

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

**ESTUDIO DE LOS RECURSOS NATURALES RENOVABLES E IDENTIFICACIÓN DE LAS
ÁREAS DE RECARGA HÍDRICA EN LA MICROCUENCA DEL RÍO TZULBÁ, JOYABAJ, EL
QUICHÉ**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

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

POR

SALVADOR GARCÍA BENÍTEZ

En el acto de investidura como

INGENIERO AGRÓNOMO

EN

RECURSOS NATURALES RENOVABLES

EN EL GRADO ACADÉMICO DE

LICENCIADO

Guatemala, febrero de 2006

PROPIEDAD DE LA UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
Biblioteca Central

DL
01
T(2923)

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA

RECTOR

Dr. M. V. LUIS ALFONSO LEAL MONTERROSO

JUNTA DIRECTIVA DE LA FACULTAD DE AGRONOMÍA

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

**Dr. Ariel Abderraman Ortiz López
Ing. Agr. Alfredo Itzep Manuel
Ing. Agr. Walter Reyes Sanabria
Ing. Agr. Danilo Ernesto Dardón Avila
MEPU. Elmer Antonio Alvarez Castillo
PMP. Mirian Eugenia Espinoza Padilla
Ing. Agr. Pedro Peláez Reyes**

Guatemala, febrero del 2006

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

Honorables miembros:

De conformidad con la Ley Orgánica de la Universidad de San Carlos de Guatemala, tengo el honor de someter a vuestra consideración, el trabajo de graduación titulado,

**ESTUDIO DE LOS RECURSOS NATURALES RENOVABLES E IDENTIFICACIÓN DE LAS
ÁREAS DE RECARGA HÍDRICA EN LA MICROCUENCA DEL RÍO TZULBÁ, JOYABAJ, EL
QUICHÉ**

Como requisito previo a optar el título de Ingeniero Agrónomo en Recursos Naturales Renovables, en el grado académico de Licenciado.

Esperando que la presente investigación llene los requisitos necesarios para su aprobación, me suscribo,

Atentamente

f. 
Salvador García Benitez

ACTO QUE DEDICO

A:

LA DIVINA PROVIDENCIA

DIOS PADRE, HIJO Y ESPIRITU SANTO
Por su inmenso amor y grandes bendiciones.

MIS PADRES

LUCAS GARCÍA ARIAS
FELÍCITA BENÍTEZ DE GARCÍA
Por su incondicional apoyo, como una muestra de amor y pequeña recompensa a sus esfuerzos y sacrificios.

MI ESPOSA

KARIN MARIBEL HERNÁNDEZ DE GARCÍA
Por su apoyo moral en la realización de este trabajo y como una muestra de amor.

MIS ABUELOS

JERÓNIMO BENÍTEZ SAGASTUME
MARÍA ENGRACIA HERNÁNDEZ
PEDRO ARIAS (Q.E.P.D.)
BRAULIA GARCÍA (Q.E.P.D.)
Por su amor, eternamente agradecido.

MIS HERMANOS

Paulina, Silas, María Elsa, Idalia Maribel,
Víctor Otoniel, Nilsa Esmeralda y Yeltsin.
Como agradecimiento y motivación a seguir adelante en sus estudios.

MIS AMIGOS Y AMIGAS

Edgar Hércules, Odilio Benítez,
Juanita Klass y Rusbí Marisol Aldana
Como recuerdo de una sincera amistad.

LA FAMILIA HERNÁNDEZ MORALES

Por su constante apoyo y motivación, en la realización del presente trabajo.

MIS COMPAÑEROS DE PROMOCIÓN

Por esos recuerdos inolvidables como estudiantes.

MI FAMILIA EN GENERAL

Como muestra de cariño y respeto.

TRABAJO QUE DEDICO

A:

LA DIVINA PROVIDENCIA

LA VIRGEN MARÍA, NUESTRA MADRE

MI PATRIA GUATEMALA

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA

FACULTAD DE AGRONOMÍA

INSTITUTO NACIONAL DE BOSQUES

**ASOCIACIÓN DE SALUD Y DESARROLLO COMUNITARIO
"NUEVO AMANECER"**

INSTITUTO DE INVESTIGACIÓN AGRÍCOLA

INSTITUTO MARÍA AUXILIADORA

SAN JOSÉ YALPEMECH, CHISEC, A.V.

**MIS AMIGOS, AMIGAS, COMPAÑEROS Y PERSONAS QUE
CONTRIBUYERON A MI FORMACIÓN**

PROPIEDAD DE LA UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
Biblioteca Central

AGRADECIMIENTOS

A:

Mis asesores de tesis, Ing. Agr. M.Sc. Marvin Salguero e Ing. Agr. M.Sc. Tomás Antonio Padilla, por su valiosa asistencia técnica y orientación en la realización de la investigación, así como en la formación de mi educación profesional.

Ing. Agr. Guillermo Méndez, por su decidido interés en supervisar, evaluar y corregir el presente trabajo.

Personal técnico de la Subregión VII-1 del Instituto Nacional de Bosques, especialmente al Ing. For. Mynor Palacios e Ing. For. Infieri. Mario Agustín Sales por el apoyo y colaboración brindada en el transcurso de este trabajo.

Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza y al Instituto Nacional de Bosques por brindar el apoyo económico para que este trabajo se realizara.

La Red Centroamericana de Manejo de Recursos Hídricos de la Facultad de Agronomía por facilitarme su equipo para efectuar la etapa de campo de la investigación.

Las familias Quezada Elías y Quezada Ramírez, de Chuaquenum, por el apoyo durante la ejecución de campo del presente trabajo.

Los habitantes de Caquil, Xeabaj, Tzajmá, Chicotón Xebalanguac, Muculumquiaj, Sajquim y Sajchó, especialmente para el Sr. Alonso Pérez y Sr. Basilio Santos, por su colaboración brindada durante la realización de este trabajo.

ÍNDICE GENERAL

PRESENTACIÓN.....	viii
CAPITULO I: DIAGNÓSTICO	
Estudio preliminar de los recursos naturales renovables de la microcuenca del río Tzulbá, Joyabaj, El Quiché	1
CAPITULO II: INVESTIGACIÓN	
Identificación de áreas de recarga hídrica natural en la microcuenca del río Tzulbá, Joyabaj, El Quiché	39
CAPITULO III: SERVICIOS REALIZADOS	
SERVICIO 1	
Estudio agrológico de la microcuenca del río Tzulbá, Joyabaj, El Quiché	212
SERVICIO 2	
Inventario forestal del bosque natural de la microcuenca del río Tzulbá, Joyabaj, El Quiché	259

ESTUDIO DE LOS RECURSOS NATURALES RENOVABLES E IDENTIFICACIÓN DE LAS ÁREAS DE RECARGA HÍDRICA EN LA MICROCUENCA DEL RÍO TZULBÁ, JOYABAJ, EL QUICHÉ

PRESENTACIÓN

Los recursos naturales renovables en Guatemala, son cada día más limitados y considerando que la calidad de vida y oportunidades de desarrollo de la población dependen en gran parte de la disponibilidad y permanencia de los mismos, es necesario tomar acciones que conduzcan a un manejo sostenible.

Como parte de esas acciones, la Facultad de Agronomía de la Universidad de San Carlos de Guatemala –USAC– ha estado impulsando desde hace más de una década la investigación de los recursos naturales renovables, a través de sus programas Ejercicio Profesional Supervisado de Agronomía –EPSA– e Instituto de Investigaciones Agronómicas –IIA–.

Es importante destacar que el EPSA se constituye en un espacio de cooperación técnica con el sector público y privado, para la realización de estudios que promuevan el manejo sostenible, conservación, protección y aprovechamiento de los recursos naturales renovables.

La falta de estudios sobre los recursos naturales renovables en muchas regiones de Guatemala, limita el accionar de las instituciones, por ello la Facultad de Agronomía y el Instituto Nacional de Bosque –INAB–, queriendo contribuir al desarrollo del país, establecieron un convenio para generar la información básica de la microcuenca del río Tzulbá.

Esta microcuenca ha sido priorizada por el Proyecto Conservación de Ecosistemas Forestales Estratégicos –CEFE– y la Subregión VII-1 del INAB debido a que abastece de agua a la población del área y de la cabecera municipal de Joyabaj y porque se desea conocer el potencial de los recursos naturales renovables para establecer lineamientos de manejo, como lo manda la Ley Forestal.

Y como resultado de este convenio, se presenta este trabajo que integra toda la información generada en el EPSA, agrupándola en tres capítulos, debido a que el EPSA consiste en tres etapas estrechamente relacionadas, que son: diagnóstico, investigación y servicios.

El diagnóstico plasmado en este documento proporciona información obtenida a nivel de reconocimiento, de utilidad para tener un marco de referencia sobre los recursos naturales renovables.

También se presenta la investigación titulada "Identificación de áreas de recarga hídrica natural de la microcuenca del río Tzulbá, Joyabaj, El Quiché" que se planteó debido a la falta de información técnica, sobre la ubicación de las áreas de recarga hídrica natural y los pocos estudios que se han generado a nivel nacional sobre el tema, a pesar de estar normado en el artículo 35 del reglamento de la Ley Forestal.

Y especialmente porque estas áreas funcionan como unidades de captación y regulación hidrológica que abastecen a las fuentes de agua, por tanto al identificarlas se podrán emitir normas especiales de manejo, conservación o rehabilitación del recurso forestal, para asegurar el constante suministro de agua a la población del área y de la cabecera municipal de Joyabaj.

Es importante mencionar que en la microcuenca se priorizaron los problemas, excesiva deforestación, sobreutilización y erosión de los suelos, que están estrechamente relacionados con la pérdida y disminución del caudal de las fuentes de agua. Y considerando que para efectuar propuestas como un programa de manejo integral donde se otorgue manejo forestal al bosque y recuperación de zonas sobreutilizadas a través del programa de incentivos forestales –PINFOR- del INAB, se necesita información más detallada, se plantearon los siguientes servicios:

- Estudio agrológico de la microcuenca del río Tzulbá, Joyabaj, El Quiché.
- Inventario forestal del bosque natural de la microcuenca del río Tzulbá, Joyabaj, El Quiché.

Estos estudios serán de mucha utilidad para organizaciones gubernamentales, no gubernamentales, pobladores y autoridades municipales debido a que proporcionan información para realizar un ordenamiento de las actividades productivas actuales y para aplicar la administración forestal. Además, aporta más elementos sobre las potencialidades y limitaciones de los recursos naturales renovables, lo que puede conducir a que exista asistencia técnica y económica, para la población de la microcuenca.

Para la realización del presente trabajo, se contó con el apoyo financiero del Programa de Investigación Forestal, el proyecto CEFE y la Subregión VII-1 del INAB, y asesoría técnica de la Facultad de Agronomía de la Universidad de San Carlos de Guatemala.

CAPITULO I

DIAGNÓSTICO

ESTUDIO PRELIMINAR DE LOS RECURSOS NATURALES RENOVABLES DE LA MICROCUENCA DEL RÍO TZULBÁ, JOYABAJ, EL QUICHÉ

INDICE GENERAL

Indice general.....	2
Indice de figuras.....	3
Indice de cuadros.....	3
1. INTRODUCCIÓN	4
2. MARCO REFERENCIAL.....	5
2.1 Ubicación y localización geográfica.....	5
2.2 Límites, vías de acceso y poblados.....	5
2.3 Hidrografía.....	7
2.4 Zonas de vida.....	7
2.5 Fisiografía y geomorfología.....	10
2.6 Geología.....	10
3. OBJETIVOS	12
3.1 Objetivo general.....	12
3.2 Objetivos específicos.....	12
4. METODOLOGÍA	13
4.1 Fase de gabinete inicial.....	13
4.2 Fase de campo.....	13
4.3 Fase de gabinete final.....	13
5. RESULTADOS.....	15
5.1 Aspectos generales de los recursos naturales renovables.....	15
5.1.1 Recurso hídrico.....	15
5.1.2 Recurso suelo.....	18
5.1.3 Recurso flora.....	24
5.1.4 Recurso fauna.....	25
5.2 Aspectos socioprodutivos de la población.....	27
5.2.1 Demografía.....	27
5.2.2 Educación.....	27
5.2.3 Idiomas.....	28
5.2.4 Organización social.....	28
5.2.5 Tenencia de la tierra.....	29
5.2.6 Actividades productivas y tecnología de producción.....	29
5.2.7 Infraestructura física y servicios.....	31
5.2.8 Salud.....	32
5.3 Análisis de la problemática.....	33
5.3.1 Problemas detectados.....	33
5.3.2 Matriz de priorización de problemas.....	34
6. CONCLUSIONES	35
7. RECOMENDACIONES	36
8. BIBLIOGRAFÍA	37

INDICE DE FIGURAS

Figura 1. Mapa de ubicación político-administrativa de la microcuenca del río Tzulbá.....	6
Figura 2. Mapa topográfico de la microcuenca del río Tzulbá.....	8
Figura 3. Mapa de ubicación hidrográfica de la microcuenca del río Tzulbá.....	9
Figura 4. Mapa de cobertura vegetal y uso de la tierra de la microcuenca del río Tzulbá.	21
Figura 5. Mapa de capacidad de uso de la tierra de la microcuenca del río Tzulbá.....	22
Figura 6. Mapa de intensidad de uso de la microcuenca del río Tzulbá.....	23

INDICE DE CUADROS

Cuadro 1. Centros poblados, categoría y distancia a la cabecera municipal.....	7
Cuadro 2. Análisis físico, químico y bacteriológico de agua para consumo humano.	16
Cuadro 3. Uso actual de los suelos de la microcuenca del río Tzulbá.....	19
Cuadro 4. Categorías de capacidad de uso de los suelos de la microcuenca.....	20
Cuadro 5. Categorías de intensidad de uso.....	20
Cuadro 6. Especies del estrato arbóreo, arbustivo y herbáceo.....	24
Cuadro 7. Especies de fauna silvestre en la microcuenca del río Tzulbá.....	26
Cuadro 8. Especies de fauna doméstica de la microcuenca del río Tzulbá.....	26
Cuadro 9. Distribución de la población por caserío, sexo y edades.....	27
Cuadro 10. Principales indicadores de salud del municipio.....	32
Cuadro 11. Análisis matricial de los problemas detectados en la microcuenca.....	34

1. INTRODUCCIÓN

La microcuenca del río Tzulbá está en jurisdicción del municipio de Joyabaj, El Quiché e hidrográficamente, se localiza en la subcuenca del Río Cocol que pertenece a la cuenca del río Motagua. Está comprendida entre las coordenadas geográficas 14° 59' 39" a 15° 05' 07" de latitud norte y 90° 42' 45" a 90° 47' 10" de longitud oeste.

Esta microcuenca ha sido priorizada por el Proyecto Conservación de Ecosistemas Forestales Estratégicos –CEFE- y la Subregión VII-1 del Instituto Nacional de Bosques –INAB–, debido a que abastece de agua a la cabecera municipal de Joyabaj y porque se desea conocer el potencial de los recursos naturales renovables para establecer lineamientos de manejo, como lo manda la Ley Forestal.

La falta de estudios sobre los recursos naturales renovables en muchas regiones de Guatemala, limita el accionar de las instituciones, por ello la Facultad de Agronomía y el INAB queriendo contribuir al desarrollo del país, establecieron un convenio para generar la información básica de la microcuenca del río Tzulbá.

Este diagnóstico es uno de los primeros resultados y contribuye a la identificación de las condiciones biofísicas y socioeconómicas que prevalecen en la microcuenca del río Tzulbá. Esta información es importante para la priorización de la problemática sobre los recursos naturales renovables (agua, suelo, flora y fauna), porque basados en la misma, se propusieron servicios y un proyecto de investigación que en parte contribuyen a la solución, para lograr su conservación.

El presente diagnóstico se realizó en el período comprendido de febrero a marzo de 2004 y proporciona información obtenida a nivel de reconocimiento que aporta datos preliminares del área, de utilidad para tener un marco de referencia de la microcuenca.

2. MARCO REFERENCIAL

2.1 UBICACIÓN Y LOCALIZACIÓN GEOGRÁFICA

La microcuenca hidrográfica del río Tzulbá ocupa una superficie de 28.32 km², se ubica totalmente en el municipio de Joyabaj, departamento de El Quiché, en las coordenadas geográficas 14° 59' 39" a 15° 05' 07" de latitud norte y 90° 42' 45" a 90° 47' 10" de longitud oeste o bien, en las coordenadas del sistema Universal Transverse Mercator -UTM- 1,659,000 a 1,669,000 m. norte y 738,000 a 746,000 m. este (ver figura 1 y 2).

El punto de aforo de la microcuenca hidrográfica (donde las aguas del río Tzulbá se unen al río Caquil), se encuentra en la aldea Caquil y se localiza en las coordenadas geográficas 14° 59' 50" de latitud norte y 90° 44' 30" de longitud oeste y/o en coordenadas UTM, 1,659,250 m. norte y 742,900 m. este.

2.2 LÍMITES, VÍAS DE ACCESO Y POBLADOS

La microcuenca limita al norte, con el municipio de Cubulco, Baja Verapaz y el caserío Cruz Chich; al este, con el caserío Xepepen; al sur, con la aldea Caquil; y al oeste, con los caseríos: Chorraxaj, Xeabaj y Tzitzil. Todos los caseríos mencionados pertenecen al municipio de Joyabaj, El Quiché.

Una de las vías de acceso a la microcuenca, es la carretera RN-5 que de la ciudad de Guatemala, se extiende al noroeste, pasando por los municipios: de San Pedro y San Juan Sacatepéquez, hasta la cabecera municipal de Pachalum, El Quiché. Posteriormente, se transitan 21 km hasta la aldea de Caquil, por un camino de terracería que conduce de Pachalum hacia la cabecera municipal de Joyabaj. En total se recorren aproximadamente 101 km.

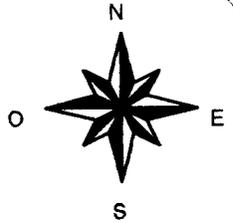
La otra vía de acceso a la microcuenca es la carretera CA-1 que de la ciudad de Guatemala, se dirige al occidente y llega al caserío Los Encuentros, Sololá, en donde continúa por la carretera RN-15 que se extiende al norte hacia Santa Cruz del Quiché. De este lugar, con dirección este, se pasa los municipios de Chiché, Chinique y Zacualpa, hasta la cabecera municipal de Joyabaj. Seguidamente, se toma un camino de terracería, el cual pasa por la aldea Chuaquenum y llega hasta la aldea de Caquil, haciendo un recorrido total de 224 km.

Dentro del área de estudio, se determinó que existe una red vial de 30 km que comunica a los diferentes poblados, la cual en su mayoría es transitable durante la época seca.

MICROCUCNEN DEL RÍO TZULBÁ

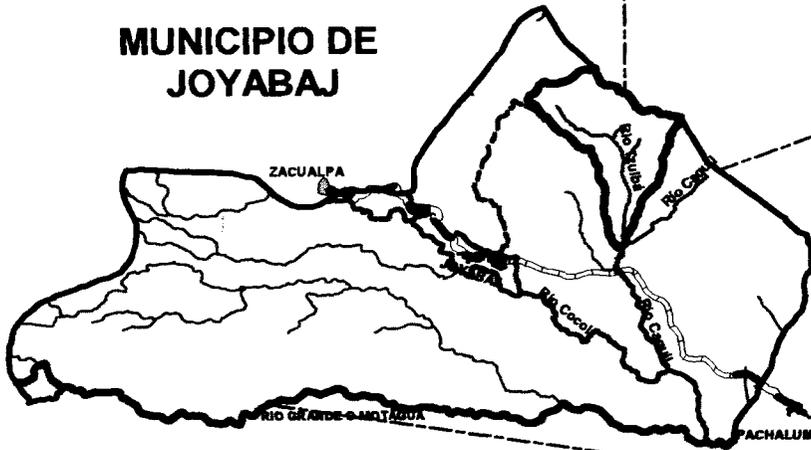
Leyenda

- ▣▣▣ Poblados
- Corrientes**
 - ⋯ Efímeras
 - ⋈ Intermitentes
 - ⋈ Permanentes
- Vías de acceso**
 - ⋈ Carretera asfaltada
 - ⋈ Carretera de terracería

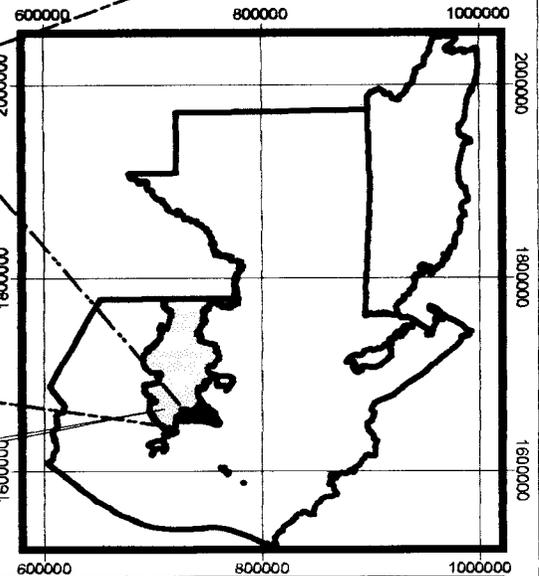


Sin escala

MUNICIPIO DE JOYABAJ



DEPARTAMENTO EL QUICHÉ



Proyección UTM
 Datum NAD 1927
 Zona 15, esferoide de Clarke 1866
 Espaciamiento de cuadrícula
 horizontal y vertical de 200,000 m

Universidad de San Carlos de Guatemala
 Facultad de Agronomía



Fuente: Atlas temático digital de Guatemala. MAGA, 2002

Figura 1. Mapa de ubicación político-administrativa de la microcuenca del río Tzulbá

En la microcuenca, se localizan los siguientes poblados: aldea Caquil, caserío Chicotón Xebalanguac y caserío Xeabaj, al cual pertenecen los parajes Muculumquijaj, Sajquim, Sajchó y Tzajmá. La distancia de los poblados a la cabecera municipal de Joyabaj se anota en el cuadro 1, la distribución y ubicación de los mismos en el área de estudio se aprecia en la figura 2.

Cuadro 1. Centros poblados, categoría y distancia a la cabecera municipal.

No.	Nombre	Categoría	Distancia en km
1	Caquil	Aldea	8.0
2	Xeabaj	Caserío	14.0
3	Chicotón Xebalanguac	Caserío	12.7

Fuente: FUNCEDE, 1995.

2.3 HIDROGRAFÍA

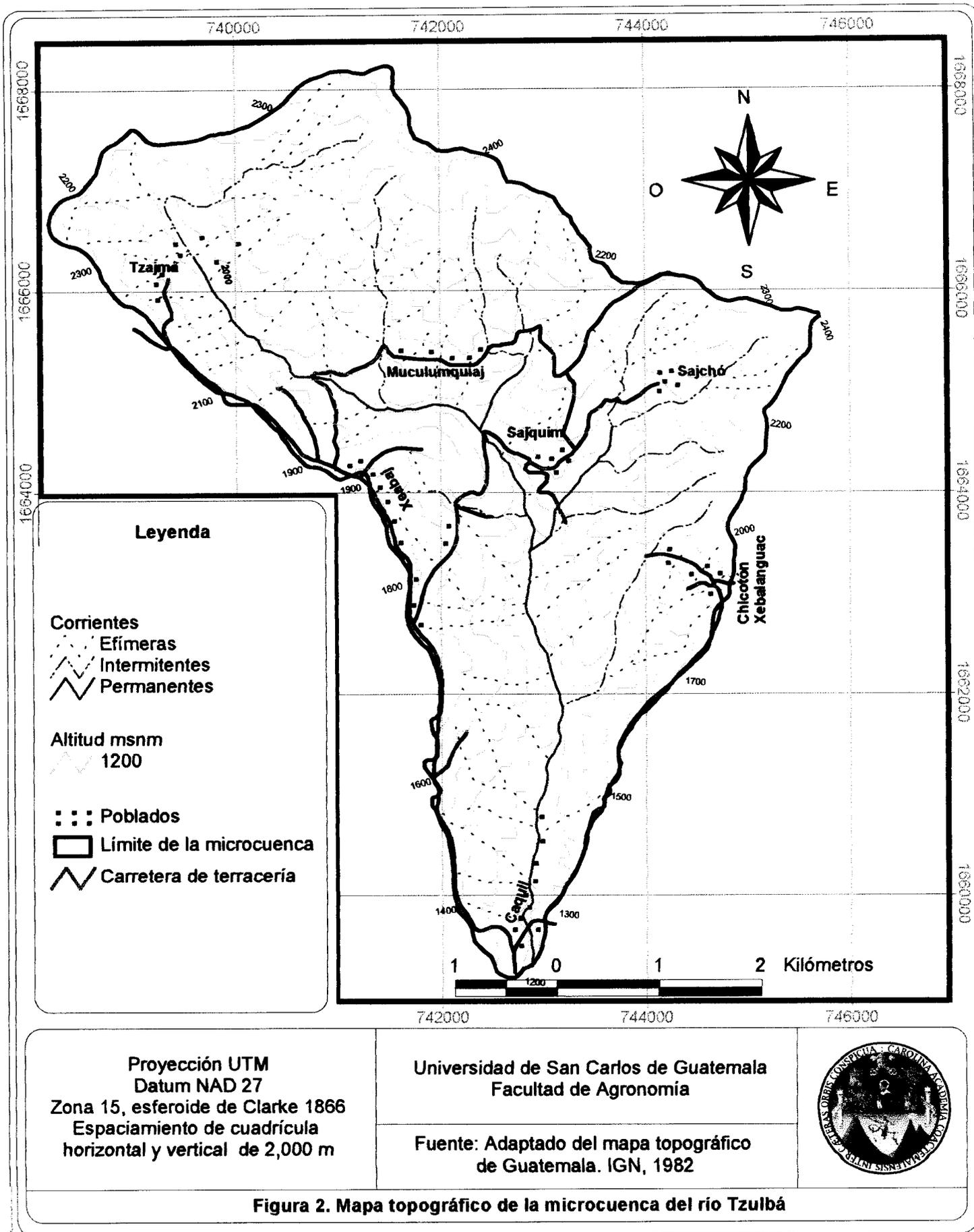
El cauce principal de la microcuenca del río Tzulbá, tiene una longitud de 12.3 km y se une al río Caquil, luego al río Cocol y posteriormente drena al río Motagua. Según el Instituto Geográfico Nacional –IGN- (6), la microcuenca del río Tzulbá se ubica en la subcuenca del río Cocol, que drena en la parte alta de la cuenca del río Motagua, que pertenece a la vertiente del Mar de Las Antillas (ver figura 3).

2.4 ZONAS DE VIDA

De acuerdo a De la Cruz (2), basado en el sistema de Holdridge, en la microcuenca se encuentran las siguientes zonas de vida:

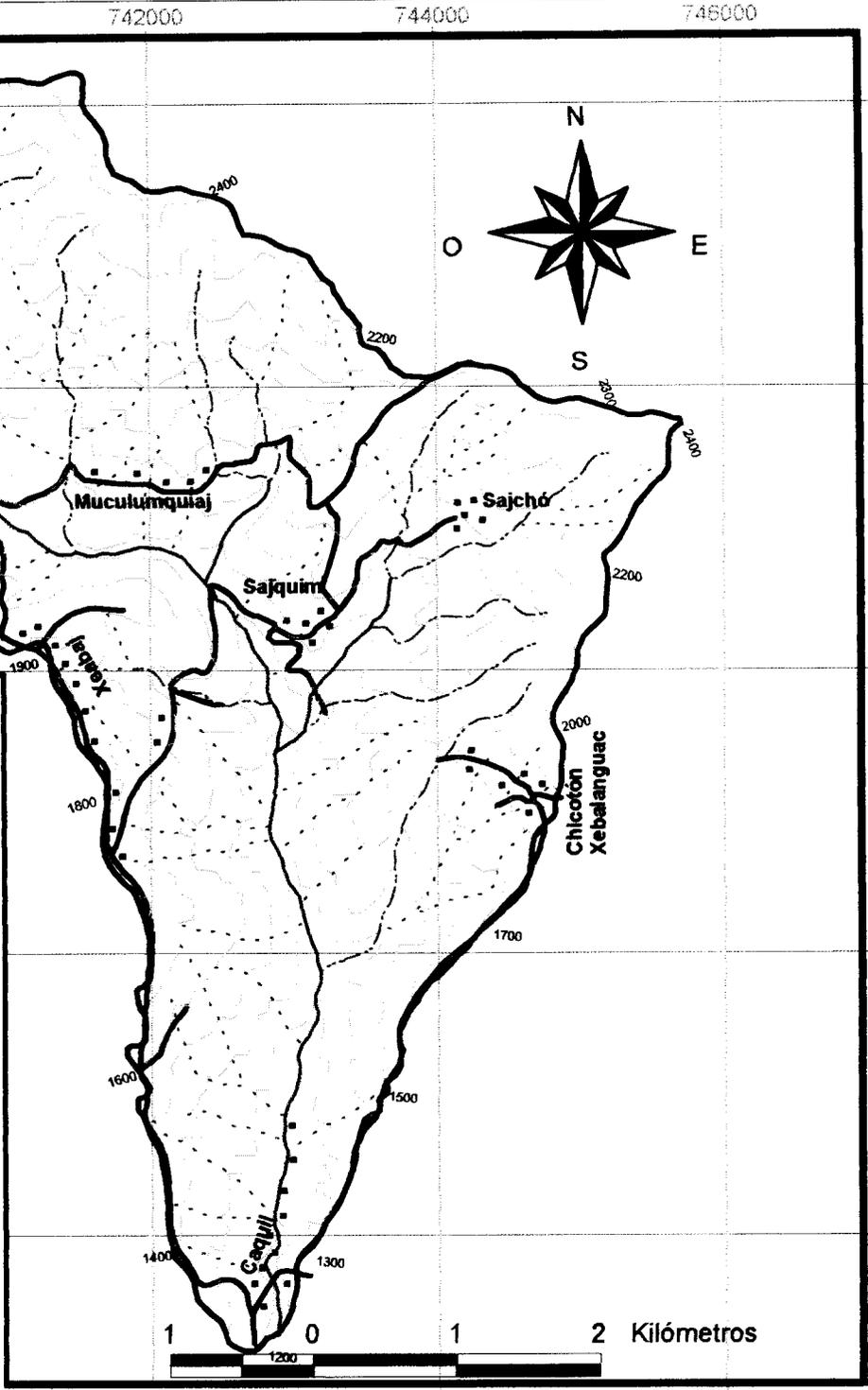
- Bosque húmedo Montano Bajo Subtropical (bh-MB), que abarca principalmente la parte alta y media de la microcuenca. Se caracteriza por una precipitación que varía de 1,057 a 1,588 mm. anuales con un promedio de 1,322.5 mm.; una temperatura media anual que oscila entre 15 a 23 °C, y la relación de evapotranspiración se estima en 0.75. Presenta condiciones de relieve desde zonas planas hasta accidentadas, oscilando de 1,500 hasta 2,400 msnm, con vegetación natural representada por rodales de *Quercus* sp., asociados con *Pinus montezumae*.
- Bosque húmedo Subtropical (templado) (bh-S(t)), se ubica en la parte baja, presentando un período de lluvias que comprende los meses de mayo a noviembre, un patrón de lluvias que oscila de 1,100 a 1,349 mm. anuales, temperaturas que varían entre 20 a 26 °C y la relación de evapotranspiración se estima en 1. La topografía va desde ondulado, accidentado hasta escarpado y se encuentra en elevaciones de 650 hasta 1,700 msnm, con vegetación natural constituida por *Pinus oocarpa*, *Curatella americana* y *Quercus* sp.





Leyenda

- Corrientes
 - Efímeras
 - - - Intermitentes
 - Permanentes
- Altitud msnm
 - 1200
- Poblados
- Límite de la microcuenca
- Carretera de terracería



Proyección UTM
Datum NAD 27
Zona 15, esferoide de Clarke 1866
Espaciamiento de cuadrícula horizontal y vertical de 2,000 m

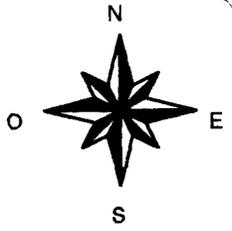
Universidad de San Carlos de Guatemala
Facultad de Agronomía

Fuente: Adaptado del mapa topográfico de Guatemala. IGN, 1982





MICROCUENCA DEL RÍO TZULBÁ



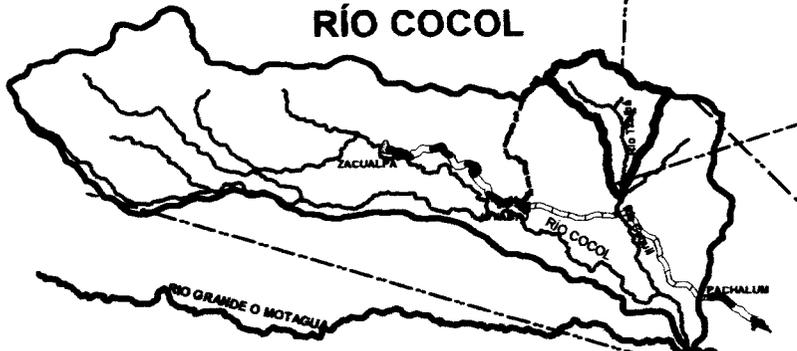
Leyenda

- ⋮⋮⋮ Poblados
- Corrientes**
 - ⋯ Efímeras
 - ⋈ Intermitentes
 - ⋈ Permanentes
- Vías de acceso**
 - ⋈ Carretera asfaltada
 - ⋈ Carretera de terracería

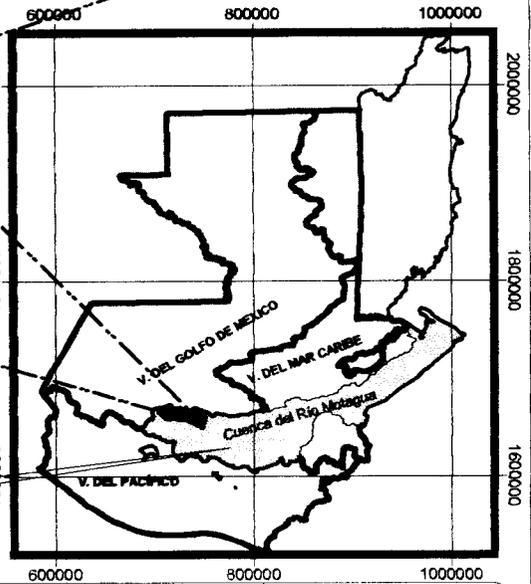
Sin escala



SUBCUENCA DEL RÍO COCOL



CUENCA DEL RÍO MOTAGUA



Proyección UTM
Datum NAD 1927
Zona 15, esferoide de Clarke 1866
Espaciamiento de cuadrícula
horizontal y vertical de 200,000 m

Universidad de San Carlos de Guatemala
Facultad de Agronomía

Fuente: Atlas temático digital de
Guatemala. MAGA, 2002



Figura 3. Mapa de ubicación hidrográfica de la microcuenca del río Tzulbá

PROPIEDAD DE LA UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
Biblioteca Central



2.5 FISIOGRAFÍA Y GEOMORFOLOGÍA

El relieve característico de la microcuenca del río Tzulbá, va desde ondulado hasta escarpado y la elevación promedio es de 1,850 msnm con un rango que va desde 1,200 hasta 2,493 msnm. Esta forma de relieve junto al material parental (roca metamórfica) y el clima, son algunos de los factores que contribuyen al desarrollo del drenaje tipo dendrítico y la erosión de los suelos dentro del área de estudio.

Según el Ministerio de Agricultura, Ganadería y Alimentación –MAGA– (15), la microcuenca del río Tzulbá, se encuentra dentro del gran paisaje de la Sierra Chuacús que pertenece a la región fisiográfica denominada Tierras Altas Cristalinas. La Sierra Chuacús, se caracteriza por presentar valles profundos, laderas de fuerte pendiente y divisorias angostas, patrones de drenaje subdendrítico y subparalelo, así como las rocas más antiguas del Grupo Chuacús, que es una secuencia de rocas metamórficas que está siendo afectada por los procesos erosivos desde el Terciario (división en la escala de tiempos geológicos que se extendió desde hace 65 millones de años hasta 1.64 millones de años atrás).

2.6 GEOLOGÍA

Según el IGN (7), en la microcuenca del río Tzulbá, se encuentran las siguientes unidades geológicas:

- Depósitos Fluviales del Cuaternario (Qa): Ocupa un área de 2.74 km², representando el 9.68% del área total de la microcuenca y se extiende a lo largo de las corrientes permanentes e intermitentes, que se localizan en pequeños valles profundos. Se caracteriza por materiales de varios tamaños como gravas, arenas y arcillas, procedentes de la erosión de depósitos volcánicos cuaternarios, mezclados con fragmentos provenientes de la desintegración de las rocas metamórficas que se localizan en las diferentes laderas de la microcuenca. Estos depósitos, son poco representativos pero en superficies con mayor extensión constituyen casi siempre un acuífero con porosidad primaria, de muy buena productividad, con valores elevados de transmisibilidad y almacenamiento.
- Depósitos Piroclásticos del Cuaternario (Qp): Esta unidad se ubica en la parte baja de la microcuenca, como material parental de pequeñas colinas y abarca una extensión de 1.13 km² o sea el 4% de la superficie total. Está formada por materiales de todas las fracciones granulométricas sueltos o muy poco consolidados incluso a veces estratificados, como pómez y depósito pomáceo eólico. Estos depósitos, se caracterizan por las variaciones de permeabilidad aunque a nivel general, constituyen acuíferos de buena productividad.

- Las unidades Zona de Biotita del Chol y Zona de Granate de Palibatz pertenecen al Grupo Chuacús, desarrolladas bajo metamorfismo orogénico o termodinámico. Estas unidades, están formadas por esquistos de variada naturaleza (micáceo, moscovítico y granatífero), paragneiss, blastita de plagioclasa, cuarcitas y metatexita. La primera unidad tiene una superficie de 23.36 km² constituyéndose en la unidad que ocupa la mayor proporción (82.49%) de la microcuenca. La otra unidad representa apenas el 3.85% (1.09 km²) y se encuentra en pequeñas franjas angostas. Desde el punto de vista hidrogeológico, estas unidades presentan un comportamiento similar, considerándose impermeables, o sea que no permiten el paso del agua a mayor profundidad para constituir acuíferos.

3. OBJETIVOS

3.1 OBJETIVO GENERAL

Realizar un diagnóstico a nivel de reconocimiento de los recursos naturales renovables y aspectos socioeconómicos de la microcuenca del río Tzulbá, Joyabaj, El Quiché para la determinación de la problemática de los mismos y que sea útil para el planteamiento de proyectos de servicios e investigación.

3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Describir las características biofísicas y situación socioeconómica de la microcuenca.
- Caracterizar el estado actual de los recursos naturales suelo, agua, flora y fauna.
- Priorizar los principales problemas para la generación de un proyecto de investigación y un plan de servicios.

4. METODOLOGÍA

Para la ejecución del diagnóstico, se resume en forma muy general las fases siguientes:

4.1 FASE DE GABINETE INICIAL

En esta fase, se recopiló toda la información generada sobre los recursos naturales y situación socioeconómica del área y se efectuaron las actividades siguientes:

- Se adquirieron 3 hojas del mapa topográfico de la república de Guatemala a escala 1:50,000 elaborado por el Instituto Geográfico Nacional –IGN-, éstas son: Granados 2060 I, Cubulco 2061 II y Zacualpa 2061 III.
- Se elaboró el mapa topográfico o base de la microcuenca del río Tzulbá.
- Se consultaron los siguientes mapas temáticos: series de suelos a nivel de reconocimiento, zonas de vida, cuencas hidrográficas, geológico, fisiográfico, uso actual del suelo, cobertura forestal, capacidad de uso y taxonómico.
- Se ordenó toda la información encontrada dentro y fuera del área, sistematizando los datos más importantes para el diagnóstico.

4.2 FASE DE CAMPO

A través de recorridos dentro del área de estudio, se obtuvo más información sobre los recursos naturales y situación socioeconómica. También se entrevistó a los pobladores del área y personal de instituciones que trabajan en el desarrollo de las comunidades.

En esta fase, se procedió a la verificación de la información recopilada y elaborada en gabinete.

4.3 FASE DE GABINETE FINAL

En esta fase, se elaboraron los mapas: ubicación geográfica, ubicación hidrográfica, uso actual, capacidad de uso e intensidad de uso del suelo, a través del auxilio de mapas nacionales a escala 1:250,000 y un Sistema de Información Geográfica.

También se analizó e interpretó la información recopilada y generada, para detectar el estado actual de los recursos naturales, la problemática y potencialidad de los mismos.

Se priorizaron los problemas, en base a los indicadores: pérdidas económicas, daños al ambiente y personas afectadas. Éstos se ponderaron según criterio técnico, en una escala de 0 a

10, donde el cero representa las condiciones ideales o sea que no exista ningún daño económico, ambiental y ninguna persona afectada. Posteriormente, se efectuó la sumatoria de los valores para cada problema, en donde la mayor puntuación según este método otorga la prioridad.

Y por último se elaboró el documento final escrito, donde se emitieron conclusiones y recomendaciones.

5. RESULTADOS

5.1 ASPECTOS GENERALES DE LOS RECURSOS NATURALES RENOVABLES

5.1.1 RECURSO HÍDRICO

5.1.1.1 Agua superficial

Toda la población de los caseríos Chicotón Xebalanguac, Xeabaj y sus parajes (Tzajmá, Muculumquiaj, Sajquim, Sajchó) se abastecen del agua de manantiales ubicados en la microcuenca del río Tzulbá, excepto la población de Caquil que en su mayor parte aprovecha el agua de otra microcuenca.

También la población de la cabecera municipal de Joyabaj, aprovecha el agua de la microcuenca. La toma de agua o tanque se ubica en terrenos del paraje Tzajmá Xeabaj y es una de las tres fuentes que abastece permanentemente.

En la microcuenca, por la topografía de la misma, se reportan otros manantiales, que con el avance de la frontera agrícola, pueden quedar desprotegidos y tomando en cuenta la demanda de agua existente por los pobladores de la misma área, se deben identificar para que en conjunto municipalidad y población, protejan estas fuentes.

El río principal según manifiestan los pobladores provoca grandes crecidas en época lluviosa y reduce significativamente su caudal en época seca.

Respecto al punto de abastecimiento de agua de la municipalidad de Joyabaj, es importante mencionar dos aspectos negativos:

- El sistema de captación está ubicado en los brazos de riachuelos que tiene la ventaja de aprovechar el agua proveniente de cuatro manantiales, pero tiene las desventajas siguientes: aumenta el riesgo de trasladar agua contaminada y limita el caudal del río principal.
- La municipalidad compró el derecho de colocar sistemas de recolección de agua en la zona, pero no compró los nacimientos de agua, ni la zona adyacente a la misma, por ello hay dos problemas latentes: deforestación total de nacimientos y/o posible venta de nacimientos. El comprador podría establecer captación alrededor de los nacimientos lo que no permitiría que el agua llegue a los sistemas de captación de la municipalidad.

5.1.1.2 Agua subterránea

Por la existencia de manantiales y la permanencia del caudal del río en época seca, se considera que en la microcuenca se localizan zonas de almacenamiento de agua subterránea (acuíferos localizados).

En base a información proporcionada por habitantes del área, varios manantiales se han secado y el caudal del río principal se reduce significativamente, provocando con ello escasez de agua en la zona.

La reducción del caudal del río y pérdida de nacimientos de agua se debe a la deforestación de los bosques de las partes altas, lo que provoca que el agua no se infiltre a zonas profundas sino que corra como escorrentía superficial en la época lluviosa.

5.1.1.3 Calidad del agua

En el cuadro 2, se presentan los resultados de una muestra de agua analizada para consumo humano procedente del barrio La Libertad, Joyabaj.

Cuadro 2. Análisis físico, químico y bacteriológico de agua para consumo humano.

Parámetro	Norma COGUANOR	Agua del barrio La Libertad, Joyabaj
Aspecto	Claro	Ligera coloración amarilla
pH	6.5 – 9.2	7.32
Conductividad ($\mu\text{S/cm}$)	50 – 1500	35.9
Turbidez (UTN)	25	8.1
Sólidos totales (mg/L)	1500	35
Alcalinidad total (mg/L CaCO_3)	----	18
Dureza total (mg/L CaCO_3)	500	11.7
Sulfatos (mg/L SO_4^{-2})	400	No detectado
Bacterias (UFC/ml)	500	110
Coliformes totales (NMP/100 ml)	<2	130
Coniformes fecales (NMP/100 ml)	<2	49
Se aisló <i>Escherichia coli</i>		

Fuente: Laboratorio Facultad de CC. QQ. y Farmacia, USAC, citado por Santos, 2001.

De acuerdo a estos resultados, en el aspecto físico el agua no cumple con la norma del Comité Guatemalteco de Normas –COGUANOR– (18), ya que tiene una ligera coloración amarilla. En el aspecto químico, los datos analizados si cumplen con las normas ya que se encuentran por debajo del límite máximo permisible y en el aspecto bacteriológico, la muestra de agua no cumple

con los parámetros para coliformes totales y fecales de la norma de COGUANOR para agua potable (18).

Por tanto para aprovechar este recurso, se debe tratar y desinfectar sanitariamente, ya que directamente no puede utilizarse para consumo humano, porque ocasionaría enfermedades en la población.

En cuanto al agua de manantiales que abastece a los centros poblados por falta de recursos en el Distrito del Área de Salud de Joyabaj, no se han efectuado los análisis fisicoquímicos y bacteriológicos respectivos. Pero en busca de tener una información confiable, en el año 2003, realizaron un análisis para coliformes fecales en muestras de agua provenientes de chorros de agua del paraje Muculumquiaj y Sajquim.

En el análisis, se determinó que el agua del paraje Muculumquiaj tenía un número probable de 9/100 ml de coliformes totales y el agua del paraje Sajquim presentó 8/100 ml (3). Cuando según las normas de COGUANOR (18), deben ser <2/100 ml, para que el agua pueda ser considerada potable, por tanto la misma debe ser tratada y desinfectada sanitariamente.

La contaminación de las fuentes de agua se debe a que en los caseríos, no existe un sistema de letrización adecuado y muchas familias no cuentan con este servicio. Las familias que tienen letrinas, utilizan el sistema "pozo ciego" que en tiempos de lluvia se llenan de agua provocando que al infiltrarse el agua, arrastre microorganismos contaminantes y las familias que no poseen letrinas realizan sus necesidades al aire libre causando mayor contaminación de las fuentes de agua.

Otra fuente de contaminación es la deforestación de las riberas y zonas altas de las fuentes de agua para establecer potreros, lo que provoca que las heces de los animales y de personas humanas lleguen a las fuentes de agua.

5.1.2 RECURSO SUELO

5.1.2.1 Serie de suelos

Según Simmons et al. (21), en la microcuenca del río Tzulbá se encuentran las series de suelos Civijá (Ci) y Chol (Chg).

- La serie de suelos Civijá (Ci), ocupa la mayor parte, siendo el 85.24% (24.14 km²) del área total de la microcuenca, el perfil del suelo se caracteriza por las siguientes capas: Suelo superficial a una profundidad de 0-0.40 m., textura franco limoso, de café oscuro a café amarillento, estructura granular fina a migajosa fina; el subsuelo se encuentra a una profundidad de 1.50 m. o más, es franco arcilloso, café rojizo; y el substrato que está compuesto por esquisto intemperizado se encuentra a una profundidad mayor de 2 m. Estos suelos son bien drenados, originados de esquisto y la topografía va desde planicies onduladas hasta fuertemente inclinadas.
- La serie de suelos Chol (Chg) abarca una extensión de 4.18 km² (14.76%) y se identifica con un perfil de suelo con las siguientes capas: el suelo superficial es de textura franco arenoso fino a franco arcillo arenoso, de color café grisáceo a café rojizo, estructura poco desarrollada y profundidad de 0.10 m.; el subsuelo tiene una profundidad de 0.40 m. o más, es franco arcilloso de color café rojizo; y el substrato es esquisto suave con diferentes porcentajes de intemperización. Son suelos excesivamente drenados, desarrollados sobre esquisto y ocupa relieves muy inclinados.

5.1.2.2 Taxonomía de suelos

En base a la clasificación taxonómica de los suelos, de acuerdo al MAGA (13), en la microcuenca se pueden encontrar dos órdenes.

- El orden Inceptisol, que se caracteriza por ser un suelo joven, sin fuerte desarrollo, ubicado en áreas con pendientes onduladas a moderadas, con cobertura forestal de latifoliadas.
- Y el orden Entisol que presenta poco desarrollo debido a condiciones de pendientes ligeramente inclinadas a fuertemente inclinadas que incide en la erosión de los suelos y por ello son los menos apropiados para actividades agrícolas y entre sus limitaciones están además de la poca profundidad efectiva, la pedregosidad interna y los afloramientos rocosos. Se recomiendan para la producción forestal o sistemas agroforestales.

5.1.2.3 Uso actual

En el cuadro 3, basado en información del MAGA (14), se observa la distribución de los diferentes usos, donde la cobertura forestal y los cultivos anuales ocupan áreas similares. La cobertura forestal representa el 51% del área de la microcuenca y la agricultura limpia anual el restante 49%.

La importancia de estos datos radica en que permite identificar el área con presencia de cobertura forestal, que puede ayudar a validar un manejo forestal para proteger recursos como el agua, flora y fauna, buscando mejorar la economía de la población del área.

En la figura 4, se observa la distribución espacial del uso actual dentro de la microcuenca.

Cuadro 3. Uso actual de los suelos de la microcuenca del río Tzulbá.

No.	Uso	km ²	%
1	Cultivos anuales	13.83	48.83
2	Bosque de coníferas	1.32	4.67
3	Bosque de latifoliadas	13.17	46.51

Fuente: MAGA, 2001.

5.1.2.4 Capacidad de uso

Según el INAB (11), se ubicaron tres categorías de capacidad de uso de la tierra en la microcuenca, éstas se distribuyen como se indica en el cuadro 4 y su posición en la microcuenca se muestra en la figura 5.

- Tierras forestales de producción: esta categoría ocupa el 71% del área de la microcuenca, se ubica en áreas de fuerte pendiente, suelos de poca profundidad y con afloramientos rocosos, indica el gran potencial que existe para la producción forestal.
- Agroforestería con cultivos anuales: representa el 26% de la superficie total, abarca áreas con pendientes moderadas y suelos un poco profundos, por ello puede sembrarse cultivos anuales asociados a plantaciones permanentes (frutales o forestales), con la recomendación de efectuar prácticas de conservación de suelos.
- Agricultura sin limitaciones: constituye el 3% en la microcuenca y por sus condiciones de topografía plana y suelos profundos sin limitación de pedregosidad y drenaje, permiten que se pueda cultivar a cualquier intensidad sin deterioro del suelo.

