, esto para obtener la altitud ponderada de esa unidad. Luego se resto la altitud ponderada a la altitud más baja de la microcuenca. Después se obtuvo un gradiente de la diferencia de precipitaciones de cada mes de las estaciones, este resultado es dado en mm/mes. Para obtener la precipitación ponderada de la unidad de mapeo se multiplicó el gradiente de P_p , por la diferencia de altura. Este resultado se sumo al dato de cada mes de la estación de la parte baja (1420 msnm).

B. Precipitación efectiva mensual

La precipitación efectiva mensual se calculó (23), tomando en cuenta la retención de lluvia (K_i), la infiltración (C_i) la cual toma en cuenta la textura del suelo (K_{fc}), por efecto de pendiente (K_p) y por efecto de cobertura vegetal (K_v)

La ecuación de precipitación efectiva, (23) es la siguiente:

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

Donde:

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

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

Los datos de K_p y K_v se pueden ver en los cuadros 6 y 7.

C. Evapotranspiración

1. Se tabularon los datos de temperatura máxima, mínima y mensual, de cada una de las estaciones de la microcuenca. Luego se calculó la evapotranspiración potencial (ETP) por el método de Hargreaves, porque es uno de los métodos más prácticos y confiables. La ecuación de este método es la siguiente:

$$ETP = 0.0075 * TMF * RSM, \text{ mm/mes}$$

Donde:

ETP = Evapotranspiración en mm/mes

TMF = Temperatura media mensual en ($^{\circ}F$)

RSM = Radiación solar incidente mensual

Donde:

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

Donde:

RMM = Radiación mensual extraterrestre, mm/mes

RMM = RS * No. de días del mes

RS = Radiación solar extraterrestre (mm/día)

$$S^{1/2}$$

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

S = Duración máxima media diaria de horas de brillo solar

Ks = Constante igual a 12.5

2. La evapotranspiración media mensual para cada unidad de mapeo se realizó con la misma metodología que se calculó la precipitación, calculando gradiente y altitud ponderada.
3. El cálculo de la evapotranspiración real (ETR), se efectuó utilizando de base una hoja electrónica, en donde considerando los demás factores del balance hídrico de suelo, nos permitió simultáneamente obtener el valor de recarga potencial al acuífero (precipitación efectiva).

D. Infiltración

1. Se calculó y gráfico los valores que se obtuvieron en la pruebas de infiltración, para poder obtener la infiltración básica de cada unidad de mapeo, tomando en cuenta las curvas de tendencia entre la gráfica de tiempo acumulado (minutos) versus velocidad de infiltración (cm /hora).
2. La ecuación que relaciona la capacidad de infiltración de agua en el suelo y la intensidad de lluvia, 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 en mm/h

Este factor se calculó en la misma hoja electrónica, donde se calculó la evapotranspiración real (ETR), en donde toma en cuenta todos los parámetros para calcular el balance hídrico del suelo y la recarga hídrica.

5.3.2 Cálculo del balance hídrico del suelo

El cálculo del balance hídrico de cada unidad de mapeo, se realizó en una hoja de cálculo en EXCEL, escribiendo las variables de características físicas del suelo (capacidad de infiltración, densidad aparente), grados de humedad (capacidad de campo y punto de marchitez permanente) y clima (precipitación y evapotranspiración). Con esta información el programa calculó la recarga potencial de la unidad en lámina.

5.3.3 Elaboración del mapa de recarga hídrica

Se elaboró un mapa de la microcuenca en el cual contiene los valores de recarga anual, determinados de cada una de las áreas de mapeo identificadas y analizadas, realizando agrupamientos de áreas con recargas similares mediante una codificación de color.

5.3.4 Determinación de áreas de recarga hídrica natural potencial

Luego de determinar la recarga hídrica natural potencial de cada unidad de mapeo, por medio de los balances hídricos del suelo. Se tomaron en cuenta las siguientes categorías m^3/km^2 , para clasificar las áreas de recarga hídrica: Muy altas $>300,000$; Altas $150,000$ $300,000$; Moderadas $50,000$ – $150,000$; Bajas $10,000$ - $50,000$; Muy bajas $< 10,000(10)$.

5.3.5 Determinación de áreas críticas de recarga hídrica natural potencial

Posterior a determinar las áreas de recarga hídrica natural se identificaron las áreas críticas de recarga, según las matrices dadas por la “Metodología para la determinación de áreas de recarga hídrica natural” FAUSAC-INAB (14).

Las áreas fueron evaluadas en cada uno de los aspectos y luego la suma de todos los códigos dio como resultado la categoría en la cual se ubica dicha área.

Las áreas críticas se reconocieron considerando básicamente los siguientes aspectos:

1. Matriz de criterios de Geología (ver Cuadro 8)
2. Matriz de criterios de Infiltración básica (ver Cuadro 9)
3. Matriz de criterios de Recarga anual (lámina anual) (ver Cuadro 10)
4. Matriz de criterios de Pendiente (ver Cuadro 11)
5. Área crítica de recarga hídrica según susceptibilidad (ver Cuadro 12)

5.3.6 Elaboración de Mapas

Como resultado final se elaboraron los mapas de unidades de mapeo. El mapa de alturas, precipitaciones y evapotranspiración ponderadas, áreas de recarga hídrica y el mapa de áreas críticas de recarga hídrica natural, en el programa de Arc View 3.3

5.3.7 Elaboración del Balance Hidrológico

1. Se trazaron isoyetas, para determinar la precipitación media anual de la microcuenca, usando el software Arc. View 3.3, usando los datos de las estaciones climáticas que se encuentran dentro de la microcuenca Río Frío.
2. Se trazaron las isoplejas, para calcular la Evapotranspiración media anual de la microcuenca en estudio. Usando el software Arc View 3.3
3. Se calculó el caudal medio anual de la microcuenca, datos de punto de aforo.

4. Se interpretaron y analizaron los datos anteriores de precipitación pluvial, evapotranspiración y caudales, para elaborar el balance hidrológico de dicha microcuenca.

6. RESULTADOS

6.1 DATOS CLIMÁTICOS

6.1.1 Cálculo de la precipitación mensual

En la microcuenca Río Frío, se monitorearon datos diarios de precipitación, para cada estación obteniendo como precipitación anual 2,405.26 mm en la estación de la parte media alta y 2,293,54 mm en la estación de la parte baja. Observándose que a mayor altitud mayor precipitación debido al comportamiento orográfico de la precipitación.

La distribución de la lluvia en comparación al comportamiento a nivel general del país, es bastante variado, ya que la época seca es de los meses de enero a mayo, según los datos de precipitación mensual del cuadro 16. Mientras que la época lluviosa son de los meses de junio a diciembre. En los meses de agosto se presentó un periodo seco denominado canícula, el cual se define como un período de tiempo anormalmente seco dentro de la estación lluviosa de Guatemala.

Cuadro 16. Datos de precipitación pluvial mensual en mm de la microcuenca Río Frío.

Parte	Precipitación mm	dic- 04	ene- 05	feb- 05	mar- 05	abr- 05	may- 05	jun- 05	jul- 05	ago-05	sep-05	oct- 05	nov-05	Anual
media alta	Prom.	119,4	180,1	15,75	90,4	93,76	92,6	388,7	265	334,05	419,05	157,9	248,55	2405,26
Parte Baja	Prom.	54,4	169,6	2,62	52,15	73,07	61,75	391,3	245	388,9	463,15	105,2	286,45	2293,54

Y el comportamiento de la precipitación de los meses de diciembre de 2004 a noviembre de 2005, se puede observar mejor en la siguiente gráfica:

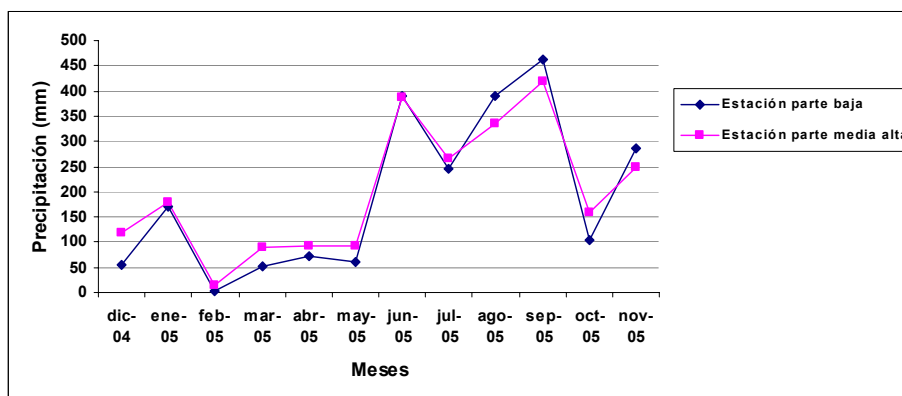


Figura 23. Precipitación Media Mensual de las estaciones climáticas de la microcuenca Río Frío, Santa. Cruz Verapaz, A. V.

En la gráfica anterior se observa que el mes de septiembre reporta una precipitación de 463.15 mm en la parte baja y 419.05 mm en la parte media alta. Febrero es el mes con precipitación bajo.

6.1.2 Cálculo de la temperatura mensual

En los meses de diciembre 2004 a noviembre del año 2005, se monitoreo en forma diaria la temperatura mínima y máxima de cada estación climática. Teniendo como resultado que en la parte media alta de la microcuenca la temperatura media es de 20.4 °C, y en la estación de la parte baja es de 22.1°C, también se puede apreciar la disminución por elevación en esta variable climática. En el cuadro 17 contiene los datos de temperatura media mensual en °C, de las dos estaciones climáticas.

Cuadro 17. Datos de temperatura mensual, de las estaciones climáticas, de la microcuenca Río Frío.

Estación parte media alta	dic-04	ene-05	feb-05	mar-05	abr-05	may-05	jun-05	jul-05	ago-05	sep-05	oct-05	nov-05	Temperatura media anual
2004	15,4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,00	
2005	0,00	12,7	16,85	21,4	22,6	23	23,4	23,2	22,6	22,3	21,9	19,5	
Temperatura Media	15,40	12,7	16,85	21,4	22,6	23	23,4	23,2	22,6	22,3	21,9	19,5	20,4
Estación parte baja	dic-04	ene-05	feb-05	mar-05	abr-05	may-05	jun-05	jul-05	ago-05	sep-05	oct-05	nov-05	Temperatura media anual
2004	13,4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,00	
2005	13,40	15,79	17,8	22,4	23,2	24,14	26,53	25,77	26,16	24,91	23,27	21,81	
Temperatura Media	13,40	15,79	17,8	22,4	23,2	24,14	26,53	25,77	26,16	24,91	23,27	21,81	22,10

La temperatura, a mayor altitud disminuye, esta característica se puede observar en la siguiente gráfica

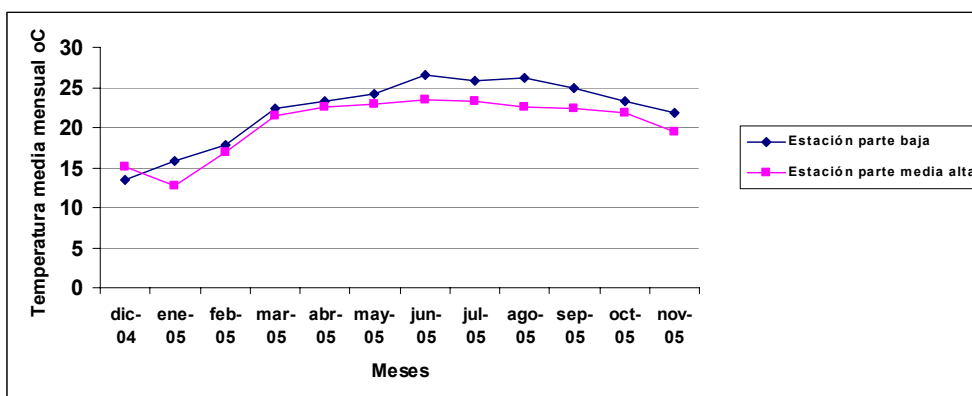


Figura 24. Temperatura media mensual de estaciones climáticas de la microcuenca Río Frío, Santa Cruz Verapaz, A. V.

6.1.3 Cálculo de la evapotranspiración potencial mensual por el método de Hargreaves

Los valores de evapotranspiración mensual se reportan en el cuadro 18, obteniendo un valor anual en la parte baja de 1536.04 y 1468.77 en la parte media alta.

Cuadro 18. Cálculo de la evapotranspiración potencial, por el método de Hargreaves

Parte		D 04	E 05	F 05	M 05	A 05	M 05	J 05	jul-05	Ag 05	S 05	O 05	N 05	
Parte media alta	mm/día	2,73	2,39	3,29	4,16	4,65	4,83	4,91	4,87	4,72	4,44	3,96	3,29	
	mm/mes	84,72	74,23	92,21	128,95	139,58	149,74	147,28	151,06	146,28	133,06	122,87	98,80	1468,77
Parte baja	mm/día	2,57	2,63	3,38	4,26	4,72	4,97	5,29	5,18	5,14	4,72	4,10	3,50	
	mm/mes	79,69	81,62	94,68	132,21	141,73	154,02	158,57	160,56	159,20	141,65	127,13	104,98	1536,04

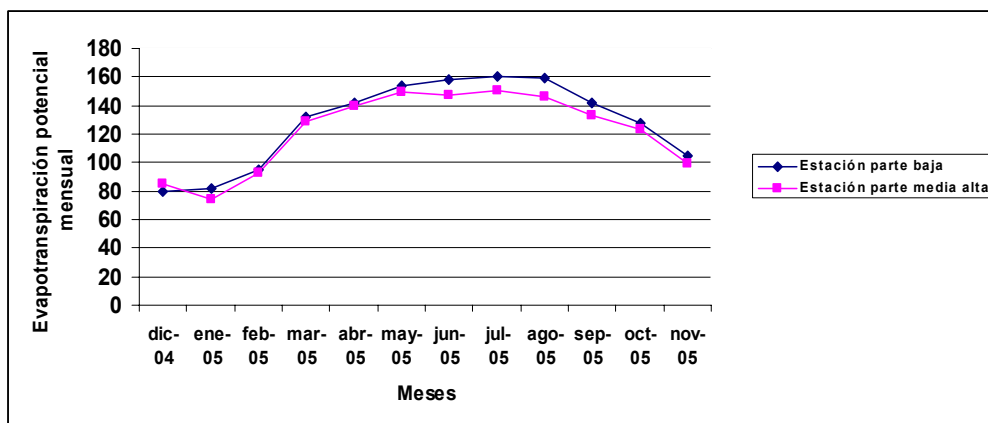


Figura 25. Evapotranspiración Mensual de la Microcuenca Río Frío, Santa Cruz Verapaz. A. V.

En la figura anterior se observa mejor el comportamiento de la evapotranspiración a mayor altitud los datos son menores.

6.1.4 Comportamiento del Caudal

En el canal de aforo se obtuvieron los siguientes resultados.

Cuadro 19. Caudales medios mensuales de la Microcuenca Río Frío, Santa Cruz Verapaz.

MES	Q (L/s) mensual	Q (m ³ /s) mensual
Diciembre 2004	67,56	0,0676
Enero 2005	39,70	0,0397
Febrero 2005	19,74	0,0197
Marzo 2005	19,03	0,0190
Abril 2005	14,84	0,0148
Mayo 2005	10,78	0,0108
Junio 2005	22,41	0,0224
Julio 2005	36,67	0,0367
Agosto 2005	42,23	0,0422
Septiembre 2005	67,19	0,0672
Octubre 2005	53,09	0,0531
Noviembre 2005	43,45	0,0435
Promedio Anual	36,39	0,0363

En el punto de aforo se tiene un caudal anual de 0.0363 m³ /s. reportando mes de mayo con un caudal mínimo de 0.0108 m³ /s. El caudal máximo reportado durante este período es de 0.0676 m³ /s, en el mes de diciembre del 2004. El comportamiento general del caudal durante este año hidrológico se presenta en la siguiente figura:

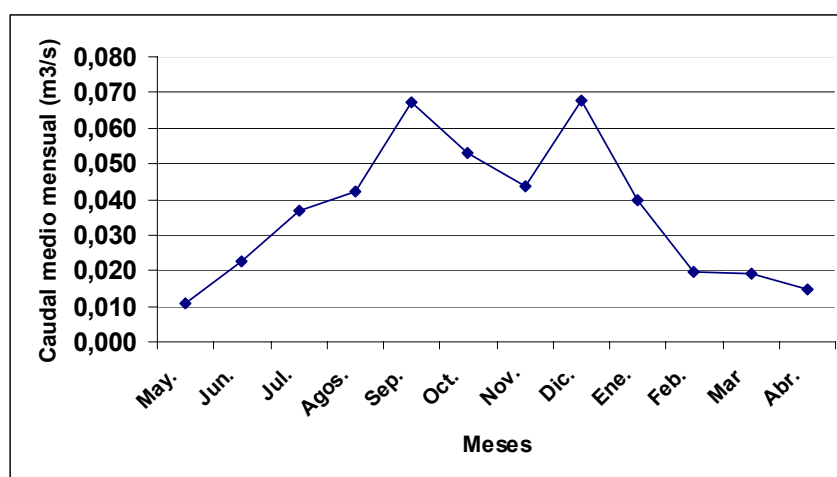


Figura 26. Comportamiento del Caudal de la Microcuenca Río Frío, Santa Cruz Verapaz, A. V.

En la figura 26 se tiene que los caudales máximos son reportados en el mes de septiembre y diciembre, pues son los meses donde hay más precipitación. El mes de mayo reporta el caudal mínimo del año hidrológico, por ser parte aun de la época de estiaje, característica especial de la región.

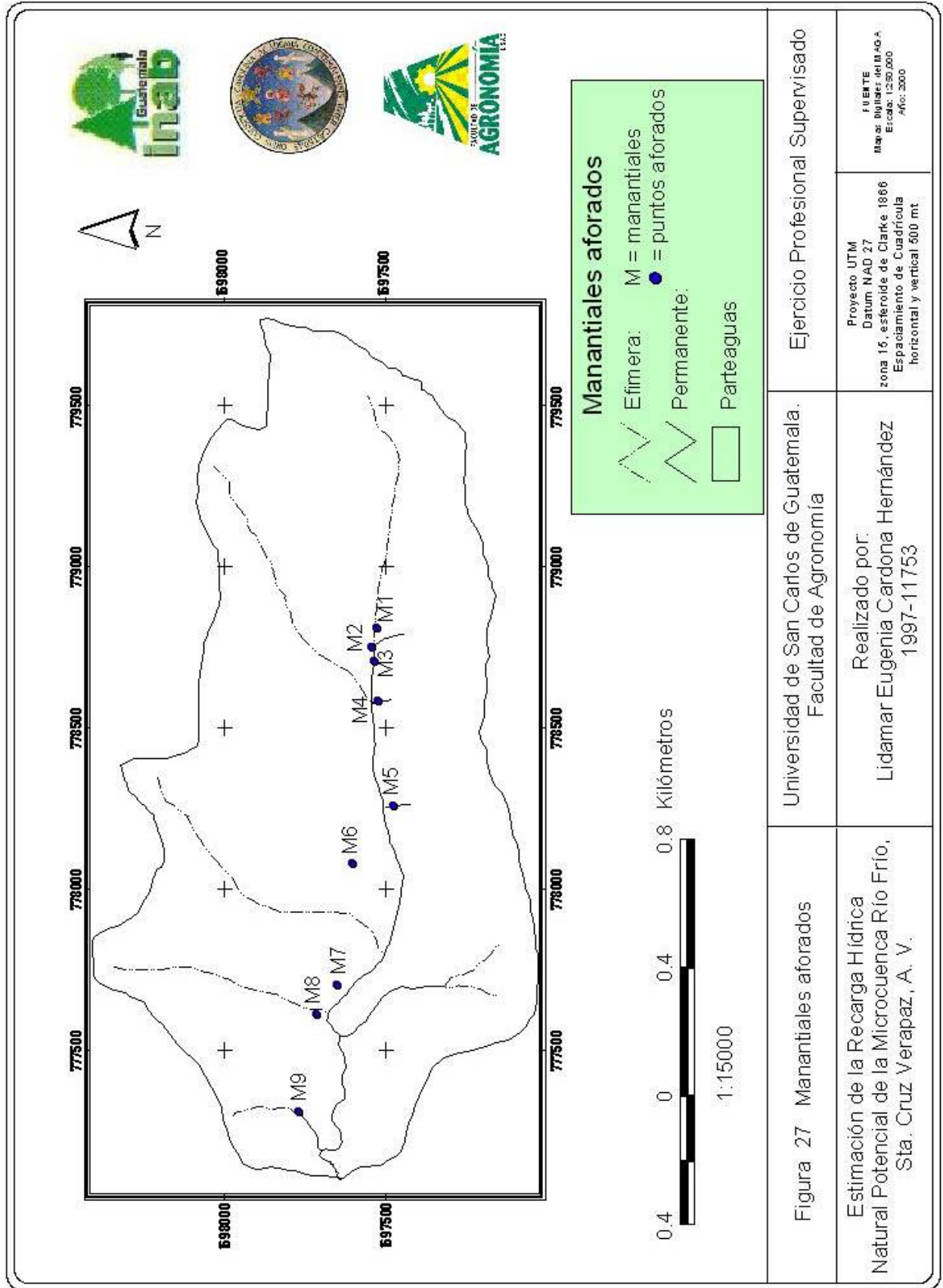
6.1.5 Aforo a los principales manantiales

Se aforaron 9 manantiales principales con la finalidad de conocer la disponibilidad de agua, puntos de descarga y posibles áreas de recarga. Los aforos se realizaron en la época seca y lluviosa del año 2005, se pueden observar en el siguiente cuadro:

Cuadro 20. Aforo de los principales manantiales de la microcuenca Río Frío

NACIMIENTO ó PUNTO AFORADO	COORDENADAS UTM (m)		Caudal época de estiaje (mes de abril)		Caudal época de lluvia (mes de diciembre)	
			Q (Lt/s)	m ³ /seg	Q (Lt/s)	m ³ /seg
Nacimiento Río Frío	778813	1697527	0.07	0.0000711	1.86	0.00186
Nacimiento del Pluviómetro	778756	1697542	2.67	0.0026678	3.12	0.00312
Nacimiento 3	778712	1697535	0.02	0.0000181	0.17	0.00017
Nacimiento 4	778587	1697522	0.02	0.0000200	0.45	0.00045
Nacimiento 5	778265	1697589	0.01	0.0000122	0.12	0.00012
Nacimiento 6	778082	1697604	1.11	0.0011100	0.98	0.00098
Nacimiento 7	777706	1697650	0.04	0.0000358	1.48	0.00148
Nacimiento 8 (en el camino)	777615	1697714	1.85	0.0018531	1.96	0.00196
Cueva	777346	1697728	98.43	0.0984300	154.29	0.15429
Total			104.22	0.1042181	164.44	0.16444

El manantial 2 que se encuentra cerca de la estación climática en la parte media alta, proviene de una área de recarga que esta a mayor altitud, fuera de la microcuenca, pues su caudal se mantiene en la época de estiaje.



6.2 DATOS DE LOS CÁLCULOS DE RECARGA HIDRICA NATURAL POTENCIAL.

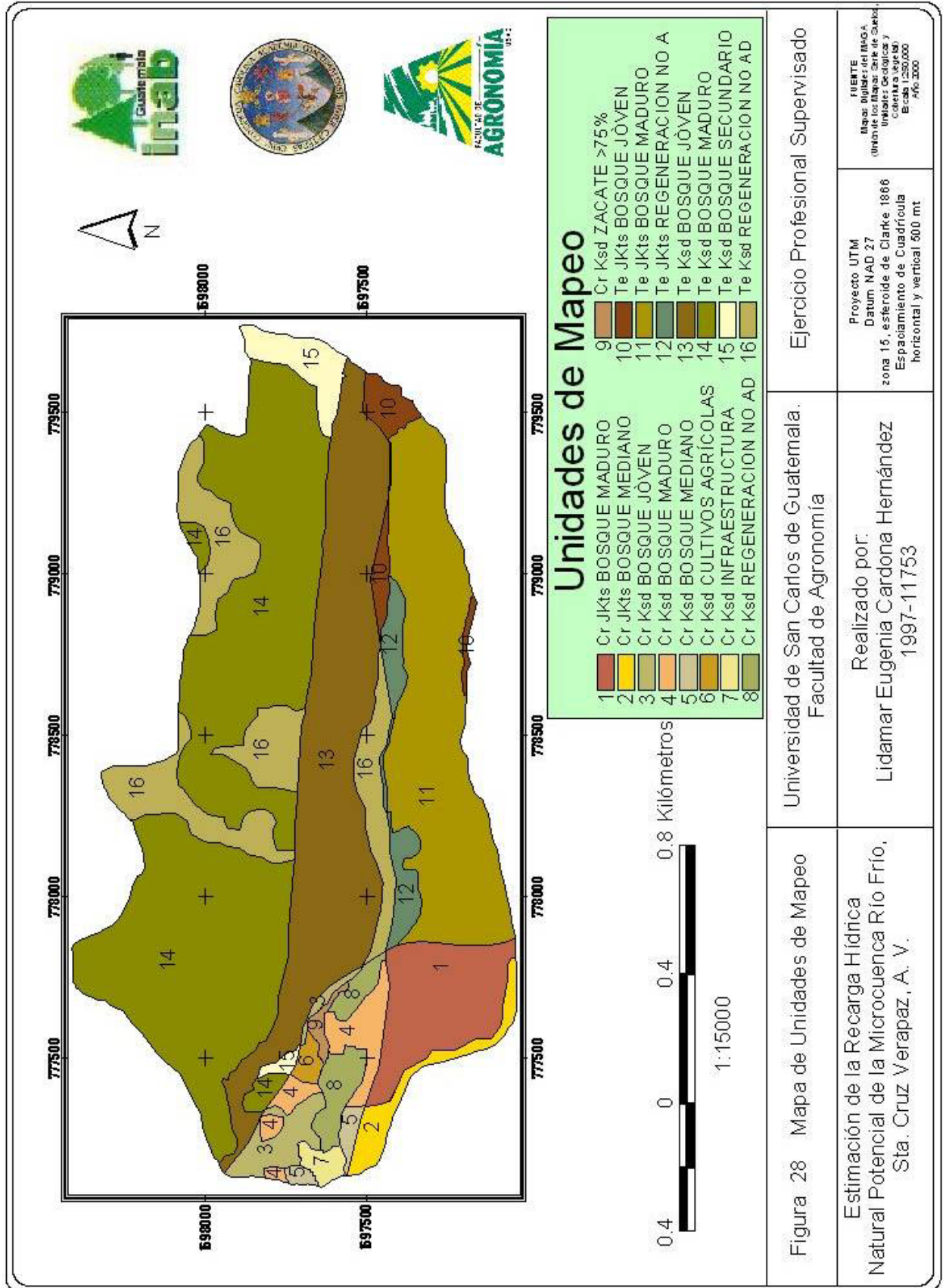
6.2.1 Unidades de Mapeo

Al sobreponer los mapas de serie de suelo, geología y cobertura vegetal, de la microcuenca Río Frío se obtuvieron 24 unidades de mapeo, pero se eliminaron aquellas áreas que eran menos de 0.05 ha, por no ser representativas, obteniendo en total 16 unidades de mapeo (ver figura 28).

La unidad 14 presenta el 34% de la superficie total, indicando que es la unidad más grande y la más alta ya que se encuentra a 1738 msnm (altura ponderada). Las unidades 11 y 13 son las unidades que tienen el 15.71% y 18.09%, de la totalidad del área de la microcuenca. Mientras las unidades de mapeo más pequeñas son: 5, 6, 7 y 9, representando 1.88% de toda el área de estudio.

Cuadro 21. Unidades de mapeo en la microcuenca Río Frío.

Código	Unidades de Mapeo	Área km ²	Área (ha)	%
1	Cr Jkts Bosque Maduro	0,1367	13,67	5,90
2	Cr Jkts Bosque Mediano	0,0396	3,96	1,71
3	Cr Ksd Bosque Joven	0,0419	4,19	1,81
4	Cr Ksd Bosque Maduro	0,0522	5,22	2,25
5	Cr Ksd Bosque Mediano	0,0136	1,36	0,59
6	Cr Ksd Cultivos Agrícolas	0,0099	0,99	0,43
7	Cr Ksd Infraestructura	0,0123	1,23	0,53
8	Cr Ksd Regeneración no adecuada	0,0437	4,37	1,89
9	Cr Ksd Zacate >75%	0,0076	0,76	0,33
10	Te Jkts bosque Joven	0,0398	3,98	1,72
11	Te Jkts Bosque Maduro	0,3641	36,41	15,71
12	Te Jkts Regeneración no adecuada	0,0493	4,93	2,13
13	Te Ksd Bosque Joven	0,4191	41,91	18,09
14	Te Ksd bosque Maduro	0,8099	80,99	34,96
15	Te Ksd Bosque Secundario	0,0487	4,87	2,10
16	Te Ksd Regeneración no adecuada	0,2285	22,85	9,86
Total		2,3169	231.69	100



Ejercicio Profesional Supervisado

Universidad de San Carlos de Guatemala.
Facultad de Agronomía

Figura 28 Mapa de Unidades de Mapeo

Estimación de la Recarga Hídrica
Natural Potencial de la Microcuencia Río Frio,
Sta. Cruz Verapaz, A. V.

Realizado por:
Lidamar Eugenia Cardona Hernández
1997-11753

Proyecto UTM
Datum NAD 27
zona 15, esferoide de Clarke 1866
Espaliamiento de Cuadrícula
horizontal y vertical 500 mt

FUENTE
Mapa Digital de INIAB
Unidad de Mapeo: Serie de Cuadros
Laboratorio de Geología y
Edificación
Escuela de Geología
1996-2000

6.2.2 Cálculo de la precipitación media mensual por unidad de mapeo

Se determinó la precipitación media mensual para cada unidad de mapeo, calculando una altitud msnm ponderada, para luego multiplicarla por el gradiente de la precipitación (precipitación de la estación alta menos la pp de la estación de la parte baja), y luego se sumó a la precipitación de la estación de la parte baja (ver figura 29).

Las unidades de mapeo 14, 15, 16, presentan mayor precipitación que favorece a la recarga hídrica en las partes altas.

Cuadro 22. Precipitación media mensual de cada unidad de mapeo

UM	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agos	Sep	Altitud Media (msnm)	Total (mm)
1	137,79	263,01	94,60	176,09	10,74	75,80	85,86	80,83	389,69	257,35	354,98	435,93	1482	2362,68
2	130,39	268,33	85,47	174,62	8,90	70,43	82,96	76,50	390,06	254,53	362,68	442,12	1468	2346,99
3	95,41	293,49	42,33	167,65	0,18	45,05	69,23	56,02	391,78	241,23	399,09	471,39	1401	2272,84
4	102,43	288,44	50,99	169,05	1,93	50,14	71,98	60,13	391,44	243,90	391,78	465,52	1415	2287,72
5	104,81	286,73	53,92	169,52	2,52	51,87	72,92	61,52	391,32	244,80	389,31	463,53	1419	2292,76
6	99,77	290,36	47,70	168,52	1,27	48,21	70,94	58,57	391,57	242,88	394,56	467,75	1410	2282,07
7	94,82	293,91	41,60	167,53	0,03	44,62	69,00	55,68	391,81	241,00	399,70	471,88	1400	2271,59
8	99,75	290,37	47,67	168,51	1,26	48,19	70,93	58,56	391,57	242,87	394,58	467,76	1410	2282,03
9	97,15	292,24	44,47	168,00	0,62	46,31	69,91	57,04	391,70	241,89	397,28	469,93	1405	2276,53
10	232,71	194,75	211,67	195,00	34,39	144,70	123,13	136,39	385,01	293,46	256,19	356,50	1662	2563,90
11	200,11	218,19	171,47	188,51	26,27	121,04	110,33	117,31	386,62	281,06	290,12	383,78	1600	2494,80
12	158,80	247,91	120,51	180,28	15,97	91,05	94,11	93,12	388,66	265,34	333,12	418,35	1522	2407,21
13	160,35	246,79	122,42	180,59	16,36	92,18	94,72	94,03	388,58	265,93	331,50	417,05	1525	2410,50
14	273,03	165,75	261,41	203,04	44,44	173,96	138,96	160,00	383,02	308,80	214,22	322,75	1738	2649,38
15	284,25	157,68	275,24	205,27	47,23	182,10	143,36	166,56	382,47	313,07	202,55	313,37	1760	2673,16
16	262,18	173,56	248,02	200,88	41,73	166,09	134,70	153,64	383,56	304,67	225,52	331,84	1718	2626,37

6.2.3 Cálculo de la evapotranspiración potencial mensual, por unidad de Mapeo

La evapotranspiración mensual se calculó con la misma metodología que se calculó la precipitación por unidad de mapeo, usando altitudes ponderadas y gradientes de evapotranspiración. La evapotranspiración disminuye cuando la elevación aumenta, por lo tanto las unidades 10, 14, 15, 16, presentan menor evapotranspiración potencial.

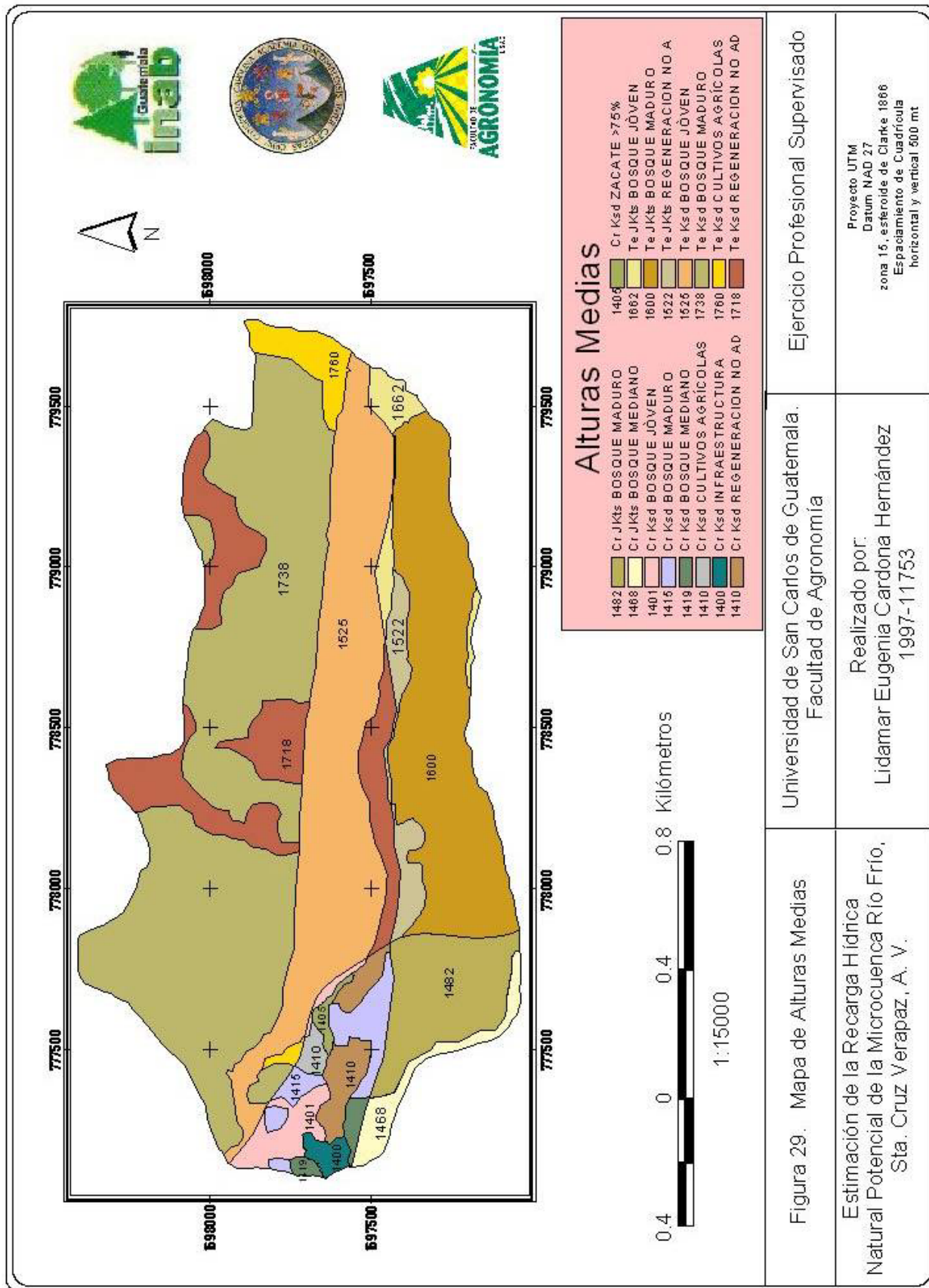


Figura 29. Mapa de Alturas Medias
 Estimación de la Recarga Hidrica Natural Potencial de la Microcuenca Río Frio, Sta. Cruz Verapaz, A. V.

Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Agronomía

Realizado por:
 Lidamar Eugenia Cardona Hernández
 1997-11753

Ejercicio Profesional Supervisado

Proyecto UTM
 Datum NAD 27
 zona 15, esferoide de Clarke 1866
 Espaciamiento de Cuadrícula horizontal y vertical 500 mt

Cuadro 23. Evapotranspiración potencial media mensual en mm por unidad de mapeo

UM	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abril	May	Jun	Jul	Agos	Sep	Altitud Media (msnm)	Total (mm)
1	124,50	101,16	82,80	77,05	93,15	130,19	140,40	151,37	151,59	154,69	151,21	136,34	1482	1494,4
2	125,09	102,03	82,09	78,09	93,50	130,65	140,70	151,97	153,17	156,02	153,02	137,54	1468	1503,9
3	127,92	106,13	78,76	82,99	140,55	132,82	142,13	154,81	160,67	162,32	161,60	143,25	1401	1593,9
4	127,35	137,43	79,43	82,01	107,65	132,38	141,84	154,24	159,16	161,06	159,88	142,10	1415	1584,5
5	127,16	109,55	79,65	81,67	96,51	132,23	141,75	154,05	158,65	160,63	159,30	141,71	1419	1542,9
6	127,57	168,70	79,17	82,38	120,15	132,55	141,95	154,46	159,73	161,54	160,53	142,54	1410	1631,3
7	127,97	226,66	78,70	83,08	143,31	132,85	142,15	154,86	160,79	162,43	161,74	143,34	1400	1717,9
8	127,57	168,94	79,17	82,38	120,24	132,55	141,95	154,46	159,74	161,54	160,54	142,54	1410	1631,6
9	127,78	199,35	78,92	82,75	132,40	132,71	142,06	154,67	160,29	162,01	161,17	142,96	1405	1677,1
10	116,82	90,03	91,86	63,74	88,70	124,32	136,53	143,66	131,25	137,57	127,94	120,87	1662	1373,3
11	119,46	93,85	88,75	68,31	90,23	126,34	137,86	146,31	138,24	143,45	135,93	126,18	1600	1414,9
12	122,80	98,69	84,81	74,10	92,17	128,89	139,54	149,67	147,09	150,90	146,06	132,91	1522	1467,6
13	122,67	98,51	84,95	73,89	92,10	128,80	139,48	149,54	146,76	150,62	145,68	132,66	1525	1465,7
14	113,56	85,30	95,71	58,09	86,81	121,83	134,88	140,39	122,61	130,31	118,05	114,29	1738	1321,8
15	112,66	83,98	96,78	56,51	86,29	121,13	134,43	139,48	120,21	128,28	115,30	112,47	1760	1307,5
16	114,44	86,56	94,68	59,60	87,32	122,50	135,32	141,27	124,93	132,25	120,70	116,05	1718	1335,6

6.2.4 Infiltración

A. Coeficiente o porcentaje de infiltración

La metodología de Schosinsky y Losilla (23) considera la infiltración básica de los suelos (f_c), la fracción que infiltra por pendiente (K_p) y cobertura (K_v). Se determinó el porcentaje de infiltración para cada una de las unidades de mapeo, en el cuadro 24, se reportan el resumen de los datos que oscilan de 27 al 100%.

El K_{fc} fracción que infiltra por efecto de la textura del suelo, encontramos en unidades 5 y 11 tiene un 94% y en la unidad 1 tiene un 11%. Con respecto a la pendiente que en la microcuenca tiene un relieve muy quebrado, no contribuye a la infiltración. Pero el aporte que hace la cobertura vegetal es muy importante, porque ayuda a que existe un alto grado de infiltración.

Cuadro 24. Coeficiente de infiltración por unidad de mapeo

Código	fc (mm/día)	Kfc (0,01%)	Kp (0,01%)	Kv (0,01%)	Infiltración (0,01%)
1	11,87	0,011	0,06	0,2	0,271
2	470,31	0,848	0,06	0,2	1
3	291,92	0,748	0,06	0,2	1
4	186,08	0,644	0,06	0,2	0,904
5	808,64	0,94	0,06	0,2	1
6	290,5	0,747	0,1	0,1	0,947
7	175,15	0,629	0,3	0,01	0,939
8	91,45	0,469	0,06	0,2	0,729
9	292,33	0,748	0,1	0,21	1
10	46,68	0,296	0,06	0,2	0,556
11	810,89	0,941	0,06	0,2	1
12	112,22	0,52	0,06	0,2	0,78
13	74,83	0,418	0,1	0,2	0,718
14	212,04	0,675	0,06	0,2	0,935
15	234,38	0,698	0,06	0,09	0,848
16	292,18	0,748	0,06	0,2	1

B. Infiltración Básica

En cada unidad de mapeo, se calculó la velocidad de infiltración (ver anexos) y los valores de infiltración básica.

6.2.5 Suelos

Con las muestras de suelos que se tomaron en cada una de las pruebas de infiltración, se realizó un análisis de las propiedades físicas, como textura, densidad aparente y constantes de humedad (CC PMP), en el cuadro 25 se presentan los resultados de laboratorio.

Estas propiedades tienen una gran relación con el movimiento y retención del agua en el suelo. Con respecto a la textura de los suelos de la microcuenca Río Frío son en su mayoría franco arenoso y franco, por lo que facilitan la infiltración. La propiedad de capacidad de campo en estas pruebas se puede ver que son muy altos los valores, lo que significa que hay una gran cantidad de materia orgánica.

Cuadro 25. Propiedades físicas de los suelos por unidad de mapeo

UM	Contenido de Humedad (%)		Densidad Aparente gr/cc	%			Clase textural
	1/3 atm	15 atm		Arcilla	Limo	Arena	
1	36.87	27.45	0.8333	50.78	29.4	19.82	Arcilloso
2	63.15	51.21	0.7018	6.3	38.18	55.52	Franco arenoso
3	32.55	24.27	0.8889	27.3	27.68	45.02	Franco arcilloso arenoso
4	58.28	45.6	0.7407	14.7	31.88	53.42	Franco arenoso
5	56.91	44.56	0.7692	6.3	23.48	70.22	Franco arenoso
6	58.29	38.25	0.8	25.58	29.78	44.64	Franco
7	39.31	28.35	0.8696	31.88	27.68	40.44	Franco arcilloso
8	34.79	29.13	0.8511	33.98	20.68	45.4	Franco arcilloso arenoso
9	39.79	29.4	0.888	25.2	29.78	45.02	Franco
10	60.54	48.68	0.6667	17.18	21.38	61.44	Franco arenoso
11	65.11	50.18	0.7273	10.88	21.38	67.74	Franco arenoso
12	95.23	35.98	0.8163	31.88	31.12	37	Franco arcilloso
13	34.35	22	0.8163	27.3	42.76	29.94	Franco
14	53.47	44.98	0.8889	57.08	16.8	26.12	Arcilloso
15	51.44	40.22	0.8889	42.83	21.38	36.24	Arcilloso
16	42.91	30.69	0.8511	29.8	33.98	36.24	Franco arcilloso

Fuente: Hoja de Resultados del Laboratorio de Suelos –Planta-Agua “Salvador Castillo Orellana”. Facultad de Agronomía, USAC.

6.2.6 Cobertura Vegetal

En la microcuenca predomina el bosque denso de coníferas ocupando el 58.82% del área, plantación de 7 años el 18.09% del área de la microcuenca, el bosque secundario en general ocupa 6.12%, y el resto esta ocupado de cultivos agrícolas, zacate, plantaciones de pino de diferentes edades.

En el cuadro 26 se describe el tipo de cobertura por unidad de mapeo y la profundidad radicular. La profundidad radicular determina la cantidad o lámina de agua que toman las plantas del suelo.

Cuadro 26. Cobertura Vegetal o uso de la tierra

Código	Unidades de Mapeo	Área km ²	Área (ha)	%
1	Bosque denso de Coníferas	0.1367	13.67	5.90
2	Plantación de 11 años	0.0396	3.96	1.71
3	Plantación de 3 años	0.0419	4.19	1.81
4	Bosque denso de Coníferas	0.0522	5.22	2.25
5	Plantación de 11 años	0.0136	1.36	0.59
6	Cultivos Agrícolas	0.0099	0.99	0.43
7	Infraestructura	0.0123	1.23	0.53
8	Bosque Secundario Bajo	0.0437	4.37	1.89
9	Zacate >75%	0.0076	0.76	0.33
10	Bosque Joven	0.0398	3.98	1.72
11	Bosque Denso de Coníferas	0.3641	36.41	15.71
12	Bosque Secundario Alto	0.0493	4.93	2.13
13	Plantación 7 años	0.4191	41.91	18.09
14	Bosque denso de Coníferas	0.8099	80.99	34.96
15	Matorrales	0.0487	4.87	2.10
16	Bosque Secundario Bajo	0.2285	22.85	9.86
	Área Total	2.3169	231.69	100

La mayor parte de cobertura vegetal en la microcuenca es de bosque, por lo tanto, la profundidad radicular predominante es de 2000 mm, en las unidades 1, 2, 3, 4, 5, 10, 11, 13, y 14. El valor de retención de lluvias en estas unidades es de 20%. En las unidades 6, 7, 9, y 15 que son de cobertura vegetal diferente la retención de lluvias es de 12%, el valor de profundidad radicular comprende de 600 a 1250 mm.

Cuadro 27. Cobertura Vegetal, retención y profundidad radicular por unidad de mapeo

Código	Unidades de Mapeo	Retención (0,01%)	Profundidad Radicular (mm)
1	Bosque denso de coníferas	0.2	2000
2	Bosque Mediano (plantación de 11 años)	0.2	2000
3	Bosque Joven (plantación de 3 años)	0.2	2000
4	Bosque Maduro (Bosque denso de coníferas)	0.2	2000
5	Bosque Mediano(plantación de 11 años)	0.2	2000
6	Cultivos Agrícolas	0.12	1000
7	Infraestructura	0.12	250
8	Bosque secundario bajo	0.2	1250
9	Zacate >75%	0.12	600
10	Bosque Joven	0.2	2000
11	Bosque Maduro (Bosque denso de coníferas)	0.2	2000
12	Bosque secundario alto	0.2	1250
13	Bosque Joven (plantación de 7 años)	0.2	2000
14	Bosque Maduro (Bosque denso de coníferas)	0.2	2000
15	Bosque Secundario (matorrales)	0.12	600
16	Bosque secundario bajo	0.2	1250

6.2.7 Balance Hídrico del Suelo

Para determinar el balance hídrico del suelo de la microcuenca de Río Frío se tomaron en cuenta los siguientes factores, el clima, el suelo, la topografía, y la cobertura vegetal (22). Este balance fue aplicado a 16 unidades de mapeo, definidas por la sobreposición del mapa de serie de suelos, geología y cobertura vegetal, esta última se nombro en forma general, para homogenizar estas unidades. Los volúmenes de recarga hídrica potencial obtenida de los 16 balances hídricos del suelo, se resumen en el cuadro 28.

Cuadro 28. Resumen de recarga hídrica potencial por unidad de mapeo

Código	Unidades de Mapeo	Área km ²	Recarga Potencial
			mm/año
1	Bosque denso de coníferas	0.1367	0.00
2	Bosque Mediano (plantación de 11 años)	0.0396	612.66
3	Bosque Joven (plantación de 3 años)	0.0419	593.03
4	Bosque Maduro (Bosque denso de coníferas)	0.0522	372.5
5	Bosque Mediano(plantación de 11 años)	0.0136	562.55
6	Cultivos Agrícolas	0.0099	592.59
7	Infraestructura	0.0123	672.4
8	Bosque secundario bajo	0.0437	216.85
9	Zacate >75%	0.0076	756.77
10	Bosque Joven	0.0398	35.69
11	Bosque Maduro (Bosque denso de coníferas)	0.3641	697.4
12	Bosque secundario alto	0.0493	168.6
13	Bosque Joven (plantación de 7 años)	0.4191	173.14
14	Bosque Maduro (Bosque denso de coníferas)	0.8099	730.6
15	Bosque Secundario (matorrales)	0.0487	772.43
16	Bosque secundario bajo	0.2285	837.6

Según el cuadro anterior solamente en la unidad de mapeo 1 (Cr JKts bosque maduro) no se presenta recarga hídrica, esta unidad representa el 5.90% del área de la microcuenca. Esto se debe a que el valor de la infiltración básica que presenta esta unidad es de 0.04 cm/h.

Mientras las unidades de la 2 a la 16 que abarcan el 94.1% de la microcuenca total, presentan recarga hídrica potencial, esto se deben que los valores de infiltración básica oscilan en 0.3811 a 3.37 cm/h. Los resultados de la infiltración básica se deben principalmente a la precipitación pluvial.

6.2.8 Áreas principales de recarga hídrica natural

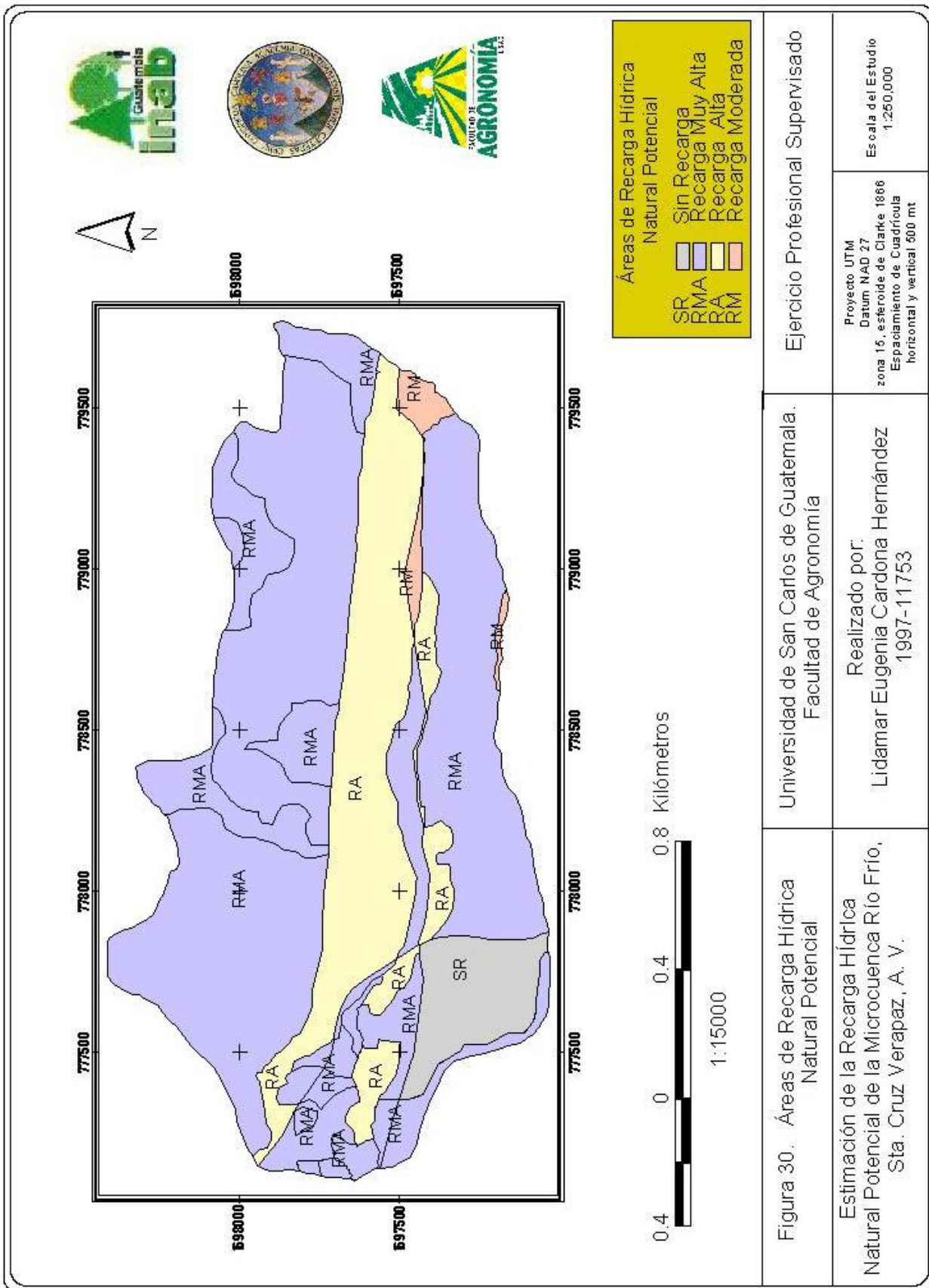
Para determinar las áreas de recarga hídrica natural se utilizaron los valores de recarga del balance hídrico mensual. En el cuadro 29 se encuentran las unidades de mapeo que según el balance hídrico de suelos mensuales tienen recarga, el porcentaje que aportan a la recarga total de la microcuenca Río Frío y la clasificación otorgada en base al volumen de recarga por kilómetro cuadrado.