Cuadro 4. Categorías de capacidad de uso de los suelos de la microcuenca.

No.	Categoría	km ²	%
1	Agricultura sin limitaciones (A)	0.81	2.85
2	Agroforestería con cultivos anuales (Aa)	7.37	26.03
3	Tierras forestales de producción (F)	20.14	71.13

Fuente: INAB, 2000.

5.1.2.5 Intensidad de uso

Al sobreponer los mapas: capacidad de uso, cobertura vegetal y uso de la tierra, se obtuvieron las categorías de intensidad de uso que se muestran en la figura 6.

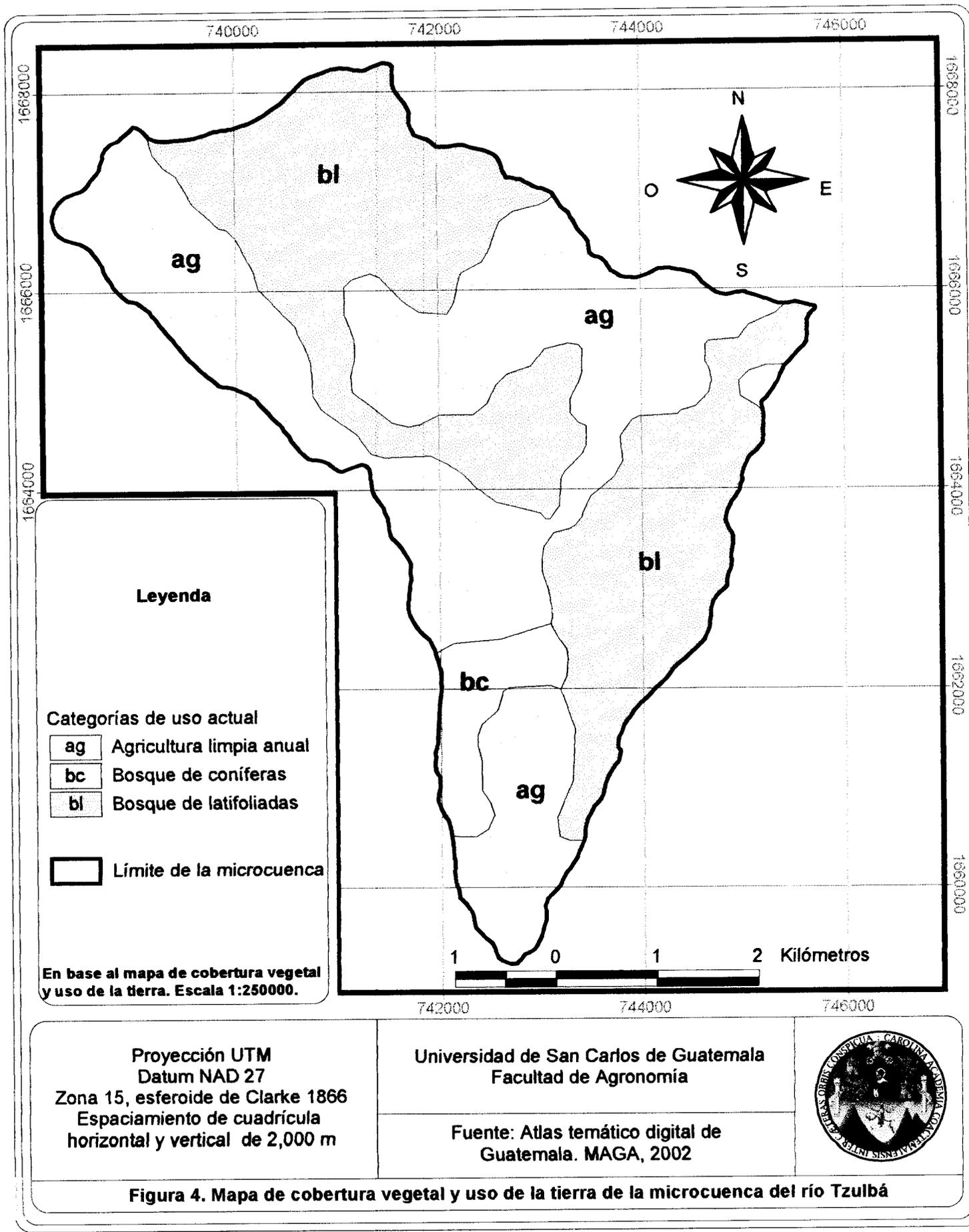
En el cuadro 5, se presenta la distribución de las categorías de intensidad de uso, predominando la categoría sobreutilizado con un 48.47% del área de la microcuenca, seguido por la categoría de uso correcto con 35.25% y el restante 16.29%, lo ocupa la categoría subutilizado.

- En las tierras que están siendo sobreutilizadas, los recursos naturales (agua, suelo, flora y fauna) se han deteriorado debido al manejo inadecuado que han recibido. En estas tierras, se eliminó la cobertura forestal para sembrar cultivos limpios sin aplicar prácticas de conservación de suelos, ocasionando un grado de erosión severo que se observa en la presencia de surcos y cárcavas. La erosión ha provocado pérdida de productividad de los suelos porque el rendimiento de los cultivos, ha disminuido notablemente según lo manifestado por los agricultores.
- Las tierras subutilizadas expresan que actualmente tienen cobertura forestal y que soportan una mayor intensidad de uso, pero el uso actual debe cambiarse sólo cuando la actividad productiva a establecer aporte un mayor rendimiento económico sin deterioro del suelo.
- La categoría de uso correcto indica que estas tierras están recibiendo el uso adecuado, y esto ocurre porque tienen cobertura forestal, que debe manejarse para conservar los recursos naturales que tanto beneficio proporcionan a la población del área y de la cabecera municipal de Joyabaj.

Cuadro 5. Categorías de intensidad de uso.

No.	Categoría	km ²	%
1	Uso correcto	9.98	35.25
2	Subutilizado	4.61	16.29
2	Sobreutilizado	13.73	48.47







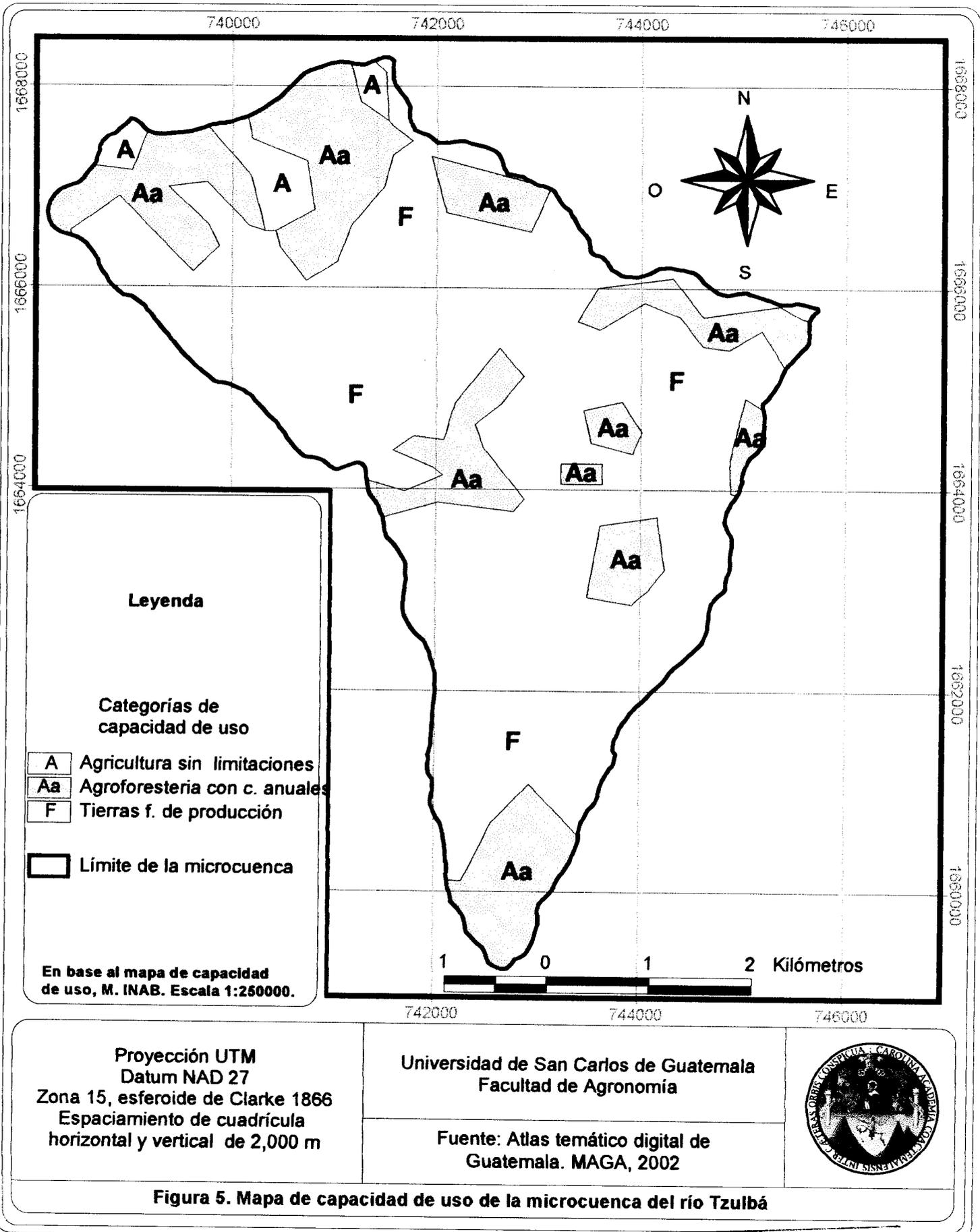


Figura 5. Mapa de capacidad de uso de la microcuenca del río Tzulbá



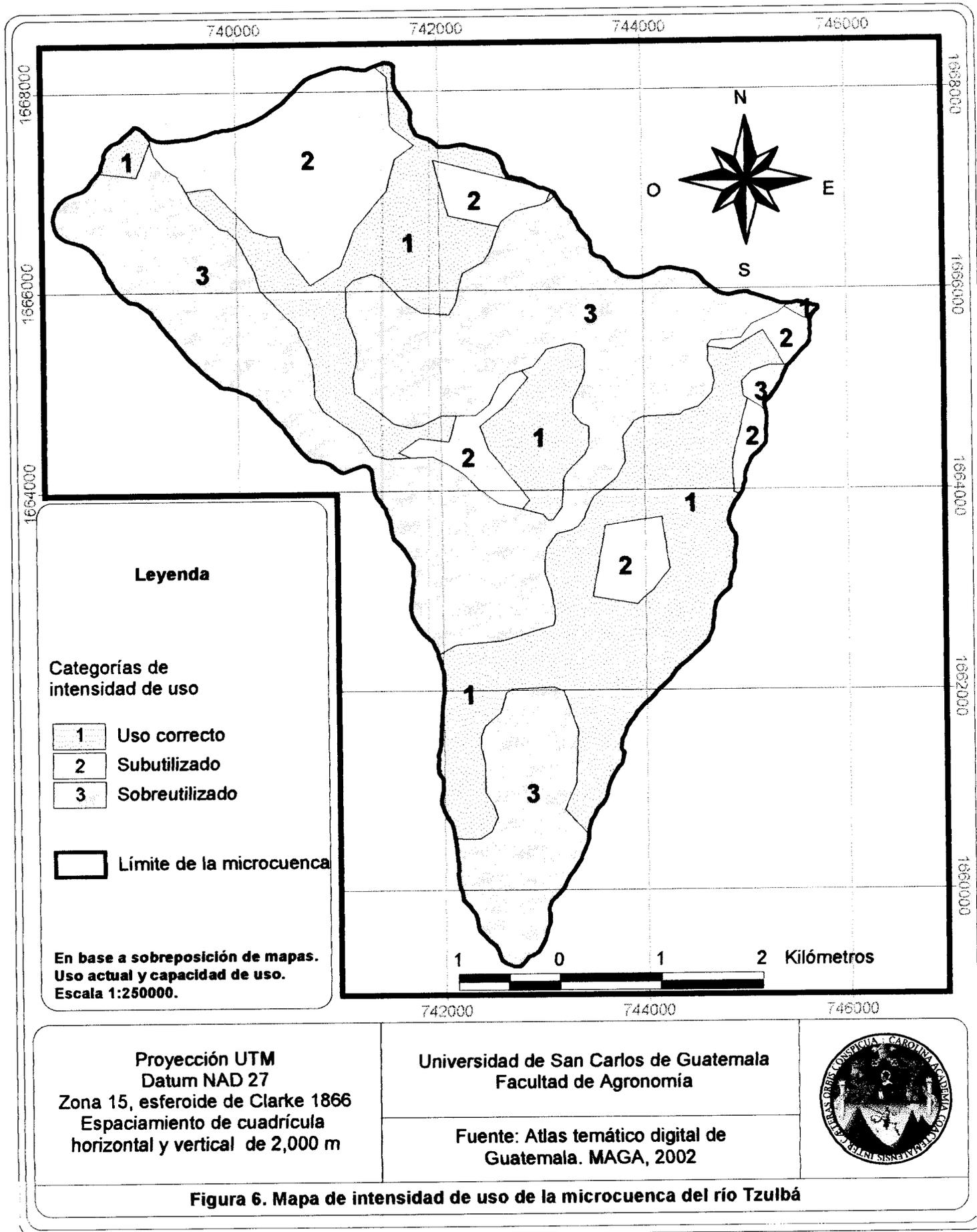


Figura 6. Mapa de intensidad de uso de la microcuenca del río Tzulbá

5.1.3 RECURSO FLORA

En base a reconocimiento de campo y al MAGA (14), se estableció que las áreas boscosas según el tipo forestal se pueden clasificar en:

- Bosque de coníferas: estas áreas especialmente están dominadas por especies de *Pinus montezumae*, *Pinus oocarpa* o bien una dominancia de ambas especies.
- Bosque de latifoliadas: Esta área boscosa está dominada por la presencia de *Quercus* sp. y *Alnus* sp. Es el bosque con mayor porcentaje de área en la microcuenca.

Según Méndez (17), en estos bosques, se distinguen los estratos arbóreo, arbustivo y herbáceo, conformados por las principales especies enumeradas en el cuadro 6.

Cuadro 6. Especies del estrato arbóreo, arbustivo y herbáceo.

Estrato	Especie	Nombre común
Arbóreo	<i>Pinus montezumae</i>	Pino macho
	<i>Pinus oocarpa</i>	Pino de ocote o pino hembra
	<i>Pinus pseudostrobus</i>	Pino blanco
	<i>Quercus</i> sp.	Roble o encino.
	<i>Alnus</i> sp.	Ilámo o aliso.
	<i>Litsea guatemalensis</i>	Laurel
Arbustivo	<i>Eupatorium</i> sp.	Curarina de monte; borriquete
	<i>Baccharis</i> sp.	Limoncillo; té de monte
	<i>Myrica cerifera</i>	Arrayán; cera vegetal
	<i>Vernonia leiocarpa</i>	Suquinay
	<i>Calliandra</i> sp.	Vainillo; cabellos de ángel
Herbáceas	<i>Gnaphalum</i> sp.	—————
	<i>Eupatorium</i> sp.	Flor de San Diego; aromito blanco
	<i>Heterocentron subtriplinervium</i>	Cañita; jazmín de peña
	<i>Eupatorium pynocephalum</i>	Mejorana; llovizna; inmortal
	<i>Pteridium aquilinum</i>	Helecho

Fuente: Méndez, 1991.

El recurso flora ha sido muy afectado, porque se han deforestado áreas con el objetivo de: incrementar la zona de producción agrícola, satisfacer la necesidad energética de la población y de las industrias de tejas y ladrillos. También los incendios forestales han contribuido al deterioro y éstos regularmente se producen por quemas incontroladas de renovación de pastos.

La flora más aprovechada local y externamente se encuentra en el estrato arbóreo, de ahí se obtiene: medicina (específicamente *Quercus* sp. y *Litsea guatemalensis*), la mayor parte del recurso energético (sobresalen *Quercus* sp. y *Pinus* sp.) y la madera para la construcción (más utilizados *Pinus* sp. y *Alnus* sp.).

La flora actualmente tiene una presión fuerte debido a la demanda de madera para construcción y necesidad energética de las industrias de tejas y ladrillos.

Por desconocimiento, la población del área no tramita la licencia respectiva, tanto para cortar árboles como para el uso de la motosierra, a la Oficina Forestal Municipal, con lo cual están violando la ley y exponiéndose a las sanciones que estas faltas implican.

Según el MAGA (14), la cobertura forestal corresponde al 51% del área de la microcuenca, en donde predomina el bosque de latifoliadas con 46.51% del área de la microcuenca y el restante 4.67%, lo ocupa el bosque de coníferas.

En el caso del estrato arbóreo, es material disponible para aprovechamiento y con demanda en el mercado local y nacional por tanto, en función de satisfacer las necesidades de los pobladores del área y conservar los recursos naturales (agua, flora, fauna y suelo), es importante generar información que permita identificar limitaciones y potencialidades de este recurso.

5.1.4 RECURSO FAUNA

5.1.4.1 Fauna silvestre

En el cuadro 7, se anotan las especies silvestres que reporta Cortéz (1) en diagnóstico del caserío Chisquiná y otras que los pobladores informan conocer del área.

La cacería de especies de fauna silvestre ya no es una actividad rentable en la microcuenca, porque la población de las especies enumeradas ha disminuido notablemente debido a varios factores: deforestación, cacería indiscriminada en épocas anteriores y densidad de población alta (189 hab/km²) que extiende sus actividades casi en toda el área de la microcuenca.

Las especies en peligro de extinción del área son coyote (*Canis latrans*) y venado (*Odocoileus virginianus*) que según pobladores, sólo se encuentran en las partes montañosas alejadas de los poblados. Y las otras especies están siendo afectadas al perder su hábitat por el avance de la frontera agrícola.

Cuadro 7. Especies de fauna silvestre en la microcuenca del río Tzulbá.

Clase	Especies	Nombre común
Mamíferos	<i>Sylvilagus sp.</i>	Conejo de monte
	<i>Sciurus aureogaster</i>	Ardilla
	<i>Dasybus novemcinctus</i>	Armadillo o cusuco
	<i>Didelphys marsupialis</i>	Tacuazín
	<i>Urocyon cinereoargenteus</i>	Gato de monte
	<i>Mustela sp.</i>	Comadreja
	<i>Canis latrans</i>	Coyote
	<i>Mus sp.</i>	Ratón
	<i>Odocoileus virginianus</i>	Venado
Aves	<i>Accipiter sp.</i>	Gavilán
	<i>Myadestes obscurus</i>	Jilguero
	<i>Quiscalus sp.</i>	Zanate
	<i>Columbigallina minuta</i>	Tortolita
	<i>Caragyps atratus</i>	Zopilote
	<i>Columba fasciata</i>	Paloma silvestre
	<i>Cyanocitta sp.</i>	Shara
	<i>Notiochelidon sp.</i>	Golondrina
Reptiles	<i>Hyla sp.</i>	Rana
	<i>Basiliscus vittatus</i>	Cutete
	<i>Bufo sp.</i>	Sapo
	<i>Micurus sp.</i>	Coralillo

Fuente: Cortéz, 1991.

5.1.4.2 Fauna doméstica

La fauna doméstica encontrada en la microcuenca, se enumera en el cuadro 8, y muchas especies son aprovechadas para el consumo familiar, por tanto la producción de los mismos se convierte en una actividad importante en la microcuenca.

Cuadro 8. Especies de fauna doméstica de la microcuenca del río Tzulbá.

Clase	Especie	Nombre común
Mamíferos	<i>Canis familiaris</i>	Perro
	<i>Sus scropha</i>	Cerdo
	<i>Felis catus</i>	Gato
	<i>Equus caballus</i>	Caballo
	<i>Bos taurus</i>	Bovinos
	<i>Capra sp.</i>	Cabra
Aves	<i>Gallus gallus</i>	Gallo
	<i>Milagros sp.</i>	Chompipe
	<i>Anus sp.</i>	Pato

5.2 ASPECTOS SOCIOPRODUCTIVOS DE LA POBLACIÓN

5.2.1 DEMOGRAFÍA

El total de la población de la microcuenca es de aproximadamente 5,362 personas, de los tres poblados que existen en el área según el Instituto Nacional de Estadística –INE- (12), el de mayor población es Xeabaj y la densidad poblacional es de 189 habitantes por kilómetro cuadrado.

En el cuadro 9, se muestran los datos de población por sexo, en donde el mayor número de personas son mujeres y en base a los grupos de edad, la mayor cantidad corresponde a las edades de 15-64 años por lo que se determina que la microcuenca está compuesta en su mayoría, por personas jóvenes.

Es importante resaltar que la tasa de crecimiento poblacional nacional reportada por el INE (12), es de 3.47%, misma que se ha utilizado para proyectar los datos al 2,004.

Cuadro 9. Distribución de la población por caserío, sexo y edades.

Lugar	Sexo		Grupos de edad				Total
	M	F	0-6	7-14	15-64	>65	
Caquil	416	405	187	173	433	28	821
Xeabaj	1,909	2,030	936	959	1,898	146	3,939
Chicotón X.	287	315	174	166	247	15	602
Totales	2,612	2,750	1,297	1,298	2,578	189	5,362

Fuente: Proyecciones al 2004 de datos del Censo Nacional XI de Población y VI de Habitación. INE, 2002.

5.2.2 EDUCACIÓN

Todos los poblados cuentan con una escuela y con maestros. Caquil y Xeabaj son atendidos por el Distrito de Educación 14-12-16, quedando Chicotón Xebalanguac y los parajes de Xeabaj bajo la responsabilidad de PRONADE.

En base al INE (12), se determinó que el 22% de la población de la microcuenca sabe leer y escribir, siendo importante mencionar que el mayor número de alfabetas lo aporta la aldea Caquil con 35% de su población, estando arriba del promedio de la microcuenca.

Analizando la cantidad de población de la microcuenca que está estudiando, se reporta 21% de la población total en el nivel primario y 1% en el nivel medio, en donde nuevamente Caquil presenta la mayor población de estudiantes ya que en el nivel primario y medio, está por arriba del promedio del área.

Según la Dirección Departamental de Educación citada por la Secretaría General de Planificación –SEGEPLAN– (20) del total de personas que ingresaron a estudiar a nivel del municipio en el año 2000, el 67% fue promovido a un grado superior, el 22% no fue promovido y 11% se retiraron de estudiar antes de concluir el ciclo escolar.

En base a estadísticas del Consejo Nacional de Alfabetización –CONALFA– citado por SEGEPLAN (20), para el año 2000, se registró en el municipio un índice de analfabetismo del 71.6%, donde incluye área urbana y rural.

Pero generalmente en el área rural, el porcentaje de promovidos a un grado superior baja significativamente y es donde más se da la deserción escolar porque los niños tienen que ayudar a sus padres en las actividades agrícolas, y esto redundo en que el índice de analfabetismo sea mayor del 71.6% que se registra a nivel municipio.

5.2.3 IDIOMAS

En la microcuenca del río Tzulbá, se hablan los idiomas: K'iché y Español. El idioma predominante es el K'iché, especialmente en las mujeres que en su mayoría no hablan el idioma Español.

De acuerdo al INE (12), la composición étnica de la microcuenca se distribuye de la forma siguiente: 87% es indígena, concentrándose en los caseríos Chicotón, Xeabaj y sus parajes. Correspondiendo el 13% restante a población que habita la aldea Caquil donde más de la mitad de su población es no indígena.

5.2.4 ORGANIZACIÓN SOCIAL

Según Santos (19), en todos los poblados de la microcuenca, existe un alcalde auxiliar, quien es designado por la comunidad y tiene la aprobación de la corporación municipal, por tanto él ejerce la autoridad local.

Existen comités pro-mejoramiento y comités específicos para cada proyecto (pe: comité de agua, carretera, etc.), quienes promueven y solicitan proyectos que benefician a los habitantes de las comunidades, también ellos son designados por la comunidad.

Además, en cada poblado existe una iglesia católica y una evangélica, que son organizaciones de índole religiosa.

En los poblados de la microcuenca, actualmente no hay mucha intervención de organizaciones gubernamentales y no gubernamentales. INTERVIDA ha apoyado en la

construcción de escuelas, Asociación de Desarrollo del Quiché –ASODERQ- en proyectos de molino de nixtamal y las instituciones gubernamentales (Ministerio de Educación y el Ministerio de Salud Pública y Asistencia Social) están representados por los maestros y vigilantes de salud.

5.2.5 TENENCIA DE LA TIERRA

En la microcuenca, la mayoría de agricultores son propietarios de tierras: algunos agricultores poseen extensiones de 10 manzanas y la mayoría tiene tierras con extensiones menores de 2 manzanas.

Según la Fundación Centroamericana de Desarrollo –FUNCEDE– (5), todas estas tierras anteriormente eran municipales pero en base al Acuerdo Gubernativo del 17 de agosto de 1907, las autoridades municipales otorgaron escrituras de propiedad a los habitantes del área.

5.2.6 ACTIVIDADES PRODUCTIVAS Y TECNOLOGÍA DE PRODUCCIÓN

A. Maíz (*Zea mays*)

La producción de maíz (*Zea mays*) es la actividad en que más se ocupan los pobladores, se produce en todos los centros poblados de la microcuenca, utilizan técnicas tradicionales como labranza con azadón excepto en Caquil donde la efectúan con arado en base a la fuerza de bueyes, también aplican plaguicidas y fertilizantes químicos. Los agricultores informan que el rendimiento oscila entre 2 y 4 quintales por cuerda de 30 v² y que el maíz (*Zea mays*) cosechado es para autoconsumo.

B. Frijol (*Phaseolus vulgaris*)

Esta es una actividad que realizan en su mayor parte los pobladores de Caquil, ya que en estas tierras el rendimiento varía entre 0.75 y 1 quintal por cuerda de 30 v². Los insumos que utilizan son plaguicidas y fertilizantes químicos, acompañados de los instrumentos de labranza tradicionales, machete y azadón. Los agricultores de los otros centros poblados manifestaron que no siembran frijol (*Phaseolus vulgaris*) ya que el rendimiento es bajo y muchas veces, no se recupera lo que se invierte.

C. Caña de Azúcar (*Saccharum officinarum*)

El cultivo de la caña de azúcar (*Saccharum officinarum*) se realiza en la aldea Caquil y es la actividad productiva que está más tecnificada, ya que cuentan con trapiches industriales que son utilizados para la molienda y los mismos son halados por bueyes.

En el proceso de crecimiento de la caña de azúcar (*Saccharum officinarum*), aplican un fertilizante nitrogenado y efectúan la limpieza con azadón y machete.

Los pobladores del área indican que el área sembrada se está reduciendo anualmente, debido a que la panela ha bajado de precio y muchas personas que antes realizaban moliendas, han dejado esta actividad para ocuparse en otras como el cultivo de tomate (*Lycopersicon esculentum*), etc.

D. Hortalizas

Las hortalizas en la microcuenca se están produciendo a pequeña escala porque no existe un sistema de riego adecuado para esta actividad. Las hortalizas más frecuentes son tomate (*Lycopersicon esculentum*), brócoli (*Brassica oleracea*), arveja (*Pisum sativum*) y coliflor (*Brassica oleracea*). En estos cultivos, manifiestan utilizar muchos productos químicos porque son afectados por plagas y enfermedades. Los instrumentos de labranza utilizados son el machete y el azadón.

E. Frutas

Se pudieron observar en la microcuenca árboles dispersos de aguacate (*Persea americana*), mango (*Mangifera indica*), banano (*Musa spp.*) y durazno (*Prunus persica*), que en su mayoría fueron sembrados en tiempo de la Dirección General de Servicios Agropecuarios – DIGESA-. Estos árboles en tiempo de cosecha según información de los dueños, tienen muy buen rendimiento, por tanto es un buen indicador de que se puede cultivar algo diferente al maíz (*Zea mays*).

F. Actividad pecuaria

Generalmente, el 80% de las familias se dedican a la producción de aves de patio, 25% a la crianza de ganado bovino contando con 1 ó 2 unidades por familia y otro 25% se dedica a la crianza de pequeños lotes de porcinos y caprinos. Esta actividad es complementaria a la agricultura y en la mayoría de los casos, se destina para consumo familiar aunque de vez en cuando, comercializan las unidades en la cabecera municipal.

G. Artesanías

En esta actividad sobresale la producción de tejidos dentro de la población indígena. Los cortes y huipiles, son elaborados en telares de cintura y bordados de forma manual, no hay una producción significativa para comercializar, pero es importante resaltar que el vestuario para mujeres es elaborado en la propia casa, lo que contribuye a mejorar la economía familiar.

5.2.7 INFRAESTRUCTURA FÍSICA Y SERVICIOS

A. Mercados

No existen mercados en los centros poblados de la microcuenca excepto en Xeabaj, que existe un día de plaza que corresponde al día viernes a donde asisten comerciantes y pobladores del área para vender y comprar diferentes productos. La mayoría de los pobladores del área viajan a la cabecera municipal los días jueves y domingos de cada semana para realizar compras y ventas de productos.

B. Vías de acceso y sistema de transporte

Para ingresar a los centros poblados, existen carreteras de terracería (veredas) que en época seca son transitables, pero en época lluviosa estos caminos se ponen en mal estado debido a que no reciben mantenimiento y se pueden transitar solo con carros de doble tracción.

El sistema de transporte a los centros poblados de la microcuenca, lo cubren carros de palangana, ya que por lo malo e inclinado del camino los autobuses no pueden ingresar al área.

C. Escuelas

En todos los centros poblados ubicados en la microcuenca, existe una escuela, unas con mejores condiciones que otras, pero es importante señalar el hecho, que los niños no tengan que viajar grandes distancias para asistir a una escuela.

D. Energía eléctrica y sistemas de comunicación

De los poblados reportados según el INE (12), tienen energía eléctrica: 67 viviendas de Caquil, 28 de Xeabaj y 13 de Chicotón Xebalanguac.

Para la comunicación en el área, se localizan teléfonos comunitarios en los caseríos Xeabaj y Caquil.

E. Viviendas

Según Santos (19), el tipo de vivienda que predomina en la microcuenca es de paredes de adobe, piso de tierra, techo de teja de barro y generalmente con un ambiente.

En base al INE (12), existen en Caquil 224 viviendas, 739 en Xeabaj y 163 en Chicotón Xebalanguac.

F. Agua entubada

Analizando los datos del INE (12), en todos los centros poblados se encuentra agua entubada. El 50% de las viviendas de Caquil cuentan con el vital líquido, en Xeabaj 65% del total de viviendas y el caserío Chicotón tiene agua entubada en el 54% de sus viviendas.

G. Letrinas

A nivel de municipio SEGEPLAN (20), reporta que de cada 100 viviendas, 67% no tiene letrinas y las viviendas del área rural que poseen letrinas se basan en el sistema de pozo ciego, constituyéndose en el principal medio de contaminación de las fuentes de aguas superficiales y subterráneas.

5.2.8 SALUD

Según la Dirección del Área de Salud de El Quiché citada por SEGEPLAN (20), informa que los principales indicadores de salud del municipio de Joyabaj, son los que a continuación se presentan.

Cuadro 10. Principales indicadores de salud del municipio.

Tasas	Porcentaje
Tasa de mortalidad al nacer (neonatal)	4.88
Tasa de mortalidad post-neonatal	11.65
Tasa de mortalidad infantil	16.53
Tasa de mortalidad materna	37.57
Tasa de natalidad	41.78
Tasa de mortalidad general	5.16
Esperanza de vida	Promedio 60 años

Fuente: SEGEPLAN, 2001.

Según reporte semanal publicado por el Distrito del Área de Salud de Joyabaj (4) en el mes de enero de 2004, las enfermedades que más afectan a la población de 3,255 casos analizados son:

- Parasitosis intestinal, con 25.55%.
- Rinofaringitis aguda (resfrío común) o catarro, con 21.92%.
- Infecciones respiratorias agudas, con 18.68%.
- Diarreas, con 17.99%.
- Neumonías y bronconeumonías, 5.25%
- Anemia nutricional no especificada, 5.15%.
- Faringoamigdalitis, 2.50%.
- Amigdalitis aguda no especificada 1.34%.
- Otitis media no especificada, 1.16%.
- Otitis externa, sin otra especificación. 0.47%.

Cuatro enfermedades (parasitosis intestinal, rinofaringitis aguda, infecciones respiratorias agudas y diarreas) conforman el 85 % de los casos reportados y lo interesante es que la parasitosis intestinal y las diarreas conforman el 44 %. Estas enfermedades tienen mucha relación con la calidad del agua, porque en base a los análisis reportados, la misma no es adecuada para consumo humano sin un tratamiento previo.

5.3 ANÁLISIS DE LA PROBLEMÁTICA

5.3.1 PROBLEMAS DETECTADOS

Los problemas encontrados en la microcuenca que están relacionados con los recursos naturales agua, suelo, flora y fauna son los siguientes:

- Pérdida y contaminación de fuentes de agua.
- Excesiva deforestación.
- Sobreutilización del suelo
- Erosión de los suelos
- Pérdida de biodiversidad.
- Desconocimiento a leyes vigentes en materia forestal.
- Incendios forestales.

5.3.2 MATRIZ DE PRIORIZACIÓN DE PROBLEMAS

Cuadro 11. Análisis matricial de los problemas detectados en la microcuenca.

Problemas	Pérdidas económicas (0 a 10)	Daños al ambiente (0 a 10)	Personas afectadas (0 a 10)	Prioridad (sumatoria)
Pérdida y contaminación de fuentes de agua	10	8	10	A (28)
Excesiva deforestación	9	10	6	C (25)
Sobreutilización del suelo	9	10	8	B (27)
Pérdida de biodiversidad	6	8	3	F (17)
Desconocimiento de leyes forestales	3	5	6	G (14)
Incendios forestales	7	8	5	E (20)
Erosión de los suelos	10	5	8	D (23)

De acuerdo a la calificación anterior, se enumeran los problemas en orden de prioridad:

1. Pérdida y contaminación de fuentes de agua
2. Sobreutilización del suelo
3. Excesiva deforestación
4. Erosión de los suelos
5. Incendios forestales
6. Pérdida de biodiversidad
7. Desconocimiento de leyes forestales

6. CONCLUSIONES

- La microcuenca tiene una población de 5,362 habitantes con las características siguientes: 87% son de la etnia K'iché, 22% son alfabetas donde el nivel primario ocupa el 21 %, las enfermedades principales relacionadas con el agua son parasitosis intestinal y diarreas. En infraestructura, 56% de las familias tiene agua entubada y un mínimo porcentaje cuenta con energía eléctrica, la población es representada por comités y el acalde auxiliar, la tierra que trabajan es propia y la actividad productiva principal es el maíz.
- El recurso hídrico es abundante, porque alcanza para los pobladores del área y la cabecera municipal, que se abastecen del agua de manantiales ubicados en la microcuenca, pero estos manantiales pueden contaminarse y perderse por el avance de la frontera agrícola, ya que sus alrededores comienzan a ser utilizados para cultivos anuales y potreros.
- El uso actual de la microcuenca es inadecuado porque el 48.47% de las tierras de la microcuenca están sobreutilizadas, debido a que la actividad productiva se concentra en cultivos anuales, cuando el potencial de la microcuenca es para producción forestal, provocando con este tipo de manejo erosión y pérdida de la productividad de los suelos.
- La flora de la microcuenca está representada por bosques de coníferas y latifoliadas que ocupa 51% del área total, este recurso disminuye debido a la deforestación causada por la necesidad energética y el avance de la frontera agrícola.
- Las especies de fauna silvestre están extinguiéndose porque se les está eliminando su hábitat debido a la alta densidad de población, que extiende sus actividades en toda el área de la microcuenca.
- Los problemas priorizados que más deterioro causan a los recursos naturales renovables, provocando un fuerte impacto en el ambiente y las actividades económicas de la población, son: pérdida y contaminación de fuentes de agua, sobreutilización del suelo, excesiva deforestación y erosión de los suelos.

7. RECOMENDACIONES

- Proteger los manantiales de la microcuenca, conservando la masa boscosa o reforestando las áreas cercanas a los mismos, para ello se deben identificar y aforar.
- Para controlar la excesiva deforestación, se debe impulsar un plan de manejo integral del recurso flora ya que en la microcuenca existen especies maderables, energéticas y medicinales, que pueden mejorar la economía de la población. El potencial de las especies maderables se puede establecer, realizando un inventario forestal y el de las especies medicinales, a través de una caracterización etnobotánica.
- Recuperar las zonas sobreutilizadas con el Programa de Incentivos Forestales –PINFOR– del INAB, pero como la información analizada en este diagnóstico es a un nivel de reconocimiento, se propone realizar un estudio a nivel semidetallado de los suelos de la microcuenca que proporcione información más precisa, donde además, se aporten elementos técnicos para el uso, conservación y restauración de las áreas deterioradas.
- Para asegurar el abastecimiento de agua a las poblaciones, mantenimiento de la cantidad y calidad de la misma, se debe efectuar un estudio en la microcuenca con el propósito de establecer las áreas de recarga hídrica natural y en base a esta información, determinar las áreas críticas que necesitan protección, manejo y/o restauración.

8. BIBLIOGRAFÍA

1. Cortéz Vanegas, A. 1991. Diagnóstico general del caserío Chixquiná del municipio de Joyabaj, El Quiché. Guatemala, USAC, Facultad de Agronomía. 23 p.
2. Cruz, JR de la. 1982. Clasificación de zonas de vida de Guatemala a nivel de reconocimiento. Guatemala, INAFOR. 42 p.
3. Distrito del Área de Salud de Joyabaj, GT. 2003. Cuadros de calidad de agua por poblado. Guatemala, MSPAS. s.p.
4. Distrito del Área de Salud de Joyabaj, GT. 2004. Cuadro de principales enfermedades del mes de enero. Guatemala, MSPAS. s.p.
5. FUNCEDE (Fundación Centroamericana de Desarrollo, GT). 1995. Diagnóstico y plan de desarrollo del municipio de Joyabaj, departamento El Quiché. Guatemala. 69 p.
6. IGN (Instituto Geográfico Nacional, GT). 1978. Mapa de cuencas de la república de Guatemala. Guatemala. Esc. 1:500,000. 4h. Color.
7. _____. 1981. Mapa geológico de Guatemala, hoja Cubulco, no. 2061 II. Guatemala. Esc. 1:50,000. Color.
8. _____. 1982a. Mapa topográfico de la república de Guatemala, hoja Granados, no. 2060 I. Guatemala. Esc. 1:50,000. Color.
9. _____. 1982b. Mapa topográfico de la república de Guatemala, hoja Cubulco, no. 2061 II. Guatemala. Esc. 1:50,000. Color.
10. _____. 1982c. Mapa topográfico de la república de Guatemala, hoja Zacualpa, no. 2061 III. Guatemala. Esc. 1:50,000. Color.
11. INAB (Instituto Nacional de Bosques, GT). 2000. Mapa de capacidad de uso de la república de Guatemala. Guatemala. Esc. 1:250,000. Color.
12. INE (Instituto Nacional de Estadística, GT). 2002. Cuadros de población del censo nacional XI de población y VI de habitación de la República de Guatemala. Guatemala. s.p.
13. MAGA (Ministerio de Agricultura, Ganadería y Alimentación, GT). 1999. Primera aproximación del mapa de clasificación taxonómica de lo suelos de Guatemala: memoria técnica. (en línea). Guatemala. Consultado 18 feb 2004. Disponible en <http://www.maga.gob.gt/sig>.
14. _____. 2001a. Mapa de cobertura vegetal y uso de la tierra de la república de Guatemala. Guatemala. Esc. 1:250,000. Color.



Uo.Bo. Rolando Barrios

15. _____. 2001b. Mapa fisiográfico geomorfológico de la república de Guatemala: memoria técnica. (en línea). Guatemala. Consultado 18 feb 2004. Disponible en <http://www.maga.gob.gt/sig>.
16. _____. 2002. Atlas temático digital de la república de Guatemala. Guatemala. Esc. 1:250,000. Color. 1 disco compacto, 8 mm.
17. Méndez Muñoz, C. 1991. Estudio de las comunidades forestales de la cuenca del río Cocol, Joyabaj, El Quiché. Tesis Ing. Agr. Guatemala, USAC. 81 p.
18. MINECO (Ministerio de Economía, GT); COGUANOR (Comisión Guatemalteca de Normas y Regulaciones, GT). 2001. Norma NGO 29 001 agua potable. Guatemala. 3 p.
19. Santos Alvarado, CG. 2001. Primer diagnóstico municipal, Joyabaj. Guatemala, MARN. 26 p.
20. SEGEPLAN (Secretaría General de Planificación, GT). 2001. Caracterización del municipio de Joyabaj del departamento El Quiché. Guatemala. s.p.
21. Simmons, C; Tarano, JM; Pinto, JH. 1959. Clasificación a nivel de reconocimiento de los suelos de la república de Guatemala. Trad. P Tirado. Guatemala, José Pineda Ibarra. 1000 p.



No. Bo. *Rolando Barrios*

CAPITULO II

INVESTIGACIÓN

**IDENTIFICACIÓN DE ÁREAS DE RECARGA HÍDRICA NATURAL EN LA
MICROCUENCA DEL RÍO TZULBÁ, JOYABAJ, EL QUICHÉ**

**IDENTIFICATION OF AREAS OF NATURAL GROUNDWATER RECHARGE IN
THE BASIN OF THE TZULBA RIVER, JOYABAJ, EL QUICHE**

INDICE GENERAL

Indice general.....	40
Indice de figuras.....	42
Indice de cuadros.....	43
Resumen.....	46
1. INTRODUCCIÓN.....	48
2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	49
3. MARCO TEÓRICO.....	50
3.1 Marco conceptual.....	50
3.1.1 Ciclo hidrológico.....	50
3.1.2 Recarga y descarga.....	50
3.1.3 El proceso de la recarga hídrica.....	52
3.1.4 Factores que intervienen en la recarga hídrica.....	52
3.1.5 Métodos para estimar recarga hídrica.....	64
3.1.6 Áreas principales de recarga hídrica natural.....	68
3.1.7 Áreas críticas de recarga hídrica natural.....	68
3.2 Marco referencial.....	69
3.2.1 Aspectos generales de la microcuenca.....	69
3.2.2 Leyes y políticas de Guatemala que promueven la conservación del recurso hídrico.....	81
3.2.3 Antecedentes de estudios de recarga hídrica.....	84
4. OBJETIVOS.....	86
4.1 Objetivo general.....	86
4.2 Objetivos específicos.....	86
5. METODOLOGÍA.....	87
5.1 Fase de gabinete inicial.....	87
5.1.1 Recopilación de información básica.....	87
5.1.2 Elaboración de mapas.....	87
5.1.3 Unidades de muestreo.....	88
5.2 Fase de campo.....	88
5.2.1 Verificación en campo de mapas preliminares.....	88
5.2.2 Información climática.....	88
5.2.3 Escorrentía superficial.....	89
5.2.4 Suelos.....	89
5.3 Fase de gabinete final.....	90
5.3.1 Procesamiento y análisis de la información.....	90
5.3.2 Elaboración de informe final.....	96

6. RESULTADOS	97
6.1 Ciclo hidrológico	97
6.1.1 Precipitación pluvial	97
6.1.2 Infiltración.....	98
6.1.3 Evapotranspiración	100
6.1.4 Escorrentía superficial.....	101
6.2 Factores que influyen en la recarga hídrica	108
6.2.1 Unidades de muestreo	108
6.2.2 Clima	109
6.2.3 Cobertura vegetal.....	113
6.2.4 Topografía.....	114
6.2.5 Estratigrafía geológica.....	115
6.2.6 Suelos	115
6.3 Balance hídrico de suelos.....	117
6.3.1 Balance hídrico de suelos con datos diarios.....	117
6.3.2 Comparación de metodologías para calcular precipitación efectiva.....	118
6.3.3 Balance hídrico de suelos con datos mensuales	119
6.3.4 Balance hídrico con datos anuales	121
6.3.5 Comparación de recarga calculada en función del tiempo.....	121
6.4 Areas principales de recarga hídrica natural	123
6.5 Areas críticas de recarga hídrica natural	125
6.6 Consideraciones generales de manejo.....	129
6.6.1 Restauración de áreas deforestadas	129
6.6.2 Manejo forestal sostenible	129
6.6.3 Protección y conservación de fuentes de agua.....	130
6.6.4 Conservación del suelo.....	130
6.6.6 Sensibilidad social.....	131
7. CONCLUSIONES	133
8. RECOMENDACIONES	134
9. BIBLIOGRAFÍA	135
10. ANEXOS	138
10.1 Datos climáticos de la microcuenca del río Tzulbá.....	138
10.2 Pruebas de infiltración e informe de análisis de muestras de suelo	149
10.3 Balance hídrico de suelos con datos diarios.....	171
10.4 Balance hídrico de suelos con datos mensuales.....	188
10.5 Balance hídrico con datos anuales.....	209

INDICE DE FIGURAS

Figura 1. Mapa de ubicación político-administrativa de la microcuenca del río Tzulbá.....	70
Figura 2. Mapa topográfico de la microcuenca del río Tzulbá.....	72
Figura 3. Mapa de ubicación hidrográfica de la microcuenca del río Tzulbá.....	73
Figura 4. Mapa de pendientes de la microcuenca del río Tzulbá.....	75
Figura 5. Mapa geológico de la microcuenca del río Tzulbá.....	76
Figura 6. Mapa de series de suelos de la microcuenca del río Tzulbá.....	79
Figura 7. Mapa de uso actual de la microcuenca del río Tzulbá.....	80
Figura 8. Mapa de ubicación de manantiales y puntos de aforo en la microcuenca.....	105
Figura 9. Mapa de ubicación de los tramos de aforos de la microcuenca del río Tzulbá.....	106
Figura 10. Mapa de unidades de muestreo en la microcuenca del río Tzulbá.....	107
Figura 11. Mapa de principales áreas de recarga hídrica de la microcuenca.....	126
Figura 12. Mapa de áreas críticas de recarga hídrica en la microcuenca.....	128
Figura 13. Mapa de área crítica de manejo en la microcuenca.....	132
Figura 14A. Curva de infiltración básica de la unidad 01.....	150
Figura 15A. Curva de infiltración básica de la unidad 02.....	151
Figura 16A. Curva de infiltración básica de la unidad 03.....	152
Figura 17A. Curva de infiltración básica de la unidad 04.....	153
Figura 18A. Curva de infiltración básica de la unidad 05.....	154
Figura 19A. Curva de infiltración básica de la unidad 06.....	155
Figura 20A. Curva de infiltración básica de la unidad 07.....	156
Figura 21A. Curva de infiltración básica de la unidad 08.....	157
Figura 22A. Curva de infiltración básica de la unidad 09.....	158
Figura 23A. Curva de infiltración básica de la unidad 10.....	159
Figura 24A. Curva de infiltración básica de la unidad 11.....	160
Figura 25A. Curva de infiltración básica de la unidad 12.....	161
Figura 26A. Curva de infiltración básica de la unidad 13.....	162
Figura 27A. Curva de infiltración básica de la unidad 14.....	163
Figura 28A. Curva de infiltración básica de la unidad 15.....	164
Figura 29A. Curva de infiltración básica de la unidad 16.....	165
Figura 30A. Curva de infiltración básica de la unidad 17.....	166
Figura 31A. Curva de infiltración básica de la unidad 18.....	167
Figura 32A. Curva de infiltración básica de la unidad 19.....	168

INDICE DE CUADROS

Cuadro 1. Profundidad radicular en diferentes combinaciones de suelos y plantas.	61
Cuadro 2. Espaciamientos de sondeo según el ancho del cauce.	63
Cuadro 3. Valores de coeficientes (kp) según valores de pendientes.	91
Cuadro 4. Valores de coeficientes (kv) según tipo de cobertura vegetal.	91
Cuadro 5. Matriz de criterios de geología.	95
Cuadro 6. Matriz de criterios de infiltración básica.	95
Cuadro 7. Matriz de criterios de recarga anual.	95
Cuadro 8. Matriz de criterios de pendiente.	95
Cuadro 9. Área crítica de recarga hídrica según susceptibilidad.	96
Cuadro 10. Ubicación geográfica de las estaciones meteorológicas.	97
Cuadro 11. Datos de precipitación pluvial mensual en mm, de las est. meteorológicas.	98
Cuadro 12. Coeficiente de infiltración, por unidad de muestreo.	99
Cuadro 13. Infiltración básica de los suelos de la microcuenca, por unidad de muestreo.	100
Cuadro 14. Datos de temperatura mensual (°c) de las estaciones meteorológicas.	101
Cuadro 15. Datos de evapotranspiración potencial mensual en mm, de las estaciones.	101
Cuadro 16. Caudal de los principales manantiales de la microcuenca del río Tzulbá.	103
Cuadro 17. Caudal en diferentes puntos de las corrientes del río Tzulbá.	103
Cuadro 18. Aforos diferenciales de la microcuenca del río Tzulbá.	104
Cuadro 19. Unidades de muestreo y su extensión.	108
Cuadro 20. Precipitación media mensual en mm, para cada unidad de muestreo.	109
Cuadro 21. Precipitación efectiva diaria y mensual, para cada unidad de muestreo.	110
Cuadro 22. Evapotranspiración potencial media mensual en mm, por unidad de muestreo.	111
Cuadro 23. Evapotranspiración real diaria y mensual para cada unidad de muestreo.	112
Cuadro 24. Cobertura vegetal o uso de la tierra de la microcuenca, del río Tzulbá.	113
Cuadro 25. Cobertura vegetal, retención y profundidad radicular por unidad.	114
Cuadro 26. Topografía, de la microcuenca del río Tzulbá.	114
Cuadro 27. Estratigrafía geológica de la microcuenca del río Tzulbá.	115
Cuadro 28. Propiedades físicas de los suelos, por unidad de muestreo.	116
Cuadro 29. Balance hídrico de suelos con datos diarios de la microcuenca del río Tzulbá determinando precipitación efectiva con la ecuación de Schosinsky y Losilla.	117
Cuadro 30. Balance hídrico de suelos con datos diarios de la microcuenca del río Tzulbá determinando precipitación efectiva con la ecuación de Palacios Vélez.	117

Cuadro 31. Volúmenes de escorrentía calculada vrs escorrentía medida en campo.....	118
Cuadro 32. Resumen de la recarga potencial por unidad, en la microcuenca.....	119
Cuadro 33. Balance hídrico de suelos con datos mensuales de la microcuenca del río Tzulbá... ..	120
Cuadro 34. Balance hídrico anual, de la microcuenca del río Tzulbá.	121
Cuadro 35. Variación en porcentaje de recarga potencial según el intervalo temporal de cálculo.	122
Cuadro 36. Clasificación de recarga potencial, por unidad de muestreo.	124
Cuadro 37. Principales áreas de recarga potencial de la microcuenca del río Tzulbá.....	125
Cuadro 38. Clasificación de susceptibilidad en principales áreas de recarga potencial.....	125
Cuadro 39. Áreas críticas de recarga potencial de la microcuenca.	127
Cuadro 40A. Precipitación diaria en mm de la estación Xeabaj, abril 2004 – marzo 2005.	139
Cuadro 41A. Temperatura máxima diaria en °c, estación Xeabaj, abril 2004 – marzo 2005.	140
Cuadro 42A. Temperatura mínima diaria en °c, estación Xeabaj, abril 2004 – marzo 2005.	141
Cuadro 43A. Temperatura media diaria en °c, estación Xeabaj, abril 2004 – marzo 2005.	142
Cuadro 44A. Etp potencial diaria en mm, estación Xeabaj, abril 2004 – marzo 2005.....	143
Cuadro 45A. Precipitación diaria en mm de la estación Caquil, abril 2004 – marzo 2005.	144
Cuadro 46A. Temperatura máxima diaria en °c, estación Caquil, abril 2004 – marzo 2005.	145
Cuadro 47A. Temperatura mínima diaria en °c, estación Caquil, abril 2004 – marzo 2005.	146
Cuadro 48A. Temperatura media diaria en °c, estación Caquil, abril 2004 – marzo 2005.	147
Cuadro 49A. Etp potencial diaria en mm, estación Caquil, abril 2004 – marzo 2005.....	148
Cuadro 50A. Datos obtenidos en la prueba de infiltración de la unidad 01.....	150
Cuadro 51A. Datos obtenidos en la prueba de infiltración de la unidad 02.....	151
Cuadro 52A. Datos obtenidos en la prueba de infiltración de la unidad 03.....	152
Cuadro 53A. Datos obtenidos en la prueba de infiltración de la unidad 04.....	153
Cuadro 54A. Datos obtenidos en la prueba de infiltración de la unidad 05.....	154
Cuadro 55A. Datos obtenidos en la prueba de infiltración de la unidad 06.....	155
Cuadro 56A. Datos obtenidos en la prueba de infiltración de la unidad 07.....	156
Cuadro 57A. Datos obtenidos en la prueba de infiltración de la unidad 08.....	157
Cuadro 58A. Datos obtenidos en la prueba de infiltración de la unidad 09.....	158
Cuadro 59A. Datos obtenidos en la prueba de infiltración de la unidad 10.....	159
Cuadro 60A. Datos obtenidos en la prueba de infiltración de la unidad 11.....	160
Cuadro 61A. Datos obtenidos en la prueba de infiltración de la unidad 12.....	161
Cuadro 62A. Datos obtenidos en la prueba de infiltración de la unidad 13.....	162
Cuadro 63A. Datos obtenidos en la prueba de infiltración de la unidad 14.....	163

Cuadro 64A. Datos obtenidos en la prueba de infiltración de la unidad 15.....	164
Cuadro 65A. Datos obtenidos en la prueba de infiltración de la unidad 16.....	165
Cuadro 66A. Datos obtenidos en la prueba de infiltración de la unidad 17.....	166
Cuadro 67A. Datos obtenidos en la prueba de infiltración de la unidad 18.....	167
Cuadro 68A. Datos obtenidos en la prueba de infiltración de la unidad 19.....	168
Cuadro 69A. Resultados del análisis de las muestras de suelo, unidad 01 hasta 10.	169
Cuadro 70A. Resultados del análisis de las muestras de suelo, unidad 11 hasta 19.	170
Cuadro 71A. Ejemplo del bh diario (estimando precipitación efectiva/m. Schosisnsky).....	172
Cuadro 72A. Ejemplo del bh diario (estimando precipitación efectiva/m. Palacios Vélez).....	180
Cuadro 73A. Balance hídrico de suelos de la unidad 01.....	189
Cuadro 74A. Balance hídrico de suelos de la unidad 02.....	190
Cuadro 75A. Balance hídrico de suelos de la unidad 03.....	191
Cuadro 76A. Balance hídrico de suelos de la unidad 04.....	192
Cuadro 77A. Balance hídrico de suelos de la unidad 05.....	193
Cuadro 78A. Balance hídrico de suelos de la unidad 06.....	194
Cuadro 79A. Balance hídrico de suelos de la unidad 07a.....	195
Cuadro 80A. Balance hídrico de suelos de la unidad 07b.....	196
Cuadro 81A. Balance hídrico de suelos de la unidad 08.....	197
Cuadro 82A. Balance hídrico de suelos de la unidad 09.....	198
Cuadro 83A. Balance hídrico de suelos de la unidad 10.....	199
Cuadro 84A. Balance hídrico de suelos de la unidad 11.....	200
Cuadro 85A. Balance hídrico de suelos de la unidad 12.....	201
Cuadro 86A. Balance hídrico de suelos de la unidad 13.....	202
Cuadro 87A. Balance hídrico de suelos de la unidad 14.....	203
Cuadro 88A. Balance hídrico de suelos de la unidad 15.....	204
Cuadro 89A. Balance hídrico de suelos de la unidad 16.....	205
Cuadro 90A. Balance hídrico de suelos de la unidad 17.....	206
Cuadro 91A. Balance hídrico de suelos de la unidad 18.....	207
Cuadro 92A. Balance hídrico de suelos de la unidad 19.....	208
Cuadro 93A. Balance hídrico anual de la microcuenca del río Tzulbá.....	210

IDENTIFICACIÓN DE ÁREAS DE RECARGA HÍDRICA NATURAL EN LA MICROCUENCA DEL RÍO TZULBÁ, JOYABAJ, EL QUICHÉ

IDENTIFICATION OF AREAS OF NATURAL GROUNDWATER RECHARGE IN THE BASIN OF THE TZULBA RIVER, JOYABAJ, EL QUICHE

RESUMEN

La microcuenca del río Tzulbá es una unidad hidrográfica muy especial porque en ella se localizan los manantiales, que aseguran el suministro de agua a los pobladores del área y de la cabecera municipal de Joyabaj. Pero actualmente con la degradación de la cobertura vegetal y suelo, se están alterando las condiciones que favorecen la recarga hídrica, por lo cual se reduce la disponibilidad del agua y su capacidad de renovación como recurso natural.

La falta de información técnica, sobre el lugar específico, donde se ubican las condiciones que favorecen en mayor proporción la recarga hídrica natural y los pocos estudios que se han generado a nivel nacional sobre áreas de recarga hídrica, a pesar de estar normado en el artículo 35 del Reglamento de la Ley Forestal, motivó a la realización de la presente investigación.

Esta investigación es importante porque al conocerse las principales áreas de recarga hídrica y el área crítica de recarga se podrán emitir normas especiales de manejo, conservación, restauración y rehabilitación de los recursos naturales, con el objeto que éstas áreas mantengan la capacidad de recarga y abastezcan permanentemente las fuentes de agua, que son de gran beneficio para la población.

Para efectuar esta investigación, se caracterizaron los componentes del ciclo hidrológico y se definieron diecinueve unidades de muestreo mediante la sobreposición de tres capas temáticas (serie de suelos, cobertura vegetal y geología). Luego, en cada una de las unidades de muestreo se analizaron los principales factores que intervienen en la recarga hídrica. Y en base a esta información, se aplicaron balances de agua (balance de agua del cauce de un río y balance hídrico de suelos) que permitieron cuantificar la recarga hídrica natural en la microcuenca del río Tzulbá.

Con los datos diarios y mensuales del clima (precipitación y evapotranspiración), registrados en el balance hídrico de suelos, se cuantificó un volumen anual de recarga potencial en la microcuenca de 5,613,934 m³ y 4,414,851 m³, respectivamente. No encontrándose recarga hídrica por balance de agua de los cauces del río.

En base a los resultados del balance hídrico de suelos con datos mensuales, se identificó la principal área de recarga hídrica natural, en la parte alta de la microcuenca del río Tzulbá, a partir de la curva altitudinal 1900 msnm, porque en esta área se produce el 81% (3,569,022 m³) de la recarga total y al analizar aspectos de geología, infiltración básica, recarga anual y pendiente, también se estableció que corresponde al área crítica con alta susceptibilidad de disminuir la recarga.

Y considerando que en el balance hídrico de suelos, la recarga es el elemento encontrado por balances de otros componentes, se procedió a comparar dos metodologías para la determinación de la precipitación efectiva, resultando la de Schosinsky y Losilla como la más adecuada para la microcuenca del río Tzulbá, debido a que reduce la variación de los datos estimados respecto a los valores obtenidos en campo.

En base a los resultados anteriores, se recomienda implementar un proyecto piloto de conservación y manejo de las áreas principales de recarga hídrica y/o área crítica de recarga hídrica natural, donde se tomen en cuenta como mínimo, las consideraciones generales de manejo propuestas en esta investigación, para asegurar que las mismas mantengan su capacidad de recarga y abastezcan permanentemente las fuentes de agua de la microcuenca del río Tzulbá.

1. INTRODUCCIÓN

Según Palacios (34), a nivel mundial el problema del agua, se ha convertido en un tema de gran relevancia, que se ha abordado en una serie de reuniones y conferencias, donde se promueve el manejo integral del recurso hídrico, para poder garantizar su sostenibilidad.

En Guatemala, la presión sobre el recurso hídrico por la degradación de la cobertura vegetal y suelo, en áreas de captación y regulación hidrológica, se manifiesta cuando los manantiales se pierden y se reduce el régimen del caudal de los ríos. Por tanto, El Estado en la Ley Forestal y en su Reglamento (3), manda a identificar las áreas de recarga hídrica para conservarlas, restaurarlas o aplicarles un manejo forestal sostenible, para que mantengan su capacidad de recarga y abastecimiento de fuentes de agua.

La microcuenca del río Tzulbá se ubica en el municipio de Joyabaj, departamento El Quiché, y es un área muy importante por que tiene las fuentes de agua que abastecen a la población del área y de la cabecera municipal de Joyabaj. Pero, actualmente en parte por desconocimiento de las principales áreas de recarga hídrica, se están alterando las condiciones que favorecen la capacidad de recarga, lo que podría ocasionar, en un futuro no muy lejano, la pérdida total de las fuentes de agua.

Por lo anterior, en este estudio, se dan a conocer las principales áreas de recarga hídrica natural de la microcuenca y se proporcionan consideraciones generales de manejo, que deberán implementarse para asegurar que estas áreas continúen abasteciendo a las fuentes de agua y por ende a la población.

Debido a que no existen registros climáticos se generaron los mismos para el período abril 2004 – marzo 2005, por ello los resultados obtenidos proporcionan información preliminar.

Toda la información generada servirá de base para el manejo, conservación y restauración de los recursos naturales (bosque, suelo y agua) y también para el fortalecimiento de las investigaciones en este campo.

Para la realización de este estudio, se contó con la asistencia técnica y financiera del Programa de Investigación Forestal, el proyecto de Conservación de Ecosistemas Forestales Estratégicos –CEFE- y la Subregión VII-1 del Instituto Nacional de Bosques –INAB-, así también la subárea de Ejercicio Profesional Supervisado de Agronomía –EPSA- y el Programa de la Red Centroamericana de Manejo de Recursos Hídricos –CARA- de la Facultad de Agronomía, Universidad de San Carlos de Guatemala –USAC-.

2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Según Palacios (34), Guatemala a pesar de ser un país dotado de un gran potencial de agua de lluvia, comienza a sufrir presión sobre el recurso hídrico, porque se está degradando la cobertura vegetal y el suelo, en áreas de importancia para la captación y regulación del agua.

Esto conlleva, a la pérdida o reducción del caudal de las fuentes de agua ya que se están alterando los factores que intervienen en la disponibilidad del agua y en su capacidad de renovarse como recurso natural.

La microcuenca del río Tzulbá es parte de la cabecera de la cuenca del río Motagua y es una unidad muy especial porque en ella se localizan los manantiales, que aseguran el suministro de agua a los pobladores del área y de la cabecera municipal de Joyabaj.

Pero actualmente, se están alterando las condiciones favorables de recarga hídrica, lo que está incidiendo en pérdida de manantiales y reducción de caudales de las fuentes de agua, por lo que es importante tomar acciones que permitan el manejo adecuado. Dentro de éstas acciones se debe partir con la identificación de las áreas de recarga hídrica.

Son pocos los estudios que se han generado en Guatemala, para identificar áreas de recarga hídrica, a pesar de estar normado en el artículo 35 del Reglamento de la Ley Forestal. Aunque, según el INAB (17) se han elaborado mapas de zonas de recarga hídrica a nivel de reconocimiento en todo el país, pero por el tipo de escala, han sido de reducida utilidad para la administración forestal.

Por ello, el presente estudio se considera importante ya que en él, se identificaron a nivel semidetallado las principales áreas de recarga hídrica y el área crítica de mayor susceptibilidad a disminuir la recarga. Y en base a esto, el INAB, podrá emitir normas especiales de manejo forestal o implementar un proyecto piloto en la microcuenca, para la conservación y manejo del área crítica de recarga hídrica, con el objeto que éstas mantengan la capacidad de recarga y abastezcan permanentemente las fuentes de agua.

También, con la información generada, se contribuye al esfuerzo de estudios a nivel nacional, a futuras investigaciones y al fortalecimiento del programa de investigación en este campo.

3. MARCO TEÓRICO

3.1 MARCO CONCEPTUAL

3.1.1 CICLO HIDROLÓGICO

Según Aparicio (1), es un ciclo que al describirlo se puede partir del punto en que el agua se evapora de los océanos (en mayor proporción) y de la superficie terrestre por efecto de la radiación solar y el viento. Este vapor se transporta y eleva por la atmósfera en forma de nubes hasta condensarse y precipitarse nuevamente a la tierra.

Al momento de efectuarse el proceso de la precipitación, la mayor parte (del agua evaporada), se deposita sobre la superficie de la tierra. Pero en el trayecto el agua puede ser retenida por las plantas o construcciones, para luego infiltrarse en el suelo hasta saturar el mismo y posteriormente escurrir por la superficie hasta las corrientes (1).

Del agua que se infiltra en el suelo, una parte regresa a la atmósfera por evaporación y transpiración de las plantas, otra parte corre como flujo subsuperficial que se descarga en las corrientes y el resto, pasa a recargar el reservorio de agua subterránea (acuífero), que después emerge en manantiales, ríos o el mar, de donde también puede evaporarse para continuar con el ciclo hidrológico (1).

3.1.2 RECARGA Y DESCARGA

3.1.2.1 Recarga hídrica

Lerner (18), la define como el proceso donde el flujo de agua desciende en el suelo, hasta alcanzar el nivel freático, incrementando el agua almacenada.

La recarga puede ser natural cuando se produce por infiltración de la precipitación pluvial o de un curso de agua (ríos y lagos), o inducida debido a las actividades del hombre, como riego y urbanización (18).

También se divide según el tipo de estimación en: recarga actual que es el volumen de agua que alcanza el nivel freático; y recarga potencial que hace referencia al volumen de agua, que puede tomar diferentes destinos como, evapotranspiración, cambio de humedad en la zona insaturada del suelo, descarga a cursos de agua y alcanzar reservorios de agua subterránea (18).

Lerner (18), manifiesta que las fuentes de recarga para un acuífero pueden ser las siguientes: precipitación pluvial o recarga directa, recarga de río (incluye corrientes efímeras,

intermitentes y permanentes), flujos interacuíferos, irrigación (canales y campos) y recarga urbana, donde cada tipo de recarga debe ser cuantificada por diferentes métodos.

La microcuenca del río Tzulbá, se encuentra en material impermeable (tierras metamórficas) por ello se considera que no existen flujos interacuíferos, no existen áreas con sistemas de riego y la recarga urbana que se da por abastecimiento de la población se considera mínima debido a la baja concentración de población, por tanto estos tipos de recarga no son considerados en este estudio.

3.1.2.2 Zona de recarga natural

De acuerdo a Lesser (19), son las áreas ubicadas en topografías elevadas y en suelos permeables, que facilitan la infiltración y descenso del agua hacia los reservorios de agua subterránea (acuíferos). Y ésta infiltración puede producirse no sólo por las aguas de lluvia, sino también por las aguas que circulan a través de los arroyos o corrientes (corrientes influentes).

A. Acuíferos

Según Custodio y Llamas (5), es la capa o formación geológica donde el agua circula y se almacena, y que puede ser utilizada por el hombre en cantidades económicamente significativas. Lesser (19) agrega que esta agua en la mayoría de casos sólo puede ser aprovechada a través de pozos.

De acuerdo a Herrera (9), los diferentes acuíferos conocidos según el tipo de flujo, la presión del agua, la extensión y continuidad de saturación, son:

- Por el tipo de flujo: acuíferos en medios porosos (flujo en medios porosos) y acuíferos en medios fracturados o consolidados (flujo fisural).
- En base a la presión del agua y relaciones de conductividad hidráulica del acuífero (capa sobreyacente): acuífero libre o freático (no tienen capa confinante sobreyacente), acuífero semilibre (se presentan capas o lentes confinantes en algunas partes), acuífero semiconfinado (tiene un acuitardo como capa sobreyacente), y acuífero confinado (tiene dos capas confinantes, superior e inferior).
- Y según la extensión y continuidad de saturación, se mencionan: acuífero colgado y acuífero regional o principal.

3.1.2.3 Descarga natural

Según Custodio y Llamas (5), es el volumen de agua que en un determinado tiempo sale de la zona de almacenamiento a través de los manantiales cuando la zona saturada queda cerca de la superficie terrestre.

Lesser (19), indica que la descarga natural de los acuíferos, además de realizarse por los manantiales, se efectúa por las corrientes del río (corriente efluente).

A. Manantiales

Vargas (42), indica que el manantial es una fuente natural de agua, que surge a la superficie del terreno, en donde el nivel de saturación del agua corta la superficie topográfica. Los manantiales son los desagües o aliviaderos por los cuales sale la infiltración o recarga que reciben las zonas de almacenamiento de agua y representan ahorro de recursos económicos, cuando no se utiliza equipo de bombeo.

3.1.3 EL PROCESO DE LA RECARGA HÍDRICA

De acuerdo a Muñoz (29), el agua proveniente de las precipitaciones después de saturar los espacios vacíos (poros y/o fisuras) del suelo y las pequeñas depresiones superficiales, da inicio a los siguientes tipos de movimiento: superficial, que sigue las líneas de máximo gradiente de energía e infiltración, a través de los espacios vacíos del suelo y subsuelo según el gradiente piezométrico y la permeabilidad del medio.

Según Linsley (20), el agua que se infiltra a través de la superficie del suelo y no es retenida como humedad del suelo, se mueve hacia los cauces como corriente subsuperficial o penetra a la capa freática y alcanza eventualmente el cauce, como agua subterránea.

3.1.4 FACTORES QUE INTERVIENEN EN LA RECARGA HÍDRICA

3.1.4.1 Clima

Según Padilla et al. (33), los factores del clima que influyen en la recarga hídrica son precipitación y evapotranspiración.

A. Precipitación

Herrera (9), indica que son todas las formas de humedad que caen a la tierra, entiéndase llovizna, lluvia, escarcha, granizo y nieve.

También menciona varios tipos de precipitación, como la precipitación orográfica que resulta del ascenso del aire cuando en su camino se interponen barreras debido a la forma de la tierra (montañas), esta influencia orográfica es tan marcada en terrenos quebrados que los patrones de las tormentas tienden a parecerse a aquellos de la precipitación media anual (9).

Según Custodio y Llamas (5), es necesario conocer la precipitación media sobre una cuenca ya que la cantidad de lluvia recibida en un sitio dado, difiere de la que cae en los alrededores y para ello se puede utilizar los siguientes métodos:

- Promedio Aritmético, toma la media aritmética de las medidas obtenidas en los pluviómetros y puede ser útil en trabajos donde no se requiere mucha precisión, siempre que la zona tenga características de homogeneidad climática y física.
- Polígonos de Thiessen, asigna como dominio un polígono a cada pluviómetro por tanto, es un método que proporciona resultados bastantes precisos particularmente en planicies, siempre que los pluviómetros estén distribuidos homogéneamente en la zona.
- Curvas isoyetas, consiste en interpolar líneas de igual precipitación y es la que proporciona los resultados más precisos en zonas montañosas, cuando el investigador posee un buen conocimiento de las características climáticas y físicas de la zona.

Nittler y Barahona (30), manifiestan que en Guatemala, hay pocos datos existentes sobre la precipitación que sean de mucha utilidad en el manejo de microcuencas. Existen datos confiables de cantidades totales en ciertas estaciones climáticas (usualmente en las partes bajas de las cuencas).

Como sucede a nivel nacional, en la microcuenca del río Tzulbá, por ubicarse en la parte alta de la Sierra Chuacús, donde existen grandes variaciones topográficas (zona montañosa), no existen registros climáticos.

a. Precipitación efectiva

Padilla (32), manifiesta que desde el punto de vista de recarga a los acuíferos, la precipitación efectiva se considera como la porción de la precipitación pluvial que logra infiltrarse en el suelo y que se encuentra disponible para ser utilizada por las raíces de las plantas y/o para recargar al acuífero.

Existen varios factores que intervienen en la determinación de la precipitación efectiva, entre ellos se mencionan los siguientes: intensidad de la precipitación, velocidad de infiltración en el suelo, la cobertura vegetal y la topografía (7, 32).

A partir de estos factores, existen varios métodos que han sido desarrollados por diversos autores, especialmente para ser utilizados en distritos de riego. Entre ellos, se pueden mencionar los métodos: de la FAO, de Blaney y Criddle, Colegio de Postgraduados, Palacios Vélez y Schosinsky y Losilla (7, 32).

De estos métodos, a nivel Guatemala, en estudios de recarga potencial, se han utilizado las siguientes: Palacios Vélez en la cuenca del Río Itzapa, Chimaltenango y en la aldea Chóizunil del municipio de Santa Eulalia, Huehuetenango (8, 27), y el método de Schosinsky y Losilla en la cuenca del Río Acomé y microcuenca del Río Cantil, Escuintla (37, 32), microcuenca del Río Cotón, Baja Verapaz, microcuenca del Río Platanitos, Guatemala y microcuenca del Río Sibacá, El Quiché (6, 21, 31).

i. Método Schosinsky y Losilla

Este método según Schosinsky y Losilla (39), fue desarrollado en Costa Rica en el 2000 y se basa en una ecuación que es el resultado de correlación estadística al analizar diversas bandas de pluviógrafo. Considera la velocidad de infiltración del suelo como el factor principal que condiciona la cantidad de precipitación pluvial que puede infiltrarse. Ésta depende básicamente de las características físicas del suelo como: textura, estructura, compactación y contenido de humedad, que son independientes de la localidad en que se encuentra determinado suelo.

El método considera tres aspectos: Relación entre la infiltración de agua en el suelo y la intensidad de lluvia (fracción que infiltra por efecto de la textura del suelo), factor de pendiente del terreno (fracción que infiltra por efecto de pendiente) y factor de cobertura vegetal (fracción que infiltra por efecto de la cobertura vegetal). La suma de estos aspectos es el valor de coeficiente de infiltración del suelo (39).

ii. Método Palacios Vélez

Palacios, citado por Herrera (7, 8), desarrolló en 1971, dos ecuaciones para estimar la precipitación efectiva en distritos de riego. Este autor considera la intensidad de la precipitación como el factor principal que condiciona la cantidad de agua que se infiltra. Las ecuaciones

resultantes se obtuvieron en las zonas tropical, semiárida y árida de México, particularmente en suelos con textura media.

B. Evapotranspiración

Según Linsley (20), al estudiar el balance hídrico de un área de drenaje, el interés principal radica en la determinación de las pérdidas de agua total o evapotranspiración.

Nittler y Barahona (30), indican que ésta consta de dos procesos, evaporación y transpiración, que por la dificultad de separar la medición en el campo y debido a que tienen el mismo impacto neto en el rendimiento de agua en una cuenca, usualmente son definidos y medidos en conjunto.

La evaporación es el proceso de cambio de agua del estado líquido a gaseoso, donde el suelo juega el papel de reservorio en la cuenca. Esta toma lugar en la superficie, debido al movimiento del agua dentro del suelo hacia la misma e influye mucho en los niveles de evaporación (5).

La transpiración es básicamente un producto del proceso de respiración por parte de las plantas. Las plantas absorben agua del suelo y a través de sus procesos internos, trasladan el agua hacia la superficie de las hojas y corteza, donde el agua se evapora. Son varios los factores que influyen en los distintos niveles de transpiración como lo son: las formas de la vegetación, densidad vegetal, especies, condiciones climáticas, disponibilidad del agua en el suelo, etc.

Thornthwaite, citado por Custodio y Llamas (5) en 1948, introduce para propósitos prácticos las siguientes divisiones:

- Evapotranspiración potencial: es la pérdida de agua cuando se supone que el desarrollo de las plantas es óptimo y el suelo permanece a capacidad de campo.
- Evapotranspiración real: es el agua pérdida en determinada área, al satisfacer total o parcialmente la demanda de la cobertura vegetal en función del desarrollo y condiciones de humedad del suelo.

Según Cabrera (2), los valores típicos de evapotranspiración potencial varían entre 1 a 3 mm/d para los climas templados, de 5 a 8 mm/d en los trópicos húmedos y de 10 a 12 mm/d en regiones áridas.

a. Estimación de la evapotranspiración potencial

Según Herrera (7), los métodos modernos se basan en el cálculo de la evapotranspiración potencial, que puede ser determinada por métodos directos e indirectos.

Entre los directos se encuentran, lisímetros y parcelas de campo, que son métodos que implican un gran costo y bastante tiempo; y en los métodos indirectos se pueden mencionar algunos como: Blaney y Criddle, Thornthwaite, Penman y Hargreaves (7).

Donde los dos primeros por ser desarrollados en latitudes diferentes a Guatemala, proporcionan resultados inferiores a los verdaderos, en el caso del método de Penman proporciona los mejores resultados pero en Guatemala y especialmente en la microcuenca del río Tzulbá por carecer de una estación meteorológica tipo A no se puede emplear.

i. Método de Hargreaves

Herrera (9), menciona que es un método práctico y confiable, porque es una ecuación diseñada para la región centroamericana, por el investigador Hargreaves. Esta ecuación permite estimar la evapotranspiración potencial en función de las variables: temperatura media, radiación solar extraterrestre, brillo solar y la humedad relativa.

b. Estimación de la evapotranspiración real

De acuerdo a Custodio y Llamas (5), la cantidad de agua que se pierde a la atmósfera tiene un límite superior que corresponde al valor de la evapotranspiración potencial y menciona que para estimar evapotranspiración real se puede utilizar ecuaciones empíricas como las de Turc y Coutagne, pero con la limitante en que sólo se basan en las variables climáticas, precipitación y temperatura.

i. Método de Penman

El método de este investigador reportado por Herrera (8) y López (21), considera que el agua que demandan las plantas esta en función del agua que infiltra, el contenido de humedad del suelo y la misma evapotranspiración potencial.

Este método utiliza el criterio de variación lineal de la evapotranspiración real, que se refiere a que la misma es proporcional al contenido de humedad del suelo. O sea que cuando el contenido de humedad del suelo se acerca al punto de marchitez permanente, mayor dificultad

tienen las plantas para obtener el agua a través de su sistema radicular, por tanto el consumo es menor (8, 21).

3.1.4.2 Suelo

A. Textura y estructura

Según Sandoval (38), la textura y estructura intervienen básicamente en la infiltración del agua, el movimiento del agua dentro del suelo y la cantidad de agua disponible para las plantas.

Nittler y Barahona (30), indican que la textura del suelo influye mucho en la infiltración, por ello los suelos arenosos son mucho más permeables que los suelos arcillosos. En los suelos arenosos, los poros son más grandes e interconectados por lo que facilitan la infiltración. Y las diferentes estructuras de los suelos influyen en la configuración de los poros y espacios dentro del suelo, por lo que incrementan o afectan la infiltración.

B. Densidad aparente y porosidad

Sandoval (38), indica que la densidad aparente depende de la textura del suelo y que está relacionada con el volumen del espacio poroso, por ello se modifica cuando los suelos se compactan. La densidad aparente de los suelos no cultivados oscila entre 1.0 y 1.6 gr/cc y su importancia radica en que permite calcular la lámina de agua para las diferentes unidades de suelos, al conocer las constantes de humedad y la profundidad radicular.

La porosidad se estima en base a la densidad de los suelos e influye en la infiltración del agua, movimiento del aire y agua y en el crecimiento radicular de las plantas (38).

C. Contenido de humedad

Padilla Cámara et al. (33), indica que el contenido de humedad de los suelos es una característica muy importante en el balance hídrico, porque según su comportamiento interviene en la infiltración, en la cantidad de agua que toman las plantas y en la recarga de agua a estratos profundos. Por ello, se determinan contenidos de humedad como capacidad de campo, punto de marchitez permanente y humedad aprovechable.

a. Capacidad de campo

Según Custodio y Llamas (5), es el contenido de humedad del suelo cuando ha perdido el agua gravitacional. Es importante por que es el agua que podrá se aprovechada por las plantas para su desarrollo.

b. Punto de marchitez permanente

Sandoval (38), define este contenido de humedad como, el agua retenida por el suelo que no puede ser aprovechada por las plantas, por ello se reducen los valores de evapotranspiración real.

c. Humedad aprovechable

Según Sandoval (38), es la diferencia entre el contenido de humedad del suelo a capacidad de campo, como límite superior aprovechable y el punto de marchites permanente, como límite inferior aprovechable y representa la lámina de agua disponible para las plantas.

C. Infiltración

De acuerdo a Custodio y Llamas (5) es el porcentaje de agua de la precipitación pluvial que penetra por la superficie del suelo en un determinado tiempo.

La infiltración es importante en los procesos de escorrentía como respuesta a una precipitación dada y también en el estudio de recarga hídrica. Existen varios factores que condicionan la infiltración en un área determinada, por lo que su estimación precisa es difícil de obtener (5).

Nittler y Barahona (30), dividen a la infiltración en inicial y básica. La inicial es la cantidad de agua infiltrada durante las primeras dos horas de lluvia cuando los suelos no están saturados. En esta etapa, la infiltración es más rápida, dado que los poros están vacíos y que existe una atracción entre las partículas del suelo y el agua. Y la infiltración básica, es cuando los suelos superficiales ya están saturados y los valores de infiltración se vuelven más o menos constantes.

La infiltración tiene un impacto directo en la cantidad de escorrentía superficial y la disponibilidad de agua para uso en la cuenca durante todo el año. Pero el agua corre y se mueve más lentamente dentro del suelo, que en la superficie del mismo, particularmente en áreas de topografía quebrada, como las existentes en la Sierra Chuacús donde se localiza la microcuenca del río Tzulbá.

a. Estimación de la infiltración básica

Según Padilla et al. (33), existen diferentes métodos para definir la infiltración básica de un suelo, entre ellos, los siguientes: Porchet o agujero cilíndrico invertido y doble cilindro.

i. Método de Porchet o cilindro invertido

Según Padilla et al. (33), este método se considera preciso y fácil de aplicar en el campo, especialmente en las unidades de muestreo a nivel de microcuenca.

Custodio y Llamas (5), indica que consiste en excavar en el suelo un agujero de radio (R), al cual se agregar agua hasta saturarlo completamente y luego se llena de agua hasta una altura conocida (h), se mide un cambio pequeño en el tiempo (dt), suponiendo que la infiltración (f) en ese intervalo es constante.

ii. Método del infiltrómetro de doble cilindro

Sandoval (38), indica que es el más versátil y el más adecuado para determinar la infiltración básica en sistemas de riego. El método se basa en que la velocidad de infiltración decrece con el tiempo.

Para estudios a nivel de cuenca, especialmente en la microcuenca del río Tzulbá, donde son pocas las vías de acceso, presenta como limitante, el traslado en el campo, del juego de cilindros de acero por que son demasiado pesados.

3.1.4.3 Topografía

Nittler y Barahona (30), manifiestan que la topografía es sumamente impactante en la infiltración. En lugares de pendientes fuertes, el agua tiene muy poca oportunidad de infiltrarse antes de formar la escorrentía superficial. Las condiciones superficiales varían mucho. Con condiciones ásperas, usualmente la infiltración es mayor, dado que el agua se mantiene sobre la superficie más tiempo, dando más oportunidad de entrar al suelo.

Según Padilla et al. (33), 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 se infiltre, caso contrario sucede en topografía quebrada, el agua cae y debido a la inclinación del terreno, se desplaza a mayor velocidad pasando a formar parte del agua de escorrentía.

3.1.4.4 Estratigrafía geológica

Según De Ridder (35), con fines hidrogeológicos, se definen tres estratos o capas: permeable, semipermeable e impermeable.

Una capa es permeable cuando sus propiedades de transmitir agua son favorables en comparación con los estratos superiores o inferiores, en ésta la resistencia al flujo vertical es pequeña, así que sólo se toman en cuenta las pérdidas de energía causada por el flujo horizontal. En cambio en la capa semipermeable, sus propiedades transmisoras de agua son relativamente desfavorables en el flujo horizontal, pero el flujo vertical debe ser considerado ya que la resistencia al flujo es mínima, debido al espesor relativamente pequeño de las capas. Y en la capa impermeable las propiedades transmisoras de agua son tan desfavorables que sólo fluyen a través de ella, vertical u horizontalmente, cantidades mínimas de agua (35).

De acuerdo a Herrera (9), existen capas o estratos en donde predominan materiales granulares gruesos (gravas y arenas) que por su granulometría y su mayor diámetro medio comparado con materiales finos (arcillas y limos), presentan una mayor permeabilidad y transmisividad por tanto en estos estratos, se pueden encontrar los mejores acuíferos.

La estratigrafía o secuencia de rocas que han sufrido deformaciones por la acción de fuerzas de compresión y tensión, presentan diferentes grados de fracturamiento, que modifican sus condiciones originales de porosidad y permeabilidad. Es por ello que muchas rocas que originalmente presentaban condiciones poco favorables para la transmisión y almacenamiento del agua subterránea, se convierten en las zonas de mayor permeabilidad y llegan a constituir buenos acuíferos (9).

Padilla et al. (33), reporta que es de gran importancia realizar un estudio de la estratigrafía de la zona, para conocer la disposición de los diferentes materiales geológicos, ya que estos pueden afectar la cantidad de recarga hídrica, porque si existe una capa impermeable, no permitirá el paso del agua a mayor profundidad y se generará un flujo subsuperficial que alimentará un cauce cercano o bien emergerá en manantiales.

3.1.4.5 Cobertura vegetal

A. Profundidad radicular

Sandoval (38), indica que la profundidad radicular determina la lámina de agua que es utilizada por las plantas para su desarrollo y depende del tipo de planta, condiciones del suelo y

clima. También menciona que las raíces de las plantas que absorben mayor cantidad de agua del suelo, son las que se encuentran en la parte superior de la zona radicular. La profundidad radicular de las plantas puede oscilar hasta 2.50 m (ver cuadro 1).

Cuadro 1. Profundidad radicular en diferentes combinaciones de suelos y plantas.

Textura	Profundidad radicular (m)		
	Árboles	Pastos y arbustos	Maíz y caña de azúcar
Arena fina	2.50	1.00	0.75
Franco arenoso fino	2.00	1.67	1.00
Franco limoso	2.00	1.50	1.00
Franco arcilloso	1.60	1.00	0.80
Arcilloso	1.17	0.67	0.50

Fuente: Thornthwaite-Matcher, citado por Sandoval, 1989.

B. Intercepción

Según Nittler y Barahona (30), es el proceso de retención de la precipitación en los estratos de vegetación y brosa, limitando la cantidad de agua que llega al suelo. La intercepción puede captar y guardar hasta 30% de la precipitación en bosques húmedos tropicales. En áreas áridas, con menos vegetación, la intercepción disminuye, sin embargo áreas de pastos y arbustos oscila entre 10 y 20%.

El agua retenida en los estratos de vegetación y brosa puede evaporarse antes de llegar al suelo; o llegar hasta el suelo por goteo o escurrimiento (movimiento de agua por debajo y a través de las ramas y troncos). Si esto último ocurre, la lluvia llega hasta el suelo durante un período más largo ocasionando mejores posibilidades para que el agua se infiltre y no forme parte de la escorrentía superficial (30).

La cantidad de agua que llega hasta el suelo a través del goteo, versus la cantidad que se evapora varía mucho debido a las diferentes condiciones climáticas, físicas y de la vegetación. Se puede considerar que la intercepción aparentemente roba agua de la cuenca y del sistema hidrológico; dado que en áreas de alta intercepción (bosques densos con varios estratos de vegetación y un estrato profundo de brosa), se puede perder hasta 30% de la precipitación en forma de evaporación (30).

Linsley (20) reporta que se han encontrado en otras latitudes, que un bosque de árboles maderables de 50 años de edad intercepta hasta un 20% de lluvia y que la capacidad de intercepción se reduce a mayor velocidad del viento, pero la tasa de evaporación aumenta.

3.1.4.6 Escurrimiento

Linsley (20) considera tres caminos principales: escorrentía superficial, escorrentía subsuperficial y escurrimiento subterráneo.

A. Escorrentía superficial

Nittler y Barahona (30), expresan que es el exceso de agua que no se infiltra ni se evapora de la superficie antes que el agua llegue a los ríos y red de drenaje. La cantidad de escorrentía está directamente relacionada con la intensidad y duración de la precipitación y el área recolectora que drena a la misma red de drenaje. La escorrentía se aumenta con la distancia, ya que entre más larga sea desde el inicio de la escorrentía hasta la red de drenaje, mayor será la cantidad de escorrentía. La velocidad está directamente relacionada con la pendiente y la cantidad.

B. Escorrentía subsuperficial

Según Linsley (20), es una porción del agua que se infiltra a través de la superficie de la tierra y que puede moverse lateralmente en las capas superiores del suelo hasta llegar al cauce de la corriente. Esta agua se mueve más lentamente que la escorrentía superficial y alcanza las corrientes posteriormente. A pesar de viajar más lentamente que la escorrentía superficial, la escorrentía subsuperficial puede ser mayor en cantidad, especialmente en lluvias de intensidad moderada.

C. Escurrimiento subterráneo

Nittler y Barahona (30), lo consideran un término para describir el proceso de percolación. A través de la percolación, la precipitación recarga los acuíferos subterráneos, los ríos, lagos y nacimientos. La percolación depende básicamente de la textura y estructura de los suelos, subsuelos y estratos subyacentes. La percolación es más parecida a la infiltración en medios más gruesos (arenosos) que finos (arcillosos) donde la percolación generalmente es mayor.

D. Métodos para aforar escurrimiento superficial

Padilla et al. (33), indica que aforar es el conjunto de operaciones que permite cuantificar el volumen de agua de una sección específica del cauce de un río, en un tiempo determinado y que los métodos prácticos de aplicación más frecuente son: el método volumétrico y método de sección velocidad.

a. Método volumétrico

Es el método para cuantificar el caudal de pequeños manantiales de agua, para ello se utiliza un recipiente de volumen conocido y el tiempo que tarde en llenarse, determinándose el caudal en m^3/s o l/s (33).

b. Método sección velocidad

En este método se determina la sección transversal del cauce y la velocidad de la corriente. Primero, se determina el punto donde se efectuará la medición y se divide el ancho del cauce en tramos de acuerdo al cuadro 2. Posteriormente, se obtiene el ancho y la profundidad, datos que servirán para calcular la profundidad media y el área de cada tramo (7, 9, 33).

Cuadro 2. Espaciamientos de sondeo según el ancho del cauce.

Ancho del cauce (m)		Espaciamiento (m)
DE	A	
0	1	0.20
1	2	0.25
2	4	0.50
4	8	1.00
8	15	1.50
15	25	3.00
25	50	5.00

Fuente: Herrera, 2002.

Para determinar la velocidad media, se puede utilizar flotadores o molinetes. Un molinete es un instrumento que sirve para registrar velocidades de flujos (agua, viento) en forma indirecta, utilizando la medición del número de revoluciones de una hélice o copas a través de un sensor en determinado intervalo de tiempo. Existen varios modelos, los que por norma, incluyen su ecuación correspondiente basada en su calibración que permite obtener en base al número de revoluciones, el valor de velocidad (7, 9, 33).

3.1.4.7 Variabilidad espacial y temporal

De acuerdo a Lerner (18), las variaciones de recarga hídrica en el espacio y tiempo son una consecuencia directa de la diferencia por factores como precipitación, propiedades del suelo, vegetación, relieve y uso de la tierra.

La escala de tiempo puede ser instantánea, eventual, temporal, anual, histórica y geológica. Pero se debe considerar que al trabajar con largos intervalos temporales puede sobreestimarse o subestimarse la recarga hídrica (18).

Herrera (8), manifiesta que el intervalo temporal diario, respecto al mensual y anual, es más preciso debido a que toma en cuenta los cambios de humedad del suelo y de evapotranspiración de forma detallada.

Lerner (18), indica que el área de trabajo debe ser pequeña para intervalos temporales cortos cuando se utiliza un nivel de estudio detallado y deberá ser grande para estudios a nivel de reconocimiento, con intervalos temporales largos.

También, reporta que la menor variabilidad espacial se obtiene al estimar la recarga en puntos específicos de interés, pero multiplicar estos puntos es inviable para grandes áreas por el tiempo y elevado costo. Por tanto recomienda extrapolar valores de recarga donde los suelos y aspectos hidrológicos, sean representativos del área circundante (18).

3.1.5 MÉTODOS PARA ESTIMAR RECARGA HÍDRICA

De acuerdo a Lerner (18), los requisitos de un buen método para estimar recarga son:

- El balance de agua, se refiere a que todo método debe cuantificar el agua que no se recarga para reducir la posibilidad de sobreestimar o subestimar la recarga al acuífero.
- Los procesos de recarga, hacen mención a que todos los métodos excepto algunos de medida directa, dependen del conocimiento de los procesos y mecanismos de flujo del agua para convertirse en recarga.
- La estimación de error, indica que un buen método dará errores mínimos respecto a los parámetros que son difíciles de estimar exactamente.
- La facilidad de uso, se refiere a que los métodos deben requerir datos puntuales, baratos y no especializados (hidrológicos), para que se puedan emplear en los proyectos de investigación.
- Y la extrapolación, establece que necesitando el estudio de recarga un período largo, los métodos que pueden emplear datos disponibles por monitoreo para extrapolar estimaciones, son más útiles en comparación a los que requieren observaciones especializadas.

Lerner (18), reporta que los métodos para cuantificar recarga han sido agrupados en: medida directa, métodos de balance de agua, método Darciano y técnicas de trazadores.

3.1.5.1 Medida directa

Puede utilizarse para medir recarga por precipitación. La medida se realiza utilizando un lisímetro, a una profundidad del suelo, donde el agua ya no es afectada por la influencia de la evapotranspiración u otro proceso (18).

Las ventajas de éste método es el balance implícito de masa para cuantificar la recarga y la escala temporal que puede ser instantánea, eventual o anual. Y entre sus desventajas se puede mencionar el costo de la construcción y operación del lisímetro y que sólo proporciona una medida para un punto específico (18).

3.1.5.2 Método Darciano

Lerner (18), indica que este método utiliza la ley de Darcy para describir el flujo de agua subterránea a través del suelo, se basa en la carga hidráulica, presión, contenido de humedad, conductividad hidráulica, otras propiedades y cambios de flujo.

La ventaja de este método es que tiende a representar el flujo de agua –proceso físico que interesa en recarga hídrica-. Y su desventaja, radica en que puede ser aplicado dentro de ciertos límites, como flujo laminar y que el número de Reynolds sea igual o menor a la unidad (18).

3.1.5.3 Técnicas de trazadores

Según Lerner (18), los trazadores ambientales han sido ampliamente utilizados en zonas áridas y semiáridas para estimar recarga hídrica. Entre los diferentes trazadores se puede mencionar el de isótopos, que son formas del mismo elemento con números distintos de neutrones (Ej.: Oxígeno 18 y 16) que pueden ayudar a determinar la edad, origen, tamaño, flujo y destino de una fuente de agua.

Este método se basa en la identificación del agua por sus “huellas digitales”, aprovechando que las moléculas del agua están formadas por estructuras únicas (18).

Su principal ventaja es que es un método rápido y eficaz, pero en sus desventajas está que para nuestro medio es costoso y según Lerner (18), estos trazadores no miden directamente corrientes de agua u otros problemas que pueden surgir, como desconocimiento de entradas secundarias de trazadores y diferentes mecanismos de corrientes como canales o fisuras, que pueden hacer que se sobre o subestime la recarga hídrica.

3.1.5.4 Métodos de balance de agua

Este método se basa en que los procesos como precipitación, evapotranspiración y escorrentía superficial pueden ser estimados más fácilmente que la recarga, por tanto esta última es un elemento desconocido que se establece mediante una ecuación de balance (18).

Se distingue en este grupo el balance hídrico de suelos en el cual la precipitación y la evapotranspiración potencial constituyen entradas de información para valorar la humedad del suelo y obtener los valores de evapotranspiración real y recarga hídrica (18).

También, se encuentra el balance de agua del cauce de un río, que se determina por los flujos de corrientes en puntos diferenciales (arriba-abajo), para cuantificar pérdidas por infiltración que se constituye en una recarga al acuífero (18).

Las ventajas de estos métodos, es que utilizan datos disponibles, rápidos de aplicar y cuantifican toda el agua que entra al sistema. Además, se pueden utilizar para estimar todas la fuentes de recarga y con frecuencia son los únicos métodos viables (18).

La mayor desventaja es que los errores pueden ser altos debido a que la recarga es el elemento encontrado por balances de otros componentes. Esto, porque es difícil estimar de forma precisa los componentes como evapotranspiración y humedad del suelo que son elementos básicos en el método de balance hídrico de suelos (18).

A. Balance hídrico de suelos

Según De Ridder (36), el balance hídrico sirve para cuantificar la situación hídrica de cualquier tamaño de área en un período de tiempo determinado, para ello se auxilia de la ecuación de hidrología general, que es una representación de la ley de conservación de la masa, la cual es aplicada al ciclo hidrológico.

Esta ecuación se lee, así:

$$\text{Entradas} - \text{Salidas} = \pm \text{Cambio en el almacenamiento.}$$

De acuerdo a De Ridder (36), el método de balance hídrico tiene las siguientes cuatro características:

- ⇒ Puede ser estimado para cualquier subsistema del ciclo hidrológico, así como para diferente tamaño de área e intervalo de tiempo.
- ⇒ Sirve para controlar, si todo el flujo y los componentes involucrados, han sido considerados cuantitativamente.

- ⇒ Permite calcular los elementos desconocidos de una ecuación de balance, previendo que los otros componentes son conocidos.
- ⇒ También puede ser considerado como un modelo del proceso hidrológico completo bajo estudio, esto indica que se puede usar para predecir como afectan los cambios imperantes en ciertos componentes que podrían estar sobre otros componentes del sistema o subsistema.

Padilla (32), establece que la recarga hídrica natural se puede estimar y comprobar en base al balance hídrico de suelos, ya que integra todos los valores en los cuales se divide la precipitación que cae sobre una determinada zona.

Y según Herrera (9), los componentes básicos para la estimación de la recarga, a través del balance hídrico, considerando que no existe aporte lateral, son: precipitación pluvial, evapotranspiración, infiltración y escorrentía superficial.

El balance hídrico de suelos para estimar recarga hídrica potencial, se define de la siguiente manera:

$$\text{Rec} = P - (\text{ETR} + \text{Es} + \text{Ret})$$

Donde:

Rec = Recarga hídrica natural mm o m³/año

P = Precipitación

ETR = Evapotranspiración real

Es = Escorrentía superficial

Ret = Retención (vegetal y techos)

B. Aforo diferencial

De acuerdo a Padilla et al. (33), los aforos diferenciales, sirven para estimar en algunos tramos del río lo siguiente:

- Disminución del caudal (río influente) debido a la infiltración, lo que permite cuantificar la recarga al acuífero.
- Incremento del caudal (río efluente), que permite inferir que la zona de almacenamiento de agua (acuífero) se está descargando.

3.1.6 ÁREAS PRINCIPALES DE RECARGA HÍDRICA NATURAL

De acuerdo al Ministerio de Agricultura, Ganadería y Alimentación –MAGA- (22), basado en un estudio a escala regional, establece que para evaluar cuantitativamente la recarga potencial de los Depósitos Fluviales Cuaternarios, en zonas que no tienen datos validados, se puede adoptar un valor de recarga del 10% de la precipitación media anual, considerando estudios de balance hídrico realizados en la zona de la Costa del Pacífico, donde se ha calculado un recarga del 14% de las precipitaciones medias anuales.

Para la unidad Depósitos Piroclásticos del Cuaternario, se puede adoptar un 15% considerando válido lo que se ha determinado en estudios hidrogeológicos del Valle de Guatemala, donde sobre la base de balances hídricos detallados, ha sido calculada una recarga media variable de entre el 8% (en la subcuenca norte) y el 22% (en la subcuenca Sur), de las precipitaciones anuales medias (22).

Y en el caso de la unidad Rocas Ígneas y Metamórficas a escala regional todo el conjunto es considerado impermeable (22).

Lerner (18), reporta que para regiones donde predominan rocas ácidas cristalinas se pueden encontrar recargas altas, arriba del 15% de la precipitación promedio anual, cuando influye la composición química y fractura de las rocas. Citando un estudio efectuado en 1983 por Sukhijn y Rao en la microcuenca del Río Vedaveti, India, en material de granito reporta una recarga de 13 a 21% de la precipitación anual, utilizando el método con isótopos de carbono-14. También, menciona que Athavale en 1985, determinó la recarga natural de una microcuenca en India en material de basalto, granito, gneisses y esquistos, siendo aproximadamente el 8% del promedio de la lluvia anual.

3.1.7 ÁREAS CRÍTICAS DE RECARGA HÍDRICA NATURAL

Padilla et al. (33), expresa que se les denomina a aquellas áreas que se consideran susceptibles a disminuir su recarga potencial al ser sometidas a un manejo inadecuado, y se determinan a partir de las áreas principales de recarga hídrica natural, por tanto deben ser objeto de un manejo especial que permita mantener y/o manejar sus características.