Cuadro 29. Clasificación de recarga potencial por unidad de mapeo

Código	Unidades de Mapeo	Área km ²	Recarga Potencial			Recarga Potencial (%)	Clasificación
			mm/año	m ³ /km ²	m ³		
1	Bosque denso de Coníferas	0.1367	0	0	0	0	No hay recarga
2	Bosque mediano (plantación de 11 años)	0.0396	612.66	612660	24,261.34	7.86	Muy Alta
3	Bosque joven (plantación de 3 años)	0.0419	593.03	593030	24,847.96	7.61	Muy Alta
4	Bosque maduro (Bosque denso de coníferas)	0.0522	372.5	372500	19,444.50	4.78	Muy Alta
5	Bosque mediano (plantación de 11 años)	0.0136	562.55	562550	7,650.68	7.22	Muy Alta
6	Cultivos agrícolas	0.0099	592.59	592590	5,866.64	7.6	Muy Alta
7	Infraestructura	0.0123	672.4	672400	8,270.52	8.63	Muy Alta
8	Bosque secundario bajo	0.0437	216.85	216850	9,476.35	2.78	Alta
9	zacate >75%	0.0076	756.77	756770	5,751.45	9.71	Muy Alta
10	Bosque joven (plantación de 5 años)	0.0398	35.69	35690	1,420.46	0.46	Moderada
11	Bosque maduro (Bosque denso de coníferas)	0.3641	697.4	697400	253,923.34	8.95	Muy Alta
12	Bosque secundario alto	0.0493	168.6	168600	8,311.98	2.16	Alta
13	Bosque joven (plantación de 7 años)	0.4191	173.14	173140	72,562.97	2.22	Alta
14	Bosque maduro (Bosque denso de coníferas)	0.8099	730.6	730600	591,712.94	9.37	Muy Alta
15	Bosque secundario (matorrales)	0.0487	772.43	772430	37,617.34	9.91	Muy Alta
16	Bosque secundario bajo	0.2285	837.6	837600	191,391.60	10.75	Muy Alta
	Total	2.3169			11,262,510.07	100	

La unidades de mapeo 2, 3, 4, 5, 6, 7, 9, 11,14, 15, y 16 se clasifican con la categoría de recarga muy alta, debido a que tienen recarga potencial mayor de 300,000 m³/km², aportando el 92.39% de la recarga total de la microcuenca Río Frío, y el valor de infiltración básica oscilan en 0.7298 cm/h a 3.3787 cm/h, estas unidades también tienen alta cantidad de materia orgánica en descomposición. Las unidades 8, 12, 13, se clasifican como área de alta recarga hídrica, porque presenta datos de 168,600 m³ / km² a 216,850 m³ / km² aportando 7.16% de la recarga total presentando valores de infiltración básica de 0.3118 a 0.4676 cm/h, en especial las unidades 8 y 12 tienen una

cobertura de regeneración no adecuada, por lo que el suelo esta en cierta manera al descubierto. Y existe más escorrentía superficial. Y sola la unidad 10 tienen una categoría moderada de recarga hídrica natural, ya que presenta valores entre los rangos de 50,000 a 150,000. Tomando en cuenta que tiene un buen valor de infiltración básica 0.1945 cm/h, pueden afectar a esta unidad la pendiente, origen del suelo (ver figura 30).



<p>Figura 30. Áreas de Recarga Hídrica Natural Potencial</p>	<p>Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Agronomía</p>	<p>Ejercicio Profesional Supervisado</p>
<p>Estimación de la Recarga Hídrica Natural Potencial de la Microcuencia Río Frio, Sta. Cruz Verapaz, A. V.</p>	<p>Realizado por: Lidamar Eugenia Cardona Hernández 1997-11753</p>	<p>Proyecto UTM Datum NAD 27 zona 15, esteroide de Clarke 1886 Espalamiento de Cuadrícula horizontal y vertical 500 mt Escala del Estudio 1:250,000</p>

6.2.9 Áreas críticas de recarga hídrica natural potencial

Para priorizar las áreas críticas de recarga se evaluaron las condiciones de geología, infiltración básica, recarga anual y pendiente consultando sus debidas matrices.

En el cuadro siguiente se encuentran las áreas de susceptibilidad en principales áreas de recarga.

Cuadro 30. Clasificación de susceptibilidad en principales áreas de recarga potencial

Unidades de Mapeo	Recarga Potencial	Geología	Código asignado			Total	Categoría de Susceptibilidad
			Infiltración Básica (cm/h)	Recarga anual (mm)	Pendiente %		
1	Sin recarga	2	3	0	0	5	Baja
2	Muy Alta	2	0	4	3	9	Moderada
3	Muy Alta	2	0	4	3	9	Moderada
4	Muy Alta	2	0	4	3	9	Moderada
5	Muy Alta	2	0	4	3	9	Moderada
6	Muy Alta	2	0	4	3	9	Moderada
7	Muy Alta	2	0	4	3	9	Moderada
8	Alta	2	1	4	4	11	Alto
9	Muy Alta	2	0	4	3	9	Moderada
10	Moderada	2	1	0	0	3	Baja
11	Muy Alta	2	0	4	3	9	Moderada
12	Alta	2	1	3	4	10	Alto
13	Alta	2	1	3	4	10	Alto
14	Muy Alta	2	0	4	3	9	Moderada
15	Muy Alta	2	0	4	3	9	Moderada
16	Muy Alta	2	0	4	3	9	Moderada

El área de susceptibilidad alta es la de recarga alta, esto toma mayor relevancia porque en estas áreas se encuentran los manantiales que enriquecen el cauce principal de la microcuenca Río Frío. En el área de susceptibilidad alta se encuentran las áreas de regeneración no adecuada o bosque secundario alto y bajo y la plantación de pino de 7 años de edad, representando así el 22.11% del área total de la microcuenca.

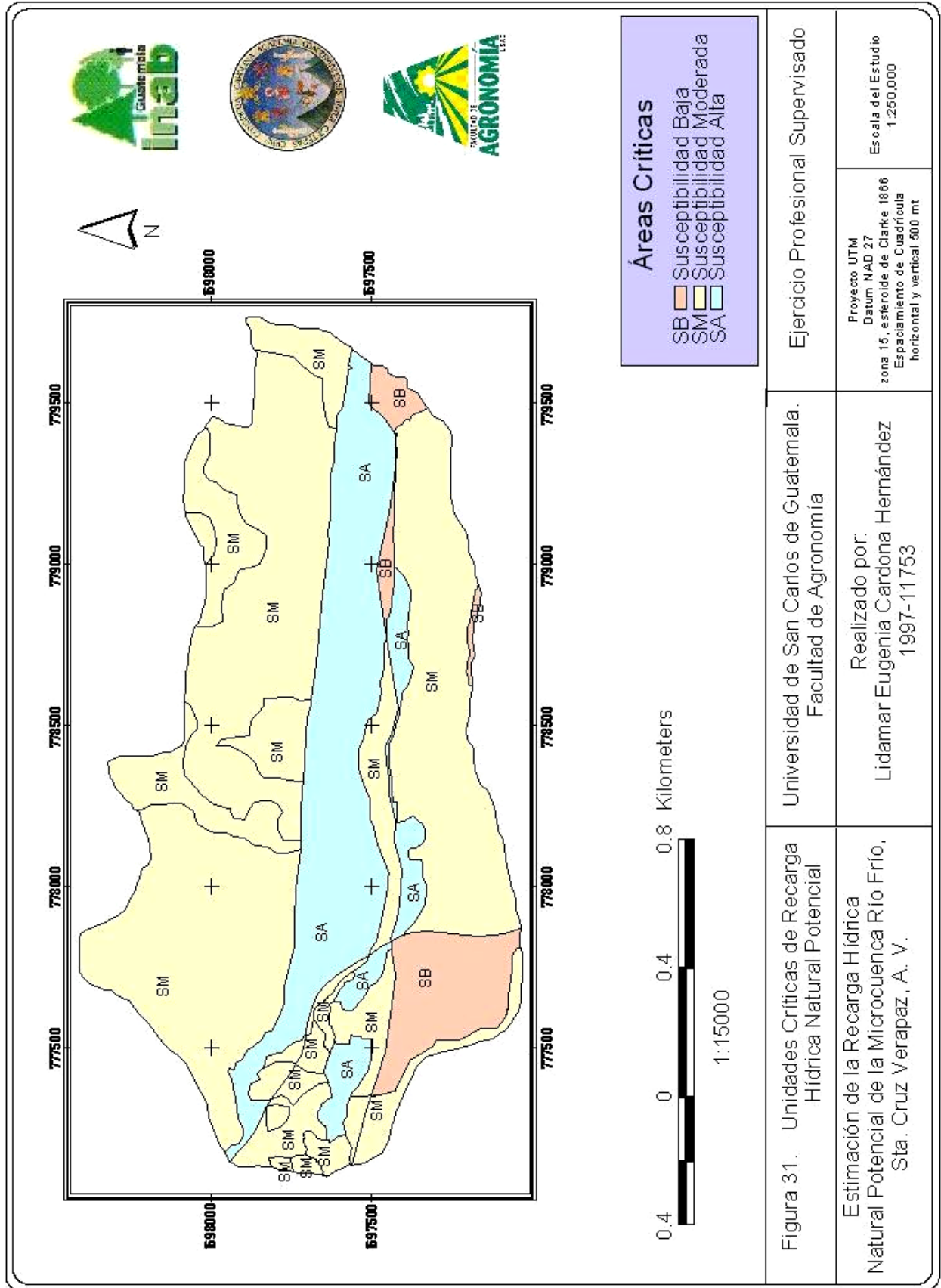


Figura 31. Unidades Críticas de Recarga Hídrica Natural Potencial

Estimación de la Recarga Hídrica Natural Potencial de la Microcuenca Río Frío, Sta. Cruz Verapaz, A. V.

Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Agronomía

Realizado por:
Lidamar Eugenia Cardona Hernández
1997-11753

Ejercicio Profesional Supervisado

6.3 BALANCE HIDROLÓGICO DE LA MICROCUENCA RÍO FRÍO

Para el cálculo del balance hidrológico se usaron los datos de precipitación pluvial, evapotranspiración, caudales del río y los aforos a los manantiales. La ecuación del balance hidrológico es la siguiente:

$$\text{Entradas} = \text{Salidas} \pm \text{Variación de almacenamiento}$$

Las entradas de la microcuenca Río Frío consisten en la precipitación pluvial. Y las salidas están determinadas por el flujo de ríos en los puntos de aforo y por la evapotranspiración.

Para el cálculo de cada uno de los factores de entrada y salida del balance hidrológico se procedió de la siguiente manera.

6.3.1 Precipitación Pluvial

La precipitación media se obtuvo por medio del método de las isoyetas. En el cuadro 31 se presenta los valores y áreas de cada isoyeta dando como resultado final la precipitación media de la microcuenca Río Frío.

Cuadro 31. Precipitación Media por medio de Isoyetas.

Isoyetas (mm)	Área (ha)	Precipitación Media (mm)	Área *Precipitación
2181-2298	9.672	2239.5	21660.44
2298-2415	63.45	2356.5	149519.93
2415-2532	51.809	2473.5	128149.56
2532-2649	42.598	2590.5	110350.12
2649-2766	34.099	2707.5	92323.04
2766-2883	30.063	2824.5	84912.94
Sumatoria	231.691		586916.04

$$P_m = 586916.04 / 231.91 = 2533.1844 \text{ mm}$$

6.3.2 Evapotranspiración

Corresponde a la evapotranspiración potencial de la vegetación del área, la cual se obtuvo por medio del cálculo de isopletras anuales. En el cuadro 32 se observan los valores y áreas de cada isopletra, para dar como resultado final la evapotranspiración media anual de la microcuenca en estudio (ver figura 33).

Cuadro 32. Evapotranspiración Potencial Anual

Isopletras (mm)	Área (ha)	Evapotranspiración Media (mm)	Área*Evapotranspiración
1606-1536	9.672	1571	15194.71
1536-1466	63.45	1501	95238.45
1466-1396	51.809	1431	74138.68
1396-1326	42.598	1361	57975.88
1326-1256	34.099	1291	44021.81
1256-1186	30.063	1221	36706.92
Sumatoria	231.691		323276.45

$$\text{Evapotranspiración} = 323276.45/231.69 = 1395.30 \text{ mm}$$

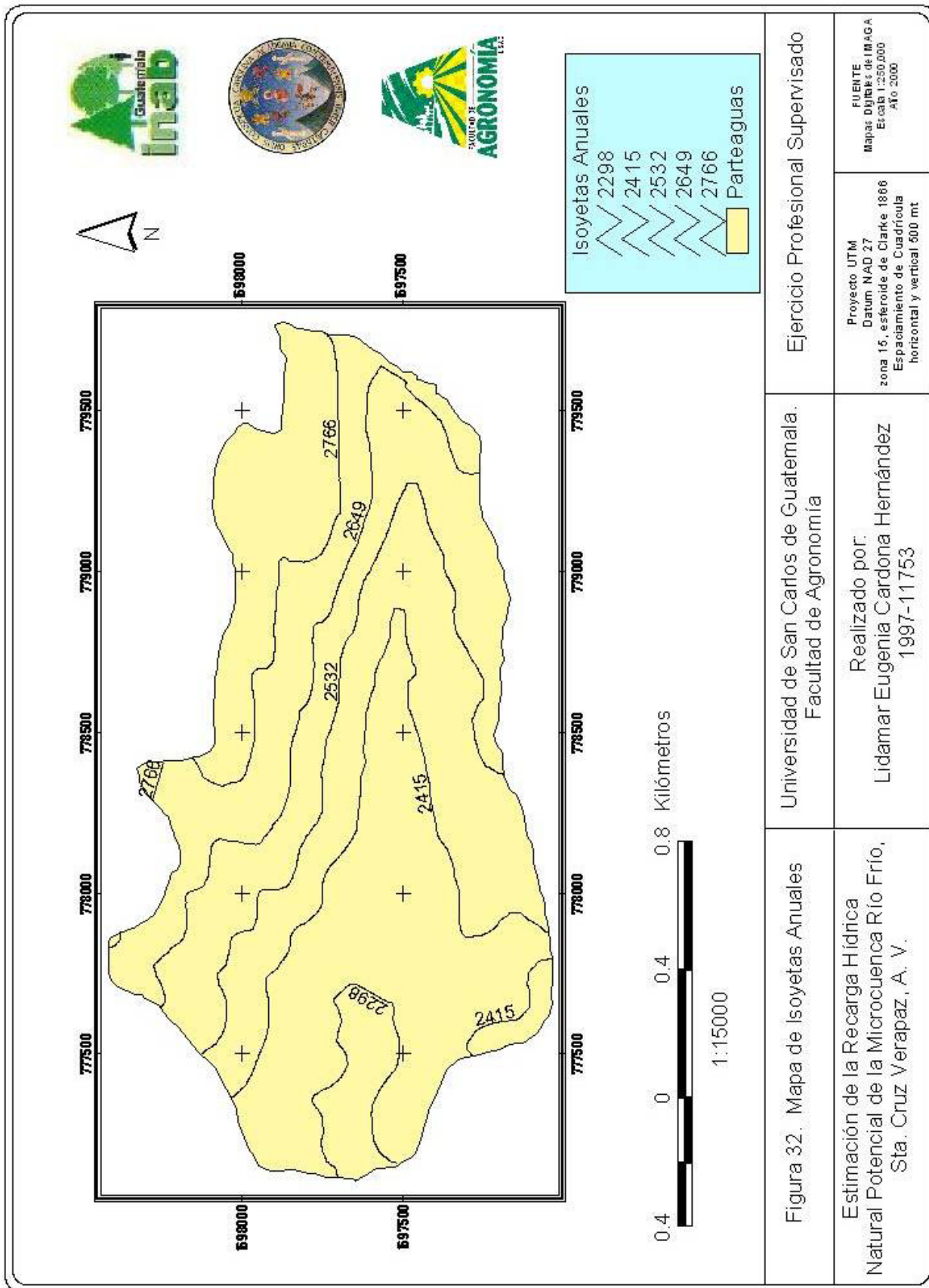


Figura 32. Mapa de Isoyetas Anuales
 Estimación de la Recarga Hídrica
 Natural Potencial de la Microcuenca Río Frio,
 Sta. Cruz Verapaz, A. V.

Realizado por:
 Lidamar Eugenia Cardona Hernández
 1997-11753

Universidad de San Carlos de Guatemala.
 Facultad de Agronomía

Ejercicio Profesional Supervisado

Proyecto UTM
 Datum NAD 27
 zona 15, esferoide de Clarke 1886
 Espaliamiento de Cuadrícula
 horizontal y vertical 500 mt

FUENTE
 Mapa Digital de INAB
 Escala 1:250,000
 Año 2000

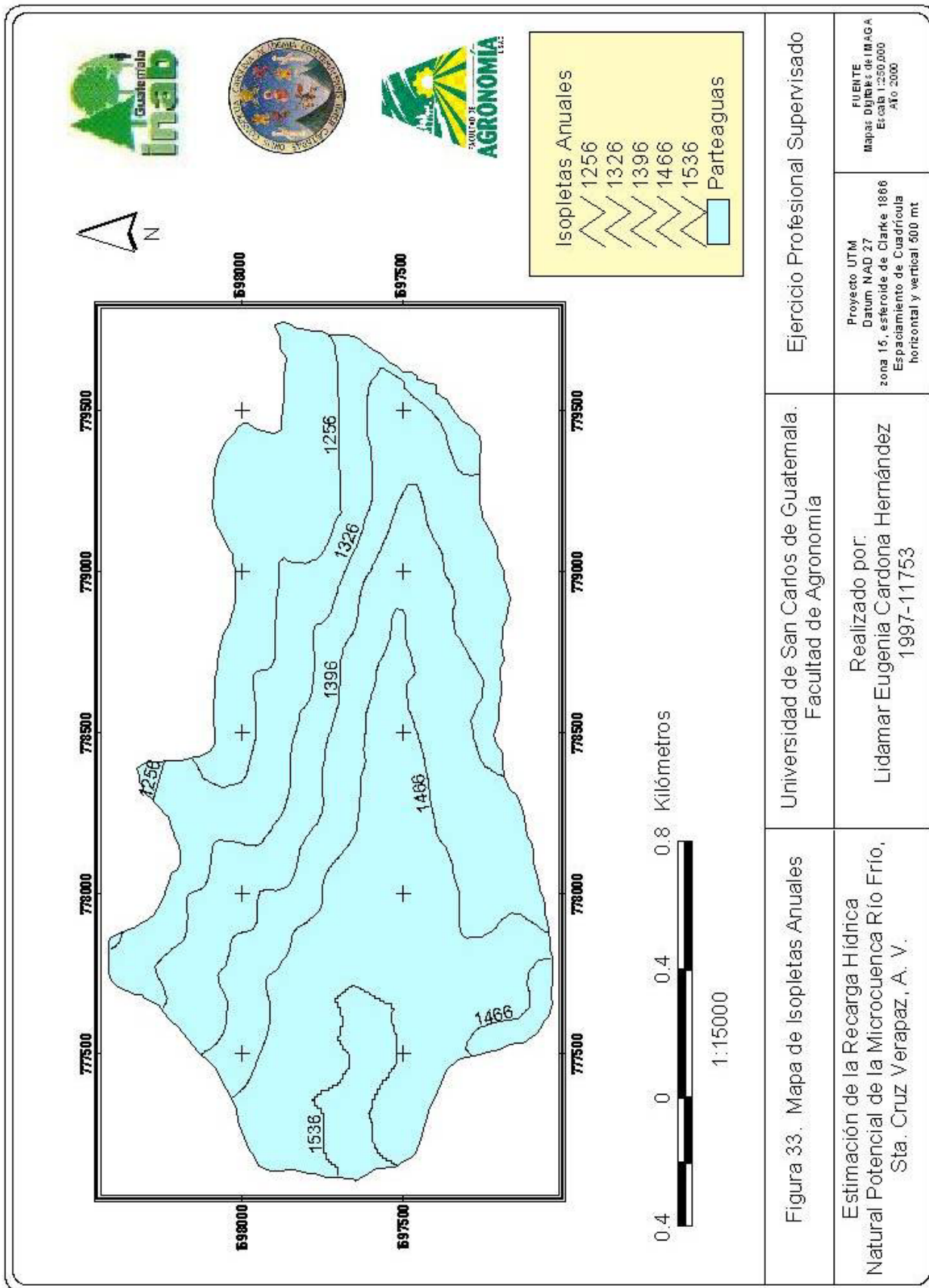


Figura 33. Mapa de Isoplethas Anuales Natural Potencial de la Microcuenca Río Frio, Sta. Cruz Verapaz, A. V.

6.3.3 Escorrentía

Cuadro 33. Caudales mensuales de la microcuenca Río Frío, Santa, Cruz Verapaz,

MES	Q (L/s) mensual	Q (m ³ /s) mensual
Diciembre 2004	67,56	0,0676
Enero 2005	39,70	0,0397
Febrero 2005	19,74	0,0197
Marzo 2005	19,03	0,0190
Abril 2005	14,84	0,0148
Mayo 2005	10,78	0,0108
Junio 2005	22,41	0,0224
Julio 2005	36,67	0,0367
Agosto 2005	42,23	0,0422
Septiembre 2005	67,19	0,0672
Octubre 2005	53,09	0,0531
Noviembre 2005	43,45	0,0435
Promedio Anual	36,39166	0,036392

$0.036392 \text{ m}^3/\text{s} * 3600 \text{ s} / 1 \text{ hora} * 24 \text{ h} / 1 \text{ día} * 365 \text{ días} / 1 \text{ año} = 1147658.112 \text{ m}^3/\text{año}$

Escorrentía = $1147658.112 \text{ m}^3/\text{año}/2316900 \text{ m}^2 = 0.49534 \text{ m} = 495.34 \text{ mm}$

Cuadro 34. Resumen del Balance Hidrológico de la microcuenca Río Frío

Entradas	Salidas	Almacenamiento
Precipitación = 2533.18 mm	Escorrentía = 495.34 mm	
	Evapotranspiración = 1395.30	
Total = 2533.18	Total = 1890.64	Total = 643 mm

Según los cálculos del balance hidrológico en la microcuenca Río Frío, si existe almacenamiento o recarga hídrica de 643 mm anuales.

Cuadro 35. Comparación del balance hídrico del suelo con el balance hidrológico de la microcuenca Río Frío

Factor	Caudal mm/año		Diferencia (mm/año)
	Balance Hídrico del Suelo (Estimado)	Balance Hidrológico (Medido)	
Recarga potencial	544.913	643.00	-98.08

La recarga hídrica calculada sobrepasa al resultado que se obtuvo con los balances hídricos del suelo, debido a que este incluye datos como pendientes, propiedades físicas del suelo, cobertura vegetal, velocidad de infiltración. Y, su análisis es para cada unidad de muestreo. Mientras que la recarga hídrica medida, se obtuvo con el balance hidrológico y este solo toma en cuenta la precipitación, evapotranspiración, escorrentía y su análisis es en forma general.

6.4 LINEAMIENTOS DE MANEJO FORESTAL PARA EL ADECUADO MANEJO DE LAS ÁREAS CRÍTICAS DE RECARGA HÍDRICA NATURAL POTENCIAL EN LA MICROCUENCA RÍO FRÍO.

La microcuenca Río Frío, es una unidad experimental de investigaciones bajo el concepto de hidrología-forestal. Por eso es importante que se tomen en cuenta las siguientes recomendaciones, porque por medio de ellas se pretende definir criterios sobre los aspectos hidrológicos que deben de considerarse en la elaboración de planes de manejo, en lugares con condiciones similares. Los lineamientos como las recomendaciones que se presentan en este inciso es una adaptación del documento de Impacto hidrológico del manejo forestal de bosques naturales tropicales de Stadtmüller.

En el manejo forestal hay que aceptar cierta alteración a nivel de erosión. Pero esta erosión es temporal y controlable. Además, el daño ocasionado a la vegetación y suelo puede ser evitado con una cuidadosa planificación y ejecución de extracción (24). Dentro de esta planificación es necesario tomar en cuenta las áreas críticas de recarga natural que son en este caso las unidades de mapeo 8, 12 y 13. La cuales pertenecen a regeneración no adecuada y la plantación de 7 años de edad, esta última de suma importancia pues se encuentran 8 nacimientos principales de los nueve que existen en la

microcuenca. Por lo tanto, hay que considerarlas también en la planificación de intervenciones y en la red de caminos.

6.4.1 Control del impacto hidrológico en las prácticas silviculturales y operaciones de manejo.

En las áreas críticas de recarga se recomienda no remover más de un 30% o hasta un 45% del área basal, para que el impacto sea mínimo a raíz de las intervenciones silviculturales como algunas operaciones de manejo. Y, así permitir con el cumplimiento de las funciones hidrológicas de la cobertura forestal. La tala de los árboles debe ejecutarse de manera que los árboles queden en un ángulo de 45 ° hacia las pistas de arrastre para que sea la extracción directa. Cuando se realicen talas en la plantación de pino de 7 años de edad, es recomendable usar la técnica de tala dirigida, equipo y herramienta adecuada, supervisión profesional, esto es para reducir el daño a los rodales de esta unidad. En esta área antes de la tala, es recomendable cortar lianas que amaran varios árboles para que no descontrolen la dirección de la caída o derribé otros árboles junto con el árbol a talar. La tala de los árboles debe de efectuarse previamente durante la época lluviosa.

En la microcuenca Río Frío, cuenta con pendientes muy pronunciadas por lo tanto se recomienda realizar intervenciones donde se remueva un solo porcentaje bajo del área basal.

6.4.2 Control del Impacto hidrológico de la extracción de trozas

Para extraer las trozas de las áreas críticas, debe de planificarse y organizarse para que no tenga un impacto negativo en el recurso hídrico. Se recomienda que para esta actividad se tenga maquinaria adecuada, para que las trozas no realicen el efecto de arado y cause problemas de sedimentación. El uso de animales para la extracción, se recomiendan que se use en este lugar, pues se han tenido resultados favorables con respecto a la protección del suelo y cobertura del material orgánico se refiere.

Los cargaderos dentro de la microcuenca deben de ubicarse en una zona firme y seca, retirados lo más posible del cauce principal. Al terminar el aprovechamiento los cargaderos deben de ser tratados con siembra o reforestándolos. Es necesario capacitar

al personal de la finca donde esta ubicada la microcuenca, para los trabajos de extracción, y así lograr que el impacto ambiental de esta actividad sea mínimo.

La extracción no debe efectuarse durante la época lluviosa, para evitar que las pistas se conviertan en focos importantes de erosión y zonas de aportes de sedimentos (24).

6.4.3 Adecuado manejo forestal para la conservación del recurso hídrico

La microcuenca Río Frío cuenta con un alto porcentaje de recurso hídrico. Distribuidos en nueve nacimientos, que alimentan el caudal principal. Por lo que es necesario definirlos como zona de protección, para minimizar la erosión de los suelos en las prácticas de manejo forestal. Para ello se propone en el cuadro 36 la distancia horizontal de acuerdo al tipo de agua.

Cuadro 36. Distancias horizontales de acuerdo al cuerpo de Agua

Variable	Distancia horizontal mínima para definir zonas de protección forestal de acuerdo al cuerpo de agua	
	Nacimientos	Ríos
Pendiente (%)		
< 32	50 m	50 m
32-60	75 m	50 m
> 60	100m	75m

6.4.4 Control del impacto de los caminos y pistas de arrastre en la microcuenca Río Frío.

Las pistas y camino mal ubicado, mal diseñado y mal mantenido son los elementos que aportan la mayoría de los sedimentos a los ríos, causando así el impacto hidrológico más problemático (24).

Es necesario aplicar balasto y compactar el camino permanente de la microcuenca que esta ubicado en una de las áreas críticas de recarga. Esto reduce el 75% de erosión, y garantiza poder ser usado en la época lluviosa, para la extracción de madera apilada a lo largo del camino. Para las operaciones de manejo y prácticas silviculturales es imprescindible planificar la construcción de caminos, pistas de arrastre y cargaderos antes de iniciar el trabajo. Las áreas con pendientes fuertes y cerca de nacimientos no se deberán construir caminos.

La microcuenca Río Frío, cuenta con varias pistas de arrastre en las cuales hay que cruzar el río, por lo que se recomienda cruzar el río en un ángulo recto, usando puentes o tubos. Las construcciones no permanentes deben ser removidas después de la extracción de trozas.

La construcción de caminos debe ejecutarse durante la época seca, y diseñarse de tal manera que la extracción se realice cuesta arriba para evitar el problema de sedimentación en la microcuenca Río Frío.

Para el manejo adecuado de las áreas críticas de recarga hídrica de la microcuenca Río Frío, se recomienda mantener la cobertura forestal para que cumpla su función estabilizadora. Realizar extracciones cuidadosas, combinada con el diseño, construcción y mantenimientos de caminos y pistas de arrastre, para garantizar un impacto sobre los recursos hídricos bajo del manejo forestal, para garantizar un caudal durante todo el año.

7. CONCLUSIONES

1. Se determinó que la unidad de mapeo 1, Bosque denso de Coníferas es un área en la que no existe recarga hídrica y corresponde al 5.90% del área total de la microcuenca. Mientras que la unidad de mapeo 10, Bosque Joven, su capacidad de recarga potencial es moderada, y esta área corresponde al 1.72 % del total de la unidad de estudio. Las unidades de mapeo con una capacidad alta de recarga, son las unidades 8, Bosque secundario bajo, unidad 12, Bosque secundario alto y la unidad 13, plantación de 7 años de edad. Estas unidades en conjunto corresponden a 22.11% del total de la microcuenca. El 70.28 % de la microcuenca son áreas de recarga muy alta y la constituyen las unidades 2, 3, 4, 5, 6, 7, 9, 11, 14, 15 y 16.
2. En la microcuenca Río Frío, las principales áreas de recarga natural potencial se encuentran distribuidas en toda el área, iniciando con altitudes de 1420 msnm y en 1940 msnm. Donde se tienen intervalos de 372,500 m³/km² a 837,600 m³/km², aportando el 92.58 % de recarga muy alta en la microcuenca.
3. De los 9 nacimientos que se aforaron en la microcuenca, tanto en la época seca como en la época lluviosa, se pudo observar que ocho de ellos varían significativamente en la cantidad de agua. Mientras que el nacimiento que se encuentra ubicado en las coordenadas UTM 778756-1697542, a la par de la estación climática en la parte alta, su caudal en época seca es de 0.00266 m³/s, y en la época lluviosa es de 0.00312 m³/s, variación mínima lo que significa que este nacimiento puede ser un aporte externo o pertenece a un acuífero regional, ya que no existe ninguna variación significativa en el caudal.
4. La evapotranspiración potencial es alta en esta microcuenca, por ser 99% forestal, y con una gran variedad de tipos de bosques entre los cuales hay bosque mixto, bosque latifoliado, bosque de coníferas y plantaciones de pino de 3, 5, 7 y 11 años de edad.

5. La variación de los valores de salidas con las entradas a la microcuenca, se debe a que la geología de esta zona es kárstica, lo que implica que parte de la escorrentía pase de una manera subsuperficial, y otra parte percole a los acuíferos.

6. La diferencia de recarga hídrica usando los balances hídricos del suelo y el balance hidrológico es de -98.08 mm/año. Esto se debe que el balance hídrico del suelo es por unidad de mapeo, lo que lo hace tomar varios factores, Mientras el balance hidrológico es en forma general pues es a nivel de cuenca, lo que lo hace sobrestimar los datos. Pero la diferencia no es mucha, lo que significa que ambos balances son confiables, para usarse en cualquier estudio hídrico.

8. RECOMENDACIONES

1. Para realizar una investigación completa de Recarga Hídrica en la microcuenca Río Frío, es necesario que se instale otra estación climática, en la parte más alta de dicha microcuenca, para reforzar más el comportamiento de las variables climáticas.
2. Equipar las estaciones climáticas con un tanque de evapotranspiración tipo "A", pluviógrafos, anemómetro, radiación solar, etc. Porque es necesario que las investigaciones sean más profundas, por ser una microcuenca modelo-experimental, que está generando información importante a nivel nacional.
3. Es necesario que se realicen investigaciones para evaluar el servicio del bosque en cuanto a la calidad de agua, tomando muestras en diferentes partes del cauce principal en la época de lluvia.
4. Realizar investigación hidrogeológica, para conocer el comportamiento del material parental con respecto al recurso hídrico, información que puede ser de utilidad para las condiciones del área de estudio o similares.
5. Para las áreas críticas de susceptibilidad a la recarga se recomienda que se les de un manejo adecuado, tomando en cuenta los tres tipos de impacto hidrológico: a.) el de la tala; que siguiendo principios técnicos adecuados esto puede disminuir. b.) El impacto por la extracción de trozas en raleos; debe de ser el mínimo de 30% del total, y por último, c.) Por caminos y pistas de arrastre; esta actividad debe ser bien planificada, y no deben estar estas construcciones cerca de los nacimientos y ríos.

9. BIBLIOGRAFÍA

1. Baumgartner, A. 1970. Vaporization in forests. *In* The joint FAO / USSR International Symposium on Forest Influences and Watershed Management (1970, Moscow, USSR). Proceedings. s.n.t. p. 70-92.
2. Cabrera C, A. 1997. Determinación de políticas de explotación de las aguas subterráneas para las aldeas de San José Pacul y Pachali del municipio de Santiago Sacatepéquez, Guatemala. Tesis Ing. Agr. Guatemala, USAC. 52 p.
3. Cruz, JR De la. 1981. Clasificación de zonas de vida de Guatemala a nivel de reconocimiento: sistema Holdridge. Guatemala, Instituto Nacional Forestal. 24 p.
4. Custodio, E; Llamas, MR. 2001. Hidrología subterránea. 2 ed. Barcelona, España, Omega. v. 1-2, 2350 p.
5. FAUSAC (USAC, Facultad de Agronomía, Laboratorio de Suelo-Planta-Agua, GT). 2006. Resultados de análisis físico de 16 muestras de suelo de la microcuenca Río Frío, Santa Cruz Verapaz, Alta Verapaz (correspondencia personal). Guatemala. 1 p.
6. Heelett, JD. 1970. Review of the experiment to determine water yield. *In* The joint FAO / USSR International Symposium on Forest Influences and Watershed Management (1970, Moscow, USSR). Proceedings. s.n.t. p. 145-155.
7. Herrera Ibáñez, I. 1995. Manual de hidrología. Guatemala, USAC, Facultad de Agronomía. 223 p.
8. Herrera Ibáñez, I. 1998. Reconocimiento hidrogeológico de la cuenca del río Iztapa, Departamento de Chimaltenango, Guatemala. Tesis MSc. Costa Rica, Universidad de Costa Rica. 104 p.
9. _____. 2002. Hidrogeología práctica. Guatemala, USAC, Facultad de Agronomía. 70-190 p.
10. _____. 2004. Estudio hidrogeológico de la parte norte de la caldera del lago de Atitlán, Guatemala. *In* Encuentro de estudiantes de maestría de la Red CARA (1., 2004, Escuintla, Guatemala). Guatemala, USAC, Facultad de Agronomía. 1 CD.
11. IGN (Instituto Geográfico Nacional, GT). 1982. Mapa topográfico de la república de Guatemala, hoja Cobán no. 2162-III. Guatemala. Esc. 1:50,000. Color.
12. INAB (Instituto Nacional de Bosques, GT). 1998. Ley forestal, decreto legislativo no. 106-96. Guatemala, Asociación Centroamericana de Comunicación para el Desarrollo Humano "Hombres de Maíz". 27 p.

13. _____. 2003. Consideraciones técnicas y propuestas de normas de manejo forestal para la conservación de suelo y agua. Guatemala. 34 p.
14. _____. 2003. Metodología para la determinación de áreas de recarga hídrica natural INAB-FAUSAC. Sin publicar.
15. Johnson, EE. 1975. El agua subterránea y los pozos. Minnesota, US, Johnson. 513 p.
16. Lara Alecio, R. 2004. Los recursos hídricos mundiales (correspondencia personal). Guatemala, USAC, Facultad de Agronomía. 2 p.
17. Linsley, A. 1988. Hidrología para ingenieros. 2 ed. México, México, McGraw-Hill. 386 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; Navarro, J. 1996. Hidrología forestal el ciclo hidrológico – manual x textos Valladolid, España, Universitario Ciencias no 18. p. 19,12, 15, 45, 51, 179, 199.
20. Molchanov, AA. 1970. Precipitation cycles in various natural zones and in individual forest types. *In* The joint FAO / USSR International Symposium on Forest Influences and Watershed Management (1970, Moscow, USSR). Proceedings. s.n.t. p. 28-40.
21. Noriega, JP. 2005. Determinación de las áreas principales de recarga hídrica natural en la microcuenca del río Sibacá, Chinique, Quiche. Tesis Ing. Agr. Guatemala, USAC. 68 p.
22. Sandoval Illescas, JE. 1989. Principios de riego y drenaje. Guatemala, USAC, Facultad de Agronomía. 345 p.
23. 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.
24. Simmons, C; Tárano, JM; Pinto, JH. 1959. Clasificación a nivel de reconocimiento de los suelos de la república de Guatemala. Trad. por Pedro Tirado Sulsona. Guatemala, José De Pineda Ibarra. 1000 p.
25. Stadtmüller, T. 1994. Impacto hidrológico del manejo forestal de bosques naturales tropicales: medida para mitigarlo. Turrialba, Costa Rica, CATIE, Proyecto Silvicultura de Bosques Naturales. 7 p. (Serie Técnica, Informe Técnico no. 240).
26. Tax Marroquín, MA. 2004. Diagnóstico y generación de información hidrológica básica de la microcuenca del río frío, Santa Cruz Verapaz, Alta Verapaz. Guatemala, Instituto Nacional de Bosques. 54 p.

27. Universidad Rafael Landivar, GT. 2002. Plan de ordenación de la finca Río Frío, Alta Verapaz, Guatemala. Guatemala. 35p

10. APÉNDICE

Cuadro 37A. Prueba de Infiltración Unidad 1
Microcuenca Río Frio Santa Cruz Verapaz, Alta Verapaz.

Lugar: Bosque de Coniferas			Uso Actual: Forestal			
Profundidad Inicial: 60 cm			Profundidad: 60 cm			
Altitud: 1425 msnm			Diámetro: 9 cm			
Coordenas: 777546 1697461			Pendiente: 51%			
Tiempo Acumulado (min)	Lectura (cm)	Diferencia Lectura (cm)	Velocidad de Infiltración cm/min	Velocidad de Infiltración cm/hora	Velocidad de Infiltración mm/hora	Velocidad de Infiltración mm/día
1	0.5	59.5	0.0000	0.0000	0.0000	0.00
2	0.6	59.4	0.0036	0.2188	2.1880	52.51
3	0.7	59.3	0.0037	0.2192	2.1916	52.60
4	0.9	59.1	0.0073	0.4394	4.3938	105.45
5	1	59	0.0037	0.2202	2.2023	52.85
7	1.3	58.7	0.0055	0.3314	3.3142	79.54
9	1.5	58.5	0.0037	0.2219	2.2186	53.25
11	1.7	58.3	0.0037	0.2226	2.2259	53.42
13	1.9	58.1	0.0037	0.2233	2.2333	53.60
15	2.1	57.9	0.0037	0.2241	2.2407	53.78
18	2.8	57.2	0.0088	0.5268	5.2676	126.42
21	3	57	0.0025	0.1516	1.5164	36.39
24	3.3	56.7	0.0038	0.2284	2.2843	54.82
27	3.9	56.1	0.0077	0.4604	4.6036	110.49
30	4	56	0.0013	0.0772	0.7719	18.52
34	4.5	55.5	0.0048	0.2910	2.9095	69.83
38	5	55	0.0049	0.2935	2.9348	70.44
42	5.4	54.6	0.0039	0.2366	2.3664	56.79
46	5.9	54.1	0.0050	0.2981	2.9815	71.56
51	6.4	53.6	0.0040	0.2406	2.4064	57.75
56	7.1	52.9	0.0057	0.3405	3.4055	81.73
61	7.4	52.6	0.0025	0.1473	1.4727	35.35
66	7.6	52.4	0.0016	0.0986	0.9863	23.67
71	7.7	52.3	0.0008	0.0495	0.4945	11.87

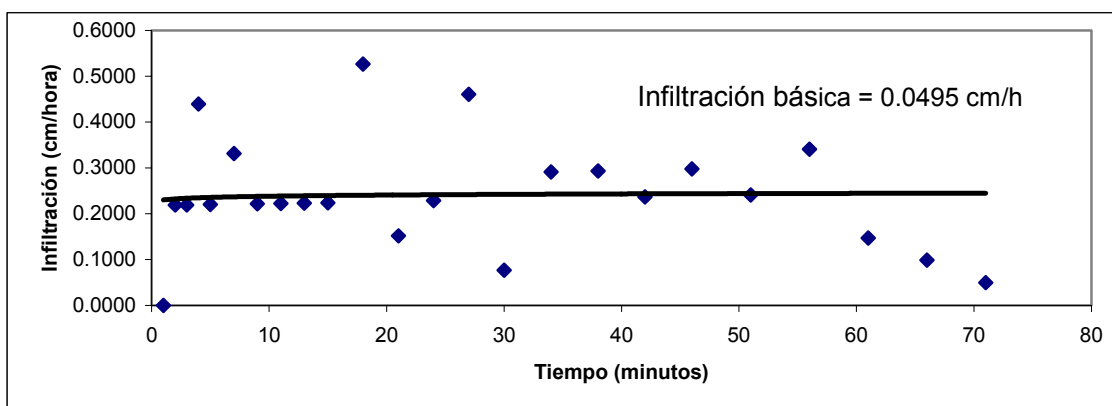


Figura 34A. Curva de infiltración básica de la unidad 1

**Cuadro 38A. Prueba de Infiltración Unidad 2
Microcuenca Río Frío, Santa Cruz Verapaz**

Lugar: Plantación 11 años		Uso Actual: Forestal				
Profundidad Inicial: 77 cm		Profundidad Final: 67 cm				
Altitud: 1424		Diámetro: 9 cm				
Coordenadas: 777231 169749		Pendiente: 7%				
Tiempo Acumulado (min)	Lectura (cm)	Diferencia Lectura (cm)	Velocidad de Infiltración cm/min	Velocidad de Infiltración cm/hora	Velocidad de Infiltración mm/hora	Velocidad de Infiltración mm/día
1	8	59	0.0000	0.0000	0.0000	0.00
2	13.5	53.5	0.2117	12.7017	127.0167	3048.40
4	22.5	44.5	0.1580	9.4776	94.7757	2274.62
7	31	36	0.1425	8.5472	85.4716	2051.32
12	39.5	27.5	0.0817	4.9015	49.0153	1176.37
14	41.5	25.5	0.0797	4.7793	47.7926	1147.02
16	44.2	22.8	0.0794	4.7652	47.6520	1143.65
20	47	20	0.0500	3.0001	30.0012	720.03
24	26.5	40.5	0.2149	12.8962	128.9623	3095.09
28	36.5	30.5	0.1296	7.7784	77.7838	1866.81
36	46	21	0.0794	4.7634	47.6339	1143.21
44	23.5	43.5	0.1211	7.2666	72.6658	1743.98
58	47	20	0.0989	5.9350	59.3502	1424.41
66	27.9	39.1	0.2238	13.4264	134.2645	3222.35
70	37.5	29.5	0.1176	7.0587	70.5866	1694.08
78	46.2	20.8	0.0663	3.9801	39.8010	955.22
86	50.5	16.5	0.0592	3.5528	35.5284	852.68
92	24.2	42.8	0.2458	14.7471	147.4707	3539.30
98	40	27	0.1272	7.6291	76.2908	1830.98
100	42	25	0.0797	4.7808	47.8076	1147.38
107	48	19	0.0642	3.8537	38.5370	924.89
110	49.5	17.5	0.0549	3.2942	32.9415	790.60
116	52.1	14.9	0.0384	2.3016	23.0164	552.39
132	40.5	26.5	0.1117	6.6997	66.9971	1607.93
147	51	16	0.0400	2.4006	24.0057	576.14
159	55	12	0.0382	2.2890	22.8901	549.36
169	41	26	0.1422	8.5330	85.3301	2047.92
179	48.5	18.5	0.0512	3.0715	30.7149	737.16
196	44.8	22.2	0.1220	7.3194	73.1945	1756.67
221	46.2	20.8	0.1129	6.7739	67.7386	1625.73
235	55.2	11.8	0.0697	4.1795	41.7955	1003.09
249	59.1	7.9	0.0525	3.1485	31.4854	755.65
261	48.2	18.8	0.1565	9.3886	93.8861	2253.27
279	56.9	10.1	0.0510	3.0613	30.6132	734.72
286	57.9	9.1	0.0271	1.6285	16.2845	390.83
300	59.9	7.1	0.0327	1.9596	19.5962	470.31

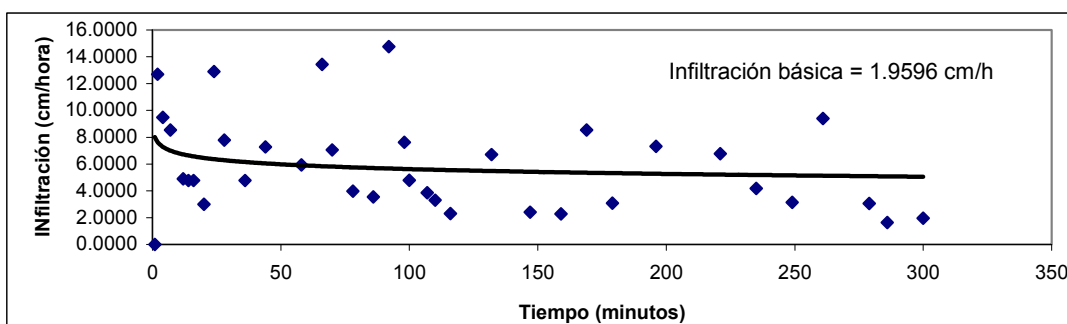


Figura 35A. Curva de infiltración básica unidad 2

Cuadro 39A. Prueba de Infiltración Unidad 3
Microcuenca Río Frío Santa Cruz Verapaz, Alta Verapaz

Lugar. Pinfor de 3 años		Uso Actual: Forestal				
Profundidad inicial: 73 cm		Profundidad Final: 71 cm				
Altitud: 145 msnm		Diámetro: 9 cm				
Coordenadas: 777227 1697771		Pendiente: 34%				
Tiempo Acumulado (min)	Lectura (cm)	Diferencia Lectura (cm)	Velocidad de Infiltración cm/min	Velocidad de Infiltración cm/hora	Velocidad de Infiltración mm/hora	Velocidad de Infiltración mm/día
1	4.8	66.2	0	0	0	0
2	8.5	62.5	0.1250	7.5019	75.0193	1800.46
4	13.4	57.6	0.0848	5.0908	50.9077	1221.78
6	17.4	53.6	0.0714	4.2823	42.8230	1027.75
8	20.7	50.3	0.0675	4.0490	40.4904	971.77
10	23.6	47.4	0.0626	3.7540	37.5397	900.95
14	12.5	58.5	0.0907	5.4443	54.4429	1306.63
18	19.6	51.4	0.0661	3.9672	39.6723	952.13
22	23.8	47.2	0.0380	2.2815	22.8153	547.57
27	16	55	0.0924	5.5440	55.4398	1330.55
31	21.8	49.2	0.0575	3.4525	34.5246	828.59
35	25.7	45.3	0.0395	2.3711	23.7111	569.07
39	10.3	60.7	0.1285	7.7104	77.1043	1850.50
46	21.9	49.1	0.0577	3.4590	34.5901	830.16
50	25.4	45.6	0.0816	4.8964	48.9641	1175.14
55	12.7	58.3	0.0982	5.8895	58.8946	1413.47
61	23.8	47.2	0.0468	2.8073	28.0734	673.76
70	14.4	56.6	0.0811	4.8670	48.6697	1168.07
82	27	44	0.0318	1.9050	19.0505	457.21
97	22.5	48.5	0.0260	1.5595	15.5947	374.27
112	15	56	0.0638	3.8300	38.3002	919.20
142	19.5	51.5	0.0060	0.3618	3.6180	86.83
162	27.5	43.5	0.0194	1.1666	11.6655	279.97
176	33	38	0.0271	1.6270	16.2700	390.48
241	25.9	45.1	0.0425	2.5523	25.5232	612.56
271	40.7	30.3	0.0184	1.1037	11.0366	264.88
330	44.9	26.1	0.0042	0.2493	2.4932	59.84
354	18.7	52.3	0.0301	1.8042	18.0422	433.01
364	23.4	47.6	0.0203	1.2163	12.1634	291.92

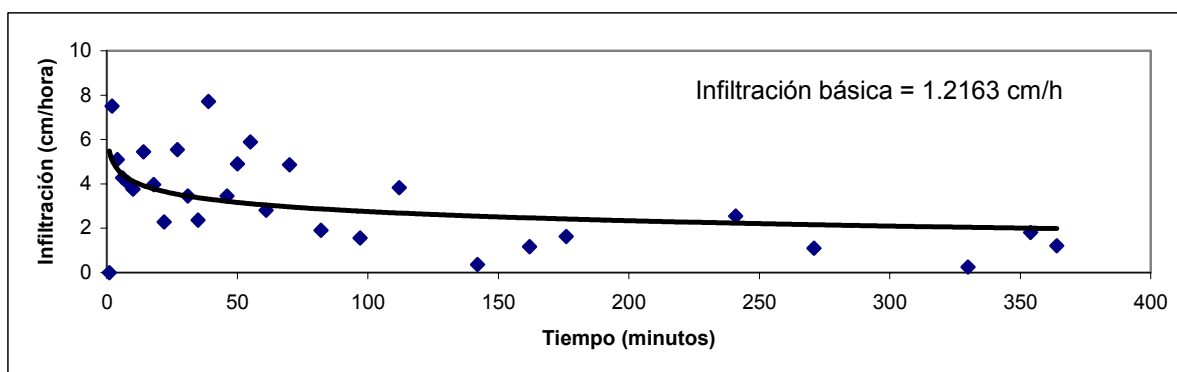


Figura 36A. Curva de infiltración básica unidad 3

Cuadro 40A. Prueba de Infiltración Unidad 4
Microcuenca Río Frio Santa Cruz Verapaz, Alta Verapaz.