Las áreas críticas se reconocen considerando básicamente los siguientes aspectos: geología, infiltración básica, recarga anual (lámina) y pendiente (33).

3.2 MARCO REFERENCIAL

3.2.1 ASPECTOS GENERALES DE LA MICROCUENCA

3.2.1.1 Ubicación y localización geográfica

La microcuenca hidrográfica del río Tzulbá ocupa una superficie de 28.32 km², se ubica totalmente en el municipio de Joyabaj, departamento de El Quiché, en las coordenadas geográficas 14° 59' 39" a 15° 05' 07" de latitud norte y 90° 42' 45" a 90° 47' 10" de longitud oeste o bien, en las coordenadas del sistema Universal Transverse Mercator -UTM- 1,659,000 a 1,669,000 m norte y 738,000 a 746,000 m este (ver figura 1y 2).

El punto de aforo de la microcuenca hidrográfica (donde las aguas del río Tzulbá se unen al río Caquil), se encuentra en la aldea Caquil y se localiza en las coordenadas geográficas 14° 59' 50" de latitud norte y 90° 44' 30" de longitud oeste y/o en coordenadas UTM, 1,659,250 m norte y 742,900 m este.

3.2.1.2 Límites, vías de acceso y poblados

La microcuenca limita al norte, con el municipio de Cubulco, Baja Verapaz y el caserío Cruz Chich; al este, con el caserío Xepepen; al sur, con la aldea Caquil; y al oeste, con los caseríos: Chorraxaj, Xeabaj y Tzitzil. Todos los caseríos mencionados pertenecen al municipio de Joyabaj, El Quiché.

Una de las vías de acceso a la microcuenca, es la carretera RN-5 que de la ciudad de Guatemala, se extiende al noroeste, pasando por los municipios: de San Pedro y San Juan Sacatepéquez, hasta la cabecera municipal de Pachalum, El Quiché. Posteriormente, se transitan 21 km hasta la aldea de Caquil, por un camino de terracería que conduce de Pachalum hacia la cabecera municipal de Joyabaj. En total se recorren aproximadamente 101 km.

La otra vía de acceso a la microcuenca es la carretera CA-1 que de la ciudad de Guatemala, se dirige al occidente y llega al caserío Los Encuentros, Sololá, en donde continúa por la carretera RN-15 que se extiende al norte hacia Santa Cruz del Quiché. De este lugar, con dirección este, se pasa los municipios de Chiché, Chinique y Zacualpa, hasta la cabecera municipal de Joyabaj. Seguidamente, se toma un camino de terracería, el cual pasa por la aldea Chuaquenum y llega hasta la aldea de Caquil, haciendo un recorrido total de 224 km.

MICROCUENCA DEL RÍO TZULBÁ

Leyenda

- ⋮⋮⋮ Poblados
- Corrientes**
 - ⋯ Efémeras
 - ⋮ Intermittentes
 - Permanentes
- Vías de acceso**
 - Carretera asfaltada
 - Carretera de terracería

Sin escala



MUNICIPIO DE JOYABAJ

DEPARTAMENTO EL QUICHÉ

Proyección UTM
 Datum NAD 1927
 Zona 15, esferoide de Clarke 1866
 Espaciamiento de cuadrícula
 horizontal y vertical de 200,000 m

Universidad de San Carlos de Guatemala
 Facultad de Agronomía

Fuente: Atlas temático digital de
 Guatemala. MAGA, 2002



Figura 1. Mapa de ubicación político-administrativa de la microcuenca del río Tzulbá

Dentro del área de estudio, se determinó que existe una red vial de 30 km que comunica a los diferentes poblados, la cual en su mayoría es transitable durante la época seca.

En la microcuenca, se localizan los siguientes poblados: aldea Caquil, caserío Chicotóm Xebalanguac y caserío Xeabaj, al cual pertenecen los parajes Muculumquijaj, Sajquim, Sajchó y Tzajmá. La distribución y ubicación de los poblados en el área de estudio se aprecia en la figura 2.

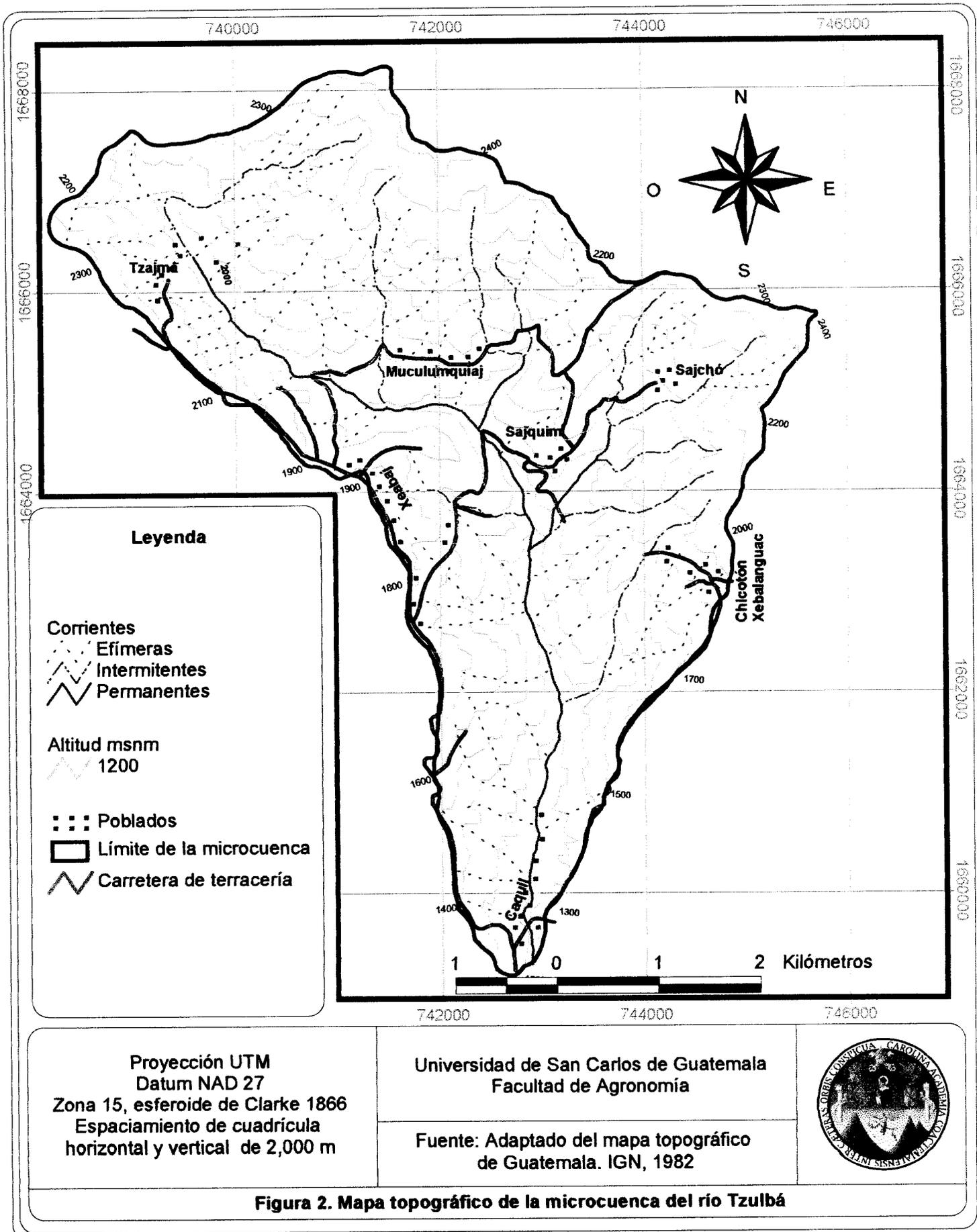
3.2.1.3 Hidrografía

El cauce principal de la microcuenca del río Tzulbá, tiene una longitud de 12.3 km y se une al río Caquil, luego al río Cocol y posteriormente drena al río Motagua. Según el Instituto Geográfico Nacional –IGN- (11), la microcuenca del río Tzulbá se ubica en la subcuenca del río Cocol, que drena en la parte alta de la cuenca del río Motagua, que pertenece a la vertiente del Mar de Las Antillas (ver figura 3).

3.2.1.4 Zonas de vida

De acuerdo a De la Cruz (4), basado en el sistema de Holdridge, en la microcuenca se encuentran las siguientes zonas de vida:

- Bosque húmedo Montano Bajo Subtropical (bh-MB), que abarca principalmente la parte alta y media de la microcuenca. Se caracteriza por una precipitación que varía de 1,057 a 1,588 mm anuales con un promedio de 1,322.5 mm; una temperatura media anual que oscila entre 15 a 23 °C, y la relación de evapotranspiración se estima en 0.75. Presenta condiciones de relieve desde zonas planas hasta accidentadas, oscilando de 1,500 hasta 2,400 msnm, con vegetación natural representada por rodales de *Quercus* sp., asociados con *Pinus montezumae* (4).
- Bosque húmedo Subtropical (templado) (bh-S(t)), se ubica en la parte baja, presentando un período de lluvias que comprende los meses de mayo a noviembre, un patrón de lluvias que oscila de 1,100 a 1,349 mm anuales, temperaturas que varían entre 20 a 26 °C y la relación de evapotranspiración se estima en 1. La topografía va desde ondulado, accidentado hasta escarpado y se encuentra en elevaciones de 650 hasta 1,700 msnm, con vegetación natural constituida por *Pinus oocarpa*, *Curatella americana* y *Quercus* sp (4).



Leyenda

Corrientes

- Efímeras
- Intermitentes
- Permanentes

Altitud msnm

- 1200

■ ■ ■ Poblados

□ Límite de la microcuenca

~ Carretera de terracería

1 0 1 2 Kilómetros



MICROCUCNEN DEL RÍO TZULBÁ

Leyenda

■ ■ ■ Poblados

Corrientes

⋯ Efímeras

⋮ Intermitentes

— Permanentes

Vías de acceso

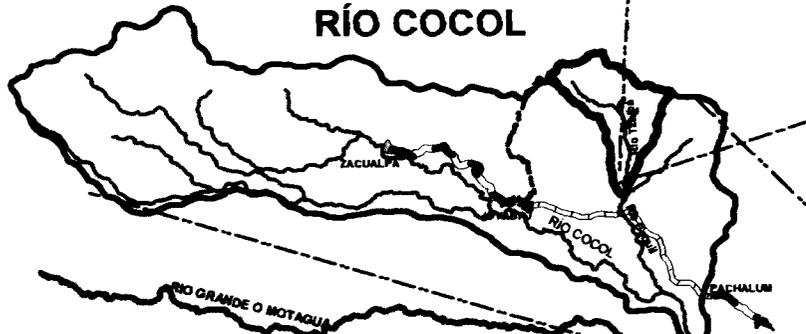
— Carretera asfaltada

— Carretera de terracería

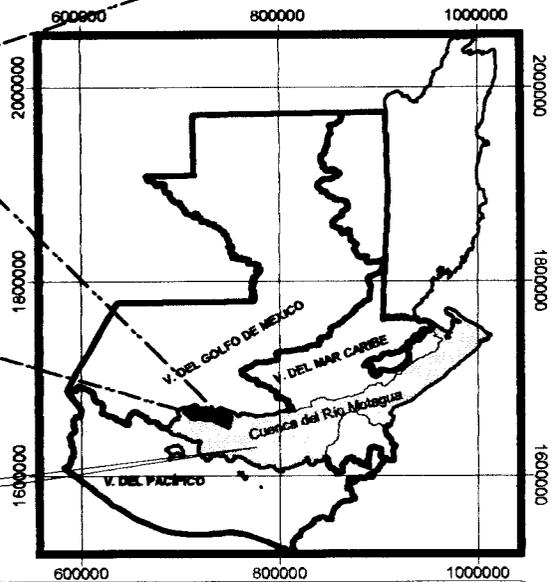
Sin escala



SUBCUENCA DEL RÍO COCOL



CUENCA DEL RÍO MOTAGUA



Proyección UTM
 Datum NAD 1927
 Zona 15, esferoide de Clarke 1866
 Espaciamiento de cuadrícula
 horizontal y vertical de 200,000 m

Universidad de San Carlos de Guatemala
 Facultad de Agronomía

Fuente: Atlas temático digital de
 Guatemala. MAGA, 2002



Figura 3. Mapa de ubicación hidrográfica de la microcuenca del río Tzulbá

3.2.1.5 Fisiografía y geomorfología

El relieve característico de la microcuenca del río Tzulbá, va desde ondulado hasta escarpado, con rangos de pendientes de 0-12% hasta > 55% (ver figura 4), la elevación promedio es de 1,850 msnm con un rango que va desde 1,200 hasta 2,493 msnm. Esta forma de relieve junto al material parental (roca metamórfica) y el clima, son algunos de los factores que contribuyen al desarrollo del drenaje tipo dendrítico y la erosión de los suelos dentro del área de estudio.

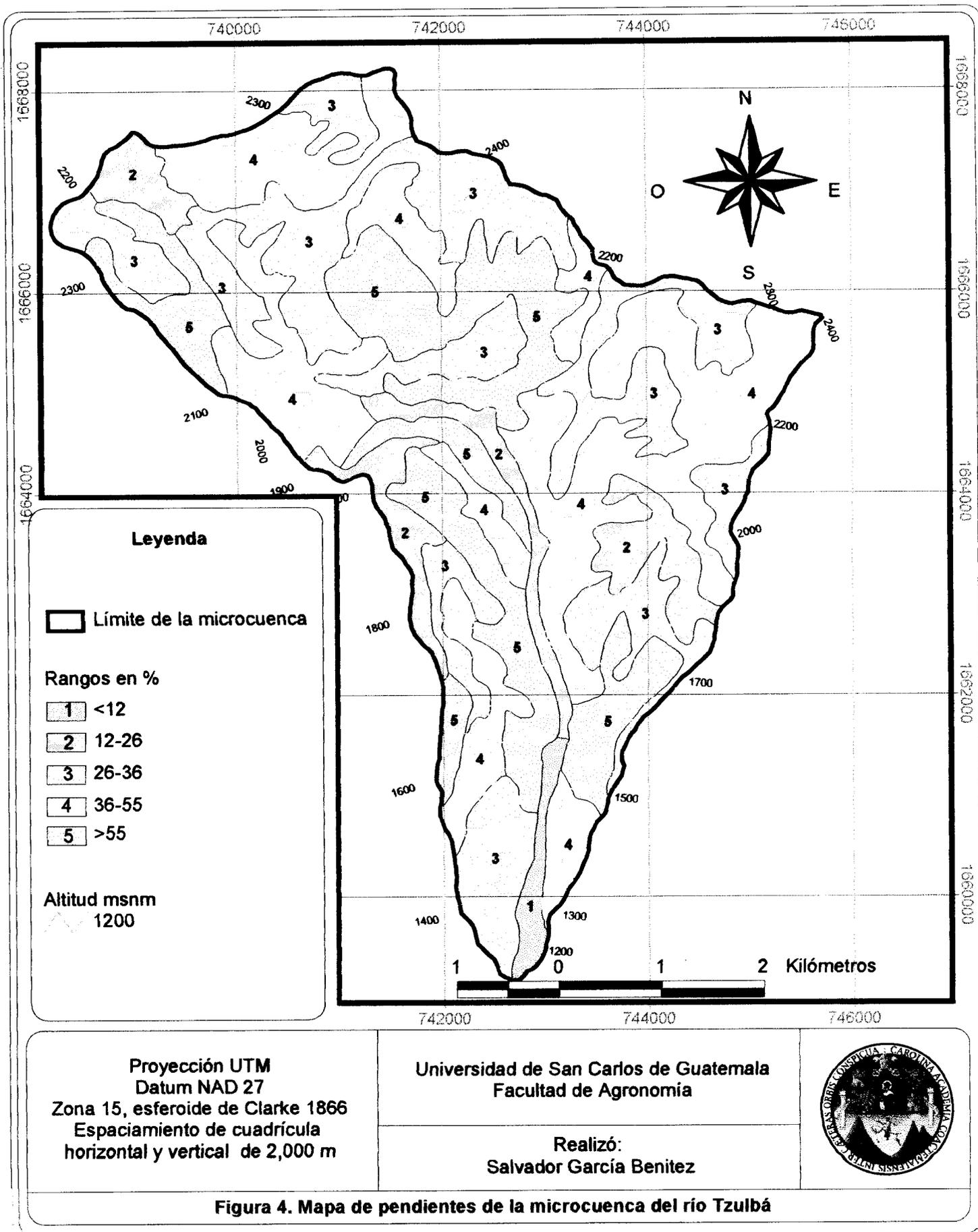
Según el MAGA (25), la microcuenca del río Tzulbá, se encuentra dentro del gran paisaje de la Sierra Chuacús que pertenece a la región fisiográfica denominada Tierras Altas Cristalinas. La Sierra Chuacús, se caracteriza por presentar valles profundos, laderas de fuerte pendiente y divisorias angostas, patrones de drenaje subdendrítico y subparalelo, así como las rocas más antiguas del Grupo Chuacús, que es una secuencia de rocas metamórficas que está siendo afectada por los procesos erosivos desde el Terciario (división en la escala de tiempos geológicos que se extendió desde hace 65 millones de años hasta 1.64 millones de años atrás).

3.2.1.6 Geología

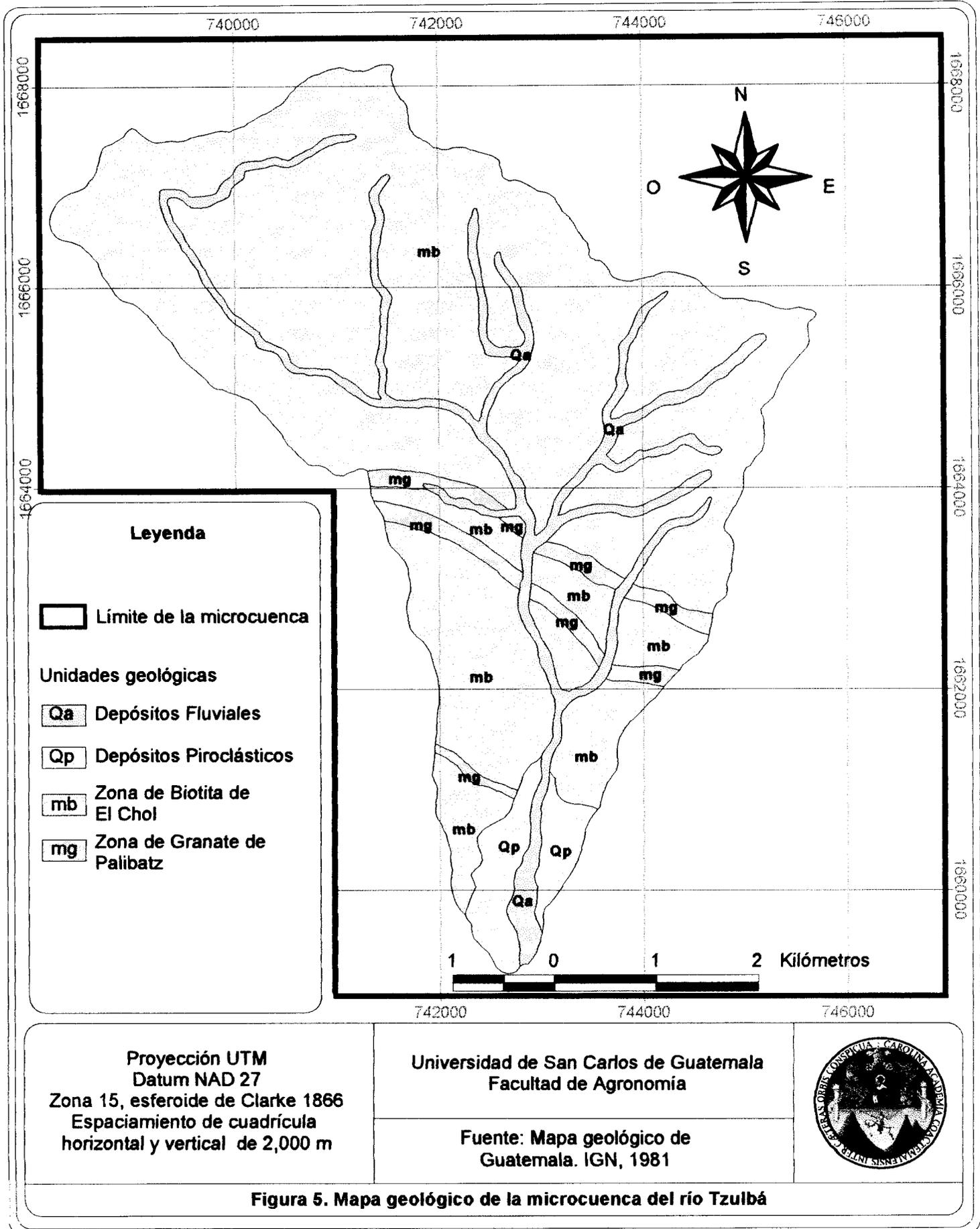
Según el levantamiento geológico a nivel semidetallado (escala 1:50,000), reportado por el IGN (12), en la microcuenca del río Tzulbá, se encuentran las siguientes unidades geológicas, que se distribuyen como se muestra en la figura 5.

- Depósitos Fluviales del Cuaternario (Qa): Ocupa un área de 2.74 km² representando el 9.68% del área total de la microcuenca y se extiende a lo largo de las corrientes permanentes e intermitentes, que se localizan en pequeños valles profundos. Se caracteriza por materiales de varios tamaños como gravas, arenas y arcillas, procedentes de la erosión de depósitos volcánicos cuaternarios, mezclados con fragmentos provenientes de la desintegración de las rocas metamórficas que se localizan en las diferentes laderas de la microcuenca. Estos depósitos, son poco representativos pero en superficies con mayor extensión constituyen casi siempre un acuífero con porosidad primaria, de muy buena productividad, con valores elevados de transmisibilidad y almacenamiento.









Leyenda

▭ Límite de la microcuenca

Unidades geológicas

- ▭ Qa Depósitos Fluviales
- ▭ Qp Depósitos Piroclásticos
- ▭ mb Zona de Biotita de El Chol
- ▭ mg Zona de Granate de Palibat

Proyección UTM
Datum NAD 27
Zona 15, esferoide de Clarke 1866
Espaciamiento de cuadrícula
horizontal y vertical de 2,000 m

Universidad de San Carlos de Guatemala
Facultad de Agronomía

Fuente: Mapa geológico de
Guatemala. IGN, 1981



Figura 5. Mapa geológico de la microcuenca del río Tzulbá



- Depósitos Piroclásticos del Cuaternario (Qp): Esta unidad se ubica en la parte baja de la microcuenca, como material parental de pequeñas colinas y abarca una extensión de 1.13 km² o sea el 4% de la superficie total. Está formada por materiales de todas las fracciones granulométricas sueltos o muy poco consolidados incluso a veces estratificados, como pómez y depósito pomáceo eólico. Estos depósitos, se caracterizan por las variaciones de permeabilidad aunque a nivel general, constituyen acuíferos de buena productividad.
- Las unidades Zona de Biotita del Chol y Zona de Granate de Palibatz pertenecen al Grupo Chuacús, desarrolladas bajo metamorfismo orogénico o termodinámico. Estas unidades, están formadas por esquistos de variada naturaleza (micáceo, moscovítico y granatífero), paragneiss, blastita de plagioclasa, cuarcitas y metatexita. La primera unidad tiene una superficie de 23.36 km² constituyéndose en la unidad que ocupa la mayor proporción (82.49%) de la microcuenca. La otra unidad representa apenas el 3.85% (1.09 km²) y se encuentra en pequeñas franjas angostas. Desde el punto de vista hidrogeológico, estas unidades presentan un comportamiento similar, considerándose impermeables, o sea que no permiten el paso del agua a mayor profundidad para constituir acuíferos.

3.2.1.7 Suelos

Según Simmons et al. (41), en la microcuenca del río Tzulbá se encuentran las series de suelos Civijá (Ci) y Chol (Chg) (ver figura 6).

- La serie de suelos Civijá (Ci), ocupa la mayor parte, siendo el 85.24% (24.14 km²) del área total de la microcuenca, el perfil del suelo se caracteriza por las siguientes capas: Suelo superficial a una profundidad de 0-0.40 m, textura franco limoso, de café oscuro a café amarillento, estructura granular fina a migajosa fina; el subsuelo se encuentra a una profundidad de 1.50 m o más, es franco arcilloso, café rojizo; y el substrato que está compuesto por esquisto intemperizado se encuentra a una profundidad mayor de 2 m. Estos suelos son bien drenados, originados de esquisto y la topografía va desde planicies onduladas hasta fuertemente inclinadas.
- La serie de suelos Chol (Chg) abarca una extensión de 4.18 km² (14.76%) y se identifica con un perfil de suelo con las siguientes capas: el suelo superficial es de textura franco arenoso fino a franco arcillo arenoso, de color café grisáceo a café rojizo, estructura poco desarrollada y profundidad de 0.10 m; el subsuelo tiene una profundidad de 0.40 m o más, es franco arcilloso



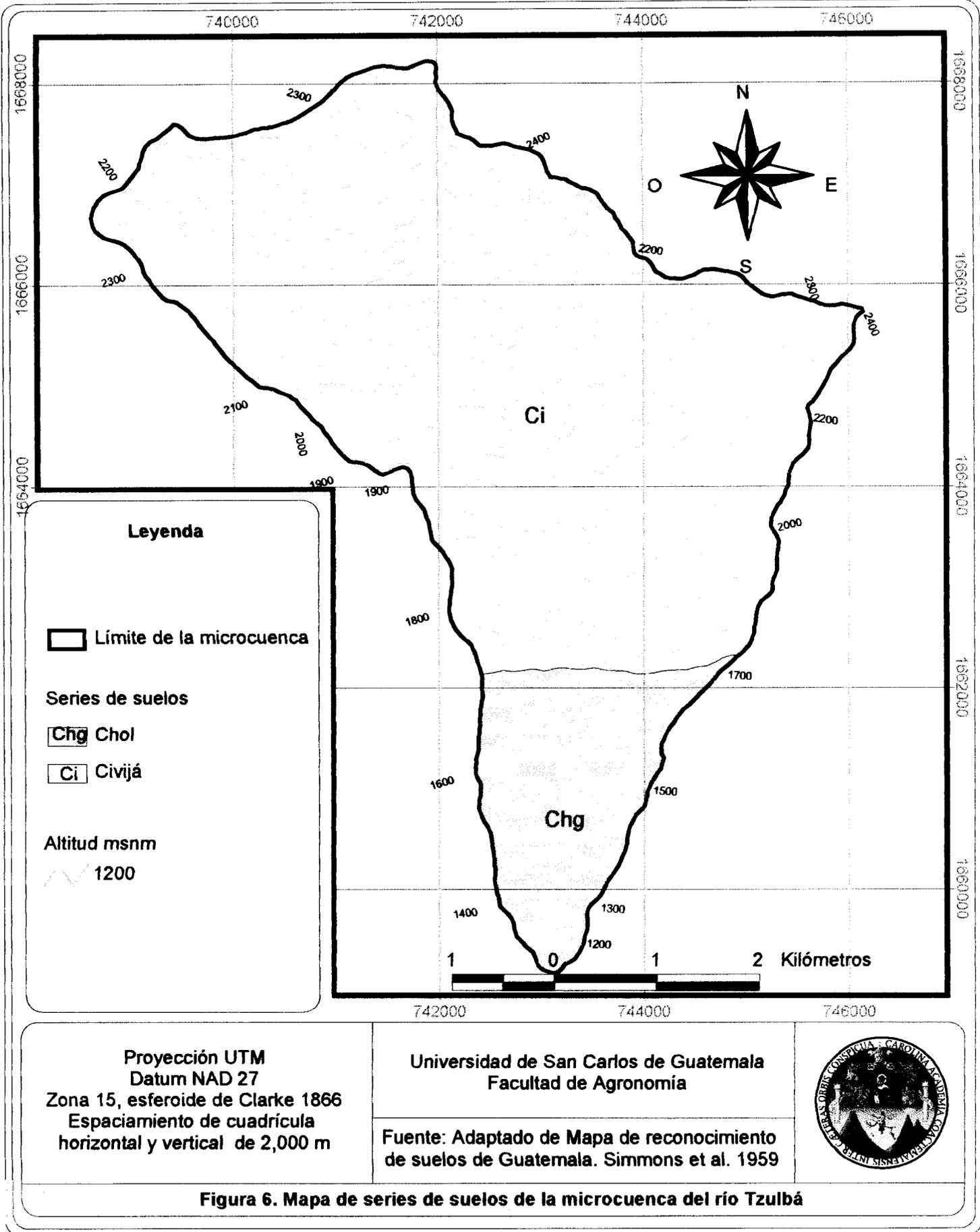
de color café rojizo; y el sustrato es esquisto suave con diferentes porcentajes de intemperización. Son suelos excesivamente drenados, desarrollados sobre esquisto y ocupa relieves muy inclinados.

En base a la clasificación taxonómica de los suelos, de acuerdo al MAGA (24), en la microcuenca se pueden encontrar dos órdenes. El orden Inceptisol, que se caracteriza por ser un suelo joven, sin fuerte desarrollo, ubicado en áreas con pendientes onduladas a moderadas, con cobertura forestal latifoliada y el orden Entisol que presenta poco desarrollo debido a condiciones de pendientes ligeramente inclinadas a fuertemente inclinadas que incide en la erosión de los suelos y por ello son los menos apropiados para actividades agrícolas y entre sus limitaciones están además de la poca profundidad efectiva, la pedregosidad interna y los afloramientos rocosos. Se recomiendan para la producción forestal o sistemas agroforestales.

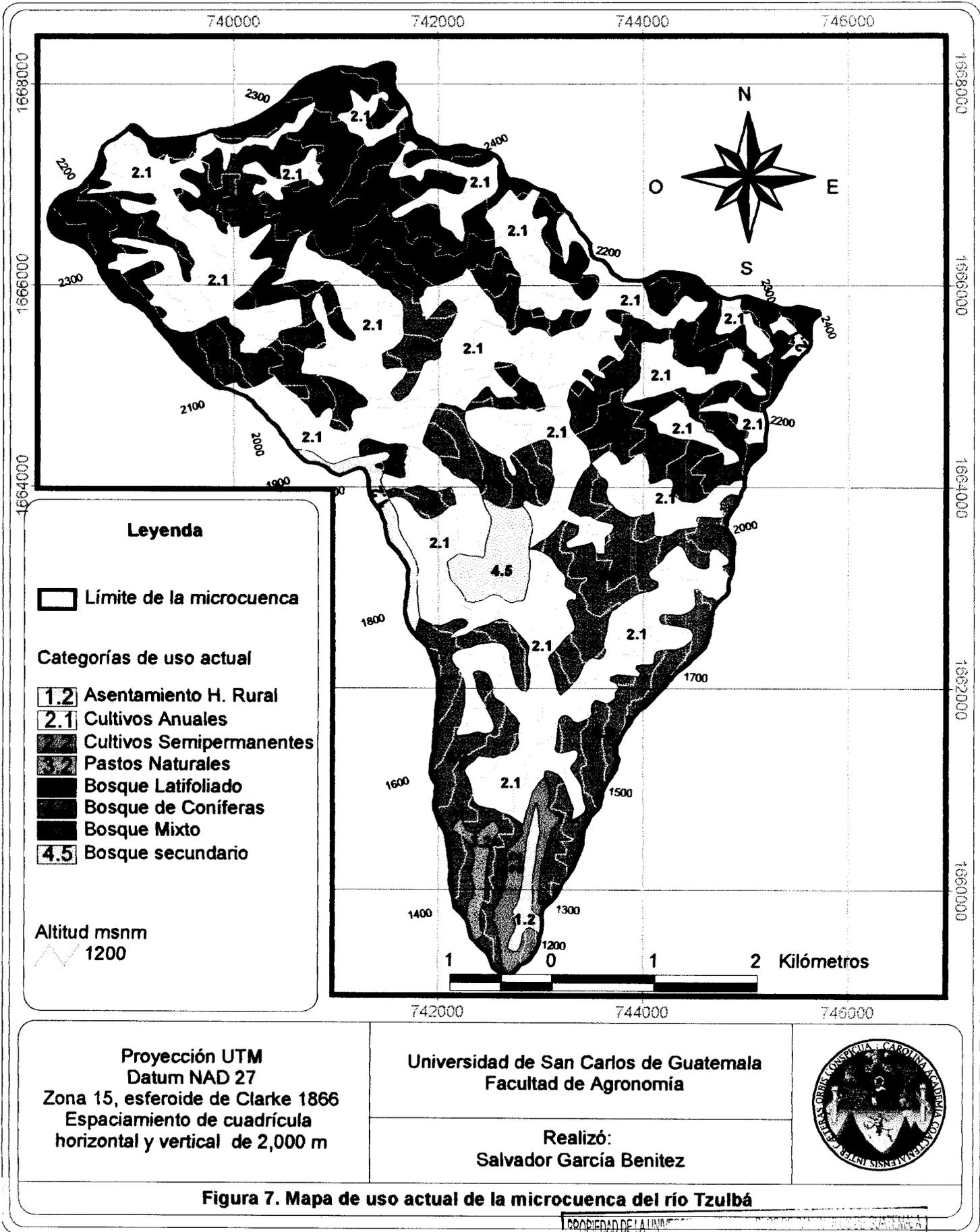
3.2.1.7 Uso de la tierra

En la microcuenca se ubicaron las categorías de uso y/o cobertura vegetal que se muestra en la figura 7 y se describen a continuación:

- Asentamiento humano rural: Esta categoría ocupa el 1.70% del área de la microcuenca y en ella se encuentran los centros poblados más grandes de la microcuenca, siendo ellos la aldea de Caquil y el caserío Xeabaj, se caracteriza por tener la infraestructura básica de la comunidad y siembra de cultivos anuales y frutales.
- Cultivos anuales: Es el principal uso que se otorga a las tierras de la microcuenca, representa el 45% de la superficie y los cultivos principales son: maíz (*Zea mays*), frijol (*Phaseolus vulgaris*) y brócoli (*Brassica oleracea*).
- Cultivos semipermanentes: Ocupa una extensión de 1.53%, se encuentra en la parte baja de la microcuenca donde el clima es más cálido y sobresale el cultivo de caña de azúcar (*Saccharum officinarum*).
- Pastos naturales: Esta categoría ocupa apenas el 0.67% de la microcuenca y se ubica en áreas donde el cultivo de maíz (*Zea mays*), es poco productivo.
- Bosque de latifoliadas: Le corresponde el 19.75% del área total, se localiza en la parte alta de la microcuenca y las especies principales son: *Quercus* sp., *Alnus* sp., *Arbustus xalapensis*, *Pinus oocarpa*, *Pinus montezumae*, *Litsea guatemalensis* y *Prunus* sp.







Leyenda

□ Limite de la microcuenca

Categorías de uso actual

- 1.2 Asentamiento H. Rural
- 2.1 Cultivos Anuales
- 2.1 Cultivos Semipermanentes
- 3 Pastos Naturales
- Bosque Latifoliado
- Bosque de Coníferas
- Bosque Mixto
- 4.5 Bosque secundario

Altitud msnm
1200

Proyección UTM
Datum NAD 27
Zona 15, esferoide de Clarke 1866
Espaciamiento de cuadrícula
horizontal y vertical de 2,000 m

Universidad de San Carlos de Guatemala
Facultad de Agronomía

Realizó:
Salvador García Benitez



Figura 7. Mapa de uso actual de la microcuenca del río Tzulbá



- Bosque de coníferas: Representa el 18.49% de la superficie de la microcuenca y en esta categoría se encuentran las siguientes especies, *Pinus oocarpa*, *Pinus montezumae*, *Quercus sp.*, y *Arbustus xalapensis*.
- Bosque mixto: Ocupa el 11.11% del área de la microcuenca y las especies arbóreas que representan este tipo de bosque son *Quercus sp.*, *Alnus sp.*, *Arbustus xalapensis*, *Pinus oocarpa*, *Pinus montezumae* y *Prunus sp.*
- Bosque secundario: Tiene una extensión de 1.87% y se caracteriza por la presencia de *Quercus sp.* de unos 3 a 4 años de regeneración.

3.2.2 LEYES Y POLÍTICAS DE GUATEMALA QUE PROMUEVEN LA CONSERVACIÓN DEL RECURSO HÍDRICO

El Centro de Acción Legal-Ambiental y Social de Guatemala –CALAS- (3), en su libro “Legislación Ambiental Guatemalteca” recopila las siguientes leyes: Ley de Protección y Mejoramiento del Medio Ambiente, Ley de Áreas Protegidas y Ley Forestal, con sus respectivos reglamentos, en donde se establecen cláusulas que promueven la conservación del recurso hídrico.

3.2.2.1 Decreto 68-86, Ley de Protección y Mejoramiento del Medio Ambiente

Esta ley expresa en el artículo 12, inciso a, que uno de sus objetivos es “la protección, conservación y mejoramiento de los recursos naturales del país, así como la prevención del deterioro y mal uso o destrucción de los mismos, y la restauración del medio ambiente en general” y en el inciso f, agrega “el uso integral y manejo racional de las cuencas y sistemas hídricos” (3).

En el artículo 15, se encuentra que “el gobierno velará por el mantenimiento de la cantidad del agua para el uso humano y otras actividades cuyo empleo sea indispensable, por lo que emitirá las disposiciones que sean necesarias y los reglamentos correspondientes”. Y continúa en el inciso e, con “Promover y fomentar la investigación y el análisis permanente de las aguas interiores, litorales y oceánicas, que constituyen la zona económica marítima de dominio exclusivo” y termina agregando en el inciso f, que el gobierno debe “Promover el uso integral y el manejo racional de cuencas hídricas, manantiales y fuentes de abastecimiento de aguas” (3).

3.2.2.2 Decreto 4-89, Ley de Áreas Protegidas

En el artículo 13, indica que “como programa prioritario del Sistema Guatemalteco de Áreas Protegidas (SIGAP), se crea el Subsistema de Conservación de los Bosques Pluviales, para asegurar un suministro de agua constante y de aceptable calidad para la comunidad guatemalteca” (3).

3.2.2.3 Acuerdo Gubernativo 759-90, Reglamento de la Ley de Áreas Protegidas

En el artículo 5, expresa “con el objeto de conservar y proteger los bosques pluviales para ayudar a asegurar el suministro de agua a toda la comunidad guatemalteca, el Consejo Nacional de Áreas Protegidas –CONAP- determinará su mejor uso, buscará su protección y dará prioridad al establecimiento de áreas protegidas públicas y privadas que contengan dichos bosques. Para el efecto, deberá gestionar la elaboración de un inventario de los mismos” (3).

3.2.2.4 Decreto 101-96, Ley Forestal

En su artículo 1 inciso a, indica que uno de los objetivos es “reducir la deforestación de tierras de vocación forestal y el avance de la frontera agrícola, a través del incremento del uso de la tierra de acuerdo con su vocación y sin omitir las propias características del suelo, topografía y el clima”. También el inciso e, se lee “conservar los ecosistemas forestales del país, a través del desarrollo de programas y estrategias que promuevan el cumplimiento de la legislación respectiva” (3).

Luego en el artículo 6, inciso b, aparece “promover y fomentar el desarrollo forestal del país mediante el manejo sostenible de los bosques, la reforestación, la industria y la artesanía forestal, basada en los recursos forestales y la protección y desarrollo de las cuencas hidrográficas” y en el inciso c, expresa “impulsar la investigación para la resolución de problemas de desarrollo forestal a través de programas ejecutados por universidades y otros entes de investigación” (3).

Posteriormente en el artículo 47, estipula “Se prohíbe eliminar el bosque en las partes altas de las cuencas hidrográficas cubiertas de bosque, en especial las que estén ubicadas en zonas de recarga hídrica que abastecen fuentes de agua, las que gozarán de protección especial. En consecuencia, estas áreas solo serán sujetas a manejo forestal sostenible. En el caso de áreas deforestadas en zonas importantes de recarga hídrica, en tierras estatales, municipales o privadas, deberán establecerse programas especiales de regeneración y rehabilitación (3).

A. Resolución 4.23.97, Reglamento de la Ley Forestal

En el artículo 35 indica que “el INAB en un plazo no mayor de un año a partir del presente reglamento, identificará las áreas de recarga hídrica que sea necesario conservar y restaurar, los bosques ubicados en las zonas de recarga hídrica podrán ser sujetos a manejo forestal sostenible conforme Plan de Manejo. El INAB dictará las medidas específicas de manejo forestal que considere técnicamente apropiadas para garantizar que este tipo de bosques continúe cumpliendo funciones de regulación hidrológica. Además, fomentará con recursos financieros del Fondo Forestal Privativo, procesos de negociación y proyectos de manejo y restauración de cuencas con el fin de reconocer, a los propietarios de bosques, los servicios ambientales generados por los ecosistemas forestales” (3).

3.2.2.5 Política Forestal de Guatemala

Según el MAGA et al. (23), en la política forestal de Guatemala, se establece como principio que “los bosques son vitales para satisfacer demandas de bienes y para el mantenimiento de procesos ecológicos, protección de cuencas hidrográficas y de los recursos hídricos (vínculo hidrológico-forestal) así como para la conservación de la biodiversidad y de los recursos genéticos.”

Por ello plantea “fortalecer la conservación de áreas silvestres dentro y fuera del SIGAP y de ecosistemas forestales especiales, zonas de recarga hídrica y sitios relevantes por su biodiversidad, a fin de asegurar una adecuada base de recursos genéticos y productivos, para el presente y el futuro” (23).

También expresa que en el instrumento de política, específicamente para el plan de manejo integrado de los recursos hídricos (PMIRH), el reconocimiento del vínculo hidrológico-forestal es clave. Por tanto, expresa que en base a la normativa forestal, el INAB debe emitir normas especiales en zonas de recarga hídrica, especialmente donde del vínculo hidrológico-forestal es importante en la regulación de ciclos hidrológicos locales y/o regionales, en función del mejoramiento del bosque a la recarga hídrica (23).

En base a lo anterior, la Política Forestal estipula que se debe partir de la delimitación de las zonas de recarga hídrica, caracterización de las condiciones del bosque y mecanismos de uso, restauración y protección (23).

3.2.2.6 Decreto 12-2002. Código Municipal

La Secretaría Presidencial de la Mujer –SEPREM- (40), en su obra “Recopilación de Leyes” reporta el Código Municipal, que en su artículo 35 inciso y, establece que a las corporaciones municipales le compete “la promoción y protección de los recursos renovables y no renovables del municipio”.

3.2.2.7 Decreto 90-97. Código de Salud

El Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales –MARN- (28), cita el código de salud que en el artículo 84, indica lo siguiente: “se prohíbe terminantemente la tala de árboles en las riberas de ríos, lagos, lagunas y fuentes de agua, hasta 25 metros de sus riberas”.

3.2.3 ANTECEDENTES DE ESTUDIOS DE RECARGA HÍDRICA

3.2.3.1 A nivel nacional

A. Mapa de unidades hidrogeológicas

En el Documento Hidrogeología (Disponibilidad de Agua Subterránea), Plan Maestro de Riego y Drenaje elaborado por la División de Estudios de la Dirección Técnica de Riego y Avenamiento –DIRYA- del MAGA (22), se publica el Mapa de Unidades Hidrogeológicas a escala 1:1,000,000 en donde se definen 11 unidades hidrogeológicas, basadas en la permeabilidad de los estratos o formaciones geológicas, de las cuales 4 constituyen los mejores acuíferos de Guatemala. Éstas son: los aluviones cuaternarios; los depósitos piroclásticos; las lavas y tobas terciarias; y las calizas y dolomitas cretácicas, que en mayor parte ocupan zonas de valles o planicies y donde existe alta concentración de población.

B. Conceptualización e identificación de las zonas de recarga hídrica

En el informe final de este estudio elaborado por Muñoz (29), se priorizaron de carácter preliminar en base a una matriz y en escala 1:500,000 nueve cuencas de las tres vertientes del país, de las cuales se escogieron en primera aproximación como zonas prioritarias de recarga hídrica dos cuencas en la Vertiente del Pacífico, río Samalá y río María Linda; y una en la Vertiente Atlántica, la cuenca del río Motagua.

Según el INAB (17), el estudio se consideró de reducida utilidad debido a que se ponderó más el material parental respecto al forestal y prácticamente resultaron con mayor prioridad los valles y no las zonas que interesan al INAB, como las cabeceras de microcuencas donde se pueda aplicar la administración forestal.

3.2.3.2 A nivel local

La mayoría de estudios a nivel local (escala 1:50,000) para determinar recarga hídrica a acuíferos se han efectuado para zonas en donde las características de material parental favorecen la infiltración de agua hasta acuíferos y los mismos se han evaluados bajo aspectos hidrogeológicos, entre ellos se pueden mencionar la cuenca del río Itzapa, Chimaltenango; la microcuenca del río Cantil, y cuenca del río Acomé, Escuintla; el valle aluvial en la Antigua Guatemala, Sacatepéquez; la subcuenca del río Platanitos y el valle de la ciudad de Guatemala.

Actualmente el INAB y la FAUSAC promueven estudios a nivel semidetallado para la delimitación de tierras forestales de captación y regulación de recursos hídricos con el fin de aplicar un manejo forestal sostenido, restaurar o rehabilitar áreas deforestadas como lo manda la ley forestal en áreas donde se establezca que existe un vínculo entre el bosque y el agua. Entre los estudios que se han realizado se pueden mencionar los siguientes:

Fuentes (6), en la microcuenca del río Cotón, Baja Verapaz, que se localiza en la parte alta de la Sierra Chuacús, estimó una recarga potencial del 10.78% de la precipitación media anual e indica que las áreas de recarga se encuentran en los suelos de la parte alta.

Noriega (31), en el estudio de la microcuenca del río Sibacá, El Quiché que también se ubica en la parte alta de la Sierra Chuacús, estimó que la recarga hídrica potencial representa el 33% de la precipitación media anual y reporta que las áreas de mayor recarga se localizan en la parte alta entre las comunidades de Aguilix, Sibacá y Tapesquillo.

4. OBJETIVOS

4.1 OBJETIVO GENERAL

Identificar las principales áreas de recarga hídrica natural en la microcuenca del río Tzulbá. Joyabaj, El Quiché para que sirva de base en la implementación de un proyecto piloto para la conservación y manejo de áreas críticas de recarga.

4.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Comparar dos metodologías para determinar precipitación efectiva en la microcuenca del río Tzulbá.
- Comparar los valores de recarga potencial estimados por el balance hídrico de suelos con datos diarios, mensual y anual.
- Determinar la recarga hídrica natural potencial en la microcuenca del río Tzulbá.
- Identificar las áreas críticas con mayor susceptibilidad a disminuir la recarga hídrica natural en la microcuenca del río Tzulbá.
- Generar una base de datos que contribuya al esfuerzo de estudios a nivel nacional a través del INAB.

5. METODOLOGÍA

La investigación efectuada en la microcuenca del río Tzulbá, Joyabaj, El Quiché corresponde a un estudio semidetallado (1:50,000) de identificación de áreas de recarga hídrica natural, basado en material cartográfico 1:50,000 y trabajo de campo intensivo.

El procedimiento de trabajo, consistió en tres fases: inicial de gabinete, de campo y final de gabinete.

5.1 FASE DE GABINETE INICIAL

En esta fase se delimitó la microcuenca del Río Tzulbá, que se consideró como la unidad de estudio, basado en las hojas cartográficas: escala 1:50,000 del IGN (13, 14, 15).

5.1.1 RECOPIACIÓN DE INFORMACIÓN BÁSICA

Consistió en el desarrollo de las siguientes actividades:

- ⊕ Recolección y ordenamiento de información sobre recursos naturales, aspectos socio-económicos, informes de suelos, recursos hídricos, caracterizaciones y otros estudios relacionados al tema de investigación: como geología, hidrología e hidrogeología, principalmente.
- ⊕ Consulta de los siguientes mapas temáticos de la república de Guatemala: series de suelos, clasificación taxonómica de suelos, zonas de vidas, cuencas hidrográficas, climatológicos, fisiográfico-geomorfológico, cobertura y/o uso de la tierra.
- ⊕ Adquisición de mapas a escala 1:50,000 de los temas siguientes: geología y topografía (Granados 2060 I, Cubulco 2061 II y Zacualpa 2061 III).

5.1.2 ELABORACIÓN DE MAPAS

Se elaboraron y editaron los mapas de ubicación geográfica e hidrográfica sin escala, topográfico, geológico y unidades de muestreo a escala 1:50,000 en formato digital, utilizando el software ArcView versión 3.3.

También se elaboraron los mapas preliminares siguientes:

- ⊕ Unidades de suelos de la microcuenca, utilizando el mapa de clasificación de reconocimiento de los suelos, de Simmons et al. (41).

5.1.3 UNIDADES DE MUESTREO

Se delimitaron las unidades de muestreo para reducir la variabilidad espacial existente en la microcuenca, por sobreposición de tres capas temáticas: suelos, geología y uso actual de la tierra. Al generar cada unidad, se ubicó de forma sistemática el punto de muestreo, considerando aspectos como representatividad, disponibilidad del recurso agua y accesibilidad.

La descripción del porque se utilizó cada una de las capas se presenta a continuación:

- *Suelos*, tema básico porque las características y propiedades físicas, afectan el movimiento y retención del agua, se adaptó el de series de Suelos de Simmons debido a que permite la aplicación a nivel local mediante chequeo de perfiles de suelo en taludes de carretera, cosa que no se puede efectuar con el de taxonomía de suelos porque utiliza variables caracterizadoras muy generales.
- *Geología*, tema importante porque según el tipo de rocas y materiales (fragmentos no consolidados) así varía la permeabilidad de los estratos.
- *Uso actual de la tierra*, es un factor que influye en la infiltración de un suelo porque según el tipo de cobertura así es la intercepción y profundidad radicular.

5.2 FASE DE CAMPO

5.2.1 VERIFICACIÓN EN CAMPO DE MAPAS PRELIMINARES

Se comprobaron los límites y descriptores como morfología y características físicas de suelos, de las diferentes series presentes en la microcuenca, mediante una serie de caminamientos, barrenamientos y chequeo de perfiles de suelo en taludes de carreteras.

5.2.2 INFORMACIÓN CLIMÁTICA

Se registró información climática diaria: precipitación, temperatura máxima y mínima, para el período abril 2004 – marzo 2005, ubicando estaciones meteorológicas en la parte alta (caserío Xeabaj) y parte baja (aldea Caquil). Los criterios para establecer las estaciones climáticas fueron los siguientes:

- Identificación de dos zonas de vida: Bosque húmedo montano bajo subtropical y Bosque húmedo subtropical (templado),
- Fluctuaciones en los niveles de lluvia (precipitación orográfica),

- Instrumentos necesarios para monitorear la lluvia (2 ó 3 pluviómetros/área de 40 km², Nitler y Barahona (30)),
- Personas alfabetas para registrar la información y accesibilidad para monitoreo.

5.2.3 ESCORRENTIA SUPERFICIAL

- ϕ Los manantiales se ubicaron, georeferenciaron y aforaron por el método volumétrico en época seca (abril 2,004) y lluviosa (octubre 2,004).
- ϕ Se realizaron aforos diferenciales, en la época seca (abril 2004) y lluviosa (septiembre 2004), para identificar el comportamiento del cauce (efluente o influente). Los tramos se georeferenciaron y aforaron por el método de sección velocidad, utilizando el mini molinete marca SEBA GmbH, que estima la velocidad de la corriente basado en una de las siguientes ecuaciones.

$$V_1 = ((1.23 + 24.73N)/100) \leftrightarrow N < 1.74$$

$$V_2 = (-0.42 + 25.68N)/100 \leftrightarrow 1.74 < N < 10$$

donde:

V = velocidad (m/s)

N = número de revoluciones por segundo

5.2.4 SUELOS

- ϕ Se efectuaron pruebas de infiltración en cada unidad de muestreo, utilizando el método de Porchet o agujero cilíndrico invertido. Este método se auxilia de la siguiente ecuación:

$$f_c = (r/2(t_2 - t_1)) * \ln(((2h_1) + r) / ((2h_2) + r)) = \text{cm/hr; mm/día.}$$

donde:

f_c = capacidad de infiltración o infiltración básica del suelo

r = radio del agujero

t = tiempo

ln = logaritmo natural

h = altura del agua en el agujero

- ϕ En cada prueba realizada, se determinó la profundidad efectiva, la pendiente y se recolectó una muestra de suelo, que se trasladó al laboratorio de suelo "Salvador Castillo" de la Facultad de

Agronomía de la USAC, para conocer las propiedades físicas, como textura, densidad aparente y las constantes de humedad del suelo (capacidad de campo y punto de marchitez permanente).

5.3 FASE DE GABINETE FINAL

5.3.1 PROCESAMIENTO Y ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN

A. Precipitación

- ⇨ Se tabularon los registros de precipitación diaria (ver cuadro 40A y 45A) y mensual, para cada estación y se estableció la consistencia de los registros mensuales de la estación Caquil debido a un cambio de localización.
- ⇨ La precipitación media mensual por unidad de muestreo, se determinó por el método de isoyetas, efectuando un análisis de la precipitación para cada mes del año.

B. Precipitación efectiva mensual

Se determinó de forma mensual, utilizando la ecuación de Schosinsky y Losilla (39) que fue desarrollado en la región centroamericana y considera aspectos como; la retención de lluvia (K_i) y la infiltración (C_i) que incluye la fracción que infiltra por efecto de textura del suelo (K_{fc}), por efecto de pendiente (K_p) y por efecto de la cobertura vegetal (K_v). El método utiliza las siguientes ecuaciones:

$$P_e = (1 - K_i) \times C_i \times P_m = \text{mm.}$$

$$C_i = K_{fc} + K_p + K_v$$

$$K_{fc} = ((0.267 \times \ln(fc)) - (0.000154 \times (fc)) - 0.72$$

donde:

K_i , en bosques es 0.2, cultivos en general 0.12 y caminos o áreas construidas 0.01 a 0.05.

$$K_{fc} + K_p + K_v > 1 \quad \Rightarrow \quad C_i = 1$$

$$P_i \leq 5 \text{ mm} \quad \Rightarrow \quad C_i = 0$$

K_v y K_p son los valores propuestos en el cuadro 3 y 4.

Cuadro 3. Valores de coeficientes (Kp) según valores de pendientes.

Valor de pendiente	Coefficiente (Kp)
Muy plana (0.02 – 0.06 %)	0.30
Plana (0.3 – 0.4 %)	0.20
Algo plana (1 – 2 %)	0.15
Promedio (2 – 7 %)	0.10
Fuerte (>7 %)	0.06

Fuente: Schosinsky y Losilla, 2000.

Cuadro 4. Valores de coeficientes (Kv) según tipo de cobertura vegetal.

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

Fuente: Schosinsky y Losilla, 2000.

C. Precipitación efectiva diaria

- ⊕ De forma diaria, se determinó utilizando la ecuación de Schosinsky y Losilla (39), en forma similar a la precipitación efectiva mensual, pero en este caso se utilizó la precipitación diaria (Pd) y las condiciones: lluvia retenida es igual a la precipitación diaria si el aguacero es ≤ 1.3 mm o para bosques 0.2 y otros cultivos 0.12, cuando $Pd > 1.3$ mm.
- ⊕ También, se utilizó la ecuación de Palacios, citado por Herrera (7, 8), ya que ha sido empleada en algunas zonas de Guatemala. Par ello, se determinó la precipitación efectiva, con una de las siguientes ecuaciones, según la cantidad de agua precipitada en el día (mayor o menor de 2.5 cm).

$$Pe = Pd - 0.05 \times Pd^2 = \text{cm.} \quad \text{si } Pd < 2.5 \text{ cm.}$$

$$Pe = 1.27 \times Pd^{0.75} - 0.0806 \times Pd^{1.5} = \text{cm.} \quad \text{si } Pd > 2.5 \text{ cm.}$$

D. Evapotranspiración

- ⊕ Se tabularon los registros de temperatura máxima, mínima y media (ver cuadros 41A al 43A y 46A al 48A), para cada estación de forma diaria y mensual, se estableció la consistencia para la temperatura media mensual de la estación Caquil debido a un cambio de localización y

posteriormente se calculó la evapotranspiración mensual por el método de Hargreaves, diseñado para la región centroamericana. Este método se basa en las ecuaciones siguientes,

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

$$TMF = 1.8 \times TMC + 32$$

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

$$RMM = RS \times \text{No. días del mes}$$

$$S = (S_d/24) \times 100$$

donde:

TMF = Temperatura media mensual (°F)

TMC = Temperatura media mensual (°C)

RSM = Radiación solar incidente mensual

RMM = Radiación mensual extraterrestre (mm/mes)

RS = Radiación solar extraterrestre (mm/día), (dato de tabla).

S = Brillo solar mensual en %

S_d = Duración máxima media diaria de horas de brillo solar, (dato de tabla).

- ⊕ La evapotranspiración media mensual por unidad de muestreo, se efectuó trazando isopletas para cada mes del año.
- ⊕ Se determinó la evapotranspiración diaria (ver cuadro 44A y 49A), por el método de Hargreaves, aplicando la siguiente ecuación: $ETP = 0.004 \times TMF \times RS$
- ⊕ La evapotranspiración real (ETR) se estimó utilizando el método de Penman 1984, citado por López (21), que considera el criterio de variación lineal y las constantes de humedad del suelo (capacidad de campo -CC-, punto de marchitez permanente -PMP- y humedad del suelo al inicio de cada mes -Hsi-), en la ecuación siguiente:

$$ETR = ETP \times ((HSi + Pe - PMP) / (CC - PMP))$$

D. Infiltración

- ⊕ Se tabularon y graficaron los valores registrados para obtener la infiltración básica a través de la curva tiempo acumulado versus la velocidad de infiltración, en cada unidad de muestreo (ver cuadros 50A al 69A y figuras 14A a 33A).

- ⊕ Para establecer la relación entre la infiltración de agua en el suelo y la intensidad de lluvia -K_{fc}- (fracción que infiltra por efecto de la textura del suelo), se utilizó la ecuación propuesta por Schosinsky y Losilla (39), en base al análisis de bandas pluviográficas de cada aguacero, donde la condición principal es: $16 \leq fc \leq 1,568$.

$$K_{fc} = ((0.267 \times \ln (fc)) - (0.000154 \times (fc)) - 0.72$$

E. Propiedades físicas del suelo

Se tabularon los datos de las propiedades físicas, textura, densidad aparente, constantes de humedad y profundidad del suelo, registrados para cada unidad de muestreo. El contenido de humedad de las muestras fueron proporcionados en base a peso de suelo seco por tanto se debieron convertir a lámina de agua (ver cuadro 70A y 71A).

F. Balance de agua del cauce de las corrientes superficiales

Se tabularon e interpretaron los datos de manantiales y aforos diferenciales, para establecer áreas de descarga y recarga por los cursos de agua (cauces).

También el valor de descarga en el punto de aforo de la microcuenca del río Tzulbá sirvió para comparar la esorrentía calculada y obtener un porcentaje de error del balance hídrico de suelos.

G. Balance hídrico y recarga potencial

- ⊕ El balance hídrico de suelos se estimó para cada unidad de muestreo, utilizando una hoja de cálculo en Excel, anotando en la misma las condiciones del clima (precipitación, evapotranspiración), características físicas del suelo (infiltración básica, densidad aparente, profundidad efectiva) y constantes de humedad (capacidad de campo y punto de marchites permanente).
- ⊕ Para estimar la recarga potencial, se realizó de forma diaria, mensual y anual (ver cuadro 71A al 93A), aplicando el método de Penman 1984, citado por Herrera (8) y López (21), que considera que se produce la recarga potencial, cuando el proceso de evapotranspiración real se ha realizado y el rango de humedad disponible está en la capacidad total de agua.

H. Comparación de dos metodologías de precipitación efectiva

La precipitación efectiva es un componente básico en el balance hídrico, pero por su dificultad de medirla en campo, se han propuesto una serie de ecuaciones para estimarla.

Según Herrera (7), los resultados de estas ecuaciones no coinciden y algunas veces están lejos de la realidad, debido a que cada autor pondera de forma distinta los factores que intervienen en la precipitación efectiva y en parte por ser desarrolladas en diferentes países.

En los diferentes estudios sobre recarga hídrica que se han realizado en el país, en algunos se ha estimado la precipitación efectiva utilizando la ecuación de Palacios Vélez y en otros la de Schosinsky y Losilla, que fueron desarrolladas en México y Costa Rica, respectivamente.

En este estudio se utilizaron las ecuaciones de Palacios Vélez citado por Herrera (7, 8) y Schosinsky y Losilla (39), para estimar precipitación efectiva del balance hídrico diario, con la finalidad de establecer cual de las dos ecuaciones proporciona valores más confiables, ya que en parte, de esto depende que se sobre o subestime la recarga hídrica.

Y para ello, se confrontaron los volúmenes de la escorrentía superficial calculada por balance hídrico diario con la escorrentía superficial medida en campo, para apreciar las variaciones en términos de proporción o porcentaje del valor estimado respecto a lo que sucede en la realidad.

I. Comparación de recarga hídrica en función del intervalo temporal

Se efectuó el balance hídrico de suelos de forma mensual, diaria y anual, y se utilizaron los valores de recarga potencial para establecer las variaciones en términos de proporción o porcentaje según el intervalo temporal de cálculo. También se comparó los valores de escorrentía superficial calculada con escorrentía superficial medida en campo, para determinar el intervalo temporal que estima valores más precisos respecto a lo que acontece en la microcuenca.

J. Clasificación de área de recarga hídrica natural potencial

Luego de estimar la recarga hídrica natural potencial, en base al balance hídrico de suelos mensual, se procedió a comparar la lámina de recarga potencial encontrada por unidad de área, aplicando la metodología desarrollada por Herrera (10), que establece las siguientes categorías en m^3/km^2 : muy altas $> 300,000$, altas de $150,000$ a $300,000$, moderadas $150,000$ a $300,000$ y bajas $< 50,000$.

K. Determinación de áreas críticas de recarga

Se definieron las áreas críticas de recarga, analizando las áreas principales de recarga hídrica por el método de matrices, propuesto en el documento "Metodología para la determinación de áreas de recarga hídrica natural" (33). Este método considera la sumatoria de los valores asignados a cada uno de los aspectos siguientes, geología, infiltración básica, recarga anual y pendiente, para definir el área crítica en base a la categoría de susceptibilidad a disminuir el potencial de recarga. Los valores asignados fueron:

Cuadro 5. Matriz de criterios de geología.

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: Padilla et al. 2003.

Cuadro 6. Matriz de criterios de infiltración básica.

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

Fuente: Padilla et al. 2003.

Cuadro 7. Matriz de criterios de recarga anual.

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

Fuente: Padilla et al. 2003.

Cuadro 8. Matriz de criterios de pendiente.

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

Fuente: Padilla et al. 2003.

Cuadro 9. Área crítica de recarga hídrica según susceptibilidad.

Categoría	Código
Baja	0 – 5
Moderada	6 – 9
Alto	10 – 12
Muy alto	13 – 14

Fuente: Padilla et al. 2003.

L. Elaboración de mapas

Se elaboraron y editaron los mapas temáticos siguientes: Suelos, cobertura o uso de la tierra, ubicación de manantiales y tramos de aforos, áreas principales de recarga hídrica y áreas críticas de recarga hídrica, utilizando el software ArcView Versión 3.3.

5.3.2 ELABORACIÓN DE INFORME FINAL

Se sistematizaron y analizaron los resultados con el objetivo de realizar propuestas generales de manejo de los recursos naturales, especialmente sobre el recurso hídrico y por último se emitieron conclusiones y recomendaciones.

6. RESULTADOS

6.1 CICLO HIDROLÓGICO

Para estimar el cambio de almacenamiento de agua en la microcuenca del río Tzulbá se obtuvo información de los principales procesos de transferencia del ciclo hidrológico: precipitación pluvial, infiltración, evapotranspiración y escorrentía superficial.

Estos procesos de transferencia son determinados con mayor precisión, en base a registros históricos de estaciones climáticas e hidrológicas, pero en la microcuenca del río Tzulbá o en sus alrededores, no existen estaciones de este tipo que sean representativas a nivel local, lo que limita la precisión de estudios de esta naturaleza y de otro tipo.

Para caracterizar la precipitación y la temperatura, se establecieron dos estaciones meteorológicas en la microcuenca del río Tzulbá ubicadas en los puntos que se indican en el cuadro 10.

La escorrentía superficial, se estimó inventariando los principales manantiales y aforando tramos del río principal en época seca y lluviosa del año 2004.

Cuadro 10. Ubicación geográfica de las estaciones meteorológicas.

Estación	Coordenadas UTM (m)		Altitud msnm	Municipio
	Este	Norte		
Xeabaj	741429	1663615	1924	Joyabaj
Caquil	742478	1658794	1250	Joyabaj

6.1.1 PRECIPITACIÓN PLUVIAL

En la microcuenca del río Tzulbá, se registraron datos diarios de precipitación como se presentan en el cuadro 40A y 45A, para cada estación y se estimó una precipitación anual de 1,706.07 mm en la parte alta (Xeabaj) y 1,232.14 mm en la parte baja (Caquil), debido al comportamiento orográfico de la precipitación.

En el cuadro 11, que contiene los datos de precipitación mensual para cada estación, se infiere que en la microcuenca del río Tzulbá, la distribución de las lluvias es uniforme durante el año y presenta similares características, a las condiciones generales del país, una época seca de noviembre a abril, época lluviosa de mayo a octubre y un período seco denominado "canícula" que se produjo en las primeras semanas de agosto, lo cual causó un valor de precipitación menor a los otros meses de la época lluviosa.

Cuadro 11. Datos de precipitación pluvial mensual en mm, de las estaciones meteorológicas.

Est.	Año 2004									Año 2005			Anual
	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Sep.	Octubre	Noviembre	Diciembre	Enero	Febrero	Marzo	
Xeabaj	9.56	257.00	313.06	356.63	151.81	277.75	214.19	77.69	23.13	15.44	9.81	0.00	1,706.07
Caquii	9.40	186.30	225.40	256.77	109.30	199.98	154.22	55.94	16.65	11.12	7.06	0.00	1,232.14

Est. = Estación

6.1.2 INFILTRACIÓN

6.1.2.1 Coeficiente o porcentaje de infiltración.

Con la ecuación de Schosinsky y Losilla (39), que 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 unidad de muestreo de la microcuenca del río Tzulbá, reportando que los valores oscilan entre 32 hasta 100% como se muestra en el cuadro 12, similares a los valores de 16 a 100% obtenidos por Fuentes (6), en la microcuenca del río Cotón, Baja Verapaz.

También se obtuvieron los porcentajes de infiltración con la ecuación de Palacios Vélez citado por Herrera (7), encontrándose que oscilan entre 86 y 91% como se muestra en el cuadro 12, bastante afines a los valores de 78 a 94% que reporta Herrera (8), en la cuenca del río Itzapa, Chimaltenango, bajo este mismo procedimiento.

Para el caso de los porcentajes obtenidos por Schosinsky y Losilla el rango es bastante amplio debido particularmente a la fracción que infiltra por efecto de la textura del suelo (K_{fc}) que en algunas unidades es de 77% y en otras es apenas de 6%. También es importante el aporte que hace la cobertura forestal que oscila en un 15 a 20% lo que hace que la unidad 5 tenga una infiltración del 100%. Y en cambio la pendiente, por tener la microcuenca un relieve muy quebrado no contribuye en cantidades significativas a la infiltración.

En base a la ecuación de Palacios Vélez se puede inferir que la delimitación de unidades de muestreo no es necesaria debido a que no tiene su ponderación porque se considera que todo el suelo tiene las mismas características y por ende similares valores de infiltración.

Cuadro 12. Coeficiente de infiltración, por unidad de muestreo.

Unidad	Schosinsky y Losilla					Palacios Vélez
	fc (mm/día)	Kfc (0.01%)	Kp (0.01%)	Kv (0.01%)	Infiltración (0.01%)	Infiltración (0.01%)
1	43.20	0.28	0.06	0.15	0.49	0.91
2	180.00	0.64	0.06	0.10	0.80	0.89
3	127.20	0.55	0.06	0.10	0.71	0.86
4	163.20	0.61	0.06	0.20	0.87	0.88
5	314.40	0.76	0.06	0.20	1.00	0.88
6	40.80	0.26	0.06	0.20	0.52	0.88
7	84.00	0.45	0.06	0.10	0.61	0.86
8	206.40	0.67	0.06	0.15	0.88	0.87
9	124.80	0.55	0.06	0.20	0.81	0.91
10	129.60	0.56	0.06	0.10	0.72	0.89
11	19.20	0.06	0.06	0.20	0.32	0.88
12	57.60	0.35	0.06	0.10	0.51	0.86
13	40.80	0.26	0.06	0.15	0.47	0.87
14	72.00	0.41	0.10	0.10	0.61	0.89
15	52.80	0.33	0.06	0.10	0.49	0.86
16	48.00	0.30	0.06	0.15	0.51	0.91
17	312.00	0.76	0.06	0.15	0.97	0.90
18	319.20	0.77	0.06	0.10	0.93	0.89
19	52.80	0.33	0.06	0.09	0.48	0.89

6.1.2.2 Infiltración básica

Se determinó la velocidad de infiltración en cada unidad de muestreo como se muestra de forma detallada en los cuadros 50A al 69A y figuras 14A al 33A.

Y los valores de infiltración básica se resumen en el cuadro 13, donde se establece que oscilan entre 0.17 y 1.33 cm/h, bastante similares a los que obtuvo Fuentes (6), en la microcuenca del río Cotón, Baja Verapaz, en suelos con las mismas características de impermeables, o sea desarrollados de rocas metamórficas.

Pero estos valores, son bajos comparados a la infiltración de suelos de textura gruesa, porosidad primaria o permeables, como los desarrollados de rocas volcánicas, que reporta Herrera (8), en la cuenca del río Itzapa, Chimaltenango de 6 a 9 cm/h, Salguero (37), de 3.1 a 7 cm/h en la cuenca del río Acomé, Escuintla y Padilla (32), valores de 4.71 a 6.11 cm/h en la microcuenca del río Cantil, Escuintla.

Estos valores en términos de permeabilidad de los suelos se comportan como si el material fuera suelo arcilloso (0.01 a 0.5 m/día), pero en la microcuenca se reportan mas los suelos franco arenosos, aunque estos son originarios de esquistos que es un material fino que al humedecerse

actúa como cementante y no permite que el agua infiltre a mayor velocidad como se esperaría de suelos franco arenosos.

Cuadro 13. Infiltración básica de los suelos de la microcuenca, por unidad de muestreo.

Unidad	Coordenadas UTM (m)		Altitud msnm	Infiltración básica (fc)		
	Este	Norte		cm/h	mm/día	m/día
1	742180	1660349	1,440	0.18	43.20	0.04
2	742501	1661255	1,500	0.75	180.00	0.18
3	741419	1663824	1,902	0.53	127.20	0.13
4	742001	1662501	1,713	0.68	163.20	0.16
5	739503	1665500	2,161	1.31	314.40	0.31
6	741003	1664767	1,805	0.17	40.80	0.04
7	741999	1662999	1,753	0.35	84.00	0.08
8	742661	1663492	1,656	0.86	206.40	0.21
9	744131	1662126	1,589	0.52	124.80	0.12
10	742312	1661174	1,539	0.54	129.60	0.13
11	743243	1663339	1,645	0.08	19.20	0.02
12	742254	1663501	1,662	0.24	57.60	0.06
13	742591	1663252	1,586	0.17	40.80	0.04
14	742856	1659441	1,232	0.30	72.00	0.07
15	742466	1664353	1,630	0.22	52.80	0.05
16	742508	1659491	1,290	0.20	48.00	0.05
17	742687	1659257	1,254	1.30	312.00	0.31
18	742749	1660844	1,348	1.33	319.20	0.32
19	742360	1659759	1,355	0.22	52.80	0.05

6.1.3 EVAPOTRANSPIRACIÓN

Se estimó la evapotranspiración, posterior al análisis de los valores de temperatura diaria, que se muestran en los cuadros 41A al 43A y 46A al 48A.

6.1.3.1 Temperatura

En el cuadro 14, se anotan los datos de temperatura mensual, donde se puede apreciar la disminución por elevación y uniformidad en los valores de cada mes, debido a la poca variación que tiene la temperatura aún para períodos de tiempo relativamente extensos.

Cuadro 14. Datos de temperatura mensual (°C) de las estaciones meteorológicas.

Est.	Var.	Año 2004										Año 2005			Anual
		Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Sep.	Oct.	Nov.	Dic.	Enero	Febrero	Marzo		
Xeabaj	Tmax	25.57	24.16	22.27	22.29	23.48	24.40	23.71	22.80	22.29	22.55	22.61	23.29	23.29	
	Tmin	13.33	14.16	13.70	13.13	13.45	14.00	13.26	13.87	13.94	13.94	14.00	14.32	13.76	
	Tmed	19.45	19.16	17.99	17.71	18.47	19.20	18.49	18.34	18.12	18.25	18.31	18.81	18.52	
Caquil	Tmax	30.73	30.77	33.35	29.87	31.07	29.96	30.79	31.08	25.84	24.87	27.54	30.48	29.70	
	Tmin	14.57	16.13	16.63	15.08	14.39	13.85	14.25	14.76	14.00	14.42	14.32	15.32	14.81	
	Tmed	22.65	23.45	24.99	22.48	22.73	21.91	22.52	22.92	19.92	19.65	20.93	22.90	22.25	

Var. = variable

6.1.3.2 Evapotranspiración mensual

La evapotranspiración mensual que se registra en el cuadro 15, para las estaciones Xeabaj y Caquil muestra, que a mayor elevación topográfica la misma disminuye, siguiendo el patrón de la temperatura.

Los valores de evapotranspiración diaria, que se detallan en los cuadros 44A y 49A, se consideran aceptables, porque varían desde 2.95 a 4.26 mm en la parte alta y de 3.05 a 5.49 mm en la parte baja de la microcuenca, que presenta condiciones intermedias a clima templado y trópicos húmedos, que Cabrera (2), reporta con valores diarios que oscilan para el primero entre 1 a 3 mm y de 5 a 8 mm para el segundo.

Cuadro 15. Datos de evapotranspiración potencial mensual en mm, de las estaciones.

Est.	Año 2004										Año 2005			Anual
	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Sep.	Octubre	Noviembre	Diciembre	Enero	Febrero	Marzo		
Xeabaj	127.70	131.42	126.36	129.07	129.42	120.51	111.70	95.19	90.74	94.58	95.61	120.13	1,372.43	
Caquil	138.69	146.48	151.06	146.35	144.64	129.34	124.17	107.35	95.38	98.33	102.61	133.62	1,518.02	

6.1.4 ESCORRENTÍA SUPERFICIAL

Para conocer la cantidad de escorrentía superficial que sale de la microcuenca se determinó el caudal, en el punto de aforo de la microcuenca, para la época seca y lluviosa.

El caudal medio aproximado de escorrentía superficial es de 10,372,506 m³/año, tomando en consideración los valores 3,615,287 a 17,129,724 m³/año, que se reportan en el cuadro 17, para la época seca y lluviosa, respectivamente. La aplicación de este criterio es solamente para tener una aproximación general del caudal medio, ya que no se puede estimar con precisión, debido a que la información hidrológica disponible no es suficiente.

También, se efectuaron aforos de los principales manantiales que forman el río Tzulbá al constituirse como una fracción del flujo base y se aforaron diferentes puntos del río para establecer ganancia o pérdida de agua.

6.1.4.1 Aforo de los principales manantiales

En total se inventariaron 18 manantiales, que se localizan según figura 8, sobre la isolínea 2,000 msnm. Estos aforos se efectuaron con la finalidad de conocer la disponibilidad de agua, puntos de descarga y posibles áreas de recarga, ya que el volumen de agua que sale de un manantial, especialmente cuando mantiene su caudal en verano, proviene de un área de recarga, la cual teóricamente debería estar en un punto de mayor altitud.

Estos manantiales se aforaron en época seca y lluviosa del año 2004, determinándose que tienen un volumen de descarga aproximado en su orden de 1,012,004 m³/año y 1,642,868 m³/año.

En el cuadro 16 se presenta un listado de los manantiales, lográndose determinar que 6 están siendo captados en su punto de salida, por proyectos de agua, para la población de la microcuenca y que el caudal de otros dos, es captado en la corriente del río principal, por el proyecto de agua de la municipalidad de Joyabaj, El Quiché.

En total se estimó que se extrae de la microcuenca un volumen medio aproximado de 608,577 m³/año, que corresponde al 46% de la descarga de los manantiales inventariados, que está beneficiando a 11,000 personas aproximadamente.

6.1.4.2 Aforos diferenciales

Se aforaron 11 puntos de las corrientes principales y tributarias del río Tzulbá en época seca y lluviosa como se observa en la figura 8, con el propósito de determinar el comportamiento del caudal que transportan.

En el cuadro 17 se anota el caudal de cada punto de aforo, donde se infiere que entre el caudal de la época seca y lluviosa existe un aumento bien pronunciado, que se debe al comportamiento de la lluvia en estas dos épocas.

La figura 9, muestra la ubicación de cada tramo en que se dividieron las corrientes del río Tzulbá y el cuadro 18 contiene la clasificación otorgada, según el comportamiento de la corriente. Las corrientes se dividieron en tramos pequeños tomando en cuenta la medición de todos los volúmenes superficiales que entraban a la corriente y también se controló que en los tramos no existieran tomas de agua para riego u otra actividad.

Cuadro 16. Caudal de los principales manantiales de la microcuenca del río Tzulbá.

Código	Lugar	Coordenadas UTM (m)		Altitud msnm	Q época seca		Q época lluviosa		Libre (L) o Captado (C)
		Este	Norte		l/s	m³/día	l/s	m³/día	
M 1	Tzajmá	739354	1667028	2,018	0.57	49.55	1.45	125.28	L
M 2	Tzajmá	740770	1667000	2,157	3.67	316.90	6.00	518.40	C*
M 3	Tzajmá	740700	1667610	2,291	1.42	122.36	2.25	194.40	C*
M 4	Tzajmá	741211	1667588	2,335	3.67	316.90	6.00	518.40	C
M 5	Tzajmá	741335	1667412	2,317	2.23	192.39	3.60	311.04	C
M 6	Tzajmá	741545	1666946	2,275	1.87	161.26	3.00	259.20	L
M 7	Tzajmá	741724	1667033	2,328	1.87	161.26	3.00	259.20	C
M 8	Muculumquijaj	742508	1666892	2,320	0.71	61.14	1.07	92.45	C
M 9	Muculumquijaj	742367	1666606	2,252	2.44	210.55	3.95	341.28	L
M 10	Muculumquijaj	742724	1666382	2,223	2.34	202.25	3.79	327.46	L
M 11	Muculumquijaj	742944	1666443	2,234	1.37	118.72	2.18	188.35	L
M 12	Sajchó	744300	1666000	2,150	0.74	63.99	1.13	97.20	L
M 13	Sajchó	744416	1665670	2,168	0.41	35.72	0.58	50.11	C
M 14	Sajchó	745006	1665450	2,193	0.84	72.55	1.29	111.46	C
M 15	Sajchó	745022	1665238	2,137	2.61	225.59	4.24	366.34	L
M 16	Sajchó	745155	1664897	2,171	1.87	161.26	3.00	259.20	L
M 17	Sajchó	744691	1664174	1,996	1.87	161.26	3.00	259.20	L
M 18	Chicotom X.	744124	1663434	1,830	1.61	138.96	2.57	222.05	L
TOTAL					32.09	2,772.61	52.10	4,501.01	

* Captados en la corriente principal del río, por el proyecto de agua potable de la municipalidad de Joyabaj, El Quiché.

El tramo 1 (T1), tramo 2 (T2), tramo 3 (T3) y tramo 5 (T5), que se ubican en las áreas de topografía mas quebrada y parte alta de la microcuenca, incrementan su caudal en las dos épocas de medición, por tanto se clasifican como efluentes y evidencian que existe descarga subterránea o subsuperficial a lo largo de los mismos. Y los tramos (T4, T6, T7, T8 y T9) se consideran como constantes, por que las variaciones en caudal tanto en aumento como en disminución no son

Cuadro 17. Caudal en diferentes puntos de las corrientes del río Tzulbá.

Código	Lugar	Coordenadas UTM (m)		Altitud msnm	Q época seca		Q época lluviosa		Aumento %
		Este	Norte		l/s	m³/día	l/s	m³/día	
Q 1	Tzajmá	739357	1666724	2,000	27.69	2,392.42	44.94	3,882.82	62
Q 2	Tzajmá	739984	1665691	2,000	36.31	3,137.18	84.74	7,321.54	133
Q 3	Xeabaj	742011	1663992	1,689	3.55	306.72	14.17	1,224.29	299
Q 4	Sajchó	743696	1664627	1,790	29.49	2,547.94	117.47	10,149.41	298
Q 5	Sajquim	742337	1664650	1,614	59.85	5,171.04	247.12	21,351.17	313
Q 6	Sajquim	742409	1664645	1,625	28.18	2,434.75	102.36	8,843.90	263
Q 7	Sajquim	742498	1664489	1,619	82.70	7,145.28	357.27	30,868.13	332
Q 8	Sajquim	743200	1663907	1,627	28.72	2,481.41	125.48	10,841.47	337
Q 9	Sajquim	742885	1663251	1,479	110.86	9,578.30	497.89	43,017.70	349
Q 10	Caquil	742951	1660867	1,237	113.29	9,788.26	506.60	43,770.24	347
Punto de aforo	Caquil	742883	1659318	1,213	114.64	9,904.90	543.18	46,930.75	374

significativas, especialmente porque el comportamiento para el caso T4, T6 y T7 en época lluviosa fue relativamente diferente.

Al observar los caudales, especialmente los de época seca, se confirma que en la cuenca existen áreas de almacenamiento de agua, que mantienen los manantiales y la corriente principal. Particularmente para la época seca, al comparar los volúmenes 1,012,004 m³/año y 3,615,287 m³/año, que corresponden a manantiales y punto de aforo (salida) del río principal, se confirma que el caudal de los manantiales contribuye con aproximadamente el 28% del caudal de estiaje, pero la mayor parte la aportan los tramos 1, 2, 3 y 5 como descarga subterránea o subsuperficial.

Cuadro 18. Aforos diferenciales de la microcuenca del río Tzulbá.

División en corrientes	Punto	Código de fuentes Que aportan	Época seca		Época lluviosa		Clasificación
			l/s	m ³ /día	l/s	m ³ /día	
Tramo 1	1	Q1	27.69	2,392.42	44.94	3,882.82	Efluente
	2	Q2	36.31	3,137.18	84.74	7,321.54	
Tramo 2	2	Q2+M6	38.18	3,298.45	87.74	7,580.74	Efluente
	3	Q5	59.85	5,171.04	247.12	21,351.17	
Tramo 3	4	M9+M10+M11	6.15	531.52	9.92	857.09	Efluente
	5	Q6	28.18	2,434.75	102.36	8,843.90	
Tramo 4	3	Q5+Q6	88.03	7,605.79	349.48	30,195.07	Constante
	6	Q7	82.70	7,145.28	357.27	30,868.13	
Tramo 5	7	M12+M15+M16	5.22	450.85	8.37	722.74	Efluente
	8	Q4	29.49	2,547.94	117.47	10,149.41	
Tramo 6	8	Q4	29.49	2,547.94	117.47	10,149.41	Constante
	9	Q8	28.72	2,481.41	125.48	10,841.47	
Tramo 7	6	Q7+Q3+Q8+M17	116.84	10,094.67	499.92	43,193.09	Constante
	10	Q9	110.86	9,578.30	497.89	43,017.70	
Tramo 8	10	Q9+M18	112.47	9,717.26	500.46	43,239.74	Constante
	11	Q10	113.29	9,788.26	506.60	43,770.24	
Tramo 9	11	Q10	113.29	9,788.26	506.60	43,770.24	Constante
	13	Punto de aforo	114.64	9,904.90	543.18	46,930.75	

6.1.4.3 Recarga por balance de agua de corrientes de la microcuenca

En la microcuenca del río Tzulbá se considera que no hay recarga hídrica por el cauce de las corrientes, debido a que en ningún tramo hubo una cantidad de infiltración significativa. Al contrario, se establece que el río se alimenta de aguas subsuperficiales porque en los tramos ubicados en la parte alta como se muestra en la figura 9 existe un aumento de caudal.

También se puede establecer que en alguna parte arriba de esas zonas de descarga existe una zona de almacenamiento de agua, que alimenta a manantiales y cauces de la microcuenca, particularmente notorio en la época seca ya que los mismos mantienen sus caudales aunque sea en forma reducida.





Leyenda

- Corrientes
 - Efimeras
 - - - Intermitentes
 - Permanentes
- Altitud msnm
 - ▲ 1200
- ▭ Límite de la microcuenca
- Tramos de aforo
 - T1 + Efluente
 - T8 Constante
- Puntos de aforo
 - ▲ Corriente principal
 - Manantiales

Proyección UTM
 Datum NAD 27
 Zona 15, esferoide de Clarke 1866
 Espaciamiento de cuadrícula
 horizontal y vertical de 2,000 m

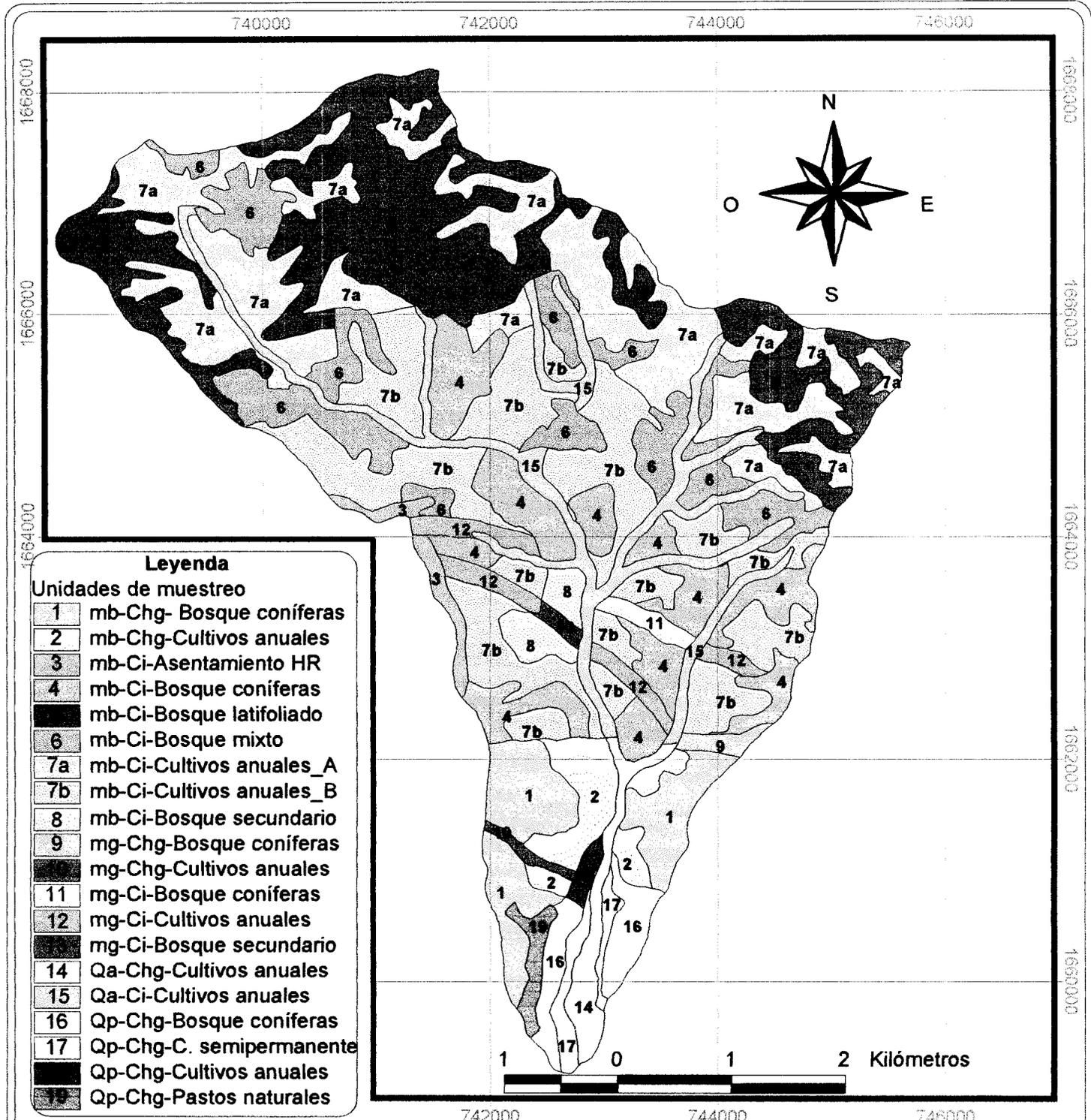
Universidad de San Carlos de Guatemala
 Facultad de Agronomía

Realizó:
 Salvador Garcia Benitez



Figura 9. Mapa de los tramos de aforo de la microcuenca del río Tzulbá





742000 744000 746000

Proyección UTM
Datum NAD 27
Zona 15, esferoide de Clarke 1866
Espaciamiento de cuadrícula horizontal y vertical de 2,000 m

Universidad de San Carlos de Guatemala
Facultad de Agronomía

Realizó:
Salvador García Benitez



Figura 10. Mapa de unidades de muestreo de la microcuenca del río Tzulbá



6.2 FACTORES QUE INFLUYEN EN LA RECARGA HÍDRICA

6.2.1 UNIDADES DE MUESTREO

Se definieron 19 unidades de muestreo que se distribuyen como se muestra en la figura 10 y cuadro 19, para disminuir la variabilidad espacial que existen en los suelos de la microcuenca del río Tzulbá, en cuanto a cobertura vegetal, suelos y geología.

La unidad 7 es la que presenta el 34% de la superficie total, debido a ello y a que tiene un rango amplio de elevación se procedió a dividir la misma en dos unidades. Luego se tiene la unidad 5 con aproximadamente el 20% de la superficie total de la microcuenca, ocupada en su totalidad por bosque de latifoliadas.

Las unidades 3, 9, 10, 11, 13, 18 y 19, presentan menor extensión, por ello resultan ser las más homogéneas de la microcuenca.

Cuadro 19. Unidades de muestreo y su extensión.

Unidad	Descripción	Área (km ²)	Área (ha)	%
1	mb-Chg- Bosque ralo de coníferas	1.52	151.56	5.35
2	mb-Chg-Cultivos anuales	0.81	80.60	2.85
3	mb-Ci-Asentamiento humano rural	0.27	27.32	0.96
4	mb-Ci-Bosque denso de coníferas	2.77	277.15	9.79
5	mb-Ci-Bosque denso latifoliado	5.57	556.71	19.66
6	mb-Ci-Bosque denso mixto	2.68	267.92	9.46
7a	mb-Ci-Cultivos anuales	5.02	502.37	17.74
7b	mb-Ci-Cultivos anuales	4.90	489.64	17.29
8	mb-Ci-Bosque secundario	0.35	35.30	1.25
9	mg-Chg-Bosque denso de coníferas	0.12	11.96	0.42
10	mg-Chg-Cultivos anuales	0.08	8.10	0.29
11	mg-Ci-Bosque de coníferas	0.15	14.70	0.52
12	mg-Ci-Cultivos anuales	0.55	54.86	1.94
13	mg-Ci-Bosque secundario	0.07	6.89	0.24
14	Qa-Chg-Cultivos anuales	0.47	47.04	1.66
15	Qa-Ci-Cultivos anuales	1.84	183.92	6.49
16	Qp-Chg-Bosque ralo de coníferas	0.58	57.64	2.04
17	Qp-Chg-Cultivos semipermanentes	0.29	29.19	1.03
18	Qp-Chg-Cultivos anuales	0.09	9.45	0.33
19	Qp-Chg-Pasto natural	0.20	19.68	0.69
TOTAL		28.32	2,832.00	100

6.2.2 CLIMA

6.2.2.1 Precipitación media mensual

Se determinó la precipitación media mensual para cada unidad de muestreo, por el método de las isoyetas, los valores se presentan en el cuadro 20. Esto también influyó para que se dividiera la unidad 7 en a y b con el propósito de disminuir el rango de elevación y así no subestimar la ponderación de la precipitación media mensual.

Es importante destacar, las unidades 5, 7a, 6, 3 y 15 que presentan mayor precipitación, porque ésta es parte de los principales factores que contribuyen a la recarga hídrica en las partes altas de las cuencas o microcuencas.

Cuadro 20. Precipitación media mensual en mm, para cada unidad de muestreo.

Unidad	Altitud msnm	Año 2004									Año 2005			Total
		Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Sep.	Oct.	Nov.	Dic.	Enero	Febrero	Marzo	
1	1,527	9.47	215.32	261.38	297.76	126.75	231.90	178.84	64.87	19.31	12.89	8.19	0.00	1,426.68
2	1,388	9.43	200.72	243.28	277.14	117.97	215.85	166.45	60.38	17.97	12.00	7.62	0.00	1,328.82
3	1,865	9.55	250.81	305.39	347.89	148.09	270.94	208.94	75.79	22.56	15.06	9.57	0.00	1,664.58
4	1,695	9.51	233.03	283.33	322.77	137.40	251.38	193.85	70.31	20.93	13.98	8.88	0.00	1,545.36
5	2,175	9.62	283.33	345.70	393.82	167.64	306.71	236.52	85.79	25.54	17.05	10.83	0.00	1,882.56
6	1,923	9.56	256.90	312.94	356.49	151.75	277.64	214.11	77.66	23.12	15.43	9.81	0.00	1,705.42
7a	2,100	9.60	275.46	335.95	382.71	162.91	298.06	229.85	83.37	24.82	16.57	10.53	0.00	1,829.83
7b	1,750	9.52	238.75	290.43	330.85	140.84	257.67	198.71	72.08	21.46	14.32	9.10	0.00	1,583.72
8	1,580	9.48	220.82	268.32	305.66	130.11	238.06	183.58	66.59	19.82	13.24	8.41	0.00	1,464.18
9	1,560	9.47	218.82	265.72	302.70	128.85	235.75	181.80	65.94	19.63	13.11	8.32	0.00	1,450.12
10	1,480	9.45	210.43	255.31	290.85	123.81	226.52	174.68	63.36	18.86	12.59	8.00	0.00	1,393.87
11	1,600	9.48	223.01	270.92	308.63	131.37	240.37	185.36	67.23	20.01	13.36	8.49	0.00	1,478.25
12	1,670	9.50	230.36	280.02	319.00	135.79	248.44	191.59	69.49	20.69	13.81	8.77	0.00	1,527.47
13	1,530	9.47	215.67	261.82	298.25	126.96	232.29	179.13	64.98	19.34	12.91	8.20	0.00	1,429.02
14	1,300	9.41	191.54	231.90	264.18	112.45	205.75	158.67	57.55	17.13	11.44	7.26	0.00	1,267.30
15	1,780	9.53	241.89	294.33	335.29	142.73	261.13	201.38	73.04	21.75	14.52	9.22	0.00	1,604.81
16	1,300	9.41	191.54	231.90	264.18	112.45	205.75	158.67	57.55	17.13	11.44	7.26	0.00	1,267.30
17	1,290	9.41	190.50	230.60	262.70	111.82	204.60	157.78	57.23	17.03	11.38	7.22	0.00	1,260.27
18	1,280	9.41	189.45	229.30	261.21	111.19	203.44	156.89	56.91	16.94	11.31	7.18	0.00	1,253.23
19	1,360	9.43	197.84	239.71	273.07	116.24	212.67	164.01	59.49	17.71	11.83	7.51	0.00	1,309.49

A. Precipitación efectiva

En el cuadro 21, se presenta el resumen de los volúmenes de precipitación efectiva obtenidos por las ecuaciones analizadas, para cada unidad de muestreo, determinándose que en base a Palacios Vélez, se obtiene una mayor lámina de lluvia infiltrada, lo cual teóricamente se convierte en una mayor recarga potencial, porque el suelo se mantendrá saturado de agua.

Los valores de precipitación efectiva son elevados, debido a que en esta ecuación se ponderó la intensidad de precipitación como el factor que condiciona la porción de lluvia que infiltra y con la misma se asume que las unidades de muestreo son homogéneas, o sea que los suelos son de textura media o gruesa y la topografía es plana, características que facilitan o incrementan la infiltración, como se muestra en los valores de 86 a 91% reportados en el cuadro 12.

En cambio en la ecuación de Schosinsky y Losilla, se ponderó a la velocidad de infiltración como el factor que condiciona la precipitación efectiva, pero además esta toma en cuenta el tipo de textura del suelo, topografía y cobertura vegetal que presenta cada unidad de muestreo, lo cual es muy variable en la microcuenca y en la mayoría de los casos, no favorecen a la infiltración como se muestra en los valores de 0.32 a 100% presentados en el cuadro 12.

Cuadro 21. Precipitación efectiva diaria y mensual, para cada unidad de muestreo.

Tiempo No. Unidad	Precipitación efectiva diaria		Precipitación efectiva mensual
	Schosinsky y Losilla m ³ /año	Palacios Vélez m ³ /año	Schosinsky y Losilla m ³ /año
1	679,159	1,269,212	833,028
2	643,242	722,559	740,852
3	285,867	347,183	282,020
4	3,256,709	3,279,634	2,965,986
5	7,500,091	6,587,823	8,342,610
6	1,880,272	3,170,389	1,892,420
7	8,861,652	12,608,549	8,975,280
8	437,648	434,107	377,670
9	88,938	100,120	110,909
10	58,117	72,574	70,266
11	63,981	173,987	55,701
12	412,034	697,285	372,568
13	45,830	84,779	38,585
14	286,712	421,697	314,679
15	1,320,464	2,337,633	1,255,309
16	272,853	482,692	296,679
17	281,990	259,752	307,182
18	87,844	84,681	95,324
19	94,316	176,411	107,021
TOTAL	26,557,717	33,311,067	27,434,090

Comparando la precipitación efectiva diaria y mensual determinada por la metodología de Schosinsky, que se muestra en el cuadro 21, existe una ligera diferencia de 3% mayor para la precipitación efectiva mensual.

Esta diferencia se debe a que se considera mayor volumen de agua precipitada de forma mensual que diaria, porque para la precipitación diaria se utilizaron los valores registrados en cada

estación según la zona de vida en que se encuentra y para la precipitación media mensual se pudo ponderar para cada unidad de muestreo en función de la elevación en que se ubica.

6.2.2.2 Evapotranspiración potencial mensual

La evapotranspiración potencial media mensual que se muestra en el cuadro 22, se determinó trazando isopleas, ya que ésta sigue el patrón de las temperaturas y los datos de las estaciones meteorológicas evidenciaron que para la microcuenca del río Tzulbá, la temperatura es inversamente proporcional a la elevación, o sea que disminuye cuando la elevación aumenta.

Las unidades 5, 7a, 6, 3 y 15 son las que presentan menor evapotranspiración potencial lo que expresa que las plantas tienen menor disponibilidad de utilizar agua por que este es el límite máximo que las plantas y el suelo estarían liberando a la atmósfera. Así también implicaría posiblemente una mayor recarga hídrica siempre que exista infiltración de agua y el suelo este a capacidad de campo. En cambio las unidades que se localizan en la parte baja de la microcuenca como: 14, 16, 17 y 18 al presentar mayor evapotranspiración potencial, en condiciones reales el suelo y la planta van a liberar mas agua a la atmósfera y por lo mismo tienen menores posibilidades de recarga hídrica.

Cuadro 22. Evapotranspiración potencial media mensual en mm, por unidad de muestreo.