Lugar: Bosque de coníferas		Uso Actual: Forestal				
Profundidad Inicial: 80 cm		Profundidad Final: 83 cm				
Altitud: 1461 msnm		Diámetro: 9 cm				
Coordenadas: 777423 1697683		Pendiente: 23%				
Tiempo Acumulado (min)	Lectura (cm)	Diferencia Lectura (cm)	Velocidad de Infiltración cm/min	Velocidad de Infiltración cm/hora	Velocidad de Infiltración mm/hora	Velocidad de Infiltración mm/día
1	6.5	76.5	0.0000	0.0000	0.0000	0.00
2	11.5	71.5	0.1476	8.8556	88.5563	2125.35
4	19.5	63.5	0.1167	7.0016	70.0157	1680.38
6	25	58	0.0735	4.4086	44.0856	1058.05
8	29	54	0.0592	3.5528	35.5284	852.68
10	32.5	50.5	0.0423	2.5353	25.3529	608.47
16	40.5	42.5	0.0497	2.9835	29.8355	716.05
24	19	64	0.1207	7.2391	72.3907	1737.38
32	34.5	48.5	0.0541	3.2458	32.4582	779.00
40	44	39	0.0662	3.9717	39.7173	953.22
48	49.2	33.8	0.0368	2.2103	22.1029	530.47
52	51.5	31.5	0.0393	2.3583	23.5832	566.00
58	23	60	0.0907	5.4406	54.4058	1305.74
64	33.5	49.5	0.0625	3.7522	37.5217	900.52
70	41	42	0.0571	3.4256	34.2557	822.14
76	45.5	37.5	0.0368	2.2090	22.0903	530.17
82	49.3	33.7	0.0426	2.5547	25.5474	613.14
90	27	56	0.0808	4.8490	48.4896	1163.75
98	37.5	45.5	0.0560	3.3610	33.6098	806.64
106	45	38	0.0469	2.8141	28.1413	675.39
118	51.5	31.5	0.0324	1.9430	19.4298	466.32
128	29.5	53.5	0.0742	4.4545	44.5452	1069.09
138	39.5	43.5	0.0377	2.2631	22.6310	543.14
149	45.1	37.9	0.0262	1.5691	15.6915	376.59
161	49	34	0.0192	1.1494	11.4944	275.87
180	31.9	51.1	0.0632	3.7943	37.9434	910.64
194	41.6	41.4	0.0295	1.7717	17.7174	425.22
208	46	37	0.0144	0.8648	8.6476	207.54
224	48.9	34.1	0.0121	0.7269	7.2690	174.45
235	53	30	0.0407	2.4440	24.4404	586.57
245	54.8	28.2	0.0129	0.7753	7.7533	186.08

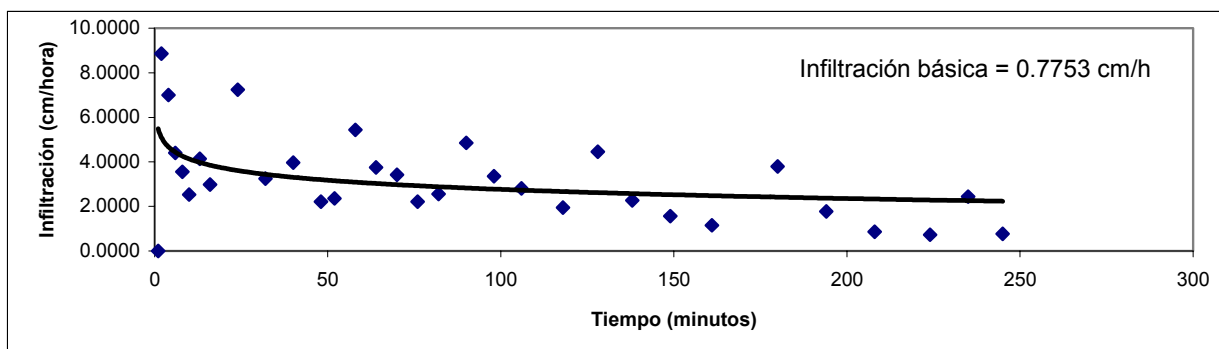


Figura 37A. Curva de infiltración básica unidad 4

Cuadro 41A. Prueba de Infiltración 2 Unidad 5
Microcuenca Río Frío, Santa Cruz Verapaz, Alta Verapaz

Lugar: Plantación de 11 años		Uso Actual: Forestal				
Profundidad Inicial: 94 cm		Profundidad Final: 90 cm				
Altitud: 1721 msnm		Diámetro: 9 cm				
Coordenadas: 776925		Pendiente: 40%				
Tiempo Acumulado (min)	Lectura (cm)	Diferencia Lectura (cm)	Velocidad de Infiltración cm/min	Velocidad de Infiltración cm/hora	Velocidad de Infiltración mm/hora	Velocidad de Infiltración mm/día
1	12.5	77.5	0	0	0	0
2	19	71	0.1913	11.4775	114.7750	2754.60
5	34	56	0.1674	10.0460	100.4596	2411.03
12	24.5	65.5	0.2806	16.8384	168.3841	4041.22
15	35.8	54.2	0.1354	8.1210	81.2100	1949.04
19	23	67	0.1959	11.7547	117.5466	2821.12
20	28.3	61.7	0.1791	10.7489	107.4892	2579.74
23	39.2	50.8	0.1398	8.3863	83.8626	2012.70
27	32.7	57.3	0.1501	9.0063	90.0628	2161.51
43	39	51	0.1350	8.0987	80.9871	1943.69
56	33.2	56.8	0.1513	9.0776	90.7764	2178.63
66	24.2	65.8	0.2233	13.3979	133.9786	3215.49
67	28.5	61.5	0.1469	8.8119	88.1193	2114.86
69	36	54	0.1620	9.7214	97.2142	2333.14
73	32.3	57.7	0.1475	8.8513	88.5132	2124.32
78	45.3	44.7	0.1070	6.4204	64.2036	1540.89
81	27.6	62.4	0.148	8.8888	88.8877	2133.31
83	33.9	56.1	0.102	6.1066	61.0657	1465.58
86	41.3	48.7	0.091	5.4527	54.5266	1308.64
108	30.1	59.9	0.123	7.3990	73.9903	1775.77
112	39.4	50.6	0.088	5.2800	52.7996	1267.19
114	43.1	46.9	0.082	4.8992	48.9921	1175.81
130	35.4	54.6	0.197	11.8338	118.3378	2840.11
160	44.7	45.3	0.024	1.4642	14.6418	351.40
168	38.1	51.9	0.076	4.5417	45.4173	1090.01
184	38.1	51.9	0.086	5.1357	51.3574	1232.58
210	44.3	45.7	0.076	4.5321	45.3215	1087.72
234	61.3	28.7	0.105	6.2995	62.9952	1511.89
247	74.2	15.8	0.090	5.3737	53.7374	1289.70
261	73.5	16.5	0.098	5.8922	58.9221	1414.13
315	50	40	0.101	6.0766	60.7663	1458.39
324	58.5	31.5	0.056	3.3694	33.6936	808.65

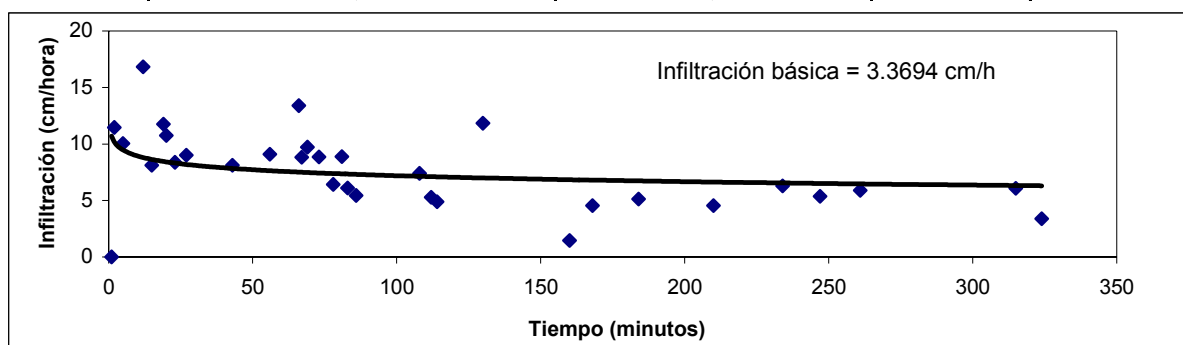


Figura 38A. Curva de infiltración básica unidad 5

Cuadro 42A. Prueba de Infiltración Unidad 6
Microcuenca Río Frío Santa Cruz Verapaz, Alta Verapaz.

Lugar: Persimont		Uso Actual: Agrícola				
Profundidad Inicial: 87 cm		Profundidad Final: 81 cm				
Altitud: 1424 msnm		Diámetro: 9 cm				
Coordenadas: 777538 1697600		Pendiente: 5%				
Tiempo Acumulado (min)	Lectura (cm)	Diferencia Lectura (cm)	Velocidad de Infiltración cm/min	Velocidad de Infiltración cm/hora	Velocidad de Infiltración mm/hora	Velocidad de Infiltración mm/día
1	8	73	0.0000	0.0000	0.0000	0.00
2	13.5	67.5	0.1708	10.2463	102.4630	2459.11
4	22	59	0.1354	8.1260	81.2597	1950.23
6	28	53	0.1190	7.1382	71.3823	1713.17
8	32	49	0.0861	5.1681	51.6810	1240.34
10	36	45	0.0703	4.2191	42.1909	1012.58
14	40.9	40.1	0.0473	2.8389	28.3889	681.33
28	32	49	0.1047	6.2836	62.8360	1508.06
30	36	45	0.0914	5.4853	54.8525	1316.46
40	46	35	0.0444	2.6648	26.6482	639.56
50	52.5	28.5	0.0360	2.1602	21.6018	518.44
58	55.5	25.5	0.0398	2.3896	23.8963	573.51
69	33.5	47.5	0.0921	5.5258	55.2580	1326.19
78	44.5	36.5	0.0559	3.3556	33.5559	805.34
90	52	29	0.0352	2.1098	21.0976	506.34
99	56	25	0.0402	2.4113	24.1129	578.71
107	32	49	0.1003	6.0159	60.1588	1443.81
119	46	35	0.0505	3.0309	30.3088	727.41
127	51	30	0.0338	2.0307	20.3069	487.37
137	34.5	46.5	0.0878	5.2666	52.6664	1263.99
147	45	36	0.0448	2.6854	26.8544	644.51
157	52	29	0.0413	2.4750	24.7501	594.00
174	37	44	0.0767	4.6034	46.0337	1104.81
186	48	33	0.0451	2.7032	27.0325	648.78
204	57	24	0.0406	2.4348	24.3481	584.35
218	40	41	0.0717	4.2990	42.9902	1031.77
225	46.5	34.5	0.0523	3.1409	31.4085	753.80
239	55.6	25.4	0.0554	3.3234	33.2343	797.62
263	41.2	39.8	0.0584	3.5027	35.0266	840.64
278	51	30	0.0331	1.9871	19.8705	476.89
300	57.7	23.3	0.0202	1.2104	12.1042	290.50

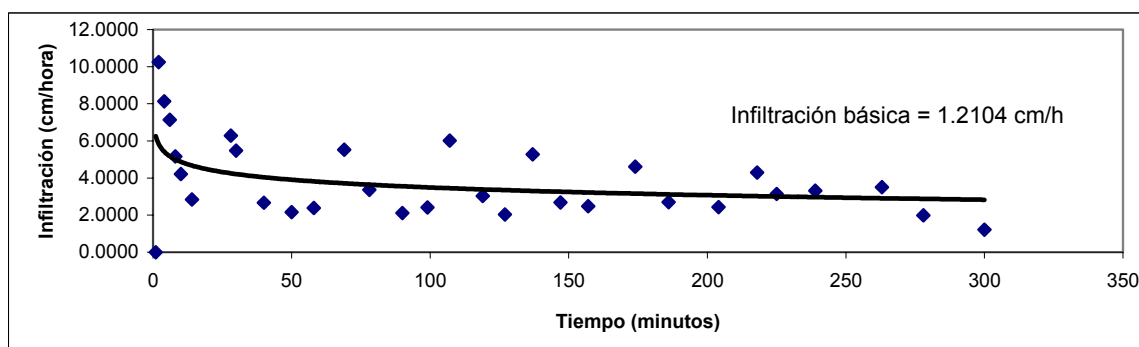


Figura 39A. Curva de infiltración básica unidad 6

Cuadro 43A. Prueba de Infiltración Unidad 7
Microcuenca Río Frío Santa Cruz Verapaz, Alta Verapaz.

Lugar: Jardín		Uso Actual: Infraestructura				
Profundidad Inicial: 72 cm		Profundidad Final: 75 cm				
Altitud: 1425 msnm		Diámetro: 9 cm				
Coordenadas: 777192 1697635		Pendiente: 0%				
Tiempo Acumulado (min)	Lectura (cm)	Diferencia Lectura (cm)	Velocidad de Infiltración cm/min	Velocidad de Infiltración cm/hora	Velocidad de Infiltración mm/hora	Velocidad de Infiltración mm/día
1	3.5	68.5	0.0000	0.0000	0.0000	0.00
2	6	69	-0.0158	-0.9507	-9.5071	-228.17
4	10.3	64.7	0.0597	3.5816	35.8164	859.59
6	15.5	59.5	0.1240	7.4428	74.4283	1786.28
8	18.5	56.5	0.0530	3.1793	31.7929	763.03
9	20	55	0.0582	3.4916	34.9157	837.98
11	22	53	0.0400	2.4003	24.0025	576.06
13	24	51	0.0415	2.4888	24.8876	597.30
15	26.5	48.5	0.0541	3.2458	32.4582	779.00
17	28	47	0.0338	2.0252	20.2515	486.04
19	29.5	45.5	0.0348	2.0878	20.8780	501.07
23	33	42	0.0375	2.2502	22.5021	540.05
29	37.5	37.5	0.0417	2.5003	25.0029	600.07
33	42	33	0.0919	5.5133	55.1327	1323.18
37	43.5	31.5	0.0328	1.9709	19.7094	473.03
41	10	65	0.0659	3.9563	39.5633	949.52
45	16.5	58.5	0.0549	3.2928	32.9285	790.28
49	21.9	53.1	0.0363	2.1775	21.7747	522.59
55	27	48	0.0265	1.5930	15.9299	382.32
62	33.5	41.5	0.0497	2.9845	29.8452	716.28
68	37	38	0.0364	2.1822	21.8225	523.74
74	40.5	34.5	0.0241	1.4459	14.4591	347.02
82	15.5	59.5	0.0563	3.3778	33.7782	810.68
90	25	50	0.0415	2.4896	24.8961	597.51
109	17.2	57.8	0.0496	2.9770	29.7705	714.49
119	26.7	48.3	0.0326	1.9570	19.5701	469.68
130	31.9	43.1	0.0201	1.2074	12.0737	289.77
154	18.5	56.5	0.0456	2.7372	27.3718	656.92
164	25.8	49.2	0.0280	1.6785	16.7851	402.84
169	28.5	46.5	0.0243	1.4554	14.5544	349.31
176	31.2	43.8	0.0183	1.0989	10.9885	263.72
220	18	57	0.0306	1.8334	18.3341	440.02
236	26.1	48.9	0.0176	1.0550	10.5503	253.21
249	29.8	45.2	0.0122	0.7298	7.2977	175.15

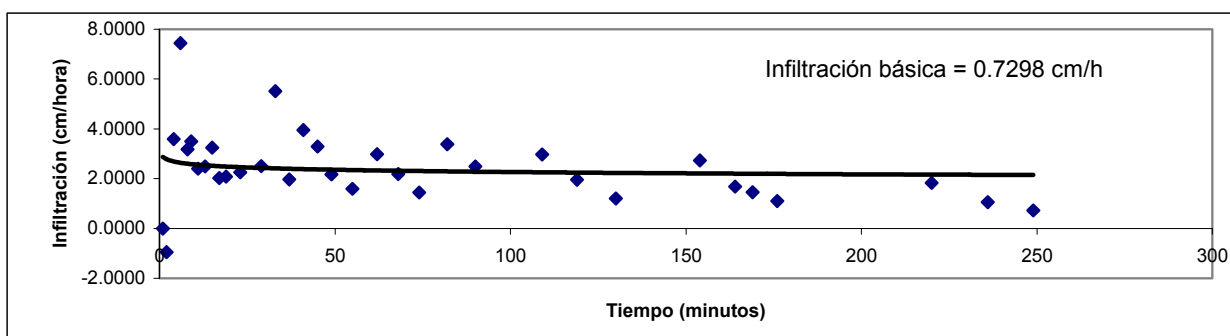


Figura 40A. Curva de infiltración básica unidad 7

Cuadro 44A. Prueba de Infiltración Unidad 8
Microcuenca Río Frío Santa Cruz Verapaz, Alta Verapaz.

Lugar: Regeneración no adecuada		Uso Actual: Forestal				
Profundidad Inicial: 60 cm		Profundidad: 58 cm				
Altitud: 1422 msnm		Diámetro: 9 cm				
Coordenadas: 777344 1697592		Pendiente: 19%				
Tiempo Acumulado (min)	Lectura (cm)	Diferencia Lectura (cm)	Velocidad de Infiltración cm/min	Velocidad de Infiltración cm/hora	Velocidad de Infiltración mm/hora	Velocidad de Infiltración mm/día
1	0.5	57.5	0.0000	0.0000	0.0000	0.00
2	0.9	57.1	0.0151	0.9068	9.0680	217.63
4	1.7	56.3	0.0153	0.9192	9.1915	220.60
6	2.7	55.3	0.0233	1.4002	14.0019	336.04
8	3.3	54.7	0.0118	0.7074	7.0743	169.78
10	3.7	54.3	0.0079	0.4758	4.7577	114.19
12	4.1	53.9	0.0080	0.4792	4.7915	115.00
14	4.5	53.5	0.0080	0.4826	4.8258	115.82
16	5	53	0.0081	0.4878	4.8781	117.07
19	5.5	52.5	0.0082	0.4923	4.9225	118.14
23	6.3	51.7	0.0062	0.3743	3.7431	89.83
27	7	51	0.0063	0.3792	3.7921	91.01
32	7.9	50.1	0.0071	0.4278	4.2776	102.66
38	2	56	0.0102	0.6138	6.1382	147.32
44	3.3	54.7	0.0092	0.5497	5.4975	131.94
48	4	54	0.0070	0.4174	4.1741	100.18
52	4.9	53.1	0.0091	0.5444	5.4437	130.65
56	5.5	52.5	0.0061	0.3679	3.6785	88.28
60	6.2	51.8	0.0072	0.4343	4.3429	104.23
64	6.9	51.1	0.0073	0.4400	4.3995	105.59
69	7.6	50.4	0.0059	0.3566	3.5661	85.59
74	8.3	49.7	0.0060	0.3614	3.6138	86.73
79	9	49	0.0061	0.3663	3.6628	87.91
84	9.5	48.5	0.0044	0.2647	2.6471	63.53
89	10.3	47.7	0.0072	0.4290	4.2901	102.96
94	11	47	0.0064	0.3811	3.8105	91.45

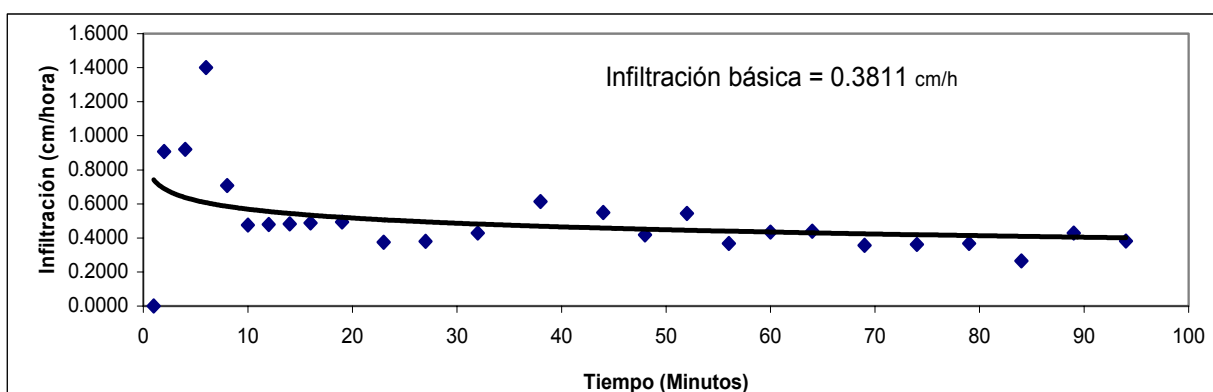


Figura 41A. Curva de infiltración básica cm/h Unidad 8

Cuadro 45A. Prueba de Infiltración Unidad 9
Microcuenca Río Frio Santa Cruz Verapaz, Alta Verapaz.

Lugar: Carrizal		Uso Actual: Zacate >75				
Profundidad Inicial: 65 cm		Profundidad Final: 52 cm				
Altitud: 1416 msnm		Diámetro: 9 cm				
Coordenadas: 777561 1697690		Pendiente: 2%				
Tiempo Acumulado (min)	Lectura (cm)	Diferencia Lectura (cm)	Velocidad de Infiltración cm/min	Velocidad de Infiltración cm/hora	Velocidad de Infiltración mm/hora	Velocidad de Infiltración mm/día
1	2	50	0.0000	0.0000	0.0000	0.00
2	4	48	0.0878	5.2690	52.6896	1264.55
4	7	45	0.0611	3.6641	36.6411	879.39
6	10.3	41.7	0.0656	3.9353	39.3526	944.46
8	13.5	38.5	0.0813	4.8800	48.8005	1171.21
10	16.5	35.5	0.0860	5.1617	51.6175	1238.82
16	24	28	0.1440	8.6430	86.4295	2074.31
19	26	26	0.0513	3.0781	30.7812	738.75
24	30	22	0.0875	5.2487	52.4866	1259.68
28	32	20	0.0495	2.9675	29.6751	712.20
38	36	16	0.0400	2.4006	24.0057	576.14
50	40	12	0.0509	3.0520	30.5202	732.48
59	42	10	0.0589	3.5312	35.3122	847.49
68	9	43	0.0645	3.8714	38.7143	929.14
76	19	33	0.0605	3.6276	36.2765	870.64
88	27	25	0.0531	3.1886	31.8856	765.25
100	33.2	18.8	0.0349	2.0969	20.9694	503.27
115	37.5	14.5	0.0336	2.0182	20.1818	484.36
132	41	11	0.0246	1.4786	14.7863	354.87
144	42.5	9.5	0.0277	1.6606	16.6059	398.54
156	45	7	0.0598	3.5897	35.8968	861.52
163	46.8	5.2	0.0696	4.1736	41.7361	1001.67
170	48	4	0.0565	3.3872	33.8720	812.93
184	49.5	2.5	0.0382	2.2941	22.9407	550.58
199	50.4	1.6	0.0278	1.6680	16.6802	400.33
215	2.3	49.7	0.0000	0.0000	0.0000	0.00
231	20.1	31.9	0.0531	3.1875	31.8749	765.00
248	30.2	21.8	0.0455	2.7296	27.2962	655.11
257	33.2	18.8	0.0333	1.9985	19.9852	479.64
266	36.5	15.5	0.0426	2.5577	25.5773	613.85
275	38.4	13.6	0.0283	1.6982	16.9824	407.58
285	40	12	0.0239	1.4366	14.3657	344.78
305	42.6	9.4	0.0203	1.2180	12.1804	292.33

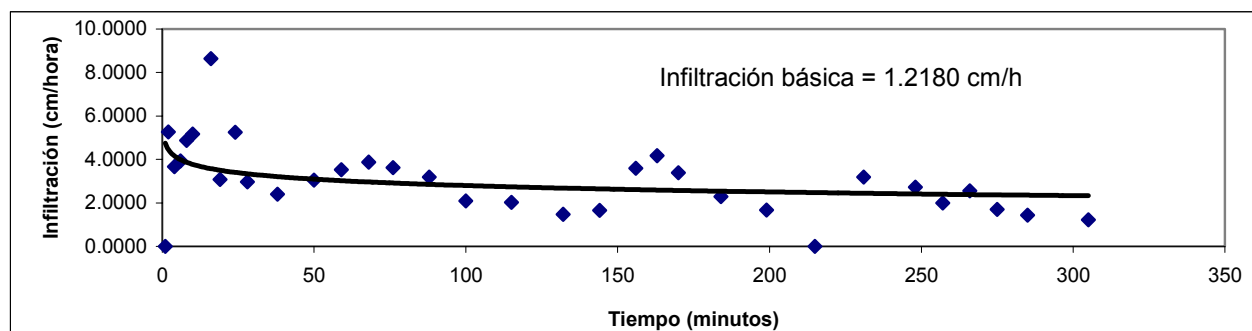


Figura 42A. Curva de infiltración básica cm/h Unidad 9

Cuadro 46A. Prueba de Infiltración Unidad 10
Microcuenca Río Frío Santa Cruz Verapaz, Alta Verapaz.

Lugar: Bosque latifoliado		Uso Actual: Forestal				
Profundidad Inicial: 66 cm		Profundidad Final: 66 cm				
Altitud: 1781 msnm		Diámetro: 9 cm				
Coordenadas: 779430 1697380		Pendiente: 8%				
Tiempo Acumulado (min)	Lectura (cm)	Diferencia Lectura (cm)	Velocidad de Infiltración cm/min	Velocidad de Infiltración cm/hora	Velocidad de Infiltración mm/hora	Velocidad de Infiltración mm/día
1	5	61	0.0000	0.0000	0.0000	0.00
2	8	58	0.1093	6.5600	65.5999	1574.40
4	14.5	51.5	0.1222	7.3321	73.3212	1759.71
6	18.5	47.5	0.0887	5.3209	53.2089	1277.01
8	21.5	44.5	0.0711	4.2635	42.6351	1023.24
10	24	42	0.0253	1.5169	15.1687	364.05
14	28	38	0.0546	3.2734	32.7337	785.61
18	30	36	0.0290	1.7420	17.4203	418.09
22	32	34	0.0154	0.9247	9.2467	221.92
24	33.5	32.5	0.0475	2.8525	28.5254	684.61
28	34.5	31.5	0.0165	0.9927	9.9266	238.24
32	8.5	57.5	0.1281	7.6850	76.8500	1844.40
38	18	48	0.0435	2.6094	26.0943	626.26
46	26.5	39.5	0.0397	2.3826	23.8260	571.82
51	30.5	35.5	0.0581	3.4846	34.8464	836.31
57	33.2	32.8	0.0252	1.5149	15.1487	363.57
64	35.3	30.7	0.0135	0.8096	8.0963	194.31
72	37.5	28.5	0.0180	1.0801	10.8009	259.22
78	16	50	0.0751	4.5038	45.0376	1080.90
85	23.9	42.1	0.0474	2.8446	28.4456	682.69
93	29.5	36.5	0.0324	1.9460	19.4603	467.05
103	19.5	46.5	0.0563	3.3794	33.7940	811.06
113	28	38	0.0375	2.2513	22.5130	540.31
123	34	32	0.0472	2.8338	28.3383	680.12
135	36.8	29.2	0.0129	0.7735	7.7351	185.64
157	27.8	38.2	0.0245	1.4683	14.6835	352.40
172	31	35	0.0118	0.7097	7.0970	170.33
188	33.4	32.6	0.0080	0.4774	4.7740	114.58
196	34.4	31.6	0.0082	0.4913	4.9130	117.91
213	37.4	28.6	0.0172	1.0333	10.3327	247.99
240	37.6	28.4	0.0032	0.1945	1.9449	46.68

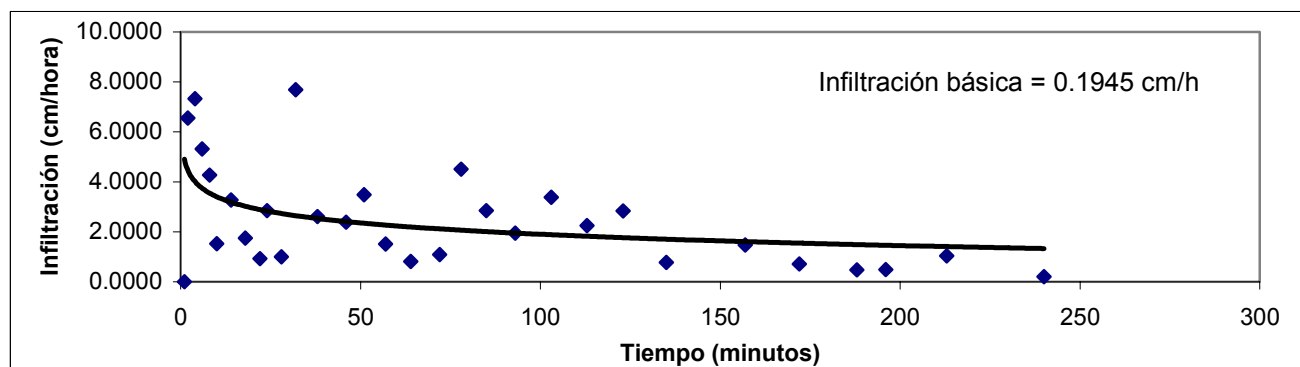


Figura 43A. Curva de infiltración básica unidad 10

Caudro 47A. Prueba de Infiltración Unidad 11
Microcuenca Río Frío Santa Cruz Verapaz, Alta Verapaz.