Unidad	Altitud msnm	Año 2004									Año 2005			Total
		Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Sep.	Oct.	Nov.	Dic.	Enero	Febrero	Marzo	
1	1,527	134.18	140.30	140.92	139.26	138.39	125.72	119.05	102.36	93.48	96.79	99.74	128.08	1,458.26
2	1,388	136.45	143.41	146.02	142.83	141.53	127.54	121.62	104.87	94.43	97.56	101.18	130.87	1,488.32
3	1,865	128.67	132.74	128.53	130.58	130.75	121.28	112.79	96.25	91.15	94.91	96.22	121.31	1,385.18
4	1,695	131.43	136.53	134.74	134.93	134.58	123.50	115.93	99.31	92.31	95.85	97.98	124.71	1,421.80
5	2,175	123.61	125.81	117.17	122.64	123.75	117.22	107.05	90.66	89.01	93.18	93.00	115.11	1,318.22
6	1,923	127.72	131.44	126.40	129.10	129.44	120.52	111.71	95.21	90.75	94.58	95.62	120.15	1,372.63
7a	2,100	124.83	127.49	119.91	124.56	125.44	118.20	108.44	92.01	89.53	93.60	93.78	116.61	1,334.42
7b	1,750	130.54	135.31	132.74	133.53	133.34	122.79	114.92	98.33	91.94	95.55	97.42	123.61	1,410.02
8	1,580	133.31	139.11	138.97	137.89	137.18	125.02	118.06	101.40	93.11	96.49	99.18	127.01	1,446.74
9	1,560	133.64	139.55	139.70	138.40	137.63	125.28	118.43	101.76	93.25	96.60	99.39	127.42	1,451.06
10	1,480	134.94	141.34	142.63	140.46	139.44	126.33	119.91	103.20	93.80	97.05	100.22	129.02	1,468.34
11	1,600	132.99	138.66	138.24	137.38	136.73	124.75	117.69	101.04	92.97	96.38	98.97	126.61	1,442.42
12	1,670	131.85	137.09	135.67	135.58	135.15	123.84	116.40	99.77	92.49	95.99	98.25	125.21	1,427.30
13	1,530	134.13	140.22	140.80	139.17	138.31	125.67	118.99	102.30	93.45	96.77	99.70	128.02	1,457.54
14	1,300	137.88	145.36	149.23	145.07	143.51	128.68	123.24	106.45	95.04	98.05	102.09	132.62	1,507.22
15	1,780	130.05	134.64	131.64	132.76	132.67	122.40	114.36	97.79	91.73	95.38	97.10	123.01	1,403.54
16	1,300	137.88	145.36	149.23	145.07	143.51	128.68	123.24	106.45	95.04	98.05	102.09	132.62	1,507.22
17	1,290	138.04	145.59	149.60	145.33	143.73	128.81	123.43	106.63	95.10	98.11	102.20	132.82	1,509.38
18	1,280	138.21	145.81	149.96	145.58	143.96	128.95	123.61	106.81	95.17	98.16	102.30	133.02	1,511.54
19	1,360	136.9	144	147	143.5	142.2	127.9	122.1	105.4	94.62	97.72	101.5	131.4	1,494.26

A. Evapotranspiración real

Como la evapotranspiración real depende de la precipitación efectiva, se analiza por el nombre de cada ecuación empleada como se muestra en el cuadro 23, determinándose lo siguiente:

La sumatoria de la evapotranspiración real conocida en este estudio como Palacios Vélez es 10% más, que la registrada para Schosinsky y Losilla de forma diaria. Esto se debe a la mayor precipitación efectiva cuantificada por la ecuación de Palacios Vélez, que permite inferir un alto contenido de humedad en el suelo, que las plantas pueden aprovechar con facilidad a través de su sistema radicular, incrementando con ello, la evapotranspiración real.

Cuadro 23. Evapotranspiración real diaria y mensual para cada unidad de muestreo.

Tiempo No. Unidad	Evapotranspiración real diaria		Evapotranspiración real mensual
	Schosinsky y Losilla m ³ /año	Palacios Vélez m ³ /año	Schosinsky y Losilla m ³ /año
1	662,187	1,204,071	822,064
2	533,123	560,683	649,360
3	204,852	215,782	230,540
4	2,288,363	2,313,779	2,618,756
5	4,878,497	4,794,484	5,573,965
6	1,818,349	2,280,950	1,785,067
7	7,143,611	7,867,919	7,979,905
8	288,469	291,151	328,599
9	81,017	91,086	97,223
10	44,888	49,301	59,680
11	63,220	121,129	54,240
12	362,028	422,562	369,769
13	43,130	52,856	38,566
14	260,754	308,271	286,130
15	1,216,066	1,447,838	1,251,070
16	269,331	437,471	294,162
17	212,163	209,839	257,332
18	65,013	65,239	79,441
19	93,656	138,783	106,329
TOTAL	20,528,717	22,873,194	22,882,198

Y comparando los resultados de Schosinsky y Losilla de forma diaria y mensual se evidencia que se produce el mismo fenómeno porque la evapotranspiración mensual es 10% mayor que la diaria. Pero los valores más confiables son los determinados de forma diaria porque como se muestra en el balance hídrico detallado en el cuadro 71A, las plantas utilizan agua (evapotranspiración real) todos los días y la lluvia no es constante como se asume en el balance

mensual, con lo cual varía la humedad del suelo y llega a su contenido mínimo, donde las plantas tienen dificultad de extraerla.

6.2.3 COBERTURA VEGETAL

En la microcuenca predominan los siguientes tipos de cobertura vegetal: cultivos anuales ocupando el 45% del área; bosques ocupando aproximadamente el 51% del área total: latifoliadas 19.75%, coníferas 18.49%, mixto 11.11%, bosque secundario 1.87%; y el resto ocupado por pastos naturales y cultivos semipermanentes, como se muestra en el cuadro 24.

En el cuadro 25 se presenta el tipo de cobertura por unidad de muestreo y la profundidad radicular de las especies principales que se encontraron en cada unidad. La profundidad radicular para un mismo tipo de cobertura vegetal varía según el tipo de suelo en que se desarrolle y es importante porque determina la cantidad o lámina de agua que toman las plantas del suelo. La cobertura es importante porque contribuye a la infiltración de agua en el suelo, pero así puede actuar como factor adverso al retener la precipitación en su follaje.

Schosinsky y Losilla (39), indican que para aguaceros diarios de 1.3 mm todo se retiene en las hojas y para precipitaciones mensual se puede considerar que lluvia de 5 mm también es retenida, por eso propone valores de retención de 12% para cultivos anuales y 20% para bosques, permitiendo interpolar para cobertura intermedia.

Cuadro 24. Cobertura vegetal o uso de la tierra de la microcuenca, del río Tzulbá.

Código	Categorías	Extensión		
		ha	km ²	%
1.2	Asentamiento Humano Rural + Cultivos Anuales	48.10	0.48	1.70
2.1	Cultivos Anuales	1,271.00	12.71	44.88
2.2	Cultivos Semipermanentes	43.30	0.43	1.53
3.2	Pastos Naturales	19.00	0.19	0.67
4.1	Bosque de Latifoliadas	559.45	5.59	19.75
4.2	Bosque de Coníferas	523.52	5.23	18.49
4.3	Bosque Mixto	314.65	3.15	11.11
4.5	Bosque secundario	52.95	0.53	1.87
TOTAL		2,832	28.32	100

Para la unidad 3 que en el cuadro 25, reporta un uso actual como asentamiento humano rural, se estableció por medio de observaciones realizadas en el área de estudio que aproximadamente el 60% esta cubierto por cultivos anuales, por lo mismo se determinó para este tipo de uso, una retención de 12% y una profundidad radicular de 1000 mm.

Cuadro 25. Cobertura vegetal, retención y profundidad radicular por unidad.

Unidad	Uso actual	Retención (0.01%)	Profundidad radicular (mm)
1	Bosque ralo de coníferas	0.20	1400
2	Cultivos anuales	0.12	800
3	Asentamiento humano rural	0.12	1000
4	Bosque denso de coníferas	0.20	2000
5	Bosque denso de latifoliadas	0.20	2000
6	Bosque denso mixto	0.20	2000
7a	Cultivos anuales	0.12	1000
7b	Cultivos anuales	0.12	1000
8	Bosque secundario	0.16	1170
9	Bosque denso de coníferas	0.20	2000
10	Cultivos anuales	0.12	600
11	Bosque denso de coníferas	0.20	1600
12	Cultivos anuales	0.12	800
13	Bosque secundario	0.16	1170
14	Cultivos anuales	0.12	1000
15	Cultivos anuales	0.12	1000
16	Bosque ralo de coníferas	0.20	1400
17	Cultivos semipermanentes	0.13	1000
18	Cultivos anuales	0.12	1000
19	Pasto natural	0.12	850

6.2.4 TOPOGRAFÍA

Según el cuadro 26, la topografía predominante de la microcuenca del río Tzulbá son las pendientes escarpadas con 35% del área total, moderadamente escarpadas 31% y muy escarpadas 23% que se distribuye como se muestra en la figura 4. Todo esto hace un 88% del total de la superficie de la microcuenca, que es considerada como área desfavorable para la infiltración.

Cuadro 26. Topografía, de la microcuenca del río Tzulbá.

Código	Rangos de pendiente	Extensión		
		ha	km ²	%
1	De plano a ligeramente ondulado: < 12 %	42.87	0.43	1.51
2	Fuertemente ondulado: 12 - 26	272.08	2.72	9.61
3	Moderadamente escarpado: 26 - 36	885.57	8.86	31.27
4	Escarpado: 36 - 55	989.83	9.90	34.95
5	Muy escarpado: > 55	641.69	6.42	22.66
TOTAL		2,832	28.32	100

6.2.5 ESTRATIGRAFIA GEOLÓGICA

Los estratos geológicos descritos en la microcuenca, según el cuadro 27 y figura 5, son: impermeables el 85% (Zona de Biotita del Chol y Zona de Granate de Palibatz) y permeables el 15% restante.

Simmons et al. (41), reporta para estas áreas impermeables, un suelo profundo bien drenado con un substrato compuesto por esquisto intemperizado a una profundidad mayor de 2 m y en base a chequeo de campo en taludes de carreteras parece ser que esa profundidad varía de 5 a 10 m en pendientes inclinadas, pudiendo ser mayor en la parte alta de la microcuenca que tiene pendiente onduladas y bosques.

En base al tipo de estratos geológicos encontrados, éstas áreas son consideradas impermeables, lo cual indica que no existen acuíferos, pero los caudales de manantiales y río principal en época seca demuestran que existe un área de alteración superficial y/o subsuperficial, que puede ser una capa profunda de suelo y material intemperizado, que almacena agua en la temporada lluviosa, para luego liberarla en época seca.

Cuadro 27. Estratigrafía geológica de la microcuenca del río Tzulbá.

Código	Unidades geológicas	Extensión		
		ha	km ²	%
Qa	Depósitos Fluviales del Cuaternario	274.00	2.74	9.68
Qp	Depósitos Piroclásticos del Cuaternario	113.00	1.13	3.99
mb	Zona de Biotita del Chol	2,336.00	23.36	82.49
mg	Zona de Granate de Palibatz	109.00	1.09	3.85
TOTAL		2,832	28.32	100

6.2.6 SUELOS

Las propiedades físicas de los suelos de la microcuenca del río Tzulbá que se determinaron por unidad de muestreo son: textura, densidad aparente y constantes de humedad que se presentan en el cuadro 28. Estas propiedades están estrechamente relacionadas con el movimiento y retención del agua en el suelo.

Las texturas predominantes en los suelos de la microcuenca son franco arenosas y franco arcillo arenosa, que se caracterizan por facilitar la infiltración del agua en el suelo, pero en la microcuenca las mismas presentan infiltraciones bajas debido a que el material formador del suelo en su mayor parte es esquisto intemperizado, que al estar húmedo actúa como un material sellante y cementante, limitando la velocidad de infiltración del agua.

El contenido de agua del suelo depende del rango de humedad disponible y según el cuadro 28 estos valores son normales para las texturas identificadas, pero en cuanto a densidad aparente la misma es muy baja (0.97 a 1.29 gr/cc) debido en parte a que el 51% de los suelos no están cultivado pero en su mayor parte se debe al material formador de suelo (esquistos), ya que son arenas finas que en lugar de favorecer la infiltración, la afectan al retener gran cantidad de agua por la superficie específica que presentan.

Cuadro 28. Propiedades físicas de los suelos, por unidad de muestreo.

Unidad	Humedad (%)		Densidad Aparente gr/cc	Granulometría			Textura
	1/3 atm	15 atm		Arcilla	Limo	Arena	
	CC	PMP		%	%	%	
1	27.12	15.86	1.1765	38.56	11.84	49.6	Arcillo arenoso
2	12.32	6.27	1.2903	9.16	18.14	72.7	Franco arenoso
3	14.82	6.89	1.1429	11.26	22.34	66.4	Franco arenoso
4	12.8	5.37	1.1765	9.16	18.14	72.7	Franco arenoso
5	23.3	12.44	1.1111	23.86	20.24	55.9	Franco arcillo arenoso
6	25.08	14.44	1.0000	34.36	16.04	49.6	Franco arcillo arenoso
7	18.74	10.52	1.1429	25.96	13.94	60.1	Franco arcillo arenoso
8	19.11	8.96	1.1765	17.56	18.14	64.3	Franco arenoso
9	20.78	6.02	1.1429	19.66	18.14	62.2	Franco arenoso
10	6.48	1.95	1.0256	4.96	7.64	87.4	Arena
11	18.02	9.91	1.1765	21.76	16.04	62.2	Franco arcillo arenoso
12	19.64	10.66	1.0000	15.46	20.24	64.3	Franco arenoso
13	14.78	8.48	0.9756	17.56	18.14	64.3	Franco arenoso
14	8.89	5.07	1.1429	7.06	16.04	76.9	Arena franca
15	18.3	10.41	1.1111	17.56	18.14	64.3	Franco arenoso
16	18.59	9.81	1.0256	23.86	22.34	53.8	Franco arcillo arenoso
17	12.75	6.04	1.1429	11.26	20.24	68.5	Franco arenoso
18	10.78	5.53	1.1429	11.26	16.04	72.7	Franco arenoso
19	13.05	6.88	1.2903	17.56	11.84	70.6	Franco arenoso

6.3 BALANCE HÍDRICO DE SUELOS

6.3.1 BALANCE HÍDRICO DE SUELOS CON DATOS DIARIOS

Para efectuar el balance hídrico de suelos se consideró que la cantidad de lluvia diaria que se registró en cada estación meteorológica, es similar en el área que ocupa la zona de vida, donde se ubica la estación. Esto se asumió, porque las lluvias registradas en las dos estaciones de la microcuenca diferían en algunos casos en presencia para una y ausencia en la otra, lo cual no permitió efectuar ponderación de precipitación en cada unidad de muestreo, en función de la elevación en que se localiza.

En el cuadro 29, se presenta el resumen del balance hídrico de suelos considerando la precipitación efectiva por la ecuación de Schosinsky y Losilla (39). En este balance se estima un error del 0.90% que indica un balance bastante preciso y el error se debe porque al iniciar el balance hídrico, se asume que el suelo tiene un contenido de humedad a capacidad de campo o punto de marchitez permanente, lo cual no ocurre en algunas unidades y se establece al analizar que la humedad final no es la misma a la inicial, como supuestamente debería ocurrir.

Cuadro 29. Balance hídrico de suelos con datos diarios de la microcuenca del río Tzulbá determinando precipitación efectiva con la ecuación de Schosinsky y Losilla.

Entrada		Salidas		%
Variable	m ³ /año	Variable	m ³ /año	
Precipitación pluvial	46,190,434	Evapotranspiración real	20,528,717	44.44
		Escorrentía superficial	11,574,789	25.06
		Retención vegetal	8,057,929	17.45
		Recarga potencial	5,613,934	12.15
Total	46,190,434	Total	45,775,369	99.10

Cuadro 30. Balance hídrico de suelos con datos diarios de la microcuenca del río Tzulbá determinando precipitación efectiva con la ecuación de Palacios Vélez.

Entrada		Salidas		%
Variable	m ³ /año	Variable	m ³ /año	
Precipitación pluvial	46,190,434	Evapotranspiración real	22,873,194	49.52
		Escorrentía superficial	4,821,439	10.44
		Retención vegetal	8,057,929	17.45
		Recarga potencial	9,971,308	21.59
Total	46,190,434	Total	45,723,870	98.99

Basado en el cálculo de precipitación efectiva por la ecuación de Palacios citado por Herrera (7, 8) se resume el balance hídrico de suelos en el cuadro 30. Para éste balance se estimó un error de 1%, con lo cual se considera que se efectuó de forma adecuada.

Por la ecuación de Schosinsky se estimó una recarga potencial de 5,613,934 m³/año que representa el 12% de la precipitación media anual de la microcuenca, donde la evapotranspiración real utiliza el 44% debido a que la mayor parte (51%) de la microcuenca está ocupada por cobertura forestal y es el bosque el que mas agua libera del suelo para desarrollar sus procesos fisiológicos.

Y por la ecuación de Palacios Vélez se estimó una recarga potencial de 9,971,308 m³/año que corresponde al 22% de la precipitación media anual de la microcuenca y una evapotranspiración real que equivale al 50%.

La diferencia estimada de recarga potencial que es 4,357,374 m³/año se dio como se había previsto al conocer el volumen de agua infiltrada por la ecuación de Palacios Vélez, pero la confiabilidad de estos datos se comprueba en la sección siguiente.

6.3.2 COMPARACIÓN DE METODOLOGÍAS PARA CALCULAR PRECIPITACIÓN EFECTIVA

La ecuación de Schosinsky y Losilla (39) utilizada para determinar precipitación efectiva produce una sobreestimación de los valores de escorrentía superficial como se muestra en el cuadro 31. Esta variación que corresponde al 11.6% se traduce en menor agua infiltrada y por ende en menor recarga, pero la misma es aceptable porque es relativamente pequeña considerando que el caudal medio medido utilizado solo es una aproximación, que puede aumentar al determinarse a través de una curva de duración de caudales que se basa en registros diarios de aforo, por ello la recarga potencial obtenida bajo esta metodología es adecuada.

Cuadro 31. Volúmenes de escorrentía calculada vrs escorrentía medida en campo.

Metodología empleada	Escorrentía calculada m ³ /año	Escorrentía medida m ³ /año	Diferencia en m ³ /año	% de variación
Schosinsky y Losilla	11,574,789	10,372,506	1,202,283	+ 11.6
Palacios Vélez	4,821,439	10,372,506	- 5,551,067	- 53.52

En cambio la ecuación de Palacios Vélez para determinar precipitación efectiva en la microcuenca del río Tzulbá subestimó la escorrentía superficial calculada en 53.52% respecto a la medida en campo y esta variación se considera relativamente alta, lo que se traduce en mayor recarga potencial pero para las condiciones de la microcuenca del río Tzulbá o características

similares, ésta no se debe emplear y el valor de recarga y los otros valores estimados en este estudio, se rechazan y se muestran con fines comparativos.

6.3.3 BALANCE HÍDRICO DE SUELOS CON DATOS MENSUALES

El balance hídrico de suelos de forma mensual se aplicó a 19 unidades de muestreo, definidas en base a la sobreposición de tres temas: uso actual de la tierra, suelos y geología.

Los volúmenes de recarga hídrica natural determinados en la microcuenca del río Tzulbá se resumen por unidad de muestreo en el cuadro 32 y los resultados en detalle de los balances hídricos efectuados se presentan en los cuadros 73A al 92A.

Cuadro 32. Resumen de la recarga potencial por unidad, en la microcuenca.

Código	Unidad	Área km ²	Recarga potencial	
			mm/año	m ³ /año
1	mb-Chg- Bosque ralo de coníferas	1.52	0.00	0
2	mb-Chg-Cultivos anuales	0.81	113.51	91,492
3	mb-Ci-Asentamiento humano rural	0.27	188.46	51,480
4	mb-Ci-Bosque denso de coníferas	2.77	125.29	347,230
5	mb-Ci-Bosque denso de latifoliadas	5.57	497.32	2,768,645
6	mb-Ci-Bosque denso mixto	2.68	0.00	0
7a	A_mb-Ci-Cultivos anuales	5.02	159.32	800,377
7b	B_mb-Ci-Cultivos anuales	4.90	40.48	198,195
8	mb-Ci-Bosque secundario	0.35	139.00	49,071
9	mg-Chg-Bosque denso de coníferas	0.12	0.00	0
10	mg-Chg-Cultivos anuales	0.08	130.76	10,586
11	mg-Ci-Bosque de coníferas	0.15	0.00	0
12	mg-Ci-Cultivos anuales	0.55	5.10	2,800
13	mg-Ci-Bosque secundario	0.07	0.00	0
14	Qa-Chg-Cultivos anuales	0.47	60.69	28,549
15	Qa-Ci-Cultivos anuales	1.84	0.00	0
16	Qp-Chg-Bosque ralo de coníferas	0.58	0.00	0
17	Qp-Chg-Cultivos semipermanentes	0.29	170.78	49,851
18	Qp-Chg-Cultivos anuales	0.09	168.15	15,883
19	Qp-Chg-Pasto natural	0.20	3.52	692

En base a los resultados del cuadro anterior se definen 7 unidades que no presentan recarga hídrica, siendo éstas: 1, 6, 9, 11, 13, 15 y 16 que representan el 24.5% del área de la microcuenca. Esto se debe a la infiltración básica que presentan algunas unidades, siendo de 0.08 a 0.52 cm/h, acompañada por otras características que no favorecen la infiltración como, pendientes escarpadas a muy escarpadas, pedregosidad interna (capas de suelo y subsuelo) y menor lámina de lluvia precipitada, al encontrarse en la parte baja de la microcuenca.

Por otra parte, se encuentran las unidades: 2, 3, 4, 5, 7a, 7b, 8, 10, 12, 14, 17, 18 y 19 que ocupan el 75.5% de la superficie total, que presentan recarga potencial, debido a la infiltración básica del suelo, que oscila entre 0.53 a 1.33 cm/h y a la cantidad de precipitación recibida, principalmente.

Cuadro 33. Balance hídrico de suelos con datos mensuales de la microcuenca del río Tzulbá.

Entrada		Salidas		%
Variable	m ³ /año	Variable	m ³ /año	
Precipitación pluvial	46,946,744	Evapotranspiración real	22,882,198	48.74
		Escorrentía superficial	11,729,127	24.98
		Retención vegetal	7,783,527	16.58
		Recarga potencial	4,414,851	9.40
Total	46,946,744	Total	46,809,703	99.71

En el cuadro 33, se presentan las variables principales en que se resumió el balance hídrico de suelos mensual, para la microcuenca del río Tzulbá. Analizando estas variables, existe una diferencia de 137,042 m³/año entre el volumen total de entradas y de salidas, que equivale al 0.29%. Este porcentaje, es el error de balance en que se incurrió al utilizar el método de balance hídrico de suelos mensual, considerándose el mismo aceptable por ser un valor relativamente bajo y concluyendo que los cálculos del balance hídrico de suelos de forma mensual se han efectuado correctamente.

Luego se comparó la escorrentía superficial calculada que es de 11,729,127 m³/año, con el caudal medio medido en el punto de aforo en la microcuenca del río Tzulbá, que es de 10,372,506 m³/año, obteniéndose una diferencia de 1,356,621 m³/año.

Esta diferencia equivale a un 13% más, que el caudal medido que puede deberse a una ligera sobrestimación de la escorrentía o porque el caudal medido en campo no tiene la precisión suficiente respecto al caudal medio estimado en base a una curva de duración de caudales.

Considerándose la diferencia aceptable, porque apenas difiere de la calculada por el balance diario en 1%, se estima para el balance hídrico mensual una recarga potencial de 4,414,851 m³/año, que representa al 9.40% de la precipitación total.

Y también, se determina que la evapotranspiración real es la variable que más agua retira de la microcuenca con un 49% de la precipitación total, debido a la presencia de bosques en 51% del área de la microcuenca.

6.3.4 BALANCE HÍDRICO CON DATOS ANUALES

Este balance se aplicó considerando el tiempo de un año, una sola unidad de estudio que correspondió al área de la microcuenca, que es de 28.32 km² y los procesos principales que intervienen en el ciclo hidrológico.

Los procesos considerados son: precipitación media anual de 1484 mm y evapotranspiración potencial de 1441 mm, láminas que fueron convertidas a volumen en metros cúbicos por año como se muestra en el cuadro 93A.

También, se consideró el volumen de caudal medio medido en el punto de aforo como el total de la escorrentía superficial y un valor de retención de la precipitación por el follaje del bosque y cultivos anuales de 17%.

La recarga potencial estimada según el cuadro 34, por este tipo de balance es de 4,108,501 m³/año, que corresponde al 10% de la precipitación total en la microcuenca.

Cuadro 34. Balance hídrico anual, de la microcuenca del río Tzulbá.

Entrada		Salidas		%
Variable	m ³ /año	Variable	m ³ /año	
Precipitación pluvial	42,026,880	Evapotranspiración real	20,401,303	48.54
		Escorrentía superficial	10,372,506	24.68
		Retención vegetal	7,144,570	17.00
		Recarga potencial	4,108,501	9.78
Total	42,026,880	Total	42,026,880	100

6.3.5 COMPARACIÓN DE RECARGA CALCULADA EN FUNCIÓN DEL TIEMPO

En el cuadro 35, se comparan los valores de recarga potencial según el intervalo de tiempo que se utilizó para aplicar el balance hídrico de suelos, determinándose que el diario es el que mayor recarga potencial estima, con un volumen total de 5,613,934 m³/año.

Al comparar el valor de recarga con datos diarios y considerando que equivale al 100% se tiene una variación respecto al mensual de -27.16% y en el anual de -36.64% mostrando que éstos intervalos subestiman la recarga hídrica natural de la microcuenca del río Tzulbá.

Luego se tomó la recarga con datos mensuales como el 100% obteniendo una variación para el diario de 21.36% y el anual de -7.46% evidenciando que el diario sobrestima la recarga potencial y el intervalo anual subestima la misma.

Y por último se asumió que la recarga anual corresponde al 100% de recarga potencial y se estimaron las variaciones siguientes, diario 26.82% y mensual 6.94% con lo cual se considera que los intervalos diario y mensual sobrestiman la recarga potencial.

Cuadro 35. Variación en porcentaje de recarga potencial según el intervalo temporal de cálculo.

Variación en %	Tiempo	Diario	Mensual	Anual
Tiempo	Recarga m³/año	5,613,934	4,414,851	4,108,501
Diario	5,613,934	0	- 27.16	- 36.64
Mensual	4,414,851	21.36	0	- 7.46
Anual	4,108,501	26.82	6.94	0

Por el balance hídrico de suelos con datos diarios, se estimó una recarga de 5,613,934 m³/año que se considera el valor mas confiable, ya que al comparar la escorrentía superficial calculada con la medida en el campo, la variación es apenas de 11.6%.

Esto confirma, que este tipo de balance tiene la ventaja de tomar en cuenta con mayor precisión las variaciones de humedad del suelo, la evapotranspiración real, también permite que se reduzca la variabilidad temporal y espacial, y se controlen más puntualmente los otros factores que condicionan la recarga potencial.

Y entre sus desventajas se puede mencionar que necesita un mayor número de estaciones meteorológicas, aumento de costo y trabajo más intensivo al reducir la variabilidad espacial.

Para el caso del balance hídrico mensual se estimó una recarga de 4,414,851m³/año que puede considerarse como bastante confiable porque al comparar la escorrentía superficial calculada con el valor medido en campo, se estableció una variación de 13%. Las ventajas de este método son: disminución de costos y reducción de la variabilidad espacial para analizar en cada unidad de muestreo los principales factores que intervienen en la recarga hídrica. Pero en sus desventajas está el trabajo intensivo de campo y que no se puede reducir mucho la variabilidad temporal ya que las plantas transpiran todos los días.

En cuanto al balance hídrico anual que estimó una recarga menor en 36.64% a la obtenida por el intervalo diario, demuestra que una de sus desventajas es que al aumentar la variabilidad espacial y temporal, se subestima la recarga potencial, por tanto se recomienda su uso, sólo para tener una idea del potencial que existe en determinada área, antes de efectuar un estudio más específico, lo que se convierte en su ventaja.

Se concluye, que los balances hídricos con intervalo diario y mensual, estiman de forma más precisa la recarga potencial y son los más adecuados porque permiten determinar los

factores que intervienen en la recarga hídrica de forma mas puntual para áreas pequeñas, denominadas unidades de muestreo.

Se recomienda emplear el balance hídrico diario para áreas donde no existen registros históricos, porque proporciona mayor precisión a los resultados, siempre que se tomen en cuenta las condiciones siguientes:

- En zonas donde existe precipitación orográfica se deben ubicar por lo mínimo tres estaciones meteorológicas: en la parte alta, media y baja.
- Las divisiones deberán sobreponerse a las capas utilizadas para la delimitación de las unidades de muestreo, porque según la cantidad de precipitación así se incrementa o disminuye la recarga potencial.

6.4 ÁREAS PRINCIPALES DE RECARGA HÍDRICA NATURAL

Se utilizaron los valores de recarga del balance hídrico mensual porque a través de este método se pudo ponderar precipitación media más precisa para las unidades ubicadas en la parte alta de la microcuenca del río Tzulbá, esto no se realizó con el balance diario porque en algunos casos se registró lluvia en Xeabaj pero no en Caquil o viceversa.

Esto se evidencia en los cuadros 40A y 45A de precipitación diaria y se comprueba con los valores de recarga estimados en las unidades ubicadas a mayores elevaciones donde el balance hídrico mensual reporta mayor recarga.

En el cuadro 36 se presentan las unidades que según el balance hídrico de suelos mensual tienen recarga, el porcentaje que aportan a la recarga total y la clasificación otorgada en base al volumen de recarga por kilómetro cuadrado. La unidad 5 es la única que se clasifica con la categoría muy alta, debido a que tiene una recarga potencial de $497,000 \text{ m}^3/\text{km}^2$, aportando el 63% de la recarga total de la microcuenca del río Tzulbá, esta unidad tiene una infiltración básica del 100% debido a la presencia de bosque y suelo más suelto mezclado con materia orgánica en proceso de descomposición.

Con la categoría de recarga alta se definen las unidades 3, 7a, 17 y 18, porque presentan un rango de $159,000$ a $188,000 \text{ m}^3/\text{km}^2$ de recarga potencial y en conjunto representan el 21% de la recarga total. Estas unidades, específicamente la 3 y 7a por la infiltración básica de los suelos y

por la cantidad de lluvia que cae, en cambio las otras unidades por encontrarse en depósitos piroclásticos que favorecen la infiltración de agua en el suelo.

Las unidades 2, 4, 8, 10 y 14 que representan el 12% de la recarga total, se clasifican en la categoría de moderada, presentando recarga potencial que oscila de 60,000 a 139,000 m³/km², y se encuentran en la parte media de la microcuenca, en la mayoría de los casos con bosques de coníferas.

Y en la categoría baja se ubican las unidades 7b, 12 y 19 que presentan una recarga potencial menor de 41,000 m³/km² debido principalmente a la baja precipitación y a las condiciones como relieve muy inclinado, pedregosidad interna y superficial y baja infiltración de los suelos.

Cuadro 36. Clasificación de recarga potencial, por unidad de muestreo.

Unidad	Área Km ²	Recarga hídrica natural (anual)			Recarga potencial (%)	Clasificación
		mm	m ³	m ³ /km ²		
2	0.81	113.51	91,492	113,512	2.07	Moderada
3	0.27	188.46	51,480	188,463	1.17	Alta
4	2.77	125.29	347,230	125,286	7.87	Moderada
5	5.57	497.32	2,768,645	497,321	62.71	Muy alta
7a	5.02	159.32	800,377	159,321	18.13	Alta
7b	4.90	40.48	198,195	40,477	4.49	Bajas
8	0.35	139.00	49,071	139,000	1.11	Moderada
10	0.08	130.76	10,586	130,762	0.24	Moderada
12	0.55	5.10	2,800	5,103	0.06	Bajas
14	0.47	60.69	28,549	60,690	0.65	Moderada
17	0.29	170.78	49,851	170,779	1.13	Alta
18	0.09	168.15	15,883	168,146	0.36	Alta
19	0.20	3.52	692	3,516	0.02	Bajas
TOTAL			4,414,850.90		100	

En el cuadro 37 y figura 11, se observan la distribución de las principales áreas de recarga potencial que se identifican en la microcuenca del río Tzulbá, evidenciándose que en extensión la recarga muy alta, alta y baja, ocupan un 20% cada una, de la superficie total de la microcuenca y la categoría recarga moderada un 16%.

Se concluye que las principales áreas de recarga hídrica natural son las que se ubicaron en la categoría muy alta y alta, que en conjunto representan el 81% de la recarga potencial a la microcuenca y se localizan arriba de la altitud 1900 msnm, en la parte alta, que es donde se concentran los principales manantiales y las áreas de descarga subterránea o subsuperficial, así también son las áreas donde se encuentra la mayor cobertura forestal.

Cuadro 37. Principales áreas de recarga potencial de la microcuenca del río Tzulbá.

Código	Categoría	Extensión		
		ha	km ²	%
RMA	Recarga Muy Alta	556.71	5.57	19.66
RA	Recarga Alta	568.32	5.68	20.07
RM	Recarga Moderada	448.19	4.48	15.83
RB	Recarga Baja	564.18	5.64	19.92
SR	Sin Recarga	694.60	6.95	24.53
TOTAL		2,832	28.32	100

6.5 ÁREAS CRÍTICAS DE RECARGA HÍDRICA NATURAL

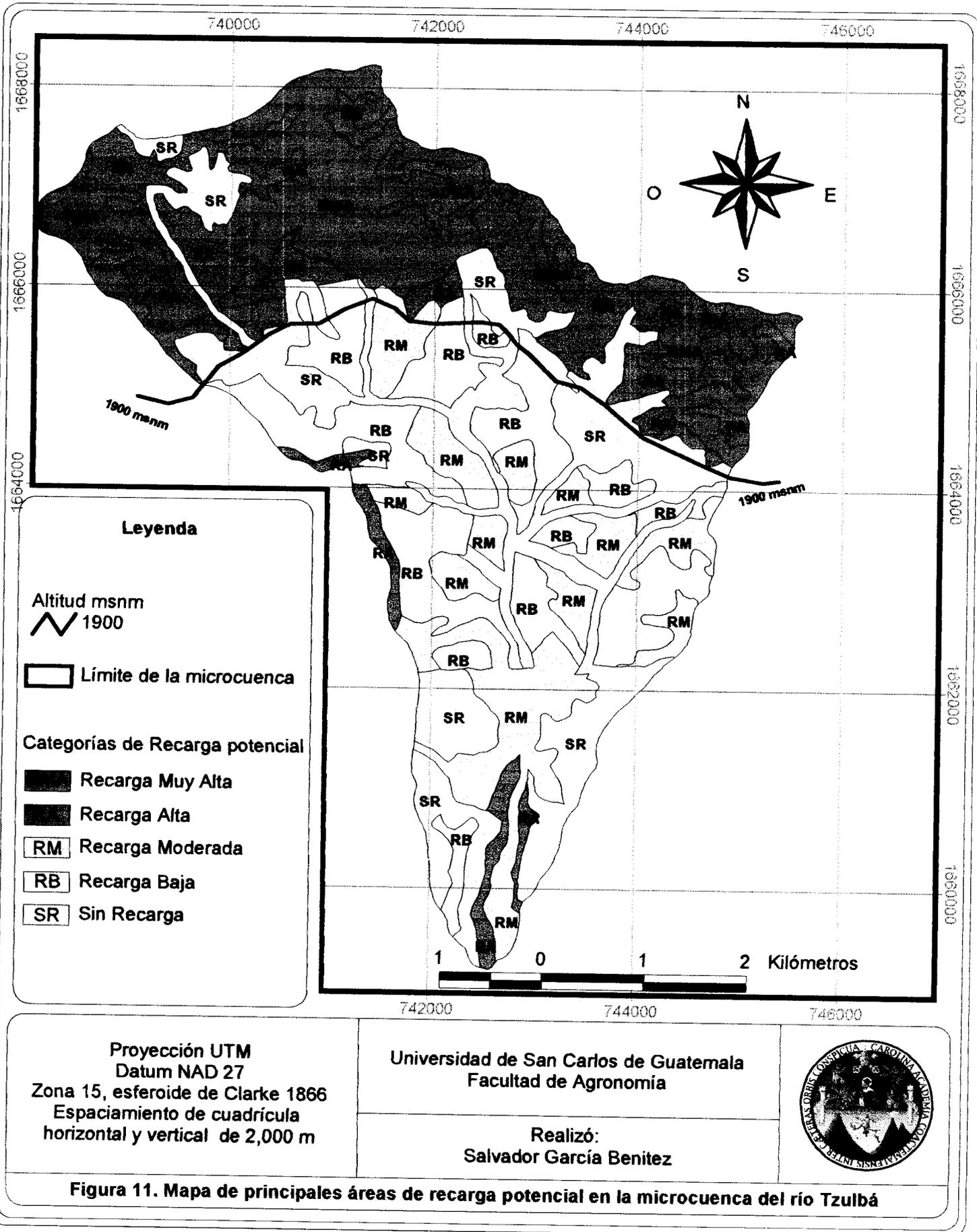
Se priorizaron como áreas críticas, las principales áreas de recarga hídrica, que merecen atención especial partiendo de la premisa de que un manejo inapropiado disminuye el potencial de recarga hídrica natural.

Para ello se evaluaron las condiciones prevalecientes, geología, infiltración básica, recarga anual y pendiente, dando como resultado un valor que oscila entre 0 y 14, el cual es proporcional al grado de susceptibilidad.

En el cuadro 38, se anotan los códigos asignados y la categoría otorgada a cada una de las áreas principales, sobresaliendo que las áreas principales de recarga potencial alta y muy alta tienen una susceptibilidad alta, y esto toma mayor relevancia porque en éstas áreas se ubican los manantiales que abastecen a las comunidades de la microcuenca y a la cabecera municipal de Joyabaj.

Cuadro 38. Clasificación de susceptibilidad en principales áreas de recarga potencial.

Recarga potencial	Código asignado				Total	Categoría de Susceptibilidad
	Geología	Infiltración básica (cm/h)	Recarga anual (mm)	Pendiente %		
Muy Alta	2	1	4	3	10	Alto
Alta	2	1	3	4	10	Alto
Moderada	2	1	2	4	9	Moderada
Baja	2	1	0	2	5	Baja
Sin Recarga	0	0	0	4	4	Baja



La categoría con susceptibilidad alta ocupa una extensión de 11.21 km² que representa el 39.60% de la microcuenca, se ubica en la parte alta, arriba de la isolínea 1900 msnm, encontrándose en esta área bosque de latifoliadas y cultivos anuales.

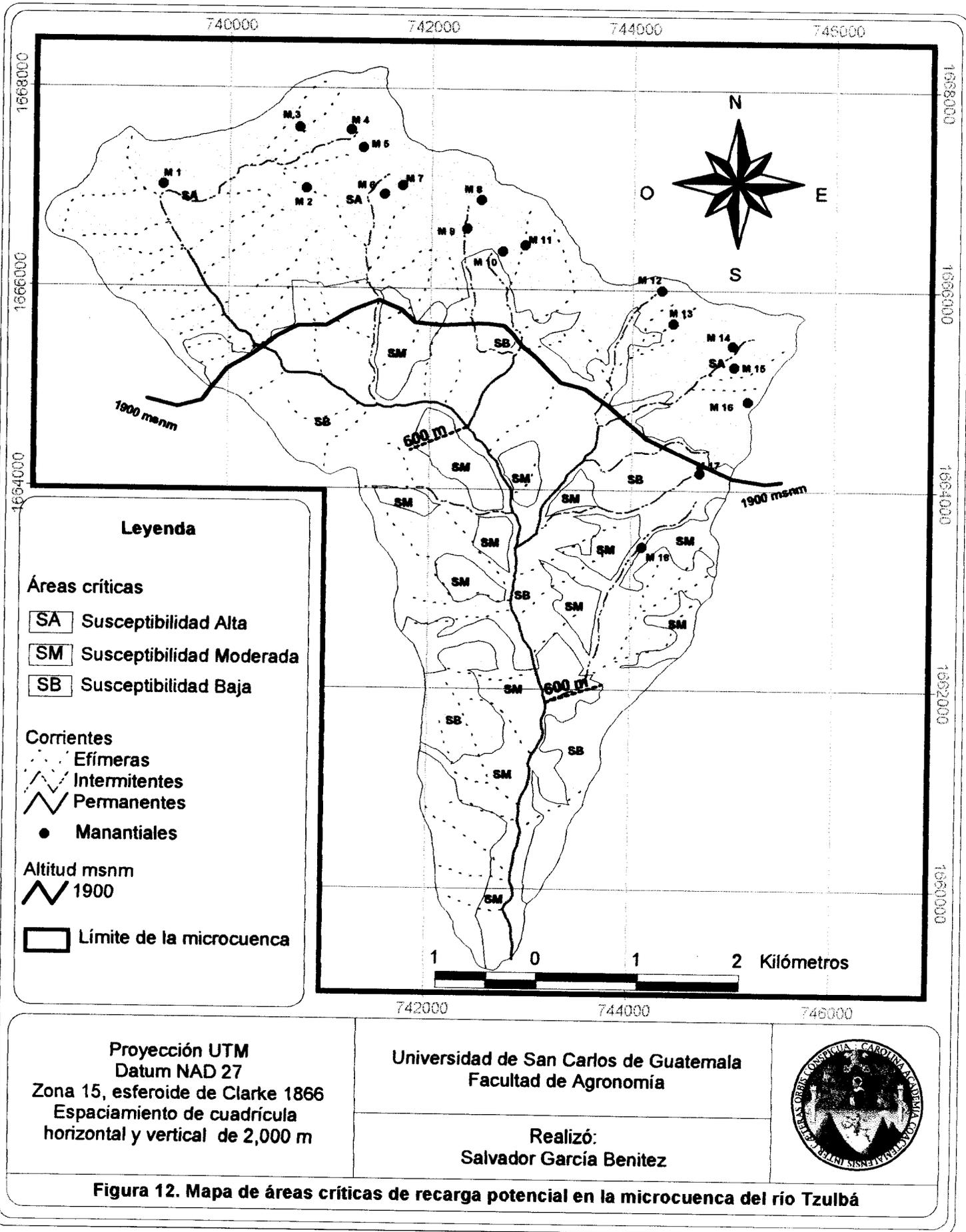
La categoría con susceptibilidad moderada representa el 17.19% que equivale a una extensión de 4.67 km², se concentra a lo largo de las corrientes permanentes llegando a ocupar hasta una distancia de 500 y 600 m de cada lado y se caracteriza por la presencia de bosques mixto, coníferas y cultivos anuales.

En la microcuenca, ocupa la mayor extensión la categoría de susceptibilidad baja, con 43.21% de la superficie total, se caracteriza por que en esta área no hay recarga potencial y esta utilizada en su mayor parte por cultivos anuales.

Las áreas críticas se distribuyen como se muestra en la figura 12 y cuadro 39.

Cuadro 39. Áreas críticas de recarga potencial de la microcuenca.

Código	Categoría	Extensión		
		ha	km ²	%
SA	Susceptibilidad Alta	1,121.45	11.21	39.60
SM	Susceptibilidad Moderada	486.83	4.67	17.19
SB	Susceptibilidad Baja	1,223.72	12.24	43.21
TOTAL		2,832	28.32	100



Leyenda

Áreas críticas

- SA Susceptibilidad Alta
- SM Susceptibilidad Moderada
- SB Susceptibilidad Baja

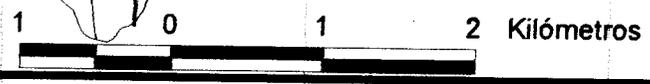
Corrientes

- Efímeras
- - - Intermitentes
- Permanentes
- Manantiales

Altitud msnm

- 1900

□ Límite de la microcuenca



6.6 CONSIDERACIONES GENERALES DE MANEJO

Estableciendo un área de manejo de 12.67 km² que equivale al 45% de la superficie total de la microcuenca y delimitando la misma a partir de la isolínea 1900 msnm, porque produce el 81% de la recarga potencial y se ha clasificado como área crítica de alta susceptibilidad, se proponen las consideraciones generales para el proyecto piloto de conservación y manejo de áreas de recarga hídrica.

6.6.1 RESTAURACIÓN DE ÁREAS DEFORESTADAS

Esta actividad se debe efectuar inmediatamente debido a que el área deforestada representa el 44% (5.55 km²) del área de recarga potencial delimitada.

La distribución de las áreas deforestadas se observa en la figura 13, en donde se determina que la misma está ejerciendo presión sobre los manantiales de la microcuenca. Estas áreas se han deforestado con la finalidad de transformarlas en potreros que se evidenció por las cercas de alambre que existen, ya que las mismas tienen abundante agua y las pendientes son moderadamente escarpadas.

La reforestación se debe efectuar con el programa de incentivos forestales, entregándolo a los propietarios de los terrenos y brindándoles asistencia técnica constante. Las especies a utilizar para reforestar de preferencia deben ser las nativas como *Alnus* sp. y *Pinus oocarpa* que se desarrollan muy bien en esa parte de la microcuenca.

6.6.2 MANEJO FORESTAL SOSTENIBLE

Esta actividad se debe implementar para el bosque de latifoliadas que existe en el área delimitada, debido a que cubre una extensión de 6.84 km², donde se produce el 42% de la evapotranspiración total de la microcuenca que equivale a 9,646,088 m³/año, con lo cual se constituye en un elemento crítico regulador del ciclo hidrológico.

Se recomienda tomar en cuenta las siguientes actividades como mínimo para mantener el bosque natural, en el área delimitada: protección contra plagas y enfermedades, prevención y protección de incendios forestales, mejoramiento y enriquecimiento del bosque.

6.6.3 PROTECCIÓN Y CONSERVACIÓN DE FUENTES DE AGUA

Esta actividad es imprescindible debido a que en la microcuenca se aprovecha un volumen promedio anual de 608,577 m³ que representa el 46% del volumen total de la descarga de los principales manantiales y que abastece a 11,000 personas aproximadamente.

La protección, se debe efectuar para los manantiales de la microcuenca del río Tzulbá, estableciendo según el INAB (16), como mínimo un radio fijo de 75 metros por ubicarse en pendientes de moderadamente escarpadas (26-36%) a escarpadas (36-55%).

El área a brindar protección completa para cada manantial es de 0.018 km² que en total para los 16 manantiales que se ubican en el área delimitada, representa un total de 0.28 km².

Para la protección de manantiales se deben considerar procesos de negociación y reconocimiento de servicios ambientales, porque las comunidades beneficiadas con el proyecto de agua únicamente son propietarias de una pequeña extensión de terreno de 49 m² ó 100 m² alrededor de donde se descargan los manantiales.

La conservación de las fuentes de agua de la microcuenca del río Tzulbá es necesaria porque el caudal de los manantiales según la clasificación en base a la descarga de Todd citado por Vargas (42), se ubican en la quinta categoría (0.63 a 6.31 l/s), que algunos investigadores suelen llamar no manantiales sino "lloraderos", que al quedar el suelo sin cobertura forestal se compactan y los mismos se pierden.

La pérdida de las fuentes de agua en la microcuenca del río Tzulbá, tendrá graves repercusiones en el desarrollo de las comunidades que se abastecen del vital líquido, porque en esas zonas, por ser impermeables no existen ninguna posibilidad de excavar un pozo y hacerlo en las partes bajas implicaría un gran costo que las comunidades y autoridades gubernamentales no estarían dispuestas a cubrir.

Por ello se debe iniciar con las siguientes actividades: protección de fuentes de agua que aún tienen cobertura forestal, reforestar todas las fuentes de agua que no tengan cobertura forestal y efectuar estudios de calidad de agua.

6.6.4 CONSERVACIÓN DEL SUELO

Se deben establecer prácticas de conservación de suelos en las áreas deforestadas que actualmente están siendo cultivadas con maíz (*Zea mays*), para contrarrestar la escorrentía

superficial y mantener la infiltración de los suelos que contribuye a una mayor precipitación efectiva y por ende en una mayor recarga potencial.

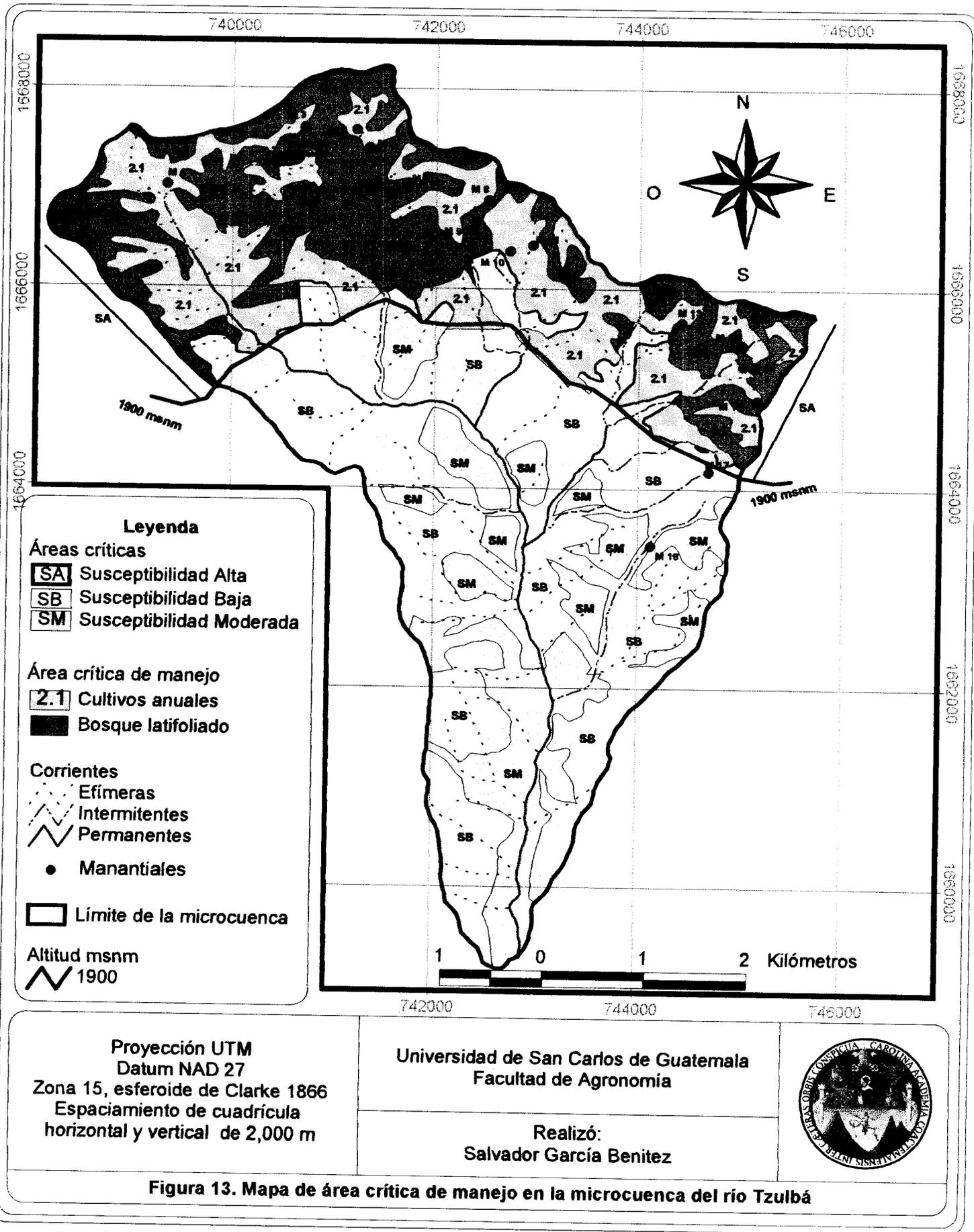
También se debe negociar y propiciar otras alternativas de producción, a las personas que están transformando sus terrenos en potreros porque esta actividad compacta los suelos, con lo cual se disminuirá la infiltración y la recarga potencial, redundando en pérdida y disminución de caudales de las fuentes de agua.