Lugar: Bosque Denso de Coníferas		Uso Actual: Forestal				
Profundidad Inicial: 55 cm		Profundidad Final: 45 cm				
Altitud: 1600		Diámetro: 9 cm				
Coordenadas: 777916 1697417		Pendiente: 58%				
Tiempo Acumulado (min)	Lectura (cm)	Diferencia Lectura (cm)	Velocidad de Infiltración cm/min	Velocidad de Infiltración cm/hora	Velocidad de Infiltración mm/hora	Velocidad de Infiltración mm/día
1	6.8	38.2	0.0000	0.0000	0.0000	0.00
2	11	34	0.2467	14.7997	147.9968	3551.92
4	16.9	28.1	0.1849	11.0963	110.9629	2663.11
6	21.1	23.9	0.1738	10.4280	104.2798	2502.71
8	24.5	20.5	0.1713	10.2798	102.7981	2467.15
10	26.9	18.1	0.1184	7.1069	71.0690	1705.66
13	29.9	15.1	0.1138	6.8273	68.2730	1638.55
16	32.4	12.6	0.1181	7.0836	70.8359	1700.06
19	34.2	10.8	0.1176	7.0538	70.5384	1692.92
32	24.3	20.7	0.1468	8.8109	88.1086	2114.61
36	28.8	16.2	0.1267	7.6039	76.0394	1824.95
40	32	13	0.1122	6.7346	67.3455	1616.29
46	35.4	9.6	0.0950	5.6993	56.9931	1367.83
52	16.8	28.2	0.3547	21.2845	212.8453	5108.29
80	20.8	24.2	0.0934	5.6031	56.0307	1344.74
84	29.5	15.5	0.1012	6.0740	60.7403	1457.77
100	23.5	21.5	0.1487	8.9219	89.2185	2141.24
110	32	13	0.1001	6.0072	60.0717	1441.72
127	23	22	0.1336	8.0147	80.1473	1923.53
143	35	10	0.0836	5.0144	50.1436	1203.45
175	25.7	19.3	0.1247	7.4810	74.8095	1795.43
187	33.7	11.3	0.0927	5.5621	55.6213	1334.91
204	38.6	6.4	0.0699	4.1917	41.9168	1006.00
218	41.2	3.8	0.0582	3.4896	34.8962	837.51
241	27.2	17.8	0.1033	6.1989	61.9888	1487.73
265	38.6	6.4	0.0714	4.2842	42.8423	1028.21
299	42.5	2.5	0.0563	3.3787	33.7870	810.89

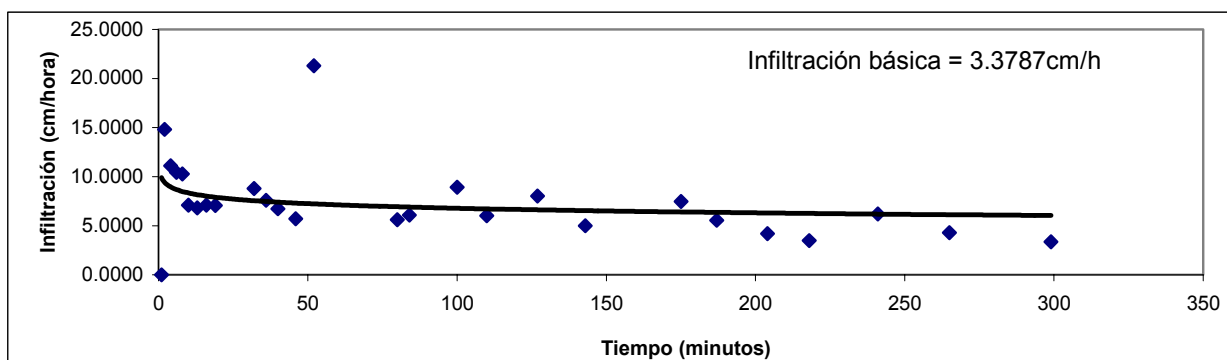


Figura 44A. Curva de infiltración básica unidad 11

Cuadro 48A. Prueba de Infiltración Unidad 12
Microcuenca Río Frío Santa Cruz Verapaz, Alta Verapaz.

Lugar: Bosque Secundario Alto		Uso Actual: Forestal				
Profundidad Inicial: 73 cm		Profundidad Final: 57 cm				
Altitud: 1553 msnm		Diámetro: 9 cm				
Coordenadas: 778765 1697473		Pendiente: 69%				
Tiempo Acumulado (min)	Lectura (cm)	Diferencia Lectura (cm)	Velocidad de Infiltración cm/min	Velocidad de Infiltración cm/hora	Velocidad de Infiltración mm/hora	Velocidad de Infiltración mm/día
1	7.3	49.7	0.0000	0.0000	0.0000	0.00
2	11.6	45.4	0.1944	11.6639	116.6388	2799.33
4	17.4	39.6	0.1255	7.5281	75.2808	1806.74
6	21.9	35.1	0.1401	8.4074	84.0739	2017.77
8	25.3	31.7	0.1162	6.9743	69.7429	1673.83
10	28	29	0.0778	4.6703	46.7028	1120.87
14	32.4	24.6	0.0730	4.3799	43.7991	1051.18
18	35.5	21.5	0.0689	4.1339	41.3394	992.15
23	38.3	18.7	0.0635	3.8120	38.1202	914.88
29	41	16	0.1200	7.2017	72.0171	1728.41
34	17.7	39.3	0.1202	7.2128	72.1281	1731.07
42	31.5	25.5	0.1191	7.1483	71.4831	1715.59
54	38.9	18.1	0.0254	1.5219	15.2188	365.25
77	30.4	26.6	0.0765	4.5870	45.8702	1100.88
94	40	17	0.0338	2.0260	20.2595	486.23
104	29.1	27.9	0.1141	6.8451	68.4513	1642.83
114	36.5	20.5	0.0469	2.8150	28.1505	675.61
126	41.2	15.8	0.0241	1.4482	14.4822	347.57
138	43.4	13.6	0.0274	1.6421	16.4207	394.10
152	32	25	0.1039	6.2347	62.3467	1496.32
166	40.3	16.7	0.0502	3.0092	30.0922	722.21
181	44	13	0.0213	1.2782	12.7821	306.77
197	46	11	0.0205	1.2278	12.2781	294.68
221	31.5	25.5	0.0828	4.9683	49.6827	1192.39
230	37.5	19.5	0.0609	3.6543	36.5433	877.04
248	43.1	13.9	0.0333	1.9972	19.9716	479.32
266	46	11	0.0251	1.5066	15.0664	361.59
285	47	10	0.0090	0.5401	5.4007	129.62
305	47.9	9.1	0.0078	0.4676	4.6758	112.22

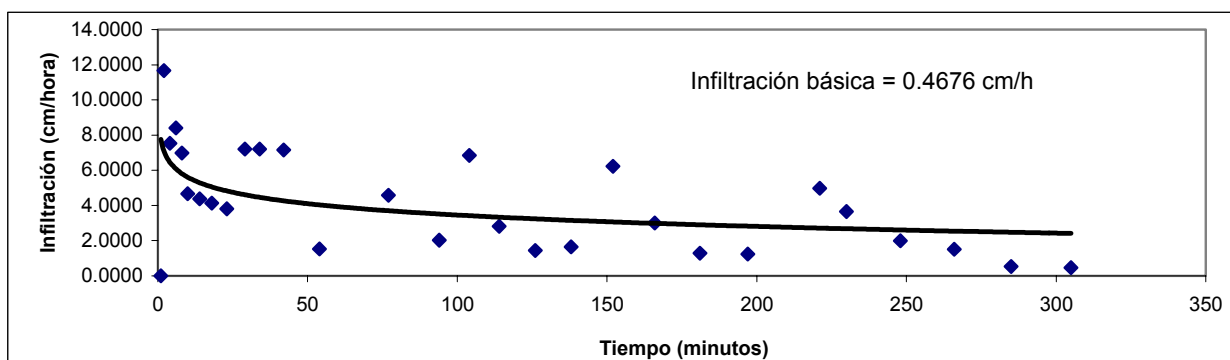


Figura 45A. Curva de infiltración básica unidad 12

Cuadro 49A. Prueba de Infiltración Unidad 13
Microcuenca Río Frío Santa Cruz Verapaz, Alta Verapaz.

Lugar: Plantación de pino de 7 años		Uso Actual: Forestal				
Profundidad Inicial: 60 cm		Profundidad Final: 60 cm				
Altitud: 1772 msnm		Diámetro: 9 cm				
Coordenadas: 777530 1697485		Pendiente: 55				
Tiempo Acumulado (min)	Lectura (cm)	Diferencia Lectura (cm)	Velocidad de Infiltración cm/min	Velocidad de Infiltración cm/hora	Velocidad de Infiltración mm/hora	Velocidad de Infiltración mm/día
1	0.5	59.5	0.0000	0.0000	0.0000	0.00
2	1	59	0.0183	1.0976	10.9757	263.42
4	2	58	0.0186	1.1157	11.1571	267.77
6	3.5	56.5	0.0380	2.2785	22.7854	546.85
8	4.3	55.7	0.0154	0.9255	9.2546	222.11
10	5	55	0.0137	0.8203	8.2032	196.88
12	5.7	54.3	0.0138	0.8304	8.3041	199.30
14	6.3	53.7	0.0120	0.7200	7.2001	172.80
16	7	53	0.0081	0.4878	4.8781	117.07
18	7.6	52.4	0.0123	0.7391	7.3905	177.37
19	7.7	52.3	0.0041	0.2473	2.4725	59.34
23	8.7	51.3	0.0063	0.3771	3.7710	90.50
27	9.7	50.3	0.0107	0.6392	6.3921	153.41
36	11.2	48.8	0.0055	0.3289	3.2895	78.95
42	12.3	47.7	0.0045	0.2695	2.6946	64.67
49	13.7	46.3	0.0081	0.4831	4.8314	115.95
57	15	45	0.0118	0.7068	7.0683	169.64
65	16.2	43.8	0.0061	0.3645	3.6447	87.47
70	16.5	43.5	0.0029	0.1765	1.7647	42.35
80	18	42	0.0081	0.4838	4.8378	116.11
90	19.2	40.8	0.0052	0.3118	3.1178	74.83

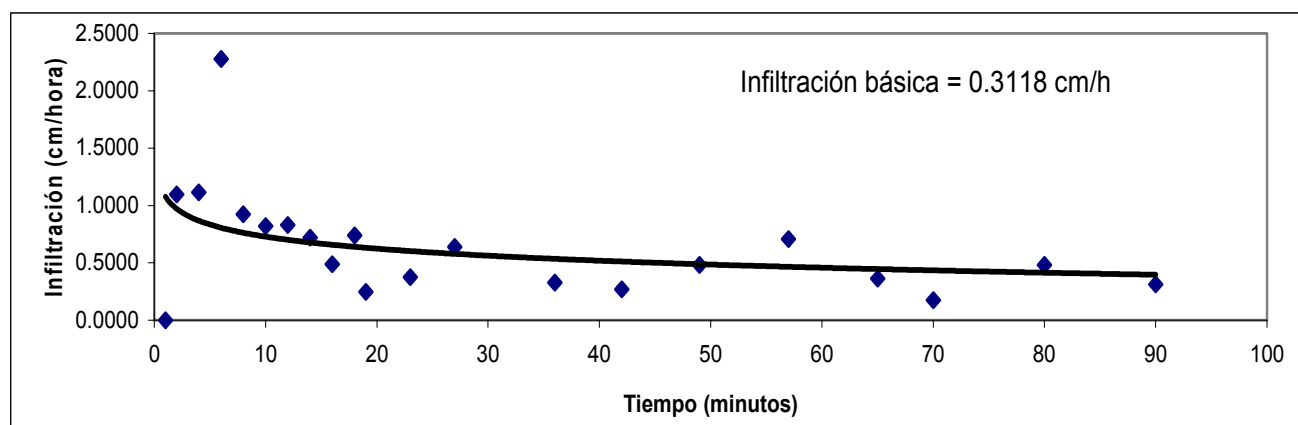


Figura 46A. Curva de infiltración básica unidad 13

Cuadro 50A. Prueba de Infiltración Unidad 14
Microcuenca Río Frío Santa Cruz Verapaz, Alta Verapaz.

Lugar: Bosque denso de Coníferas		Uso Actual: Forestal				
Profundidad Inicial: 63 cm		Profundidad Final: 52 cm				
Altitud: 1522 msnm		Diámetro: 9 cm				
Coordenadas: 777417 1697940		Pendiente: 53%				
Tiempo Acumulado (min)	Lectura (cm)	Diferencia Lectura (cm)	Velocidad de Infiltración cm/min	Velocidad de Infiltración cm/hora	Velocidad de Infiltración mm/hora	Velocidad de Infiltración mm/día
1	4.5	47.5	0.0000	0.0000	0.0000	0.00
2	6.5	45.5	0.0923	5.5392	55.3924	1329.42
4	11	41	0.1114	6.6813	66.8127	1603.51
6	14.5	37.5	0.0833	5.0006	50.0057	1200.14
10	20	32	0.1585	9.5110	95.1097	2282.63
17	24.5	27.5	0.0372	2.2316	22.3161	535.59
25	29	23	0.0437	2.6217	26.2169	629.21
33	32.5	19.5	0.0337	2.0228	20.2281	485.47
42	35.3	16.7	0.0348	2.0880	20.8800	501.12
60	39	13	0.0242	1.4517	14.5174	348.42
68	40.5	11.5	0.0357	2.1398	21.3980	513.55
80	21.5	30.5	0.0799	4.7953	47.9528	1150.87
88	26.2	25.8	0.0425	2.5484	25.4838	611.61
96	29.5	22.5	0.0223	1.3368	13.3681	320.83
100	31	21	0.0352	2.1101	21.1006	506.41
110	34	18	0.0322	1.9294	19.2939	463.05
120	36	16	0.0240	1.4403	14.4034	345.68
140	37.8	14.2	0.0135	0.8084	8.0844	194.03
164	39.3	12.7	0.0075	0.4470	4.4703	107.29
184	24.8	27.2	0.0747	4.4795	44.7949	1075.08
207	35.5	16.5	0.0285	1.7103	17.1032	410.48
231	39.6	12.4	0.0221	1.3286	13.2855	318.85
249	41.4	10.6	0.0169	1.0154	10.1543	243.70
267	42.6	9.4	0.0084	0.5064	5.0638	121.53
287	42.8	9.2	-0.0121	-0.7266	-7.2663	-174.39
307	43.9	8.1	0.0147	0.8835	8.8349	212.04

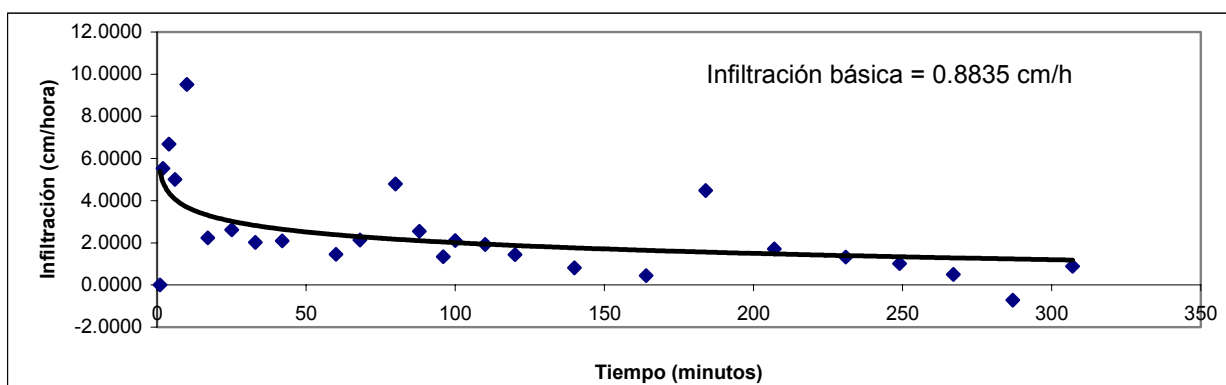


Figura 47A. Curva de infiltración básica unidad 14

Cuadro 51A. Prueba de Infiltración Unidad 15
Microcuenca Río Frío Santa Cruz Verapaz, Alta Verapaz.

Lugar: Sotobosque		Uso Actual:-----				
Profundidad Inicial: 60 cm		Profundidad Final: 56 cm				
Altitud: 1732 msnm		Diámetro: 9 cm				
Coordenadas: 779535 1697585		Pendiente: 32%				
Tiempo Acumulado (min)	Lectura (cm)	Diferencia Lectura (cm)	Velocidad de Infiltración cm/min	Velocidad de Infiltración cm/hora	Velocidad de Infiltración mm/hora	Velocidad de Infiltración mm/día
1	4.4	51.6	0.0000	0.0000	0.0000	0.00
2	6.8	49.2	0.103	6.155	61.549	1477.179
4	10.4	45.6	0.083	4.985	49.852	1196.444
6	12.8	43.2	0.059	3.518	35.181	844.347
8	14.9	41.1	0.046	2.774	27.741	665.777
10	16.4	39.6	0.037	2.239	22.394	537.453
12	17.6	38.4	0.033	1.964	19.638	471.306
14	18.6	37.4	0.028	1.681	16.813	403.508
16	19.6	36.4	0.029	1.724	17.242	413.816
18	20.6	35.4	0.029	1.769	17.694	424.664
20	21.6	34.4	0.030	1.817	18.171	436.096
24	23	33	0.022	1.327	13.273	318.550
28	24.4	31.6	0.020	1.186	11.860	284.634
33	26.6	29.4	0.021	1.262	12.618	302.824
39	28	28	0.015	0.884	8.838	212.118
45	29.2	26.8	0.020	1.222	12.225	293.397
51	30.5	25.5	0.016	0.963	9.626	231.025
57	31.9	24.1	0.028	1.676	16.762	402.281
64	9.5	46.5	0.076	4.551	45.508	1092.188
72	16.7	39.3	0.034	2.048	20.485	491.633
76	18.9	37.1	0.031	1.836	18.361	440.653
80	20.9	35.1	0.029	1.761	17.605	422.521
84	22.4	33.6	0.023	1.383	13.834	332.014
88	23.4	32.6	0.016	0.955	9.548	229.152
96	26	30	0.021	1.233	12.330	295.923
100	27.2	28.8	0.021	1.280	12.798	307.146
110	29.2	26.8	0.015	0.914	9.138	219.310
120	31.1	24.9	0.016	0.977	9.766	234.384

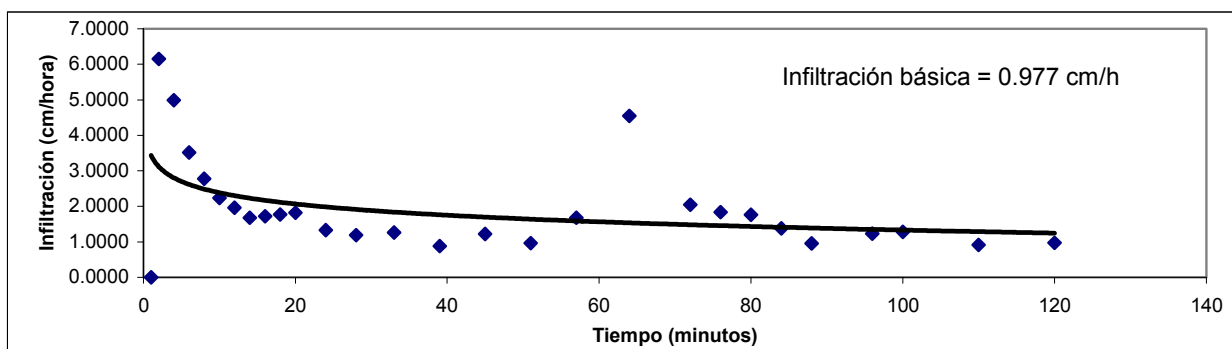


Figura 48A. Curva de Infiltración básica unidad 15

Cuadro 52A. Prueba de Infiltración Unidad 16
Microcuenca Río Frio Santa Cruz Verapaz, Alta Verapaz.

Lugar: Bosque latifoliado		Uso Actual: Forestal				
Profundidad Inicial: 47 cm		Profundidad Final: 41 cm				
Altitud: 1450 msnm		Diámetro: 9 cm				
Coordenadas: 778301 1697552		Pendiente: 25%				
Tiempo Acumulado (min)	Lectura (cm)	Diferencia Lectura (cm)	Velocidad de Infiltración cm/min	Velocidad de Infiltración cm/hora	Velocidad de Infiltración mm/hora	Velocidad de Infiltración mm/día
1	2.4	38.6	0.0000	0.0000	0.0000	0.00
2	3.8	37.2	0.0785	4.7078	47.0782	1129.88
4	6.1	34.9	0.0715	4.2918	42.9175	1030.02
6	7.5	33.5	0.0313	1.8750	18.7503	450.01
8	8.7	32.3	0.0259	1.5540	15.5397	372.95
10	10.4	30.6	0.0675	4.0483	40.4828	971.59
12	11.6	29.4	0.0419	2.5119	25.1192	602.86
14	12.5	28.5	0.0325	1.9473	19.4725	467.34
16	13.6	27.4	0.0410	2.4589	24.5888	590.13
18	14.5	26.5	0.0347	2.0806	20.8064	499.35
20	15.5	25.5	0.0398	2.3896	23.8963	573.51
22	16.4	24.6	0.0371	2.2255	22.2548	534.11
24	17.1	23.9	0.0297	1.7831	17.8312	427.95
26	18	23	0.0394	2.3641	23.6405	567.37
28	18.5	22.5	0.0225	1.3500	13.5005	324.01
30	19	22	0.0230	1.3776	13.7760	330.62
33	20	21	0.0316	1.8950	18.9502	454.80
36	20.8	20.2	0.0263	1.5757	15.7565	378.16
39	21.3	19.7	0.0169	1.0136	10.1356	243.25
42	21.9	19.1	0.0208	1.2472	12.4719	299.33
45	22	19	0.0035	0.2113	2.1127	50.70
48	23	18	0.0362	2.1691	21.6909	520.58
51	23.4	17.6	0.0150	0.8978	8.9779	215.47
54	23.7	17.3	0.0114	0.6853	6.8529	164.47
57	24.1	16.9	0.0155	0.9303	9.3027	223.26
60	24.6	16.4	0.0198	1.1905	11.9055	285.73
64	25	16	0.0122	0.7317	7.3174	175.62
68	25.6	15.4	0.0188	1.1282	11.2824	270.78
74	26.3	14.7	0.0152	0.9105	9.1053	218.53
82	7.8	33.2	0.0368	2.2109	22.1089	530.61
86	9.2	31.8	0.0227	1.3599	13.5990	326.38
90	11.5	29.5	0.0393	2.3604	23.6038	566.49
95	13.4	27.6	0.0278	1.6661	16.6611	399.87
100	15.2	25.8	0.0280	1.6793	16.7930	403.03
105	16.8	24.2	0.0264	1.5858	15.8578	380.59
110	18.3	22.7	0.0263	1.5763	15.7632	378.32
115	19.4	21.6	0.0203	1.2174	12.1742	292.18

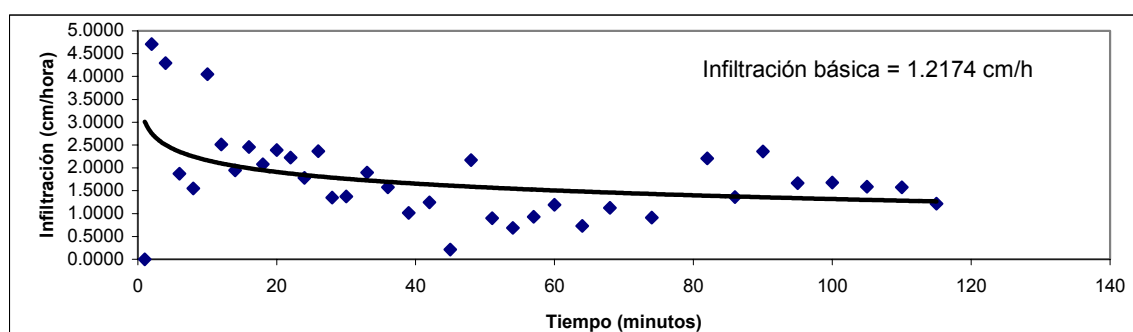


Figura 49A. Curva de infiltración básica unidad 16

53A. BALANCE HÍDRICO DE SUELOS
Unidad de Muestreo 1

Zona de Estudio: Cr JKts Bosque Maduro

Textura de Suelo: Arcilloso

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]	11.87
Kp [0.01%]	0.06
Kv [0.01%]	0.20
Kfc [0.01%]	0.011
I [0.01%]	0.271
DS (g/cm3):	0.8300
PR (mm)	2000.00
HSi (mm)	457.48
Nº de mes con que inicia HSi;1,2,3...12?	10
Lluvia retenida [0.01%] : Bosques=0.2, otros=0.12	0.20

	Por peso	
	(%)	(mm)
CC	36.87	614.48
PM	27.45	457.48
(CC-PM)	9.42	156.99

Concepto	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Total
P (mm)	137.79	263.01	94.60	176.09	10.74	75.80	85.86	80.83	389.69	257.35	354.98	435.93	2362.68
Ret [mm]	27.56	52.60	18.92	35.22	5.00	15.16	17.17	16.17	77.94	51.47	71.00	87.19	475.39
Pi (mm)	29.87	57.02	20.51	38.18	1.56	16.43	18.61	17.52	84.48	55.79	76.96	94.51	511.45
ESC (mm)	80.36	153.39	55.17	102.70	4.18	44.21	50.07	47.14	227.27	150.09	207.02	254.23	1375.83
ETP (mm)	124.80	101.16	82.80	77.05	93.15	130.19	140.40	151.37	151.59	154.69	151.21	136.34	1494.45
HSi (mm)	532.25	512.05	520.33	508.47	513.62	491.10	483.24	479.91	477.48	457.48	485.38	509.98	
C1	0.67	0.71	0.53	0.57	0.37	0.32	0.28	0.25	0.67	0.36	0.67	0.94	
C2	0.14	0.25	0.25	0.29	0.15	0.05	0.03	0.01	0.02	0.01	0.02	0.12	
HD (mm)	104.64	111.59	83.36	89.17	57.70	50.05	44.37	39.96	104.49	55.79	104.86	147.01	
ETR (mm)	50.08	48.74	32.37	33.02	24.08	24.30	21.94	19.95	52.18	27.89	52.36	72.23	459.15
HSf (mm)	512.05	520.33	508.47	513.62	491.10	483.24	479.91	477.48	509.79	485.38	509.98	532.26	
DCC (mm)	102.43	94.15	106.01	100.86	123.38	131.24	134.57	137.00	104.69	129.10	104.50	82.22	
Rp (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
NR (mm)	176.85	146.57	156.44	144.88	192.45	237.14	253.03	268.41	204.10	255.90	203.35	146.33	2385.45