Las prácticas de conservación técnicamente viables de aplicar son: barreras vivas, sistemas agroforestales, acequias y construcción de diques en cárcavas.

6.6.5 SENSIBILIDAD SOCIAL

Los habitantes de las comunidades de la microcuenca y otras que se abastecen del líquido que se da en esa zona deben involucrarse conjuntamente con las autoridades municipales y el INAB, para buscar la recuperación del área crítica de recarga hídrica.

En este aspecto se debe considerar capacitaciones sobre reforestación, prevención y control de incendios, vínculo hidrológico forestal, ordenamiento de actividades agrícolas, calidad del agua, manejo forestal y programas de incentivos forestales y frutales, etc.



- Leyenda**
- Áreas críticas**
- SA** Susceptibilidad Alta
 - SB** Susceptibilidad Baja
 - SM** Susceptibilidad Moderada
- Área crítica de manejo**
- 2.1** Cultivos anuales
 - Bosque latifoliado
- Corrientes**
- ⋯ Efímeras
 - ⋈ Intermitentes
 - ⋈ Permanentes
 - Manantiales
- Límite de la microcuenca
- Altitud msnm**
- ⋈ 1900

1 0 1 2 Kilómetros



7. CONCLUSIONES

1. La principal área de recarga hídrica natural y área crítica con alta susceptibilidad de disminuir la recarga hídrica potencial se localiza en la parte alta de la microcuenca del río Tzulbá, a partir de la altitud 1900 msnm, donde se produce un volumen de recarga potencial anual de 3,569,022 m³ que representa el 81% de la recarga total y ocupa 11.21 km² que corresponde al 39.60% de la extensión total.
2. La ecuación de Schosinsky y Losilla es mas adecuada, para determinar precipitación efectiva, en la microcuenca del río Tzulbá, debido a que tomó en cuenta la infiltración básica del suelo en base a la unidad de muestreo, lo que permitió reducir la variación del dato estimado respecto al valor obtenido en campo.
3. Se estimó un volumen anual de recarga potencial, aplicando el balance hídrico con los intervalos diario, mensual y anual de 5,613,934 m³, 4,414,851 m³ y 4,108,501 m³ respectivamente, considerando el diario como el valor más preciso, debido a que toma en cuenta para cada unidad de muestreo en forma detallada, las variaciones de humedad del suelo y la evapotranspiración real que condicionan la recarga.
4. En la microcuenca del río Tzulbá no existe recarga por balance de agua de los cauces del río, determinándose que sólo existe descarga subsuperficial en los tramos de la parte alta de las corrientes principales.
5. En la microcuenca se identificaron 18 manantiales que se ubican arriba de la isolínea 2000 msnm, determinándose que 6 están siendo captados en su punto de salida, por proyectos de agua, para la población de la microcuenca y que el caudal de otros dos, es captado en la corriente del río principal, por el proyecto de agua de la municipalidad de Joyabaj, El Quiché. Estimándose que se extrae de la microcuenca un volumen medio aproximado de 608,577 m³/año, que corresponde al 46% de la descarga de los manantiales inventariados.
6. Del análisis de los aforos se determina que los manantiales y corrientes del río Tzulbá en la parte alta son los puntos de descarga de la principal área de recarga hídrica natural delimitada.

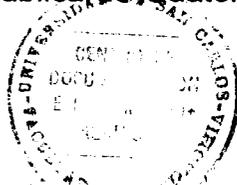


8. RECOMENDACIONES

- 1. Implementar un proyecto piloto de conservación y manejo del área crítica de recarga hídrica natural tomando en cuenta como mínimo las consideraciones generales de manejo propuestas, para garantizar que la misma mantenga su función de recarga y abastezca las fuentes de agua de la microcuenca del río Tzulbá.**
- 2. Utilizar el balance hídrico con intervalo diario o mensual porque estiman con mayor precisión la recarga potencial. Pero para registros climáticos de períodos cortos es más recomendable el diario siempre que se ubique al existir precipitación orográfica por lo menos tres estaciones meteorológicas: en la parte alta, media y baja, empleando esta capa también para definir las unidades de muestreo.**
- 3. Establecer protección inmediata a los manantiales de la microcuenca del río Tzulbá, debido que se ubican a orillas de áreas deforestadas y la pérdida de los mismos afectará enormemente la calidad de vida de los habitantes de la microcuenca porque en la misma no es viable la construcción de pozos.**
- 4. Establecer una estación hidrométrica y seguir registrando datos climáticos para que en un futuro próximo se pueda establecer con mayor precisión los valores de recarga hídrica natural de la microcuenca del río Tzulbá.**
- 5. Efectuar estudios de hidrología forestal en la microcuenca del río Tzulbá para determinar el tratamiento eficaz de intervención del bosque en el manejo forestal, que minimice el impacto a la recarga hídrica natural.**

9. BIBLIOGRAFÍA

1. Aparicio Mijares, F.J. 2001. Fundamentos de hidrología de superficie. México, Limusa. 303 p.
2. Cabrera, CA. 1997. Determinación de políticas de explotación de las aguas subterráneas para las aldeas de San José Pacul y Pachalí del municipio de Santiago Sacatepéquez, Guatemala. Tesis Ing. Agr. Guatemala, USAC. 52 p.
3. CALAS (Centro de Acción Legal Ambiental y Social de Guatemala). 2003. Programa de información estratégica: legislación ambiental guatemalteca. Guatemala. v. 1, tomo 1, 198 p.
4. Cruz, JR de la. 1982. Clasificación de zonas de vida de Guatemala a nivel de reconocimiento. Guatemala, INAFOR. 42 p.
5. Custodio, E; Llamas, MR. 2001. Hidrología subterránea. 2 ed. Barcelona, España, Omega. v. 1, tomo 1, 1157 p.
6. Fuentes Montepeque, JC. 2005. Determinación de principales áreas de recarga hídrica natural y de la calidad del agua en la microcuenca del río Cotón, Baja Verapaz. Tesis Maestría. Guatemala, USAC. 199 p.
7. Herrera Ibáñez, IR. 1995. Manual de hidrología. Guatemala, USAC, Facultad de Agronomía. 223 p.
8. _____. 1998. Reconocimiento hidrogeológico de la cuenca del río Itzapa, departamento de Chimaltenango, Guatemala. Tesis Mag. Sc. Costa Rica, UNA. 104 p.
9. _____. 2002. Hidrogeología práctica. Guatemala, USAC, Facultad de Agronomía. 192 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, GT). Guatemala, Red CARA. 1 disco compacto 8 mm.
11. IGN (Instituto Geográfico Nacional, GT). 1978. Mapa de cuencas de la república de Guatemala. Guatemala. Esc. 1:500,000. 4h. Color.
12. _____. 1981. Mapa geológico de Guatemala, hoja Cubulco, no. 2061 II. Guatemala. Esc. 1:50,000. Color.
13. _____. 1982a. Mapa topográfico de la república de Guatemala, hoja Granados, no. 2060 I. Guatemala. Esc. 1:50,000. Color.
14. _____. 1982b. Mapa topográfico de la república de Guatemala, hoja Cubulco, no. 2061 II. Guatemala. Esc. 1:50,000. Color.
15. _____. 1982c. Mapa topográfico de la república de Guatemala, hoja Zacualpa, no. 2061 III. Guatemala. Esc. 1:50,000. Color.



Urb. Ricardo Barrios

16. **INAB (Instituto Nacional de Bosques, GT). 2003. Consideraciones técnicas y propuestas de normas de manejo forestal para la conservación de suelo y agua. Guatemala. 34 p.**
17. _____. 2005. Programa de investigación de hidrología forestal. Guatemala. 38 p.
18. **Lerner, DN; Issar, AS; Simmers, I. 1990. Groundwater recharge: a guide to understanding and estimating natural recharge. Germany, Verlag Heinz Heise. v. 8, 345 p.**
19. **Lesser, JM. 2001. Décimo tercer curso internacional en contaminación de acuíferos: restauración de suelos y acuíferos con contaminantes orgánicos. México, UNAM. s.p.**
20. **Linsley, A. 1988. Hidrología para ingenieros. 2 ed. México, McGraw-Hill. 386 p.**
21. **López Bautista, D. 2005. Hidrogeología de la subcuenca del río Platanitos, Guatemala, Guatemala. Tesis Mag. Sc. Costa Rica, UCR. 104 p.**
22. **MAGA (Ministerio de Agricultura, Ganadería y Alimentación, GT). 1991. Plan maestro de riego y drenaje: hidrogeología-disponibilidad de agua subterránea. Guatemala. 72 p. (Proyecto PNUD/OSP/GUA/88/003).**
23. _____. **PAFG (Plan de Acción Forestal para Guatemala, GT); INAB (Instituto Nacional de Bosques, GT); CONAP (Consejo Nacional de Áreas Protegidas, GT). 1999. Política forestal de Guatemala. Guatemala. 41 p.**
24. _____. 1999. **Primera aproximación del mapa de clasificación taxonómica de lo suelos de Guatemala: memoria técnica. (en línea). Guatemala. Consultado 18 feb 2004. Disponible en <http://www.maga.gob.gt/sig>.**
25. _____. 2001. **Mapa fisiográfico geomorfológico de la república de Guatemala: memoria técnica. (en línea). Guatemala. Consultado 18 feb 2004. Disponible en <http://www.maga.gob.gt/sig>.**
26. _____. 2002. **Atlas temático digital de la república de Guatemala. Guatemala. Esc. 1:250,000. Color. 1 disco compacto, 8 mm.**
27. **Maldonado Ramos, BR. 2004. Determinación de la recarga hídrica y propuesta de lineamientos de protección de los recursos naturales, aldea Chojzunil, Santa Eulalia, Huehuetenango. Tesis Ing. Agr. Guatemala, USAC. 96 p.**
28. **MARN (Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales, GT). 2003. Informe del estado del ambiente: geo Guatemala 2003. Guatemala. 224 p.**
29. **Muñoz Palacios, C. 1998. La conceptualización e identificación de zonas de recarga hídrica prioritarias a nivel nacional. Guatemala. 45 p. (Proyecto FAO-GCP/GUA/007/NET)**
30. **Nittler, J; Barahona, R. 1993. El manejo de cuencas en el proyecto de desarrollo agrícola de Guatemala. Guatemala, MAGA. 92 p. (Proyecto de Desarrollo Agrícola G de G/AID520-0274 USAID).**



Uc. 30. *Rolando Barrios*

31. Noriega Arriaga, JP. 2005. Determinación de las áreas principales de recarga hídrica natural en la microcuenca del río Sibacá, Chinique, Quiché. Tesis Ing. Agr. Guatemala, USAC. 72 p.
32. Padilla Cámbara, TA. 2003. Evaluación del potencial hídrico en la microcuenca del río Cantil, para el aprovechamiento de las aguas subterráneas en la finca Sabana Grande, El Rodeo, Escuintla, Guatemala. Tesis Mag. Sc. Costa Rica, UCR. 104 p.
33. _____; Salguero Barahona, MR; Orozco y Orozco, E. 2003. Metodología para la determinación de áreas de recarga hídrica natural. Guatemala, USAC, Facultad de Agronomía – Instituto Nacional de Bosques. 106 p.
34. Palacios Villatoro, R. 2003. Uso y manejo del agua en Guatemala: un enfoque ético ambiental. Tesis Maestría. Guatemala, USAC. 100 p.
35. Ridder, N de. 1994. Primer curso nacional de drenaje agrícola y control de inundaciones a nivel de postgrado: hidrogeología de los diferentes tipos de zonas llanas. Guatemala, USAC, Facultad de Agronomía. 33 p.
36. _____. 1995. Tercer curso nacional de drenaje agrícola y control de inundaciones a nivel de postgrado: análisis de balances hídricos. Guatemala, USAC, Facultad de Agronomía. 44 p.
37. Salguero Barahona, MR. 2002. Estudio hidrogeológico con fines de riego, de la cuenca del río Acomé, Escuintla, Guatemala. Tesis Maestría. Guatemala, USAC. 220 p.
38. Sandoval Illescas, JE. 1989. Principios de riego y drenaje. Guatemala, USAC, Facultad de Agronomía. 345 p.
39. 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.
40. SEPREM (Secretaría Presidencial de la Mujer, GT). 2002. Recopilación de leyes. Guatemala. 104 p.
41. Simmons, C; Tarano, JM; Pinto, JH. 1959. Clasificación a nivel de reconocimiento de los suelos de la república de Guatemala. Trad. P Tirado. Guatemala, José Pineda Ibarra. 1000 p.
42. Vargas, A. 2002. Manantiales de una parte del valle central de Costa Rica. Revista Geológica de América Central no. 27: 39-52.



Dr. Rolando Bamios

10. ANEXOS

10.1 DATOS CLIMÁTICOS DE LA MICROCUENCA DEL RÍO TZULBÁ

Cuadro 40A. Precipitación diaria en mm de la estación Xeabaj, abril 2004 – marzo 2005.

Día	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Sep.	Octubre	Noviembre	Diciembre	Enero	Febrero	Marzo
1	0.0	10.6	0.0	33.4	0.0	0.0	7.7	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
2	0.0	8.1	5.9	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
3	1.6	28.1	14.1	0.0	2.1	12.5	0.0	7.5	0.0	0.0	0.0	0.0
4	7.8	0.2	26.3	0.3	0.0	48.8	17.2	0.6	0.0	0.0	9.8	0.0
5	0.0	0.0	0.0	6.9	24.3	0.6	18.4	7.8	0.0	0.0	0.0	0.0
6	0.0	0.0	0.0	18.9	0.0	8.4	11.6	14.1	0.0	0.0	0.0	0.0
7	0.2	1.0	7.8	12.2	17.5	60.0	25.6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
8	0.0	0.0	25.2	27.4	0.0	1.3	1.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
9	0.0	0.0	23.8	31.1	0.0	0.0	36.6	0.0	0.0	7.6	0.0	0.0
10	0.0	0.0	24.9	28.8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
11	0.0	0.0	17.5	39.3	0.0	1.9	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
12	0.0	0.0	0.2	0.3	26.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
13	0.0	16.9	0.0	0.0	0.0	20.6	8.6	0.0	6.5	0.0	0.0	0.0
14	0.0	2.8	0.0	3.4	0.0	0.0	20.0	0.0	7.9	0.0	0.0	0.0
15	0.0	0.7	40.9	0.3	0.0	29.7	0.0	1.3	0.0	0.0	0.0	0.0
16	0.0	51.8	25.4	0.0	0.0	1.6	0.4	25.6	0.0	0.0	0.0	0.0
17	0.0	20.8	0.0	0.0	9.1	0.0	54.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
18	0.0	7.1	0.0	0.0	0.0	0.0	12.5	9.8	0.0	0.0	0.0	0.0
19	0.0	0.8	9.4	0.0	7.2	21.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
20	0.0	4.6	0.0	17.9	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
21	0.0	4.4	0.0	30.3	0.0	0.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
22	0.0	0.0	50.6	20.3	0.0	13.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
23	0.0	34.7	0.0	0.0	0.0	4.9	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
24	0.0	20.9	16.1	0.0	6.2	0.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
25	0.0	0.0	2.6	0.0	25.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
26	0.0	0.0	5.2	36.3	0.0	0.0	0.0	10.9	0.0	0.0	0.0	0.0
27	0.0	23.6	0.0	0.0	0.0	2.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
28	0.0	7.8	0.0	0.0	12.5	22.9	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
29	0.0	12.2	3.6	0.0	19.4	12.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
30	0.0	0.0	13.7	20.9	2.4	14.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
31		0.0		28.8	0.0		0.0		0.0	0.0		0.0
Total	9.6	257.0	313.1	356.6	151.8	277.8	214.2	77.7	23.1	15.4	9.8	0.0

Cuadro 41A. Temperatura máxima diaria en °C, estación Xeabaj, abril 2004 – marzo 2005.

Día	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Sep.	Octubre	Noviembre	Diciembre	Enero	Febrero	Marzo
1	26	25	24	22	25	22	22	26	25	20	20	20
2	27	25	23	21	23	25	22	26	21	22	22	21
3	21	25	22	21	24	25	22	25	20	23	23	23
4	23	25	21	21	25	25	23	20	22	21	25	22
5	25	23	21	22	25	26	21	22	22	26	21	26
6	24	27	22	22	25	26	21	21	23	25	26	23
7	37	26	23	23	25	25	24	25	21	23	22	25
8	29	27	20	19	23	25	25	21	26	20	23	20
9	27	26	23	21	25	25	25	21	23	22	26	22
10	29	27	22	21	24	23	25	23	20	21	25	21
11	24	26	21	20	25	23	25	22	22	26	21	23
12	29	27	21	21	24	24	25	21	21	23	22	26
13	29	26	24	22	24	22	26	21	23	25	20	25
14	24	25	25	22	24	24	24	22	20	20	23	23
15	26	21	25	20	25	24	23	21	22	21	21	20
16	24	25	22	22	25	22	25	25	23	22	22	24
17	22	26	23	24	21	25	24	20	23	26	23	21
18	23	21	22	21	22	24	24	22	25	23	21	22
19	22	19	24	25	21	26	24	21	22	21	26	26
20	23	22	22	24	22	25	25	23	20	20	20	20
21	25	22	22	23	25	26	25	23	21	22	21	25
22	23	23	21	23	25	23	25	26	23	25	23	21
23	26	20	23	24	25	25	25	26	26	26	25	23
24	25	22	23	24	22	24	24	25	23	23	22	22
25	25	24	22	22	22	26	24	26	22	20	26	25
26	25	24	21	22	21	24	25	20	21	22	20	22
27	28	23	22	22	22	24	24	21	20	21	23	29
28	26	25	21	22	23	25	22	23	25	26	21	25
29	23	25	21	26	20	25	22	20	22	23		25
30	27	24	22	25	22	24	21	26	23	20		27
31		23		24	24		23		21	21		25
Total	25.57	24.16	22.27	22.29	23.48	24.4	23.71	22.8	22.29	22.55	22.61	23.29

Cuadro 42A. Temperatura mínima diaria en °C, estación Xeabaj, abril 2004 – marzo 2005.

Día	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Sep.	Octubre	Noviembre	Diciembre	Enero	Febrero	Marzo
1	14	14	14	12	14	12	13	11	14	15	14	14
2	14	16	14	14	14	13	12	14	14	14	14	14
3	10	14	13	12	13	13	12	14	15	14	14	14
4	11	16	15	11	13	14	13	14	14	13	13	13
5	12	14	12	13	13	14	14	14	13	14	14	15
6	14	16	14	13	14	13	14	13	14	14	14	14
7	13	15	15	14	13	14	14	15	14	15	15	14
8	15	16	14	13	14	13	14	15	14	13	14	14
9	12	10	13	13	14	13	14	14	14	14	14	13
10	17	14	14	14	13	14	14	13	14	14	14	15
11	14	12	14	13	14	17	14	14	14	14	13	14
12	12	16	13	14	14	14	15	14	14	15	15	14
13	12	16	14	12	14	14	14	14	13	14	14	14
14	11	15	13	12	14	15	14	13	14	13	14	15
15	16	14	14	12	13	14	14	14	15	14	14	16
16	10	15	13	12	14	15	13	14	14	14	14	14
17	12	14	13	13	14	15	14	14	13	14	13	14
18	13	14	13	13	14	15	13	15	13	13	14	14
19	10	13	14	14	14	14	14	15	14	14	15	14
20	13	12	14	14	13	14	14	13	14	14	14	15
21	16	14	14	13	12	14	14	14	15	15	14	15
22	14	15	15	13	14	14	12	14	14	14	13	13
23	13	14	14	14	14	14	13	14	14	14	15	14
24	15	14	13	14	14	14	11	13	13	13	14	15
25	15	14	12	14	13	14	12	14	14	14	14	15
26	13	15	15	14	12	14	11	14	14	14	14	15
27	13	14	14	13	12	14	11	15	14	14	14	15
28	12	13	12	12	13	14	13	13	15	13	14	15
29	17	14	14	13	14	14	14	14	13	14		15
30	17	13	15	14	13	14	14	14	14	14		14
31		13		15	13		13		14	14		14
Total	13.33	14.16	13.7	13.13	13.45	14	13.26	13.87	13.94	13.94	14	14.32

Cuadro 43A. Temperatura media diaria en °C, estación Xeabaj, abril 2004 – marzo 2005.

Día	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Sep.	Octubre	Noviembre	Diciembre	Enero	Febrero	Marzo
1	20.00	19.50	19.00	17.00	19.50	17.00	17.50	18.50	19.50	17.50	17.00	17.00
2	20.50	20.50	18.50	17.50	18.50	19.00	17.00	20.00	17.50	18.00	18.00	17.50
3	15.50	19.50	17.50	16.50	18.50	19.00	17.00	19.50	17.50	18.50	18.50	18.50
4	17.00	20.50	18.00	16.00	19.00	19.50	18.00	17.00	18.00	17.00	19.00	17.50
5	18.50	18.50	16.50	17.50	19.00	20.00	17.50	18.00	17.50	20.00	17.50	20.50
6	19.00	21.50	18.00	17.50	19.50	19.50	17.50	17.00	18.50	19.50	20.00	18.50
7	25.00	20.50	19.00	18.50	19.00	19.50	19.00	20.00	17.50	19.00	18.50	19.50
8	22.00	21.50	17.00	16.00	18.50	19.00	19.50	18.00	20.00	16.50	18.50	17.00
9	19.50	18.00	18.00	17.00	19.50	19.00	19.50	17.50	18.50	18.00	20.00	17.50
10	23.00	20.50	18.00	17.50	18.50	18.50	19.50	18.00	17.00	17.50	19.50	18.00
11	19.00	19.00	17.50	16.50	19.50	20.00	19.50	18.00	18.00	20.00	17.00	18.50
12	20.50	21.50	17.00	17.50	19.00	19.00	20.00	17.50	17.50	19.00	18.50	20.00
13	20.50	21.00	19.00	17.00	19.00	18.00	20.00	17.50	18.00	19.50	17.00	19.50
14	17.50	20.00	19.00	17.00	19.00	19.50	19.00	17.50	17.00	16.50	18.50	19.00
15	21.00	17.50	19.50	16.00	19.00	19.00	18.50	17.50	18.50	17.50	17.50	18.00
16	17.00	20.00	17.50	17.00	19.50	18.50	19.00	19.50	18.50	18.00	18.00	19.00
17	17.00	20.00	18.00	18.50	17.50	20.00	19.00	17.00	18.00	20.00	18.00	17.50
18	18.00	17.50	17.50	17.00	18.00	19.50	18.50	18.50	19.00	18.00	17.50	18.00
19	16.00	16.00	19.00	19.50	17.50	20.00	19.00	18.00	18.00	17.50	20.50	20.00
20	18.00	17.00	18.00	19.00	17.50	19.50	19.50	18.00	17.00	17.00	17.00	17.50
21	20.50	18.00	18.00	18.00	18.50	20.00	19.50	18.50	18.00	18.50	17.50	20.00
22	18.50	19.00	18.00	18.00	19.50	18.50	18.50	20.00	18.50	19.50	18.00	17.00
23	19.50	17.00	18.50	19.00	19.50	19.50	19.00	20.00	20.00	20.00	20.00	18.50
24	20.00	18.00	18.00	19.00	18.00	19.00	17.50	19.00	18.00	18.00	18.00	18.50
25	20.00	19.00	17.00	18.00	17.50	20.00	18.00	20.00	18.00	17.00	20.00	20.00
26	19.00	19.50	18.00	18.00	16.50	19.00	18.00	17.00	17.50	18.00	17.00	18.50
27	20.50	18.50	18.00	17.50	17.00	19.00	17.50	18.00	17.00	17.50	18.50	22.00
28	19.00	19.00	16.50	17.00	18.00	19.50	17.50	18.00	20.00	19.50	17.50	20.00
29	20.00	19.50	17.50	19.50	17.00	19.50	18.00	17.00	17.50	18.50		20.00
30	22.00	18.50	18.50	19.50	17.50	19.00	17.50	20.00	18.50	17.00		20.50
31		18.00		19.50	18.50		18.00		17.50	17.50		19.50
Total	19.45	19.16	17.98	17.71	18.47	19.2	18.48	18.33	18.11	18.24	18.3	18.81

Cuadro 44A. ETP potencial diaria en mm, estación Xeabaj, abril 2004 – marzo 2005.

Día	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Sep.	Octubre	Noviembre	Diciembre	Enero	Febrero	Marzo
1	4.26	4.17	4.18	3.96	4.21	3.77	3.55	3.29	3.16	3.10	3.37	3.70
2	4.31	4.28	4.13	4.01	4.10	3.98	3.50	3.43	3.00	3.14	3.46	3.76
3	3.75	4.17	4.01	3.90	4.10	3.98	3.50	3.38	3.00	3.18	3.51	3.86
4	3.92	4.28	4.07	3.84	4.16	4.04	3.61	3.15	3.04	3.05	3.56	3.76
5	4.09	4.05	3.90	4.01	4.16	4.09	3.55	3.24	3.00	3.32	3.41	4.08
6	4.14	4.39	4.07	4.01	4.21	4.04	3.55	3.15	3.08	3.27	3.66	3.86
7	4.82	4.28	4.18	4.13	4.16	4.04	3.71	3.43	3.00	3.23	3.51	3.97
8	4.48	4.39	3.96	3.84	4.10	3.98	3.76	3.24	3.21	3.01	3.51	3.70
9	4.20	4.00	4.07	3.96	4.21	3.98	3.76	3.20	3.08	3.14	3.66	3.76
10	4.59	4.28	4.07	4.01	4.10	3.93	3.76	3.24	2.95	3.10	3.61	3.81
11	4.14	4.11	4.01	3.90	4.21	4.09	3.76	3.24	3.04	3.32	3.37	3.86
12	4.31	4.39	3.96	4.01	4.16	3.98	3.81	3.20	3.00	3.23	3.51	4.02
13	4.31	4.33	4.18	3.96	4.16	3.88	3.81	3.20	3.04	3.27	3.37	3.97
14	3.97	4.22	4.18	3.96	4.16	4.04	3.71	3.20	2.95	3.01	3.51	3.92
15	4.37	3.94	4.24	3.84	4.16	3.98	3.66	3.20	3.08	3.10	3.41	3.81
16	3.92	4.22	4.01	3.96	4.21	3.93	3.71	3.38	3.08	3.14	3.46	3.92
17	3.92	4.22	4.07	4.13	3.99	4.09	3.71	3.15	3.04	3.32	3.46	3.76
18	4.03	3.94	4.01	3.96	4.04	4.04	3.66	3.29	3.12	3.14	3.41	3.81
19	3.81	3.77	4.18	4.24	3.99	4.09	3.71	3.24	3.04	3.10	3.71	4.02
20	4.03	3.89	4.07	4.18	3.99	4.04	3.76	3.24	2.95	3.05	3.37	3.76
21	4.31	4.00	4.07	4.07	4.10	4.09	3.76	3.29	3.04	3.18	3.41	4.02
22	4.09	4.11	4.07	4.07	4.21	3.93	3.66	3.43	3.08	3.27	3.46	3.70
23	4.20	3.89	4.13	4.18	4.21	4.04	3.71	3.43	3.21	3.32	3.66	3.86
24	4.26	4.00	4.07	4.18	4.04	3.98	3.55	3.33	3.04	3.14	3.46	3.86
25	4.26	4.11	3.96	4.07	3.99	4.09	3.61	3.43	3.04	3.05	3.66	4.02
26	4.14	4.17	4.07	4.07	3.87	3.98	3.61	3.15	3.00	3.14	3.37	3.86
27	4.31	4.05	4.07	4.01	3.93	3.98	3.55	3.24	2.95	3.10	3.51	4.24
28	4.14	4.11	3.90	3.96	4.04	4.04	3.55	3.24	3.21	3.27	3.41	4.02
29	4.26	4.17	4.01	4.24	3.93	4.04	3.61	3.15	3.00	3.18		4.02
30	4.48	4.05	4.13	4.24	3.99	3.98	3.55	3.43	3.08	3.05		4.08
31		4.00		4.24	4.10		3.61		3.00	3.10		3.97
Total	125.83	127.96	122.08	125.18	127.01	120.19	113.28	98.22	94.46	98.02	97.79	120.82

Cuadro 45A. Precipitación diaria en mm de la estación Caquil, abril 2004 – marzo 2005.

Día	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Sep.	Octubre	Noviembre	Diciembre	Enero	Febrero	Marzo
1	7	5.5	1.4	0	0	0	5.4	0	0	0	0	0
2	0.9	4.8	2.2	8	0	0	0	0	0	0	0	0.5
3	0	14	1.9	0	1.44	8.8	0	5.2	0	0	0	0
4	1.3	1.7	3.9	0	0	34.2	12.1	0.4	0	0	0	0
5	0	0	2.3	21.8	16.97	0.4	12.9	5.4	0	0	0	0
6	0.2	0.9	1.3	0	0	5.9	8.1	9.8	0	0	0	0
7	0	1	0.9	11	12.25	42.1	18.0	0	0	0	0	0
8	0	0	16.95	23.1	0	0.9	0.9	0	0	0	0	0
9	0	0	35	23	0	0	25.6	0	0	0	0	0
10	0	1	7.4	12	0	0	0	0	0	0	0	3.3
11	0	0	35	0	0	1.4	0	0	0	0	0	0
12	0	0	0	11.8	18.37	0	0	0	0.2	0	0	0
13	0	27.5	21	0	0	14.5	6.0	0	0	0	0	0
14	0	21	33	7.2	0	0	14.0	0	0	0	0	0
15	0	42	23.6	13	0	20.9	0	0.9	0	0	0	0
16	0	32.5	8.8	0	0	1.1	0.3	17.8	0	0	0	0
17	0	1	0	0	6.34	0	38.2	0	0	0	0	0
18	0	1.4	0	0	0	0	8.8	6.8	0	0	0	16.6
19	0	1.8	0	0	5.03	15.1	0	0	0	0	0	0
20	0	1	0	10.6	0	0	0	0	0	0	0	0
21	0	1.6	0	16	0	0.2	0	0	0	0	0	0
22	0	2.8	0	1	0	9.2	0	0	0	0	0	0
23	0	0	0	0	0	3.4	0	0	0	0	0	0
24	0	0.6	0	6.3	4.33	0.2	0	0	0	0	0	0
25	0	1	0	0	17.50	0	0	0	0	0	0	0
26	0	0	36	0	0	0	0	7.60	0	0	0	0
27	0	0.3	0	0	0	1.8	0	0	0	0	0	0
28	0	1.3	1.4	12	8.75	16.1	0	0	0	0	0	0
29	0	7.8	0	0	13.56	8.8	0	0	0	0	0	0
30	0	6.6	18.6	32	1.71	10.1	0	0	0	0	0	0
31		7.2		12.9	0		0		0	0		0
Total	9.4	186.3	250.7	221.7	106.2	195.1	150.2	53.96	0.2	0	0	20.4

Cuadro 46A. Temperatura máxima diaria en °C, estación Caquil, abril 2004 – marzo 2005.

Día	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Sep.	Octubre	Noviembre	Diciembre	Enero	Febrero	Marzo
1	29	28	33	36	29	33	33	28	27	23	27	32
2	27	32	38	34	32	29	33	28	27	24	28	29
3	31	29	39	28	30	29	33	29	25	23	25	27
4	35	36	37	36	29	29	32	36	24	23	24	33
5	32	25	28	30	29	28	34	33	26	24	24	28
6	29	33	36	36	29	28	34	34	32	25	24	31
7	32	26	24	34	29	29	30	29	28	26	28	31
8	38	24	32	39	32	29	29	34	29	28	27	32
9	36	21	28	36	29	29	29	34	27	24	28	32
10	34	18	33	32	30	32	29	32	28	25	29	32
11	38	23	28	23	29	32	29	33	27	25	27	24
12	34	28	36	27	30	30	29	34	24	30	27	29
13	34	34	32	29	30	33	28	34	27	28	25	29
14	32	31	39	27	30	30	30	33	26	33	29	32
15	34	34	33	26	29	30	32	34	26	26	29	32
16	29	36	39	29	29	33	29	29	23	23	28	31
17	27	28	38	23	34	29	30	36	24	26	27	32
18	33	38	36	27	33	30	30	33	28	19	27	32
19	20	34	32	32	34	28	30	34	24	20	29	25
20	28	36	36	32	33	29	29	32	22	27	24	27
21	30	39	30	34	29	28	29	32	27	22	26	31
22	27	32	38	28	29	32	29	28	26	23	25	32
23	33	34	32	32	29	29	29	28	29	22	29	32
24	30	26	29	28	33	30	30	29	29	24	29	31
25	32	38	29	32	33	28	30	28	28	22	31	31
26	29	31	28	28	34	30	29	32	27	25	31	32
27	26	26	29	24	33	30	30	25	23	24	31	31
28	32	32	38	23	32	29	33	28	19	26	33	34
29	28	39	32	21	36	29	33	26	21	29		32
30	23	32	39	28	33	30	34	26	26	25		27
31		31		32	30		32		22	27		32
Total	30.73	30.77	33.35	29.87	31.07	29.96	30.79	31.08	25.84	24.87	27.54	30.48

Cuadro 47A. Temperatura mínima diaria en °C, estación Caquil, abril 2004 – marzo 2005.

Día	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Sep.	Octubre	Noviembre	Diciembre	Enero	Febrero	Marzo
1	17	12	12	15	14	15	15	13	12	8	10	15
2	19	18	22	14	15	14	15	13	13	11	11	17
3	22	17	19	12	14	14	15	14	12	11	14	16
4	19	14	22	11	14	14	15	17	11	16	15	19
5	14	19	19	13	14	13	16	15	12	19	11	17
6	11	14	15	19	14	13	16	16	16	18	19	18
7	14	18	17	13	14	14	14	14	11	19	19	15
8	18	19	16	16	15	14	14	16	12	16	11	15
9	21	11	17	22	14	14	14	16	18	13	17	17
10	14	11	15	13	14	15	14	15	16	15	18	17
11	23	13	16	18	14	15	14	15	17	13	19	15
12	12	16	14	14	14	14	14	16	15	12	19	15
13	12	17	19	14	14	15	13	16	16	11	17	16
14	14	14	17	13	14	14	14	15	17	12	18	15
15	12	21	19	17	14	14	15	16	14	10	17	12
16	10	17	18	22	14	15	14	14	9	14	19	13
17	13	12	16	10	16	14	14	17	10	14	11	14
18	18	15	14	13	15	14	14	15	15	18	11	14
19	8	19	17	19	16	13	14	16	14	19	10	15
20	10	22	14	16	15	14	14	15	17	17	9	17
21	13	14	18	14	14	13	14	15	14	18	13	17
22	11	18	14	12	14	15	14	13	11	10	10	14
23	18	11	14	13	14	14	14	13	12	17	13	15
24	14	18	11	17	15	14	14	14	14	10	14	16
25	16	22	17	13	15	13	14	13	11	15	11	17
26	12	14	16	11	16	14	14	18	19	12	16	16
27	10	11	18	19	15	14	14	17	18	19	15	14
28	14	17	12	17	15	14	15	14	16	17	14	11
29	11	21	19	12	17	14	15	14	17	17		14
30	17	18	22	19	15	14	16	11	11	10		14
31		17		16	14		15		14	16		15
Total	14.57	16.13	16.63	15.08	14.39	13.85	14.25	14.76	14	14.42	14.32	15.32

Cuadro 48A. Temperatura media diaria en °C, estación Caquil, abril 2004 – marzo 2005.

Día	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Sep.	Octubre	Noviembre	Diciembre	Enero	Febrero	Marzo
1	23.00	20.00	22.50	25.50	21.38	24.04	24.04	20.63	19.50	15.50	18.50	18.50
2	23.00	25.00	30.00	24.00	23.08	21.38	24.04	20.63	20.00	17.50	19.50	19.50
3	26.50	23.00	29.00	20.00	22.19	21.38	24.04	21.38	18.50	17.00	19.50	19.50
4	27.00	25.00	29.50	23.50	21.38	21.38	23.08	26.23	17.50	19.50	19.50	19.50
5	23.00	22.00	23.50	21.50	21.38	20.63	25.08	24.04	19.00	21.50	17.50	17.50
6	20.00	23.50	25.50	27.50	21.38	20.63	25.08	25.08	24.00	21.50	21.50	21.50
7	23.00	22.00	20.50	23.50	21.38	21.38	22.19	21.38	19.50	22.50	23.50	23.50
8	28.00	21.50	23.81	27.50	23.08	21.38	21.38	25.08	20.50	22.00	19.00	19.00
9	28.50	16.00	22.50	29.00	21.38	21.38	21.38	25.08	22.50	18.50	22.50	22.50
10	24.00	14.50	23.90	22.50	22.19	23.08	21.38	23.08	22.00	20.00	23.50	23.50
11	30.50	18.00	22.00	20.50	21.38	23.08	21.38	24.04	22.00	19.00	23.00	23.00
12	23.00	22.00	25.00	20.52	22.19	22.19	21.38	25.08	19.50	21.00	23.00	23.00
13	23.00	25.50	25.50	21.59	22.19	24.04	20.63	25.08	21.50	19.50	21.00	21.00
14	23.00	22.50	28.00	20.15	22.19	22.19	22.19	24.04	21.50	22.50	23.50	23.50
15	23.00	27.50	26.00	21.50	21.38	22.19	23.08	25.08	20.00	18.00	23.00	23.00
16	19.50	26.50	28.50	25.50	21.38	24.04	21.38	21.38	16.00	18.50	23.50	23.50
17	20.00	20.00	27.00	16.50	25.08	21.38	22.19	26.23	17.00	20.00	19.00	19.00
18	25.50	26.50	25.00	20.00	24.04	22.19	22.19	24.04	21.50	18.50	19.00	19.00
19	14.00	26.50	24.50	25.50	25.08	20.63	22.19	25.08	19.00	19.50	19.50	19.50
20	19.00	29.00	25.00	24.00	24.04	21.38	21.38	23.08	19.50	22.00	16.50	16.50
21	21.50	26.50	24.00	24.00	21.38	20.63	21.38	23.08	20.50	20.00	19.50	19.50
22	19.00	25.00	26.00	20.00	21.38	23.08	21.38	20.63	18.50	16.50	17.50	19.50
23	25.50	22.50	23.00	22.50	21.38	21.38	21.38	20.63	20.50	19.50	21.00	19.50
24	22.00	22.00	20.00	22.50	24.04	22.19	22.19	21.38	21.50	17.00	21.50	19.50
25	24.00	30.00	23.00	22.50	24.04	20.63	22.19	20.63	19.50	18.50	21.00	19.50
26	20.50	22.50	22.00	19.50	25.08	22.19	21.38	25.00	23.00	18.50	23.50	19.50
27	18.00	18.50	23.50	21.50	24.04	22.19	22.19	21.00	20.50	21.50	23.00	19.50
28	23.00	24.50	25.00	20.00	23.08	21.38	24.04	21.00	17.50	21.50	23.50	19.50
29	19.50	30.00	25.50	16.50	26.23	21.38	24.04	20.00	19.00	23.00		19.50
30	20.00	25.00	30.50	23.50	24.04	22.19	25.08	18.50	18.50	17.50		19.50
31		24.00		24.00	22.19		23.08		18.00	21.50		19.50
Total	22.65	23.45	24.99	22.48	22.73	21.91	22.52	22.92	19.92	19.65	20.93	20.32

Cuadro 49A. ETP potencial diaria en mm, estación Caquil, abril 2004 – marzo 2005.

Día	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Sep.	Octubre	Noviembre	Diciembre	Enero	Febrero	Marzo
1	4.59	4.22	4.58	4.92	4.43	4.53	4.21	3.48	3.17	2.92	3.51	3.87
2	4.59	4.77	5.44	4.75	4.62	4.24	4.21	3.48	3.21	3.10	3.61	3.97
3	4.99	4.55	5.32	4.30	4.52	4.24	4.21	3.55	3.08	3.05	3.61	3.97
4	5.05	4.77	5.38	4.70	4.43	4.24	4.12	3.99	3.00	3.27	3.61	3.97
5	4.59	4.44	4.70	4.47	4.43	4.16	4.32	3.79	3.12	3.45	3.42	3.76
6	4.26	4.61	4.92	5.15	4.43	4.16	4.32	3.89	3.55	3.45	3.80	4.19
7	4.59	4.44	4.35	4.70	4.43	4.24	4.03	3.55	3.17	3.54	4.00	4.40
8	5.16	4.38	4.73	5.15	4.62	4.24	3.95	3.89	3.25	3.49	3.56	3.92
9	5.21	3.77	4.58	5.32	4.43	4.24	3.95	3.89	3.42	3.19	3.90	4.29
10	4.71	3.60	4.74	4.58	4.52	4.43	3.95	3.71	3.38	3.32	4.00	4.40
11	5.44	3.99	4.53	4.35	4.43	4.43	3.95	3.79	3.38	3.23	3.95	4.35
12	4.59	4.44	4.87	4.36	4.52	4.33	3.95	3.89	3.17	3.41	3.95	4.35
13	4.59	4.83	4.92	4.48	4.52	4.53	3.87	3.89	3.34	3.27	3.76	4.13
14	4.59	4.50	5.21	4.32	4.52	4.33	4.03	3.79	3.34	3.54	4.00	4.40
15	4.59	5.05	4.98	4.47	4.43	4.33	4.12	3.89	3.21	3.14	3.95	4.35
16	4.20	4.94	5.26	4.92	4.43	4.53	3.95	3.55	2.87	3.19	4.00	4.40
17	4.26	4.22	5.09	3.90	4.84	4.24	4.03	3.99	2.95	3.32	3.56	3.92
18	4.88	4.94	4.87	4.30	4.73	4.33	4.03	3.79	3.34	3.19	3.56	3.92
19	3.58	4.94	4.81	4.92	4.84	4.16	4.03	3.89	3.12	3.27	3.61	3.97
20	4.14	5.22	4.87	4.75	4.73	4.24	3.95	3.71	3.17	3.49	3.32	3.65
21	4.43	4.94	4.75	4.75	4.43	4.16	3.95	3.71	3.25	3.32	3.61	3.97
22	4.14	4.77	4.98	4.30	4.43	4.43	3.95	3.48	3.08	3.01	3.42	3.97
23	4.88	4.50	4.64	4.58	4.43	4.24	3.95	3.48	3.25	3.27	3.76	3.97
24	4.48	4.44	4.30	4.58	4.73	4.33	4.03	3.55	3.34	3.05	3.80	3.97
25	4.71	5.33	4.64	4.58	4.73	4.16	4.03	3.48	3.17	3.19	3.76	3.97
26	4.31	4.50	4.53	4.24	4.84	4.33	3.95	3.88	3.46	3.19	4.00	3.97
27	4.03	4.05	4.70	4.47	4.73	4.33	4.03	3.52	3.25	3.45	3.95	3.97
28	4.59	4.72	4.87	4.30	4.62	4.24	4.21	3.52	3.00	3.45	4.00	3.97
29	4.20	5.33	4.92	3.90	4.97	4.24	4.21	3.43	3.12	3.58		3.97
30	4.26	4.77	5.49	4.70	4.73	4.33	4.32	3.29	3.08	3.10		3.97
31		4.66		4.75	4.52		4.12		3.04	3.45		3.97
Total	136.66	142.64	145.96	141.96	141.95	129.01	125.91	110.76	99.29	101.90	104.95	125.86

10.2 PRUEBAS DE INFILTRACIÓN E INFORME DE ANÁLISIS DE MUESTRAS DE SUELO

Cuadro 50A. Datos obtenidos en la prueba de infiltración de la unidad 01.

Profundidad del agujero: 42 cm		Diámetro del Agujero: 12.5 cm		% pendiente: 43	
Lugar: Caquil		Uso Actual: Bosque de coníferas		Altitud: 1440 m	
Profundidad efectiva: 50 cm		Limitante: Pedregosidad 80 %		Altura del agua: 34 cm	
Volumen de saturación: 5 gal		Tiempo de saturación: 2 h		Duración de la prueba: 2 h	
Coordenadas UTM: 742180 m este y 1660349 m norte					
Tiempo		Altura		Velocidad de Infiltración	
min	cm	cm/min	mm/min	cm/h	
0	34.0	0	0	0	
2	33.3	0.030	0.30	1.78	
4	32.9	0.017	0.17	1.04	
6	32.6	0.011	0.11	0.66	
8	32.4	0.009	0.09	0.53	
10	32.3	0.005	0.05	0.33	
14	32.1	0.005	0.05	0.30	
18	31.9	0.004	0.04	0.27	
22	31.7	0.004	0.04	0.27	
26	31.5	0.003	0.03	0.20	
30	31.4	0.003	0.03	0.20	
36	31.2	0.003	0.03	0.18	
42	31.0	0.003	0.03	0.18	
48	30.8	0.003	0.03	0.18	
54	30.6	0.003	0.03	0.18	
60	30.4	0.003	0.03	0.18	
68	30.1	0.003	0.03	0.18	
76	29.9	0.003	0.03	0.16	
80	29.8	0.003	0.03	0.18	
90	29.5	0.003	0.03	0.17	
100	29.2	0.003	0.03	0.17	
120	28.6	0.003	0.03	0.18	

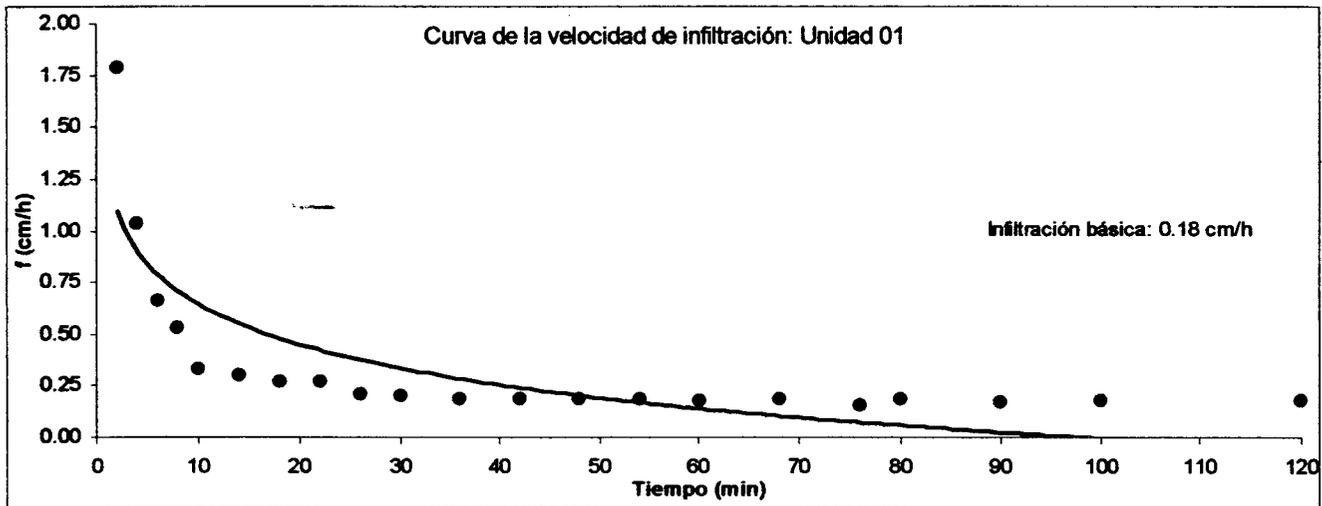


Figura 14A. Curva de infiltración básica de la unidad 01.

Cuadro 51A. Datos obtenidos en la prueba de infiltración de la unidad 02.

Profundidad del agujero: 64 cm		Diámetro del Agujero: 10.5 cm		% pendiente: 38	
Lugar: Caquil		Uso Actual: Cultivos anuales		Altitud: 1500 m	
Profundidad efectiva: 80 cm		Limitante: Pedregosidad 35 %		Altura del agua: 55 cm	
Volumen de saturación: 4 gal		Tiempo de saturación: 1 h		Duración de la prueba: 3 h	
Coordenadas UTM: 742501 m este y 1661255 m norte					
Tiempo	Altura	Velocidad de Infiltración			
		Min	cm	cm/min	mm/min
0	55.0	0		0	0
2	53.5			0.36	2.15
4	51.9			0.36	2.14
6	50.6			0.33	1.97
8	49.4			0.30	1.80
10	48.2			0.31	1.84
14	46.1			0.28	1.66
18	44.5			0.22	1.31
22	42.6			0.27	1.62
26	41.3			0.19	1.15
30	40.1			0.18	1.09
36	38.0			0.22	1.32
42	36.4			0.18	1.05
48	34.7			0.19	1.17
54	33.5			0.14	0.86
60	32.1			0.17	1.04
68	30.6			0.14	0.87
76	29.3			0.13	0.79
84	27.9			0.15	0.88
92	26.5			0.15	0.89
100	25.5			0.13	0.76
110	24.1			0.12	0.75
120	23.0			0.12	0.72
140	20.6			0.12	0.75
160	18.5			0.12	0.75
180	16.6			0.12	0.74

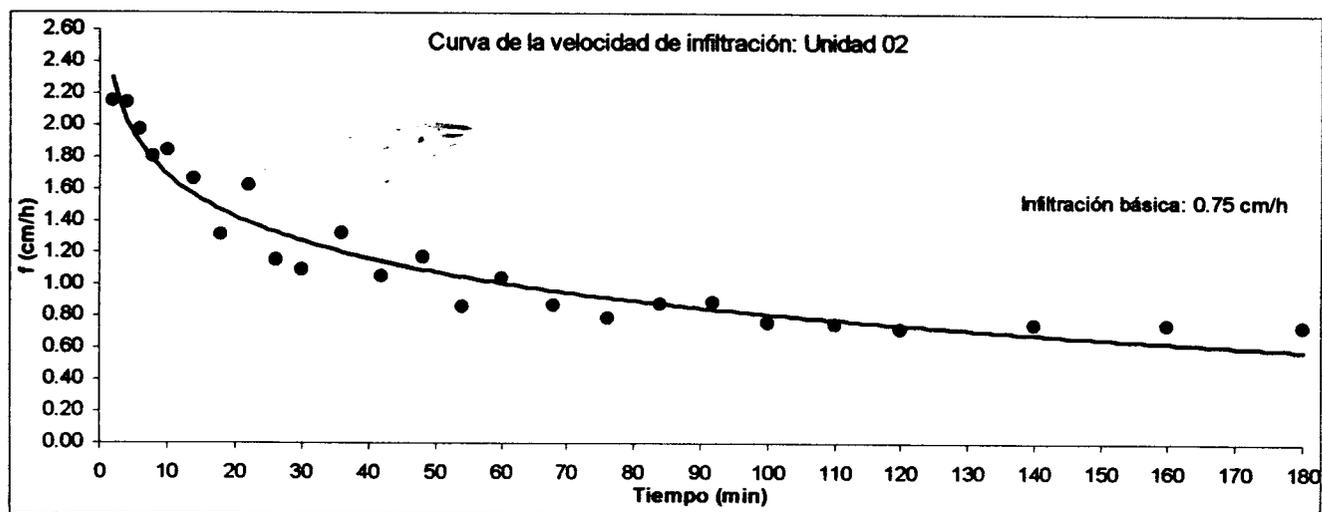


Figura 15A. Curva de infiltración básica de la unidad 02.