54A. BALANCE HÍDRICO DE SUELOS
Unidad de Muestreo 2

Zona de Estudio: Cr JKts Bosque Mediano (Plantación de Pino 11 años)

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]	470.31
Kp [0.01%]	0.06
Kv [0.01%]	0.20
Kfc [0.01%]	0.848
I [0.01%]	1
DS (g/cm3):	0.70
PR (mm)	2000.00
HSi (mm)	886.37
Nº de mes con que inicia HSi;1,2,3...12?	1
Lluvia retenida [0.01%] : Bosques=0.2, otros=0.12	0.20

	Por peso	
	(%)	(mm)
CC	63.15	886.37
PM	51.21	718.78
(CC-PM)	11.94	167.59

Concepto	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Total
P (mm)	130.39	268.33	85.47	174.62	8.90	70.43	82.96	76.50	390.06	254.53	362.68	442.12	2346.99
Ret [mm]	26.08	53.67	17.09	34.92	5.00	14.09	16.59	15.30	78.01	50.91	72.54	88.42	472.62
Pi (mm)	104.31	214.66	68.38	139.70	3.90	56.34	66.37	61.20	312.05	203.62	290.14	353.70	1874.37
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)	125.09	102.03	82.09	78.09	93.50	130.65	140.70	151.97	153.17	156.02	153.02	137.54	1503.87
HSi (mm)	886.37	873.35	886.37	876.01	886.37	821.76	802.31	795.66	788.42	886.37	886.37	886.37	
C1	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.95	0.89	0.82	1.00	1.00	1.00	1.00	
C2	0.88	1.00	0.92	1.00	0.47	0.21	0.14	0.08	1.00	1.00	1.00	1.00	
HD (mm)	271.90	369.23	235.97	296.93	171.49	159.33	149.90	138.08	381.69	371.21	457.73	521.29	
ETR (mm)	117.34	102.03	78.73	78.09	68.51	75.79	73.02	68.44	153.17	156.02	153.02	137.54	1261.70
HSf (mm)	873.35	886.37	876.01	886.37	821.76	802.31	795.66	788.42	886.37	886.37	886.37	886.37	
DCC (mm)	13.02	0.00	10.36	0.00	64.61	84.06	90.71	97.95	0.00	0.00	0.00	0.00	
Rp (mm)	0.00	99.61	0.00	51.25	0.00	0.00	0.00	0.00	60.93	47.60	137.12	216.16	612.67
NR (mm)	20.78	0.00	13.71	0.00	89.60	138.91	158.39	181.48	0.00	0.00	0.00	0.00	602.87

55A. BALANCE HÍDRICO DE SUELOS
Unidad de Muestreo 3

Zona de Estudio: Cr Ksd Bosque Joven (plantación de pino de 3 años)

Textura de Suelo: Franco Arcilloso 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]	291.92
Kp [0.01%]	0.06
Kv [0.01%]	0.20
Kfc [0.01%]	0.748
I [0.01%]	1
DS (g/cm3):	0.89
PR (mm)	2000.00
HSi (mm)	578.67
Nº de mes con que inicia HSi;1,2,3...12?	1
Lluvia retenida [0.01%] : Bosques=0.2, otros=0.12	0.20

	Por peso	
	(%)	(mm)
CC	32.55	0.00
PM	24.27	0.00
(CC-PM)	8.28	0.00

Concepto	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Total
P (mm)	95.41	293.49	42.33	167.65	0.17	45.05	69.23	56.02	391.78	241.23	399.09	471.39	2272.84
Ret [mm]	5.00	5.00	5.00	5.00	0.17	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	55.17
Pi (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
ESC (mm)	90.41	288.49	37.33	162.65	0.00	40.05	64.23	51.02	386.78	236.23	394.09	466.39	2217.67
ETP (mm)	127.92	106.13	78.76	82.99	140.55	132.82	142.13	154.81	160.67	162.32	161.60	143.25	1593.94
HSi (mm)	578.67	549.50	578.67	545.79	578.67	505.22	486.89	486.94	479.02	578.67	578.67	578.67	
C1	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.75	0.75	0.68	1.00	1.00	1.00	1.00	
C2	0.65	1.00	0.70	1.00	0.05	0.07	0.03	0.00	1.00	1.00	1.00	1.00	
HD (mm)	223.53	352.82	181.07	248.44	147.20	109.79	110.80	100.28	360.97	340.19	466.47	524.31	
ETR (mm)	105.50	106.13	66.75	82.99	73.45	54.37	55.34	52.73	160.67	162.32	161.60	143.25	1225.10
HSf (mm)	549.50	578.67	545.79	578.67	505.22	486.89	486.94	479.02	578.67	578.67	578.67	578.67	
DCC (mm)	29.18	0.00	32.89	0.00	73.45	91.78	91.73	99.65	0.00	0.00	0.00	0.00	
Rp (mm)	0.00	99.48	0.00	18.24	0.00	0.00	0.00	0.00	53.10	30.66	157.67	233.86	593.03
NR (mm)	51.60	0.00	44.90	0.00	140.55	170.23	178.53	201.73	0.00	0.00	0.00	0.00	787.53

56A. BALANCE HÍDRICO DE SUELOS
Unidad de Muestreo 4

Zona de Estudio: Cr Ksd Bosque Maduro

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]	186.08
Kp [0.01%]	0.06
Kv [0.01%]	0.20
Kfc [0.01%]	0.644
I [0.01%]	0.904
DS (g/cm3):	0.74
PR (mm)	2000.00
HSi (mm)	863.36
Nº de mes con que inicia HSi;1,2,3...12?	1
Lluvia retenida [0.01%] : Bosques=0.2, otros=0.12	0.20

	Por peso	
	(%)	(mm)
CC	58.28	863.36
PM	45.60	675.52
(CC-PM)	12.68	187.84

Concepto	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Total
P (mm)	102.43	288.44	50.99	169.05	1.93	50.14	71.98	60.13	391.44	243.90	391.78	465.52	2287.72
Ret [mm]	20.49	57.69	10.20	33.81	1.93	10.03	14.40	12.03	78.29	48.78	78.36	93.10	459.09
Pi (mm)	74.08	208.60	36.88	122.26	0.00	36.26	52.06	43.49	283.09	176.39	283.34	336.66	1652.60
ESC (mm)	7.87	22.15	3.92	12.98	0.00	3.85	5.53	4.62	30.06	18.73	30.09	35.75	176.04
ETP (mm)	127.35	137.43	79.43	82.01	107.65	132.38	141.84	154.24	159.16	161.06	159.88	142.10	1584.53
HSi (mm)	863.36	828.15	863.36	829.80	863.36	786.56	755.59	745.54	734.09	860.28	863.36	863.36	
C1	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.78	0.70	0.60	1.00	1.00	1.00	1.00	
C2	0.72	1.00	0.77	1.00	0.43	0.23	0.17	0.11	0.97	1.00	1.00	1.00	
HD (mm)	261.92	361.23	224.72	276.54	187.84	147.30	132.13	113.51	341.66	361.15	471.18	524.50	
ETR (mm)	109.29	137.43	70.43	82.01	76.80	67.23	62.10	54.94	156.90	161.06	159.88	142.10	1280.09
HSf (mm)	828.15	863.36	829.80	863.36	786.56	755.59	745.54	734.09	860.28	863.36	863.36	863.36	
DCC (mm)	35.21	0.00	33.56	0.00	76.80	107.77	117.82	129.27	3.08	0.00	0.00	0.00	
Rp (mm)	0.00	35.96	0.00	6.69	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	12.25	123.46	194.56	372.50
NR (mm)	53.27	0.00	42.55	0.00	107.65	172.92	197.55	228.57	5.34	0.00	0.00	0.00	808.05

57A. BALANCE HÍDRICO DE SUELOS
Unidad de Muestreo 5

Zona de Estudio: Cr Ksd Bosque Mediano (plantación de pino de 11 años)

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]	808.64
Kp [0.01%]	0.06
Kv [0.01%]	0.20
Kfc [0.01%]	0.94
I [0.01%]	1
DS (g/cm3):	0.77
PR (mm)	2000.00
HSi (mm)	875.50
Nº de mes con que inicia HSi;1,2,3...12?	1
Lluvia retenida [0.01%] : Bosques=0.2, otros=0.12	0.20

	Por peso	
	(%)	(mm)
CC	56.91	875.50
PM	44.56	685.51
(CC-PM)	12.35	189.99

Concepto	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Total
P (mm)	104.85	286.73	53.92	169.52	2.52	51.87	72.92	61.52	391.32	244.80	389.31	463.53	2292.76
Ret [mm]	20.97	57.35	10.78	33.90	2.52	10.37	14.58	12.30	78.26	48.96	77.86	92.71	460.58
Pi (mm)	83.88	229.38	43.14	135.62	0.00	41.50	58.34	49.22	313.06	195.84	311.45	370.82	1832.23
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)	127.16	109.55	79.65	81.67	96.51	132.23	141.75	154.05	158.65	160.63	159.30	141.71	1542.86
HSi (mm)	875.50	846.70	875.50	846.64	875.50	803.50	772.62	762.92	751.09	875.50	875.50	875.50	
C1	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.84	0.77	0.67	1.00	1.00	1.00	1.00	
C2	0.77	1.00	0.81	1.00	0.49	0.26	0.19	0.13	1.00	1.00	1.00	1.00	
HD (mm)	273.87	390.58	233.13	296.75	189.99	159.49	145.45	126.63	378.64	385.83	501.44	560.81	
ETR (mm)	112.68	109.55	72.00	81.67	72.00	72.37	68.04	61.05	158.65	160.63	159.30	141.71	1269.64
HSf (mm)	846.70	875.50	846.64	875.50	803.50	772.62	762.92	751.09	875.50	875.50	875.50	875.50	
DCC (mm)	28.80	0.00	28.86	0.00	72.00	102.88	112.58	124.41	0.00	0.00	0.00	0.00	
Rp (mm)	0.00	91.04	0.00	25.09	0.00	0.00	0.00	0.00	30.00	35.21	152.15	229.11	562.55
NR (mm)	43.28	0.00	36.51	0.00	96.51	162.73	186.29	217.41	0.00	0.00	0.00	0.00	742.74

58A. BALANCE HÍDRICO DE SUELOS
Unidad de Muestreo 6

Zona de Estudio: Cr Ksd Cultivos Agrícolas

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]	290.50
Kp [0.01%]	0.10
Kv [0.01%]	0.10
Kfc [0.01%]	0.747
I [0.01%]	0.947
DS (g/cm3):	0.80
PR (mm)	1000.00
HSi (mm)	466.32
Nº de mes con que inicia HSi;1,2,3...12?	1
Lluvia retenida [0.01%] : Bosques=0.2, otros=0.12	0.12

	Por peso	
	(%)	(mm)
CC	58.25	466.32
PM	38.25	306.00
(CC-PM)	20.04	160.32

Concepto	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Total
P (mm)	99.77	290.36	47.70	168.52	1.27	48.21	70.94	58.57	391.57	242.88	394.56	467.75	2282.07
Ret [mm]	11.97	34.84	5.72	20.22	1.27	5.79	8.51	7.03	46.99	29.15	47.35	56.13	274.97
Pi (mm)	83.14	241.97	39.75	140.44	0.00	40.18	59.12	48.81	326.32	202.41	328.81	389.80	1900.75
ESC (mm)	4.65	13.54	2.22	7.86	0.00	2.25	3.31	2.73	18.26	11.33	18.40	21.82	106.38
ETP (mm)	127.57	168.70	79.17	82.38	120.15	132.55	141.95	154.46	159.73	161.54	160.53	142.54	1631.27
HSi (mm)	466.32	439.57	466.32	436.63	466.32	391.19	370.57	368.65	361.81	466.32	466.32	466.32	
C1	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.78	0.77	0.70	1.00	1.00	1.00	1.00	
C2	0.72	1.00	0.75	1.00	0.25	0.14	0.09	0.03	1.00	1.00	1.00	1.00	
HD (mm)	243.46	375.54	200.07	271.07	160.32	125.37	123.68	111.46	382.13	362.73	489.13	550.12	
ETR (mm)	109.89	168.70	69.44	82.38	75.13	60.80	61.03	55.66	159.73	161.54	160.53	142.54	1307.37
HSf (mm)	439.57	466.32	436.63	466.32	391.19	370.57	368.65	361.81	466.32	466.32	466.32	466.32	
DCC (mm)	26.75	0.00	29.69	0.00	75.13	95.75	97.67	104.51	0.00	0.00	0.00	0.00	
Rp (mm)	0.00	46.52	0.00	28.37	0.00	0.00	0.00	0.00	62.08	40.87	168.28	247.26	592.59
NR (mm)	44.43	0.00	39.42	0.00	120.15	167.50	178.59	203.32	0.00	0.00	0.00	0.00	753.40

59A. BALANCE HÍDRICO DE SUELOS
Unidad de Muestreo 7

Zona de Estudio: Cr Ksd Infraestructura

Textura de Suelo: Franco Arcilloso

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]	175.15
Kp [0.01%]	0.30
Kv [0.01%]	0.01
Kfc [0.01%]	0.629
I [0.01%]	0.939
DS (g/cm3):	0.87
PR (mm)	250.00
HSi (mm)	85.46
Nº de mes con que inicia HSi;1,2,3...12?	1
Lluvia retenida [0.01%] : Bosques=0.2, otros=0.12	0.12

	Por peso	
	(%)	(mm)
CC	39.31	85.46
PM	28.35	61.63
(CC-PM)	10.96	23.83

Concepto	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Total
P (mm)	94.82	293.91	41.60	167.53	0.03	44.62	69.00	55.68	391.81	241.00	399.70	471.88	2271.59
Ret [mm]	11.38	35.27	5.00	20.10	0.03	5.35	8.28	6.68	47.02	28.92	47.96	56.63	272.62
Pi (mm)	78.35	242.86	34.37	138.43	0.00	36.87	57.02	46.01	323.76	199.14	330.28	389.92	1877.02
ESC (mm)	5.09	15.78	2.23	8.99	0.00	2.40	3.70	2.99	21.03	12.94	21.46	25.33	121.94
ETP (mm)	127.97	226.66	78.70	83.08	143.31	132.85	142.15	154.86	160.79	162.43	161.74	143.34	1717.90
HSi (mm)	85.46	85.46	85.46	80.48	85.46	61.63	61.63	61.63	61.63	85.46	85.46	85.46	
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	0.00	1.00	0.00	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.00	1.00	1.00	1.00	
HD (mm)	102.18	266.69	58.20	157.28	23.83	36.87	57.02	46.01	323.76	222.97	354.11	413.75	
ETR (mm)	63.99	226.66	39.35	83.08	23.83	36.87	57.02	46.01	160.79	162.43	161.74	143.34	1205.10
HSf (mm)	85.46	85.46	80.48	85.46	61.63	61.63	61.63	61.63	85.46	85.46	85.46	85.46	
DCC (mm)	0.00	0.00	4.98	0.00	23.83	23.83	23.83	23.83	0.00	0.00	0.00	0.00	
Rp (mm)	14.37	16.20	0.00	50.37	0.00	0.00	0.00	0.00	139.14	36.71	168.54	246.58	672.40
NR (mm)	63.99	0.00	44.33	0.00	143.31	119.81	108.96	132.68	0.00	0.00	0.00	0.00	613.08

60A. BALANCE HÍDRICO DE SUELOS
Unidad de Muestreo 8

Zona de Estudio: Cr Ksd Regeneración no Adecuada

Textura de Suelo: Franco Arcilloso 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]	91.45
Kp [0.01%]	0.06
Kv [0.01%]	0.20
Kfc [0.01%]	0.469
I [0.01%]	0.729
DS (g/cm3):	0.85
PR (mm)	1250.00
HSi (mm)	370.12
Nº de mes con que inicia HSi;1,2,3...12?	1
Lluvia retenida [0.01%] : Bosques=0.2, otros=0.12	0.20

	Por peso	
	(%)	(mm)
CC	34.79	370.12
PM	29.13	309.91
(CC-PM)	5.66	60.22

Concepto	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Total
P (mm)	99.75	290.37	47.67	168.51	1.26	48.19	70.93	58.56	391.57	242.87	394.58	467.76	2282.03
Ret [mm]	19.95	58.07	9.53	33.70	1.26	9.64	14.19	11.71	78.31	48.57	78.92	93.55	457.41
Pi (mm)	58.17	169.34	27.80	98.28	0.00	28.10	41.37	34.15	228.36	141.64	230.12	272.80	1330.14
ESC (mm)	21.63	62.95	10.33	36.53	0.00	10.45	15.38	12.70	84.89	52.65	85.54	101.41	494.47
ETP (mm)	127.57	168.94	79.17	82.38	120.24	132.55	141.95	154.46	159.74	161.54	160.54	142.54	1631.63
HSi (mm)	370.12	364.51	370.12	352.52	369.59	310.01	309.91	309.91	309.91	370.12	370.12	370.12	
C1	1.00	1.00	1.00	1.00	0.99	0.47	0.69	0.57	1.00	1.00	1.00	1.00	
C2	0.00	0.91	0.15	0.97	0.00	0.00	0.00	0.00	1.00	0.67	1.00	1.00	
HD (mm)	118.38	223.94	88.01	140.89	59.68	28.20	41.37	34.15	228.36	201.85	290.33	333.01	
ETR (mm)	63.79	161.62	45.40	81.21	59.58	28.20	41.37	34.15	159.74	134.84	160.54	142.54	1112.97
HSf (mm)	364.51	370.12	352.52	369.59	310.01	309.91	309.91	309.91	370.12	370.12	370.12	370.12	
DCC (mm)	5.61	0.00	17.60	0.53	60.11	60.21	60.21	60.21	0.00	0.00	0.00	0.00	
Rp (mm)	0.00	2.11	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	8.41	6.80	69.58	130.26	216.85
NR (mm)	69.40	7.32	51.37	1.70	120.77	164.56	160.79	180.52	0.00	26.70	0.00	0.00	783.12

61A. BALANCE HÍDRICO DE SUELOS
Unidad de Muestreo 9

Zona de Estudio: Cr Ksd Zacate>75%

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]	292.33
Kp [0.01%]	0.10
Kv [0.01%]	0.21
Kfc [0.01%]	0.748
I [0.01%]	1
DS (g/cm3):	0.89
PR (mm)	600.00
HSi (mm)	212.22
Nº de mes con que inicia HSi;1,2,3...12?	1
Lluvia retenida [0.01%] : Bosques=0.2, otros=0.12	0.12

	Por peso	
	(%)	(mm)
CC	39.79	212.22
PM	29.4	156.80
(CC-PM)	10.39	55.41

Concepto	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Total
P (mm)	97.15	292.24	44.47	168.00	0.62	46.31	69.91	57.04	391.70	241.89	397.28	469.93	2276.53
Ret [mm]	11.66	35.07	5.34	20.16	0.62	5.56	8.39	6.84	47.00	29.03	47.67	56.39	273.73
Pi (mm)	85.49	257.17	39.13	147.84	0.00	40.75	61.52	50.20	344.70	212.86	349.61	413.54	2002.81
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)	127.78	199.35	78.92	82.75	132.40	132.71	142.06	154.67	160.29	162.01	161.17	142.96	1677.08
HSi (mm)	212.22	212.22	212.22	200.76	212.22	156.80	156.80	156.80	156.80	212.22	212.22	212.22	
C1	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.74	1.00	0.91	1.00	1.00	1.00	1.00	
C2	0.24	1.00	0.28	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.00	1.00	1.00	1.00	
HD (mm)	140.91	312.59	94.55	191.80	55.42	40.75	61.52	50.20	344.70	268.28	405.03	468.96	
ETR (mm)	79.03	199.35	50.59	82.75	55.42	40.75	61.52	50.20	160.29	162.01	161.17	142.96	1246.04
HSf (mm)	212.22	212.22	200.76	212.22	156.80	156.80	156.80	156.80	212.22	212.22	212.22	212.22	
DCC (mm)	0.00	0.00	11.46	0.00	55.42	55.42	55.42	55.42	0.00	0.00	0.00	0.00	
Rp (mm)	6.46	57.82	0.00	53.63	0.00	0.00	0.00	0.00	128.99	50.85	188.44	270.58	756.77
NR (mm)	48.75	0.00	39.79	0.00	132.40	147.38	135.96	159.89	0.00	0.00	0.00	0.00	664.17

62A. BALANCE HÍDRICO DE SUELOS
Unidad de Muestreo 10

Zona de Estudio: Te JKts Bosque Joven

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]	46.68
Kp [0.01%]	0.06
Kv [0.01%]	0.20
Kfc [0.01%]	0.296
I [0.01%]	0.556
DS (g/cm3):	0.67
PR (mm)	2000.00
HSi (mm)	807.24
Nº de mes con que inicia HSi;1,2,3...12?	1
Lluvia retenida [0.01%] : Bosques=0.2, otros=0.12	0.20

	Por peso	
	(%)	(mm)
CC	60.54	807.24
PM	48.68	649.10
(CC-PM)	11.86	158.14

Concepto	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Total
P (mm)	232.71	194.75	211.67	195.00	34.39	144.70	123.13	136.39	385.01	293.46	256.19	356.50	2563.90
Ret [mm]	46.54	38.95	42.33	39.00	6.88	28.94	24.63	27.28	77.00	58.69	51.24	71.30	512.78
Pi (mm)	103.51	86.62	94.15	86.74	15.30	64.36	54.77	60.67	171.25	130.53	113.95	158.57	1140.42
ESC (mm)	82.66	69.18	75.19	69.26	12.22	51.40	43.74	48.45	136.76	104.24	91.00	126.63	910.70
ETP (mm)	116.82	90.03	91.86	63.74	88.70	124.32	136.53	143.66	131.25	137.57	127.94	120.87	1373.30
HSi (mm)	807.24	798.85	798.80	802.88	807.24	754.42	738.79	722.68	716.79	777.72	786.59	786.61	
C1	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.91	0.85	1.00	1.00	1.00	1.00	
C2	0.92	0.93	0.96	1.00	0.54	0.29	0.12	0.08	0.68	0.77	0.78	1.00	
HD (mm)	261.65	236.37	243.85	240.51	173.44	169.69	144.46	134.25	238.94	259.16	251.44	296.08	
ETR (mm)	111.90	86.67	90.07	63.74	68.11	79.99	70.88	66.56	110.31	121.67	113.93	120.87	1104.72
HSf (mm)	798.85	798.80	802.88	807.24	754.42	738.79	722.68	716.79	777.72	786.59	786.61	807.24	
DCC (mm)	8.39	8.44	4.36	0.00	52.82	68.45	84.56	90.45	29.52	20.65	20.63	0.00	
Rp (mm)	0.00	0.00	0.00	18.63	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	17.07	35.69
NR (mm)	13.31	11.80	6.15	0.00	73.40	112.77	150.21	167.55	50.45	36.55	34.64	0.00	656.85

63A. BALANCE HÍDRICO DE SUELOS
Unidad de Muestreo 11

Zona de Estudio: Te JKts Bosque Maduro

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]	810.89
Kp [0.01%]	0.06
Kv [0.01%]	0.20
Kfc [0.01%]	0.941
I [0.01%]	1
DS (g/cm3):	0.73
PR (mm)	2000.00
HSi (mm)	947.09
Nº de mes con que inicia HSi;1,2,3...12?	1
Lluvia retenida [0.01%] : Bosques=0.2, otros=0.12	0.20

	Por peso	
	(%)	(mm)
CC	65.11	947.09
PM	50.2	729.92
(CC-PM)	14.93	217.17

Concepto	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Total
P (mm)	200.11	218.19	171.47	188.51	26.27	121.04	110.33	117.31	386.62	281.06	290.12	383.78	2494.80
Ret [mm]	40.02	43.64	34.29	37.70	5.25	24.21	22.07	23.46	77.32	56.21	58.02	76.76	498.96
Pi (mm)	160.09	174.55	137.18	150.81	21.02	96.83	88.26	93.85	309.30	224.85	232.10	307.02	1995.85
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)	119.46	93.85	88.75	68.31	90.23	126.34	137.86	146.31	138.24	143.45	135.93	126.18	1414.90
HSi (mm)	947.09	947.09	947.09	947.09	947.09	892.25	887.28	872.41	862.78	947.09	947.09	947.09	
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	0.68	0.61	0.50	0.41	1.00	1.00	1.00	1.00	
HD (mm)	377.26	391.72	354.35	367.98	238.19	259.17	245.62	236.34	442.15	442.02	449.27	524.19	
ETR (mm)	119.46	93.85	88.75	68.31	75.85	101.81	103.13	103.48	138.24	143.45	135.93	126.18	1298.44
HSf (mm)	947.09	947.09	947.09	947.09	892.25	887.28	872.41	862.78	947.09	947.09	947.09	947.09	
DCC (mm)	0.00	0.00	0.00	0.00	54.84	59.81	74.68	84.31	0.00	0.00	0.00	0.00	
Rp (mm)	40.63	80.70	48.43	82.50	0.00	0.00	0.00	0.00	86.74	81.40	96.17	180.84	697.40
NR (mm)	0.00	0.00	0.00	0.00	69.21	84.34	109.41	127.14	0.00	0.00	0.00	0.00	390.11

64A. BALANCE HÍDRICO DE SUELOS
Unidad de Muestreo 12

Zona de Estudio: Te JKts Regeneración no Adecuada

Textura de Suelo: Franco Aciloso

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]	112.22
Kp [0.01%]	0.06
Kv [0.01%]	0.20
Kfc [0.01%]	0.52
I [0.01%]	0.78
DS (g/cm3):	0.82
PR (mm)	1250.00
HSi (mm)	971.70
Nº de mes con que inicia HSi;1,2,3...12?	1
Lluvia retenida [0.01%] : Bosques=0.2, otros=0.12	0.20

	Por peso	
	(%)	(mm)
CC	95.23	971.70
PM	35.98	367.13
(CC-PM)	59.25	604.57

Concepto	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Total
P (mm)	158.80	247.91	120.51	180.28	15.97	91.05	94.11	93.12	388.66	265.34	333.12	418.35	2407.21
Ret [mm]	31.76	49.58	24.10	36.06	5.00	18.21	18.82	18.62	77.73	53.07	66.62	83.67	483.25
Pi (mm)	99.09	154.70	75.20	112.49	8.56	56.82	58.72	58.11	242.52	165.57	207.87	261.05	1500.70
ESC (mm)	27.95	43.63	21.21	31.73	2.41	16.02	16.56	16.39	68.40	46.70	58.63	73.63	423.27
ETP (mm)	122.80	98.69	84.81	74.10	92.17	128.89	139.54	149.67	147.09	150.90	146.06	132.91	1467.63
HSi (mm)	971.70	950.40	971.70	962.76	971.70	894.46	840.01	790.20	743.93	855.46	882.81	947.89	
C1	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.97	0.88	0.80	1.00	1.00	1.00	1.00	
C2	0.96	1.00	0.98	1.00	0.86	0.76	0.68	0.60	0.78	0.83	0.96	1.00	
HD (mm)	703.66	737.96	679.77	708.13	613.13	584.15	531.61	481.18	619.32	653.90	723.55	841.81	
ETR (mm)	120.39	98.69	84.14	74.10	85.80	111.26	108.54	104.38	130.99	138.22	142.79	132.91	1332.21
HSf (mm)	950.40	971.70	962.76	971.70	894.46	840.01	790.20	743.93	855.46	882.81	947.89	971.70	
DCC (mm)	21.30	0.00	8.94	0.00	77.24	131.69	181.50	227.77	116.24	88.89	23.81	0.00	
Rp (mm)	0.00	34.70	0.00	29.46	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	104.33	168.60
NR (mm)	23.71	0.00	9.61	0.00	83.61	149.31	212.50	273.06	132.34	101.57	27.08	0.00	1012.80

65A. BALANCE HÍDRICO DE SUELOS
Unidad de Muestreo 13

Zona de Estudio: Te Ksd Bosque Joven (Plantación de Pino de 7 años)

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]	74.83
Kp [0.01%]	0.10
Kv [0.01%]	0.20
Kfc [0.01%]	0.418
I [0.01%]	0.718
DS (g/cm ³):	0.82
PR (mm)	2000.00
HSi (mm)	560.80
Nº de mes con que inicia HSi:1,2,3...12?	1
Lluvia retenida [0.01%] : Bosques=0.2, otros=0.12	0.20

	Por peso	
	(%)	(mm)
CC	34.35	560.80
PM	22.00	359.17
(CC-PM)	12.35	201.63

Concepto	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Total
P (mm)	160.35	246.79	122.42	180.59	16.36	92.18	94.72	94.03	388.58	265.93	331.50	417.05	2410.50
Ret [mm]	32.07	49.36	24.48	36.12	5.00	18.44	18.94	18.81	77.72	53.19	66.30	83.41	483.83
Pi (mm)	92.11	141.76	70.32	103.73	8.16	52.95	54.41	54.01	223.20	152.75	190.41	239.55	1383.35
ESC (mm)	36.17	55.68	27.62	40.74	3.20	20.80	21.37	21.21	87.66	59.99	74.79	94.09	543.32
ETP (mm)	122.67	98.51	84.95	73.89	92.10	128.80	139.48	149.54	146.76	150.62	145.68	132.66	1465.66
HSi (mm)	560.80	539.53	560.80	549.25	560.80	496.03	466.46	447.70	435.20	529.53	542.54	560.80	
C1	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.94	0.80	0.71	1.00	1.00	1.00	1.00	
C2	0.85	1.00	0.93	1.00	0.58	0.34	0.25	0.18	0.76	0.86	1.00	1.00	
HD (mm)	293.74	322.12	271.95	293.81	209.79	189.81	161.69	142.54	299.23	323.11	373.79	441.18	
ETR (mm)	113.37	98.51	81.87	73.89	72.93	82.52	73.16	66.51	128.87	139.74	145.68	132.66	1209.71
HSf (mm)	539.53	560.80	549.25	560.80	496.03	466.46	447.70	435.20	529.53	542.54	560.80	560.80	
DCC (mm)	21.27	0.00	11.55	0.00	64.77	94.34	113.10	125.60	31.27	18.26	0.00	0.00	
Rp (mm)	0.00	21.98	0.00	18.29	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	26.48	106.89	173.14
NR (mm)	30.56	0.00	14.63	0.00	83.94	140.62	179.42	208.63	49.16	29.14	0.00	0.00	736.12

66A. BALANCE HÍDRICO DE SUELOS
Unidad de Muestreo 14

Zona de Estudio: Te Ksd Bosque Maduro

Textura de Suelo: Arcilloso

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]	212.04
Kp [0.01%]	0.06
Kv [0.01%]	0.20
Kfc [0.01%]	0.675
I [0.01%]	0.935
DS (g/cm ³):	0.89
PR (mm)	2000.00
HSi (mm)	950.70
Nº de mes con que inicia HSi;1,2,3...12?	1
Lluvia retenida [0.01%] : Bosques=0.2, otros=0.12	0.20

	Por peso	(mm)
	(%)	
CC	53.47	950.70
PM	44.98	799.74
(CC-PM)	8.49	150.95

Concepto	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Total
P (mm)	273.03	165.75	261.41	203.04	44.44	173.96	138.96	160.00	383.02	308.80	214.22	322.75	2649.38
Ret [mm]	54.61	33.15	52.28	40.61	8.89	34.79	27.79	32.00	76.60	61.76	42.84	64.55	529.88
Pi (mm)	204.23	123.98	195.53	151.87	33.24	130.12	103.94	119.68	286.50	230.98	160.24	241.42	1981.74
ESC (mm)	14.20	8.62	13.59	10.56	2.31	9.05	7.23	8.32	19.92	16.06	11.14	16.78	137.77
ETP (mm)	113.56	85.30	95.71	58.09	86.81	121.83	134.88	140.39	122.61	130.31	118.05	114.29	1321.83
HSi (mm)	950.70	950.70	950.70	950.70	950.70	912.53	932.88	923.72	925.18	950.70	950.70	950.70	
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	0.65	0.80	0.68	0.68	1.00	1.00	1.00	1.00	
HD (mm)	355.19	274.94	346.49	302.83	184.20	242.91	237.08	243.66	411.94	381.94	311.20	392.38	
ETR (mm)	113.56	85.30	95.71	58.09	71.41	109.78	113.10	118.22	122.61	130.31	118.05	114.29	1250.42
HSf (mm)	950.70	950.70	950.70	950.70	912.53	932.88	923.72	925.18	950.70	950.70	950.70	950.70	
DCC (mm)	0.00	0.00	0.00	0.00	38.17	17.82	26.98	25.52	0.00	0.00	0.00	0.00	
Rp (mm)	90.67	38.68	99.82	93.78	0.00	0.00	0.00	0.00	138.37	100.67	42.19	127.13	730.60
NR (mm)	0.00	0.00	0.00	0.00	53.57	29.88	48.76	47.69	0.00	0.00	0.00	0.00	179.90

67A. BALANCE HÍDRICO DE SUELOS
Unidad de Muestreo 15

Zona de Estudio: Te Ksd Bosque Secundario (matorrales)

Textura de Suelo: Arcilloso

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: Escorrentia 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]	234.00
Kp [0.01%]	0.06
Kv [0.01%]	0.09
Kfc [0.01%]	0.698
I [0.01%]	0.848
DS (g/cm3):	0.89
PR (mm)	600.00
HSi (mm)	274.35
Nº de mes con que inicia HSi;1,2,3...12?	1
Lluvia retenida [0.01%] : Bosques=0.2, otros=0.12	0.12

	Por peso	
	(%)	(mm)
CC	51.44	274.35
PM	40.22	214.51
(CC-PM)	11.22	59.84

Concepto	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Total
P (mm)	284.25	157.68	275.24	205.27	47.23	182.10	143.36	166.56	382.47	313.07	202.55	313.37	2673.15
Ret [mm]	34.11	18.92	33.03	24.63	5.67	21.85	17.20	19.99	45.90	37.57	24.31	37.60	320.78
Pi (mm)	212.12	117.67	205.40	153.18	35.24	135.89	106.98	124.29	285.41	233.63	151.15	233.85	1994.81
ESC (mm)	38.02	21.09	36.82	27.46	6.32	24.36	19.18	22.28	51.16	41.88	27.09	41.92	357.56
ETP (mm)	112.66	83.98	96.78	56.51	86.29	121.13	134.43	139.48	120.21	128.28	115.30	112.47	1307.52
HSi (mm)	274.35	274.35	274.35	274.35	274.35	260.11	274.35	274.35	274.35	274.35	274.35	274.35	
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	0.15	1.00	0.54	0.75	1.00	1.00	1.00	1.00	
HD (mm)	271.96	177.51	265.24	213.02	95.08	181.49	166.82	184.13	345.25	293.47	210.99	293.69	
ETR (mm)	112.66	83.98	96.78	56.51	49.49	121.13	103.60	121.78	120.21	128.28	115.30	112.47	1222.19
HSf (mm)	274.35	274.35	274.35	274.35	260.11	274.35	274.35	274.35	274.35	274.35	274.35	274.35	
DCC (mm)	0.00	0.00	0.00	0.00	14.24	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
Rp (mm)	99.46	33.69	108.62	96.67	0.00	0.52	3.38	2.51	165.20	105.35	35.85	121.38	772.43
NR (mm)	0.00	0.00	0.00	0.00	51.05	0.00	30.83	17.70	0.00	0.00	0.00	0.00	99.58

68A. BALANCE HÍDRICO DE SUELOS
Unidad de Muestreo 16

Zona de Estudio: Te Ksd Regeneración no Adecuada

Textura de Suelo: Franco Arcilloso

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]	292.18
Kp [0.01%]	0.06
Kv [0.01%]	0.20
Kfc [0.01%]	0.748
I [0.01%]	1
DS (g/cm3):	0.85
PR (mm)	1250.00
HSi (mm)	456.51
Nº de mes con que inicia HSi;1,2,3...12?	1
Lluvia retenida [0.01%] : Bosques=0.2, otros=0.12	0.20

	Por peso	
	(%)	(mm)
CC	42.91	456.51
PM	30.69	326.50
(CC-PM)	12.22	130.01

Concepto	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Total
P (mm)	262.18	173.56	248.02	200.88	41.73	166.09	134.70	153.64	383.56	304.67	225.52	331.84	2626.37
Ret [mm]	52.44	34.71	49.60	40.18	8.35	33.22	26.94	30.73	76.71	60.93	45.10	66.37	525.28
Pi (mm)	209.74	138.85	198.42	160.70	33.38	132.87	107.76	122.91	306.85	243.74	180.42	265.47	2101.11
ESC (mm)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
ETP (mm)	114.44	86.56	94.68	59.60	87.32	122.50	135.32	141.27	124.93	132.25	120.70	116.05	1335.61
HSi (mm)	456.51	456.51	456.51	456.51	456.51	420.69	443.05	436.84	439.14	456.51	456.51	456.51	
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	0.59	0.80	0.68	0.71	1.00	1.00	1.00	1.00	
HD (mm)	339.75	268.86	328.43	290.71	163.39	227.06	224.31	233.25	419.49	373.75	310.43	395.48	
ETR (mm)	114.44	86.56	94.68	59.60	69.21	110.51	113.97	120.61	124.93	132.25	120.70	116.05	1263.51
HSf (mm)	456.51	456.51	456.51	456.51	420.69	443.05	436.84	439.14	456.51	456.51	456.51	456.51	
DCC (mm)	0.00	0.00	0.00	0.00	35.82	13.46	19.67	17.37	0.00	0.00	0.00	0.00	
Rp (mm)	95.30	52.29	103.74	101.10	0.00	0.00	0.00	0.00	164.55	111.49	59.72	149.42	837.61
NR (mm)	0.00	0.00	0.00	0.00	53.94	25.45	41.02	38.03	0.00	0.00	0.00	0.00	158.44

CAPÍTULO III

**INFORME DE SERVICIOS REALIZADOS EN LA SUB-
REGIÓN II-1 DEL INSTITUTO NACIONAL DE BOSQUES
-INAB-, TACTIC, ALTA VERAPAZ**

Y

**EN LA FINCA RÍO FRÍO, SANTA CRUZ VERAPAZ, ALTA
VERAPAZ**

1. INTRODUCCIÓN

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

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

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

Las servicios que se prestaron durante el Ejercicio Profesional Supervisado –EPS–, periodo de febrero a noviembre de 2005, en la subregión II-1, se enfocaron en el apoyo técnico por la carga de trabajo que se tiene en esta institución. Pues tiene a su cargo los municipios de San Cristóbal Verapaz, Santa Cruz Verapaz, Tactic y los municipios de las Bocas del Polochic, dando un total de 265,942.61 ha., de extensión territorial que abarca dicha sede.

Otro servicio prestado fue apoyar la instalación y monitoreo de las 16 parcelas de escorrentía ubicadas dentro de la finca Río Frío a una altura del kilómetro 189 de la carretera CA-14 que comunica la ciudad de Guatemala con la ciudad de Cobán. Las variables a monitorear fueron escorrentía, precipitación, sólidos en suspensión y sedimentos. Este servicio fue supervisado directamente por el proyecto de Conservación de Ecosistemas Forestales Estratégicos (CEFE).

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

2.1 Objetivos

- A.** Apoyar en las actividades técnicas de evaluación de Proyectos de Incentivos forestales -PINFOR-.
- B.** Apoyar en las actividades técnicas para la verificación de los planes de manejo forestal en las diferentes comunidades y propiedades privadas.
- C.** Apoyar en las actividades técnicas para la evaluación y eficiencia de industrias forestales.
- D.** Ordenar en forma cronológico los expedientes de los proyectos de incentivos forestales -PINFOR- de la subregión II-1.

2.2 Metodología

2.2.1 Evaluación de Proyectos de Incentivos Forestal PINFOR.

- A.** En los meses de febrero a junio se visitaron las comunidades y fincas privadas para evaluar los proyectos de PINFOR.
- B.** En cada proyecto se procedió a levantar parcelas de circulares de 100 metros², en las que se tomaron altura y 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.
- C.** Los resultados obtenidos fueron anotados en libretas de campo, para luego dictaminar cada proyecto.
- D.** A finales del mes de junio se enviaron a las oficinas centrales los dictámenes técnicos de cada proyecto para ser efectivo su pago.

2.2.2 Verificación de Planes de Manejo Forestal

- A.** Para llevar acabo la verificación de planes de manejo se evaluó primero el plan de manejo propuesto por el regente encargado del proyecto.
- B.** Luego se procedió a verificar en el lugar donde se encuentra, tomando datos de altura, diámetro a la altura del pecho DAP, del 30% del total de los árboles que hay en cada rodal, también se observó el estado fitosanitario del área que será aprovechada.
- C.** Luego con los datos recabados en el campo se estimó el volumen por hectárea de la madera existente en toda el área propuesta en el plan de aprovechamiento.
- D.** Con el análisis de los resultados obtenidos en él campo se procedió a realizar el dictamen técnico en el cual se autorizó el volumen de madera a aprovechar, y asimismo otorgar la licencia forestal para poder llevar acabo el aprovechamiento.

2.2.3 Apoyar en las actividades técnicas para la evaluación y eficiencia de industrias forestales.

- A.** Para la evaluación del rendimiento y eficiencia de la industria visitada, se procedió a pintar con spray quince trozas, cinco de color negro, cinco de color azul y cinco de color verde.
- B.** Antes de ser procesadas se midió el diámetro menor y mayor de cada troza.
- C.** Durante la troza es procesada, se toman medidas de ancho, largo y grosor de cada pieza que se obtiene.
- D.** Luego se clasificaron aquellas piezas que tienen las mismas medidas, para tener el total de piezas por troza.
- E.** Con los datos obtenidos en el aserradero se procede a realizar el análisis en una hoja de cálculo en Excel.
- F.** Luego se realiza el dictamen y es entregado al propietario de la industria.

2.2.4 Ordenar los expedientes de los Proyectos de Incentivos Forestales, de la Subregión II-1

- A. Se procedió a obtener fotocopias del soporte legal, dictámenes técnicos y resoluciones de cada usuario para ser adjuntados en cada expediente.
- B. Luego se clasificaron los expedientes asignándoles un color por cada fase en que se encuentra la plantación.
- C. Se colocaron las pestañas a cada expediente dependiendo del color asignado y colocando la primera letra del representante legal o propietario del proyecto. En el caso de mujeres representantes o propietarias se colocó la primera letra del apellido de soltera.

2.3 Resultados

2.3.1 Evaluación de Proyectos de Incentivos Forestal PINFOR.

En el periodo de EPS se apoyó en la evaluación de 18 proyectos en diferentes fases, encontrándose ubicados en comunidades y fincas privadas. Como se muestra en el siguiente cuadro:

Cuadro 69. Proyectos evaluados de PINFOR.

No.	Nombre del Propietario	No. de Parcelas	Altura Promedio (mts)	Diámetro Promedio (cm)	No. de Árboles/Parcela
1	Antonio Pop	3	1.65	1.6	28
2	Ricardo Ical Tij	4	1.2	-----	38
3	Alberto Lem Ical	4	1.90	1.85	45
4	Cristobal Cal	3	1.63	2.4	35
5	Maximon Cal	4	1.30	-----	33
6	Oscar Cal Suram	3	0.09	-----	34
7	Domingo Moj Iqui	5	1.95	2.1	52
8	Mariano Chocoj Mo	3	2.52	3.2	23
9	José Calel Mus	2	1.72	2.2	18
10	Santiago Cal Sham	4	1.36	1.33	30
11	Juan Iqui Moj	4	1.63	1.45	42
12	Crecencio Moj Cal	3	1.85	3.25	30
13	Carlos Chen Cal	4	1.13	-----	43
14	Pablo Caal	4	0.82	-----	27
15	Ricardo Chen	2	0.8	-----	16
16	Enríquez Rax Rodríguez	4	3.33	-----	56
17	Santiago Xoná Lem	4	0.95	-----	37
18	Efraín Suram	4	1.89	1.8	31

2.3.2 Verificación de Planes de Manejo Forestal

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

Cuadro 70. Datos de Planes de Manejo Evaluados

FINCA	PROPIETARIO	ÁREA/ HA.	VOLUMEN m ³
Sn. Joaquin, Sn. Cristobal	Oswaldo Rudolf Hesse Treske	90	3228.84
El Rincón, Tucurú	Plantaciones Guaxac, S.A.	37.72	1577.03
Sin Nombre	Virginia Milian de Guerrero	11.33	1061.60
El Crepúsculo, Tactic	Olimpia Buenafe Leal	4.00	694.96
Parrachoch	Mario Arriola Ramírez	2.20	346.01



Figura 50. Verificación de Planes de Manejo

2.3.3 Apoyar en las actividades técnicas para la evaluación de rendimiento y eficiencia de industrias forestales.

Se brindó apoyo a los técnicos forestales de la subregión II-1 para la evaluación de eficiencia y rendimiento de dos aserraderos ubicados en Tactic y Santa Cruz Verapaz. Los resultados que se obtuvieron en los aserraderos visitados se presentan en el cuadro 71.

Cuadro 71. Porcentaje de rendimiento de las industrias evaluadas

Aserradero	Ubicación	% de Rendimiento
INDEMA	Tactic	60
San José	Santa Cruz Verapaz	57.93



Figura 51. Identificación de trozas a evaluar



Figura 52. Proceso de las trozas a evaluar

2.3.4 Ordenar los expedientes de los Proyectos de Incentivos Forestales, de la Subregión II-1

Los expedientes fueron ordenados cronológicamente y asignándoles un color por etapa o fase de la plantación.

Cuadro 72. Asignación de colores para los proyectos de PINFOR

Etapa o Fase	Color asignado
Establecimiento	verde claro
Mantenimiento 1	rojo
Mantenimiento 2	anaranjado
Mantenimiento 3	rosado
Mantenimiento 4	celeste fuerte
Mantenimiento 5	verde oscuro

Los expedientes fueron identificados con una pestaña con la letra del primer apellido del representante legal o propietario. Como se observa en la figura 53.



Figura 53. Expedientes de PINFOR identificados en orden cronológico.

Los expedientes de PINFOR se encuentran actualmente en la forma como se muestra en la figura 54.



Figura 54. Archivo general de expedientes de PINFOR de la subregión II-1

2.4 Evaluación

Durante las actividades técnicas a la subregión II-1 del Instituto Nacional de bosques –INAB- Tactic Alta Verapaz, se evaluaron 18 proyectos de PINFOR, en comunidades y fincas privadas. Se apoyo a la verificación de 5 planes de manejo. La evaluación de dos aserraderos y se ordenaron aproximadamente 200 expedientes de PINFOR. Estas actividades fueron asignadas por el Director Subregional de esta institución.

3. SERVICIO 2: Apoyo al levantamiento y monitoreo de las parcelas de escorrentía en la finca Río Frío, Santa Cruz Verapaz, Alta Verapaz.

3.1 Objetivos

- A.** Apoyar al establecimiento de las parcelas de escorrentía.
- B.** Cuantificar los sólidos en suspensión y sedimentos en las 16 parcelas de escorrentía.
- C.** Medir en forma diaria la escorrentía superficial en cada una de las parcelas.

3.2 Metodología

3.2.1 Características del área para la instalación de parcelas de escorrentía

- A.** Se realizó un recorrido en toda la finca de Río Frío, para ubicar las parcelas de escorrentía que tuvieran las características de pendiente, geología, fisiografía y clima bastante homogéneas.

3.2.2 Instalación de parcelas de escorrentía

- A.** Se procedió a marcar los árboles de las parcelas para establecer el efecto de borde con colores fluorescentes, mientras los árboles de parcelas de Escorrentía se pintaron de color blanco, tomando aproximadamente 12 árboles dentro de esta parcela.

- B.** Luego se procedió a enumerar y medir el diámetro a la altura del pecho de cada árbol.
- C.** Se procedió a delimitar las parcelas de escorrentía con tablas tratadas con aceite quemado en tres lados de cada parcela, midiendo éstas 75 metros cuadrados (7.5 metros de ancho por 10 metros de largo) cada una. Las parcelas de efecto de borde 487.5 metros cuadrado. Dando un total de 562.5 metros cuadrados en cada parcela.
- D.** Se colocaron los 4 canales de aluminio en la parte inferior de la parcela, al final de estos canales se colocaron dos recipientes de plástico (ver figura 55). Este sistema sirve para coleccionar la escorrentía en cada parcela. Para medir la precipitación directa se colocaron 3 pluviómetros (bote y embudo plástico), dentro de la parcela de escorrentía (ver figura 56). Estas parcelas fueron instaladas según la metodología recomendada por la FAO.



Figura 55. Sistema colector de escorrentía



Figura 56. Pluviómetros dentro de las parcelas de escorrentía.

- E.** Las parcelas tienen un diseño experimental de bloques al azar con 4 tratamientos de porcentaje 50%, 62%, 75% y 100%, y 4 repeticiones por tratamiento. Dando un total de 16 parcelas de Escorrentía.

3.2.3 Raleo de parcelas de Escorrentía

- A.** El raleo que se efectuó en las parcelas de escorrentía fueron de 25% 33% y 50%, distribuidos dentro del área de estudio.
- B.** Los árboles que se ralearon fueron aquellos que tenían deficiencias fitosanitarias y deformaciones en el fuste. De cada individuo derribado se tomo nota del número que se le había asignado anteriormente.



Figura 57. Raleo en las parcelas de escorrentía.

3.2.4 Monitoreo de las parcelas de escorrentía

- A.** Se midió en forma diaria la altura del agua, introduciendo una regla o cinta métrica dentro del recipiente recolector (ve figura 58) y se anotó el resultado en la libreta de campo.



Figura 58. Medición de la escorrentía

- B. En cada uno de los recipientes colectores se procedió a mezclar el agua con el suelo, tomando un litro de muestra para luego ser filtrada la cual era identificada de la siguiente manera: número de parcela y fecha.
- C. También se tomó otro litro de muestra para obtener las muestras que serán analizadas en un laboratorio.
- D. Para obtener las muestras de sedimentos se procedió a decantar toda el agua con el cuidado de no revolver ésta con el suelo (ver figura 59). Tomando todo el sedimentos depositado en el fondo del recipiente y filtrarlo para después pesarlo, este dato se anotó en la libreta de campo.
- E. Luego se tomó una muestra del sedimento pesado anteriormente (el resto es desechado), y es horneado a 221^oF. Después de hornear y pesar la muestra se anotó el resultado en la libreta de campo.



Figura 59. Decantación del agua para obtener muestra de sedimentos

- F. Luego se procedió a medir la precipitación dentro de cada parcela de escorrentía tomando los datos de los tres pluviómetros, utilizando una probeta (ver figura 60). Estos pluviómetros eran rotativos dentro del área de las parcelas de escorrentía.



Figura 60. Medición de la precipitación en las parcelas de escorrentía

- G.** Este monitoreo de las parcelas se hizo en forma diaria, iniciando en el mes de julio hasta el mes de noviembre.

3.3 Resultados

3.3.1 Características del área para la instalación de parcelas de escorrentía

- A.** Las parcelas se ubicaron en un área representativa de la Finca Río Frío. En la plantación de pino *maximinoi*, de 5 años de edad.

3.3.2 Instalación y raleo de parcelas de escorrentía

- A.** Se instalaron 16 parcelas de escorrentía, distribuidas en cuatro bloques y en cada bloque cuatro parcelas con tres intensidades de raleo, midiendo cada parcela 562 metros cuadrados.
- B.** La densidad inicial de cada parcela de escorrentía fue de 90 árboles, haciendo un total de 1440 árboles.
- C.** El diámetro promedio que se obtuvo fue de 7.59 cm para esta plantación.
- D.** El raleo de los árboles se hicieron a una altura de 30 cm de distancia del suelo, dándoles una dirección de caída al árbol para no dañar a los demás individuos. El total de los árboles raleados fue de 392 individuos.

3.3.3 Monitoreo de las parcelas de escorrentía

- A. El resultados de suelo erosionado por parcela se presentan en el siguiente cuadro:

Cuadro 73 Resultados de suelo erosionado

Tratamiento	TM/ha de suelos erosionado
100%	0.132
75%	0.147
67%	0.152
50%	0.157

El tratamiento de 50% presentó mayor porcentaje de suelo erosionado, esto se debe que es el tratamiento que menos cobertura forestal posee por lo que es más propensa a los efectos negativos de la precipitación pluvial sobre el recurso edafológico.

- B. El total de la precipitación obtenida fue de 1332.75 mm lo que equivale a 13327.50 m³/ha. El porcentaje de escorrentía del tratamiento del 50% fue de 1.21%, mientras el tratamiento de 67% y 75% reportó 1.15%. El tratamiento de 100% es el dato más bajo de escorrentía esto se debe que tiene más cobertura forestal.
- C. Por los resultados obtenidos se puede observar que no existe diferencia significativa esto se debe a que las parcelas poseían sotobosque, y este ayuda al control de la erosión provocado por la lluvia.

3.4 Evaluación

Se realizó el monitoreo de las parcelas de escorrentía durante los meses de julio a noviembre de 2005, en forma diaria, siempre y cuando se presentará un evento de lluvia. En estas parcelas se mantuvo el sotobosque influyendo que la escorrentía como la erosión del suelo no variara significativamente.

4. BIBLIOGRAFIA

1. INAB (Instituto Nacional de Bosques, GT). 2005. Como ser beneficiado de PINFOR. Trifoliar de Unidad de Fomento y Desarrollo Forestal, Guatemala
2. INAB (Instituto Nacional de Bosques, GT). 2005. Programa de hidrología forestal, Guatemala, Instituto Nacional de Bosques. Guatemala 38 p.