Cuadro 52A. Datos obtenidos en la prueba de infiltración de la unidad 03.

Profundidad del agujero: 65 cm		Diámetro del agujero: 14 cm		% pendiente: 43	
Lugar: Xeabaj		Uso actual: Asentamiento humano rural		Altitud: 1902 m	
Profundidad efectiva: > 90 cm		Limitante: ninguna		Altura del agua: 64 cm	
Volumen de saturación: 4 gal		Tiempo de saturación: 1 h		Duración de la prueba: 3 h	
Coordenadas UTM: 741419 m este y 1663824 m norte					
Tiempo Min	Altura cm	Velocidad de Infiltración			
		cm/min	mm/min	cm/h	
0	64.0	0	0	0	
2	62.9	0.029	0.29	1.73	
4	62.0	0.024	0.24	1.43	
6	61.3	0.019	0.19	1.13	
8	60.8	0.014	0.14	0.81	
10	60.3	0.014	0.14	0.82	
14	59.4	0.012	0.12	0.75	
18	58.7	0.010	0.10	0.59	
22	57.8	0.013	0.13	0.77	
26	57.0	0.011	0.11	0.69	
30	56.1	0.013	0.13	0.79	
36	55.2	0.009	0.09	0.53	
42	54.3	0.009	0.09	0.54	
48	53.4	0.009	0.09	0.55	
54	52.6	0.009	0.09	0.53	
60	51.7	0.009	0.09	0.53	
68	50.5	0.010	0.10	0.58	
76	49.3	0.010	0.10	0.59	
84	48.2	0.009	0.09	0.55	
92	47.1	0.009	0.09	0.56	
100	46.0	0.010	0.10	0.58	
110	44.7	0.009	0.09	0.56	
120	43.5	0.009	0.09	0.53	
130	42.4	0.009	0.09	0.52	
140	41.2	0.009	0.09	0.53	
160	39.1	0.008	0.08	0.51	
180	37.0	0.009	0.09	0.53	

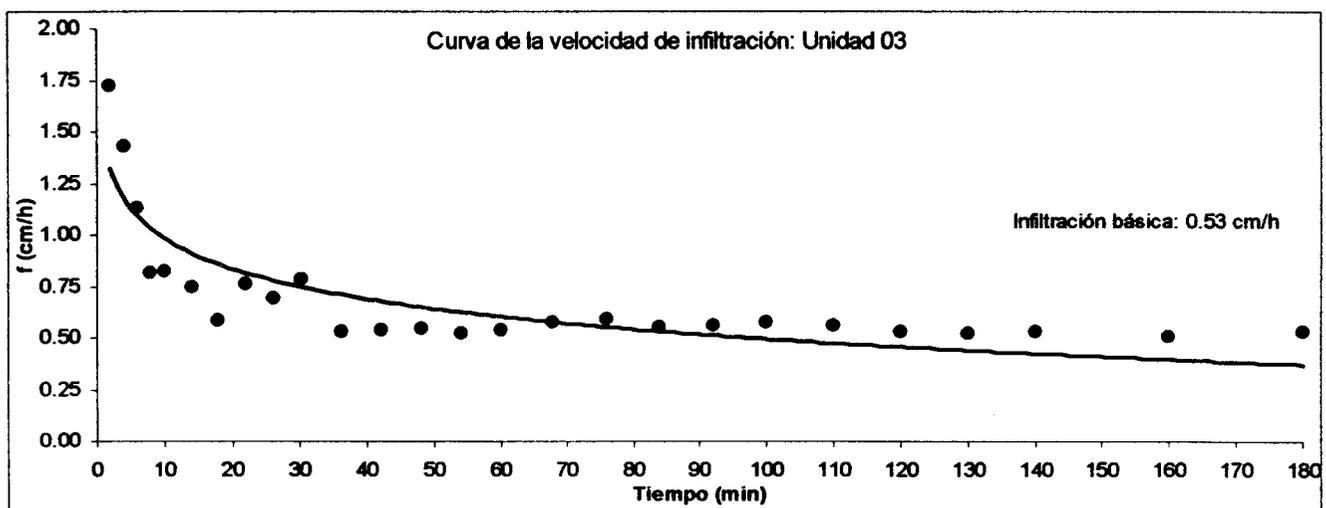


Figura 16A. Curva de infiltración básica de la unidad 03.

Cuadro 53A. Datos obtenidos en la prueba de infiltración de la unidad 04.

Profundidad del agujero: 50 cm		Diámetro del agujero: 12.5 cm		% pendiente: 50	
Lugar: Xebaj		Uso actual: Bosque de coníferas		Altitud: 1713 m	
Profundidad efectiva: > 90 cm		Limitante: ninguna		Altura del agua: 42.5 cm	
Volumen de saturación: 2.5 gal		Tiempo de saturación: 1 h		Duración de la prueba: 3 h	
Coordenadas UTM: 742001 m este y 1662501 m norte					
Tiempo		Altura		Velocidad de Infiltración	
Min	cm	cm/min	mm/min	cm/h	
0	42.5	0	0	0	
2	41.5	0.034	0.34	2.03	
4	41.0	0.020	0.20	1.22	
6	40.4	0.020	0.20	1.18	
8	39.9	0.018	0.18	1.08	
10	39.4	0.018	0.18	1.10	
14	38.5	0.017	0.17	1.00	
18	37.5	0.019	0.19	1.14	
22	36.5	0.019	0.19	1.17	
26	35.5	0.019	0.19	1.14	
30	34.8	0.016	0.16	0.98	
36	33.5	0.017	0.17	1.05	
42	32.2	0.019	0.19	1.13	
48	31.0	0.018	0.18	1.08	
54	29.8	0.018	0.18	1.07	
60	29.0	0.014	0.14	0.86	
68	27.5	0.017	0.17	1.05	
76	26.5	0.014	0.14	0.82	
84	25.5	0.013	0.13	0.80	
92	24.5	0.013	0.13	0.79	
100	23.8	0.011	0.11	0.69	
110	22.8	0.011	0.11	0.67	
120	21.9	0.011	0.11	0.66	
130	21.0	0.011	0.11	0.68	
140	20.1	0.011	0.11	0.68	
160	18.5	0.011	0.11	0.69	
180	17.0	0.011	0.11	0.67	

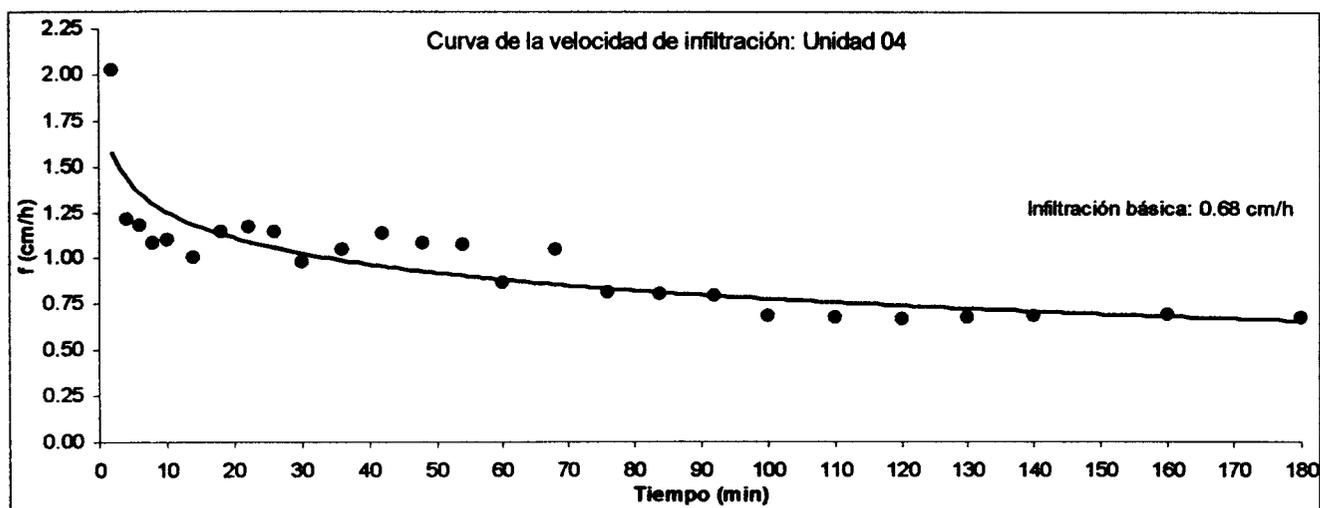
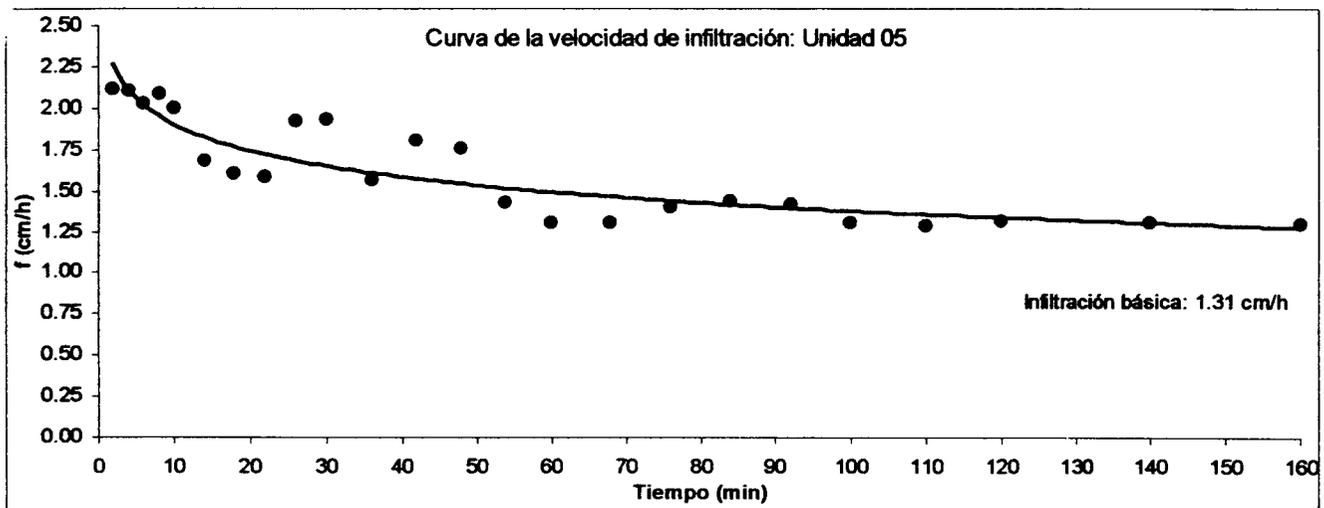


Figura 17A. Curva de infiltración básica de la unidad 04.

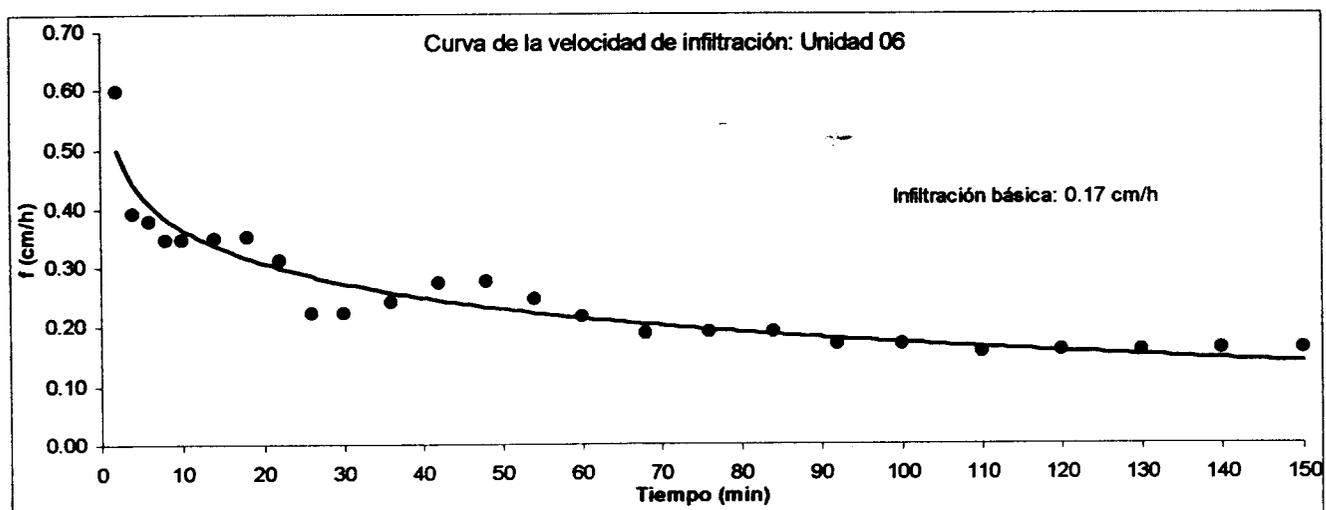
Cuadro 54A. Datos obtenidos en la prueba de infiltración de la unidad 05.

Profundidad del agujero: 62 cm		Diámetro del agujero: 10 cm		% pendiente: 45	
Lugar: Tzajmá Xeabaj		Uso actual: Bosque de latifoliadas		Altitud: 2161 m	
Profundidad efectiva: > 90 cm		Limitante: ninguna		Altura del agua: 55 cm	
Volumen de saturación: 3 gal		Tiempo de saturación: 1.5 h		Duración de la prueba: 2.67 h	
Coordenadas UTM: 739503 m este y 1665500 m norte					
Tiempo		Altura		Velocidad de Infiltración	
Min	cm	cm/min	mm/min	cm/h	
0	55.0	0	0	0	
2	53.4	0.035	0.35	2.12	
4	51.9	0.035	0.35	2.11	
6	50.4	0.034	0.34	2.03	
8	49.0	0.035	0.35	2.08	
10	47.6	0.033	0.33	1.99	
14	45.4	0.028	0.28	1.68	
18	43.4	0.027	0.27	1.60	
22	41.5	0.026	0.26	1.59	
26	39.3	0.032	0.32	1.92	
30	37.2	0.032	0.32	1.93	
36	34.8	0.026	0.26	1.56	
42	32.2	0.030	0.30	1.81	
48	29.8	0.029	0.29	1.75	
54	28.0	0.024	0.24	1.43	
60	26.5	0.022	0.22	1.30	
68	24.6	0.022	0.22	1.31	
76	22.6	0.023	0.23	1.40	
84	20.7	0.024	0.24	1.44	
92	19.0	0.024	0.24	1.42	
100	17.6	0.022	0.22	1.31	
110	16.0	0.021	0.21	1.28	
120	14.4	0.022	0.22	1.32	
140	11.7	0.022	0.22	1.31	
160	9.4	0.022	0.22	1.30	

**Figura 18A. Curva de infiltración básica de la unidad 05.**

Cuadro 55A. Datos obtenidos en la prueba de infiltración de la unidad 06.

Profundidad del agujero: 55 cm		Diámetro del agujero: 12 cm		% pendiente: 35	
Lugar: Xeabaj		Uso actual: Bosque mixto		Altitud: 1805 m	
Profundidad efectiva: 60 cm		Limitante: pedregosidad 30%		Altura del agua: 50 cm	
Volumen de saturación: 3 gal		Tiempo de saturación: 1 h		Duración de la prueba: 2.5 h	
Coordenadas UTM: 741003 m este y 1664767 m norte					
Tiempo Min	Altura cm	Velocidad de Infiltración			
		cm/min	mm/min	cm/h	
0	50.0	0	0	0	
2	49.6	0.010	0.10	0.60	
4	49.4	0.007	0.07	0.39	
6	49.2	0.006	0.06	0.38	
8	49.0	0.006	0.06	0.35	
10	48.8	0.006	0.06	0.35	
14	48.4	0.006	0.06	0.35	
18	48.0	0.006	0.06	0.35	
22	47.6	0.005	0.05	0.31	
26	47.4	0.004	0.04	0.22	
30	47.2	0.004	0.04	0.22	
36	46.8	0.004	0.04	0.24	
42	46.3	0.005	0.05	0.27	
48	45.8	0.005	0.05	0.28	
54	45.5	0.004	0.04	0.25	
60	45.1	0.004	0.04	0.22	
68	44.7	0.003	0.03	0.19	
76	44.3	0.003	0.03	0.19	
84	43.9	0.003	0.03	0.19	
92	43.6	0.003	0.03	0.17	
100	43.2	0.003	0.03	0.17	
110	42.8	0.003	0.03	0.16	
120	42.4	0.003	0.03	0.16	
130	42.0	0.003	0.03	0.16	
140	41.6	0.003	0.03	0.16	
150	41.2	0.003	0.03	0.16	

**Figura 19A. Curva de infiltración básica de la unidad 06.**

Cuadro 56A. Datos obtenidos en la prueba de infiltración de la unidad 07.

Profundidad del agujero: 59 cm		Diámetro del agujero: 10.5 cm		% pendiente: 36	
Lugar: Xeabaj		Uso actual: Cultivos anuales		Altitud: 1753 m	
Profundidad efectiva: 80 cm		Limitante: pedregosidad 15%		Altura del agua: 53 cm	
Volumen de saturación: 3 gal		Tiempo de saturación: 0.5 h		Duración de la prueba: 3.17 h	
Coordenadas UTM: 741999 m este y 1662999 m norte					
Tiempo Min	Altura cm	Velocidad de Infiltración			
		cm/min	mm/min	cm/h	
0	53.0	0	0	0	
2	52.0	0.024	0.24	1.43	
4	51.2	0.019	0.19	1.16	
6	50.4	0.020	0.20	1.18	
8	49.7	0.017	0.17	1.05	
10	49.1	0.015	0.15	0.91	
14	47.9	0.015	0.15	0.92	
18	46.8	0.014	0.14	0.87	
22	45.7	0.015	0.15	0.89	
26	44.9	0.011	0.11	0.66	
30	44.0	0.013	0.13	0.75	
36	43.0	0.009	0.09	0.57	
42	41.9	0.011	0.11	0.64	
48	41.0	0.009	0.09	0.54	
54	40.0	0.010	0.10	0.61	
60	39.1	0.009	0.09	0.56	
68	38.1	0.008	0.08	0.48	
76	36.9	0.010	0.10	0.59	
84	36.0	0.008	0.08	0.45	
92	35.1	0.008	0.08	0.46	
100	34.2	0.008	0.08	0.48	
110	33.2	0.007	0.07	0.43	
120	32.3	0.007	0.07	0.40	
130	31.4	0.007	0.07	0.41	
140	30.6	0.006	0.06	0.37	
150	29.8	0.006	0.06	0.36	
160	29.2	0.006	0.06	0.34	
170	28.5	0.006	0.06	0.35	
180	27.8	0.006	0.06	0.35	
190	27.1	0.006	0.06	0.35	

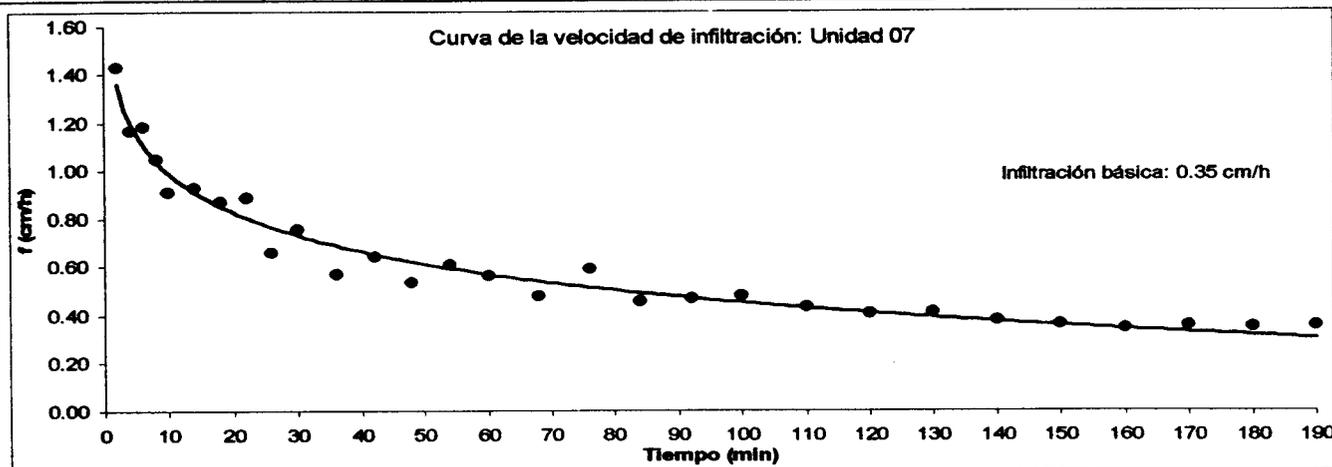


Figura 20A. Curva de infiltración básica de la unidad 07.

Cuadro 57A. Datos obtenidos en la prueba de infiltración de la unidad 08.

Profundidad del agujero: 49 cm		Diámetro del agujero: 12 cm		% pendiente: 46	
Lugar: Xeabaj		Uso actual: Bosque secundario		Altitud: 1656 m	
Profundidad efectiva: 50 cm		Limitante: pedregosidad 40%		Altura del agua: 45 cm	
Volumen de saturación: 2 gal		Tiempo de saturación: 0.5 h		Duración de la prueba: 3 h	
Coordenadas UTM: 742661 m este y 1663492 m norte					
Tiempo		Altura		Velocidad de Infiltración	
Min	cm	cm/min	mm/min	cm/h	
0	45.0	0	0	0	
2	44.0	0.032	0.32	1.89	
4	43.2	0.026	0.26	1.55	
6	42.6	0.020	0.20	1.18	
8	41.7	0.030	0.30	1.79	
10	41.0	0.024	0.24	1.42	
14	39.6	0.024	0.24	1.46	
18	38.3	0.023	0.23	1.39	
22	37.1	0.022	0.22	1.33	
26	35.9	0.023	0.23	1.37	
30	34.7	0.024	0.24	1.41	
36	33.3	0.019	0.19	1.14	
42	31.9	0.020	0.20	1.18	
48	30.6	0.019	0.19	1.14	
54	29.5	0.017	0.17	1.00	
60	28.4	0.017	0.17	1.01	
68	27.1	0.017	0.17	1.00	
76	25.7	0.018	0.18	1.07	
84	24.2	0.019	0.19	1.13	
92	22.9	0.018	0.18	1.10	
100	21.8	0.017	0.17	1.02	
110	20.6	0.015	0.15	0.89	
120	19.5	0.014	0.14	0.86	
130	18.5	0.014	0.14	0.86	
140	17.5	0.014	0.14	0.86	
160	15.6	0.014	0.14	0.85	
180	13.9	0.014	0.14	0.86	

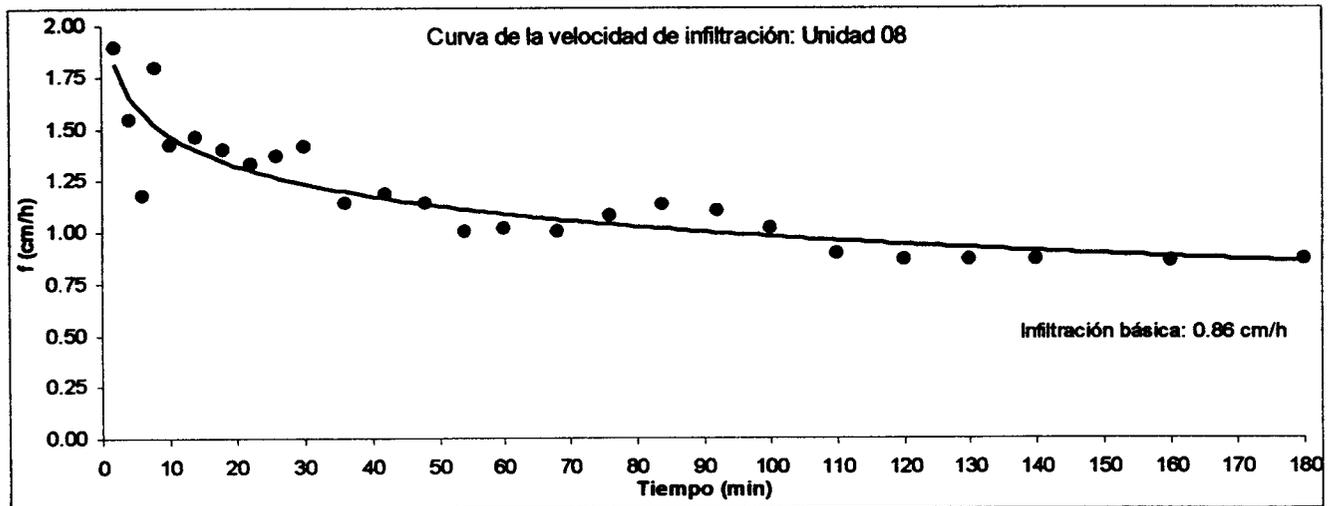


Figura 21A. Curva de infiltración básica de la unidad 08.

Cuadro 58A. Datos obtenidos en la prueba de infiltración de la unidad 09.

Profundidad del agujero: 58 cm		Diámetro del agujero: 12 cm		% pendiente: 55	
Lugar: Chicotom Xebalanguac		Uso actual: Bosque de coníferas		Altitud: 1589 m	
Profundidad efectiva: > 90 cm		Limitante: ninguna		Altura del agua: 53.5 cm	
Volumen de saturación: 10 gal		Tiempo de saturación: 2 h		Duración de la prueba: 3 h	
Coordenadas UTM: 744131 m este y 1662126 m norte					
Tiempo		Altura		Velocidad de Infiltración	
Min	cm	cm/min	mm/min	cm/h	
0	53.5	0	0	0	
2	51.4	0.057	0.57	3.41	
4	49.4	0.056	0.56	3.37	
6	47.5	0.055	0.55	3.32	
8	46.1	0.042	0.42	2.53	
10	45.1	0.031	0.31	1.85	
14	43.3	0.029	0.29	1.72	
18	41.9	0.023	0.23	1.38	
22	40.5	0.024	0.24	1.43	
26	39.5	0.017	0.17	1.05	
30	38.4	0.020	0.20	1.18	
36	37.4	0.012	0.12	0.73	
42	35.9	0.019	0.19	1.14	
48	34.7	0.016	0.16	0.94	
54	33.7	0.013	0.13	0.81	
60	32.9	0.011	0.11	0.66	
68	31.7	0.013	0.13	0.76	
76	30.5	0.013	0.13	0.76	
84	29.8	0.008	0.08	0.51	
92	28.9	0.010	0.10	0.63	
100	28.0	0.011	0.11	0.64	
110	27.0	0.009	0.09	0.56	
120	26.2	0.009	0.09	0.52	
130	25.4	0.009	0.09	0.53	
140	24.5	0.009	0.09	0.52	
160	23.0	0.009	0.09	0.52	
180	21.6	0.008	0.08	0.51	

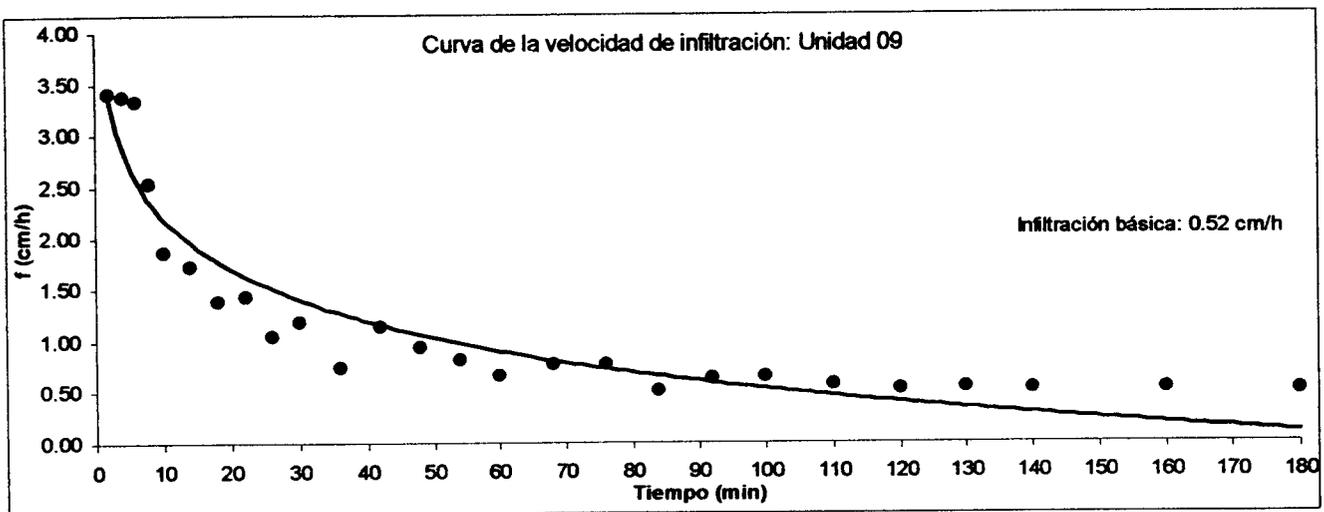


Figura 22A. Curva de infiltración básica de la unidad 09.

Cuadro 59A. Datos obtenidos en la prueba de infiltración de la unidad 10.

Profundidad del agujero: 54 cm		Diámetro del agujero: 11 cm		% pendiente: 35	
Lugar: Caquil		Uso actual: Cultivos anuales		Altitud: 1539 m	
Profundidad efectiva: 60 cm		Limitante: pedregosidad 80%		Altura del agua: 45 cm	
Volumen de saturación: 3 gal		Tiempo de saturación: 0.5 h		Duración de la prueba: 2.5 h	
Coordenadas UTM: 742312 m este y 1661174 m norte					
Tiempo Min	Altura cm	Velocidad de Infiltración			
		cm/min	mm/min	cm/h	
0	45.0	0	0	0	
2	44.3	0.022	0.22	1.31	
4	43.6	0.019	0.19	1.15	
6	43.0	0.018	0.18	1.07	
8	42.4	0.018	0.18	1.09	
10	41.8	0.018	0.18	1.10	
14	40.6	0.019	0.19	1.13	
18	39.5	0.018	0.18	1.06	
22	38.4	0.017	0.17	1.04	
26	37.4	0.018	0.18	1.06	
30	36.5	0.016	0.16	0.94	
36	35.4	0.013	0.13	0.78	
42	34.4	0.012	0.12	0.73	
48	33.3	0.013	0.13	0.79	
54	32.4	0.012	0.12	0.73	
60	31.5	0.012	0.12	0.71	
68	30.3	0.012	0.12	0.71	
76	29.4	0.011	0.11	0.63	
84	28.4	0.010	0.10	0.60	
92	27.6	0.009	0.09	0.54	
100	26.9	0.009	0.09	0.53	
110	25.9	0.009	0.09	0.54	
130	24.1	0.009	0.09	0.54	
150	22.4	0.009	0.09	0.54	

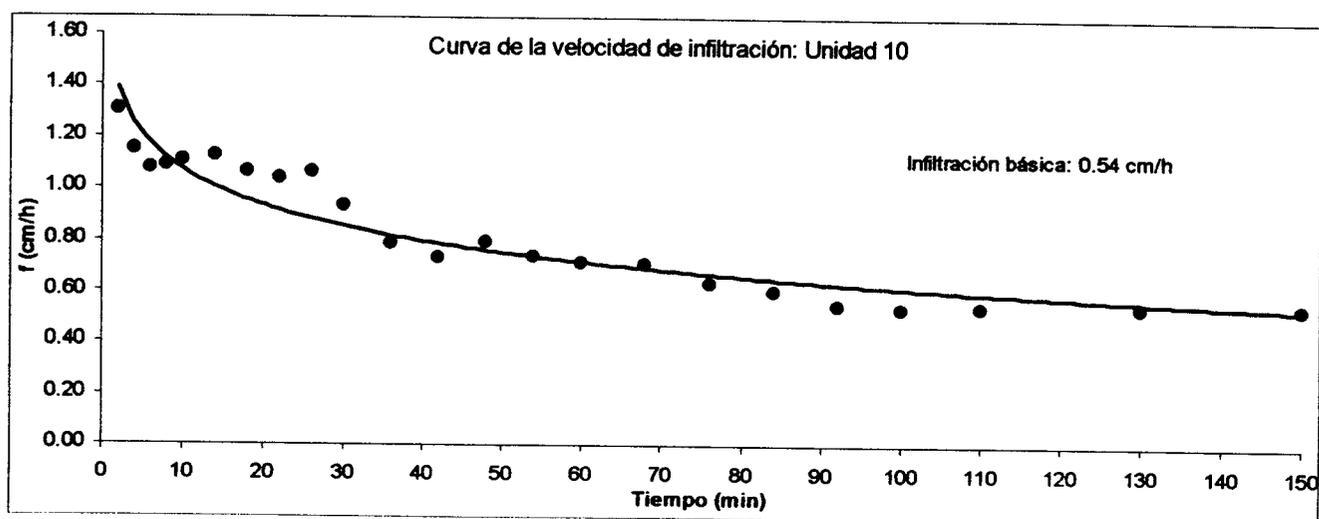
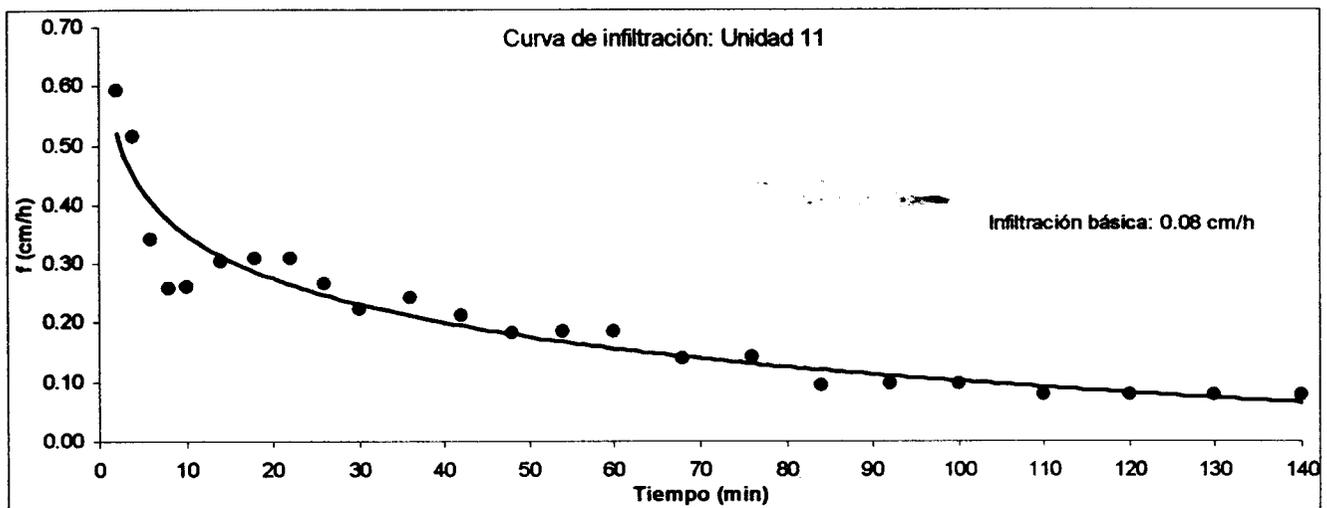


Figura 23A. Curva de infiltración básica de la unidad 10.

Cuadro 60A. Datos obtenidos en la prueba de infiltración de la unidad 11.

Profundidad del agujero: 55 cm		Diámetro del agujero: 10.5 cm		% pendiente: 60	
Lugar: Sajquim Xeabaj		Uso actual: Bosque de coníferas		Altitud: 1645 m	
Profundidad efectiva: 65 cm		Limitante: pedregosidad 50%		Altura del agua: 44 cm	
Volumen de saturación: 3 gal		Tiempo de saturación: 0.5 h		Duración de la prueba: 2.33 h	
Coordenadas UTM: 743243 m este y 1663339 m norte					
Tiempo Min	Altura cm	Velocidad de Infiltración			
		cm/min	mm/min	cm/h	
0	44.0	0	0	0	
2	43.7	0.010	0.10	0.59	
4	43.3	0.009	0.09	0.51	
6	43.2	0.006	0.06	0.34	
8	43.0	0.004	0.04	0.26	
10	42.9	0.004	0.04	0.26	
14	42.5	0.005	0.05	0.30	
18	42.1	0.005	0.05	0.31	
22	41.8	0.005	0.05	0.31	
26	41.5	0.004	0.04	0.27	
30	41.3	0.004	0.04	0.22	
36	40.8	0.004	0.04	0.24	
42	40.5	0.004	0.04	0.21	
48	40.2	0.003	0.03	0.18	
54	39.9	0.003	0.03	0.18	
60	39.6	0.003	0.03	0.19	
68	39.3	0.002	0.02	0.14	
76	39.0	0.002	0.02	0.14	
84	38.8	0.002	0.02	0.09	
92	38.6	0.002	0.02	0.10	
100	38.4	0.002	0.02	0.10	
110	38.2	0.001	0.01	0.08	
120	38.0	0.001	0.01	0.08	
130	37.8	0.001	0.01	0.08	
140	37.6	0.001	0.01	0.08	

**Figura 24A. Curva de infiltración básica de la unidad 11.**

Cuadro 61A. Datos obtenidos en la prueba de infiltración de la unidad 12.

Profundidad del agujero: 60 cm		Diámetro del agujero: 10 cm		% pendiente: 25	
Lugar: Xeabaj		Uso actual: cultivos anuales		Altitud: 1662 m	
Profundidad efectiva: 80 cm		Limitante: pedregosidad 60%		Altura del agua: 56 cm	
Volumen de saturación: 4 gal		Tiempo de saturación: 0.5 h		Duración de la prueba: 2.67 h	
Coordenadas UTM: 742254 m este y 1663501 m norte					
Tiempo		Altura		Velocidad de Infiltración	
Min	cm	cm/min	mm/min	cm/h	
0	56.0	0	0	0	
2	54.6	0.030	0.30	1.82	
4	53.3	0.029	0.29	1.73	
6	52.0	0.028	0.28	1.70	
8	51.1	0.023	0.23	1.39	
10	49.9	0.026	0.26	1.56	
14	48.5	0.018	0.18	1.05	
18	47.2	0.017	0.17	1.01	
22	45.6	0.019	0.19	1.15	
26	44.5	0.015	0.15	0.91	
30	43.3	0.016	0.16	0.97	
36	42.0	0.012	0.12	0.72	
42	40.6	0.013	0.13	0.80	
48	39.5	0.011	0.11	0.65	
54	38.2	0.013	0.13	0.79	
60	37.2	0.010	0.10	0.62	
68	36.0	0.010	0.10	0.60	
76	34.6	0.011	0.11	0.65	
84	33.8	0.007	0.07	0.43	
92	33.0	0.007	0.07	0.42	
100	32.2	0.008	0.08	0.45	
110	31.1	0.007	0.07	0.44	
120	30.5	0.005	0.05	0.31	
130	29.9	0.004	0.04	0.24	
140	29.4	0.004	0.04	0.24	
150	28.9	0.004	0.04	0.24	
160	28.4	0.004	0.04	0.24	

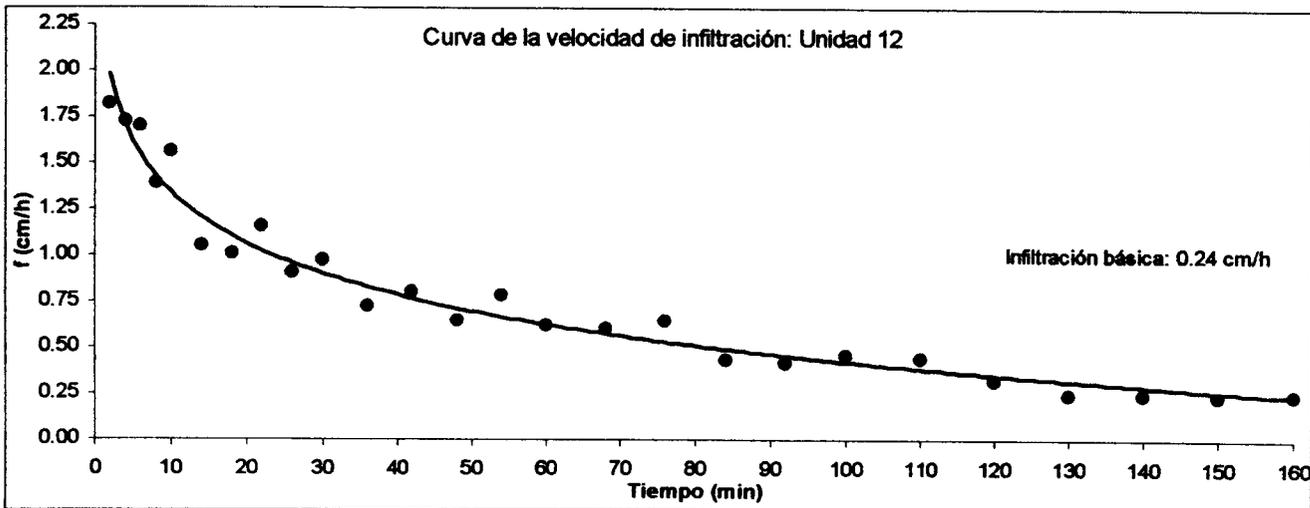


Figura 25A. Curva de infiltración básica de la unidad 12.

Cuadro 62A. Datos obtenidos en la prueba de infiltración de la unidad 13.

Profundidad del agujero: 59 cm		Diámetro del agujero: 11 cm		% pendiente: 25	
Lugar: Xeabaj		Uso actual: Bosque secundario		Altitud: 1586 m	
Profundidad efectiva: 70 cm		Limitante: pedregosidad 50%		Altura del agua: 55.5 cm	
Volumen de saturación: 2 gal		Tiempo de saturación: 0.5 h		Duración de la prueba: 2.57 h	
Coordenadas UTM: 742591 m este y 1663252 m norte					
Tiempo min	Altura cm	Velocidad de Infiltración			
		cm/min	mm/min	cm/h	
0	55.5	0	0	0	
2	55.1	0.009	0.09	0.57	
4	54.8	0.007	0.07	0.43	
6	54.5	0.007	0.07	0.43	
8	54.2	0.007	0.07	0.43	
10	54.0	0.006	0.06	0.36	
14	53.5	0.006	0.06	0.37	
18	52.9	0.007	0.07	0.41	
22	52.3	0.007	0.07	0.41	
26	51.9	0.006	0.06	0.34	
30	51.4	0.006	0.06	0.38	
36	50.7	0.006	0.06	0.36	
42	50.1	0.005	0.05	0.31	
48	49.5	0.005	0.05	0.31	
54	49.0	0.004	0.04	0.26	
60	48.6	0.004	0.04	0.24	
68	47.9	0.004	0.04	0.24	
76	47.4	0.004	0.04	0.22	
84	46.9	0.004	0.04	0.22	
92	46.4	0.003	0.03	0.19	
100	46.0	0.003	0.03	0.19	
110	45.4	0.003	0.03	0.17	
120	45.0	0.003	0.03	0.17	
130	44.5	0.003	0.03	0.16	
142	43.9	0.003	0.03	0.17	
154	43.4	0.003	0.03	0.17	

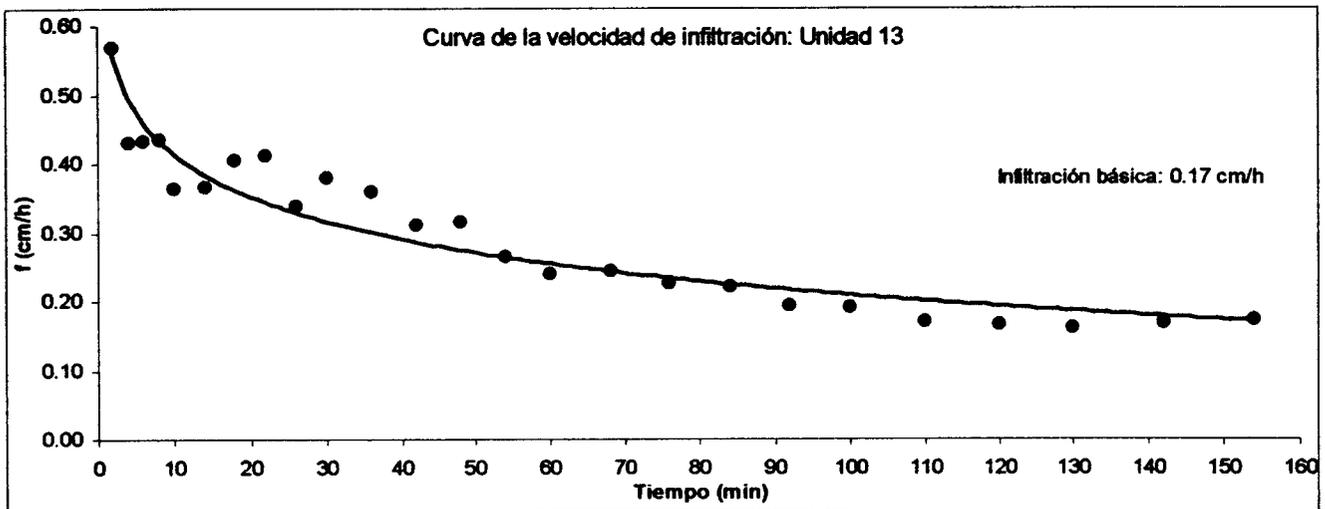


Figura 26A. Curva de infiltración básica de la unidad 13.

Cuadro 63A. Datos obtenidos en la prueba de infiltración de la unidad 14.

Profundidad del agujero: 65 cm		Diámetro del agujero: 12 cm		% pendiente: 3	
Lugar: Caquil		Uso actual: Cultivos anuales		Altitud: 1232 m	
Profundidad efectiva: >90 cm		Limitante: ninguna		Altura del agua: 60 cm	
Volumen de saturación: 8 gal		Tiempo de saturación: 0.5 h		Duración de la prueba: 3 h	
Coordenadas UTM: 742856 m este y 1659441 m norte					
Tiempo min	Altura cm	Velocidad de Infiltración			
		cm/min	mm/min	cm/h	
0	60.0	0	0	0	
2	59.0	0.024	0.24	1.44	
4	58.0	0.024	0.24	1.46	
6	57.0	0.025	0.25	1.49	
8	56.0	0.025	0.25	1.51	
10	55.4	0.015	0.15	0.92	
14	54.0	0.018	0.18	1.09	
18	53.0	0.013	0.13	0.80	
22	51.7	0.018	0.18	1.06	
26	50.9	0.011	0.11	0.66	
30	50.2	0.010	0.10	0.59	
36	49.3	0.009	0.09	0.51	
42	48.5	0.008	0.08	0.46	
48	47.5	0.010	0.10	0.59	
54	46.5	0.010	0.10	0.60	
60	45.7	0.008	0.08	0.49	
68	44.5	0.009	0.09	0.56	
76	43.5	0.008	0.08	0.48	
84	42.7	0.007	0.07	0.39	
92	42.0	0.006	0.06	0.35	
100	41.4	0.005	0.05	0.30	
110	40.6	0.005	0.05	0.33	
120	39.8	0.006	0.06	0.33	
130	39.1	0.005	0.05	0.30	
140	38.4	0.005	0.05	0.30	
150	37.7	0.005	0.05	0.31	
160	37.0	0.005	0.05	0.31	
170	36.3	0.005	0.05	0.32	
180	35.6	0.005	0.05	0.32	

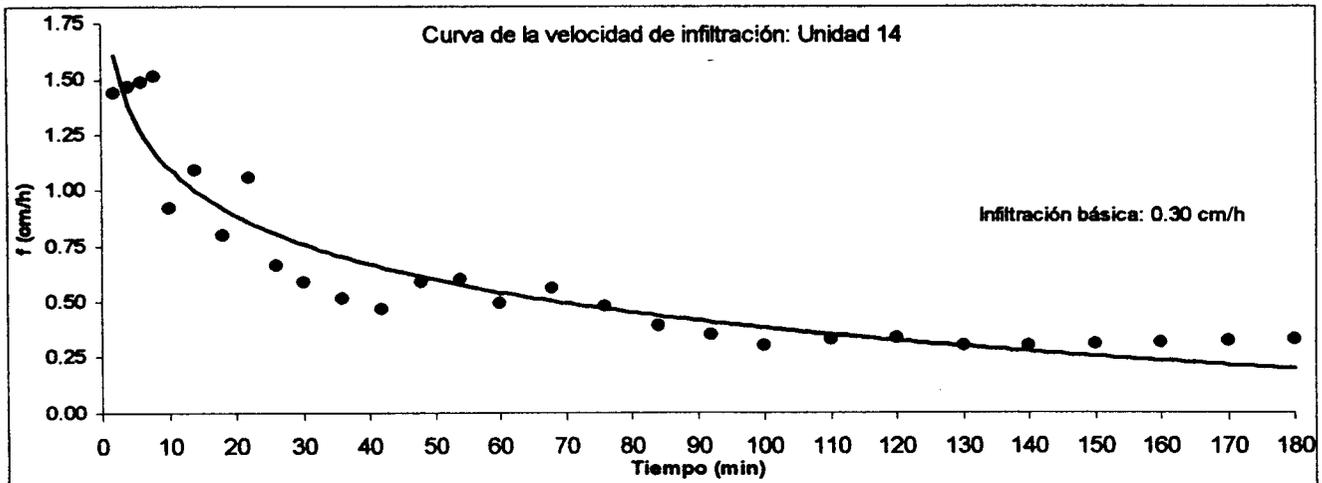
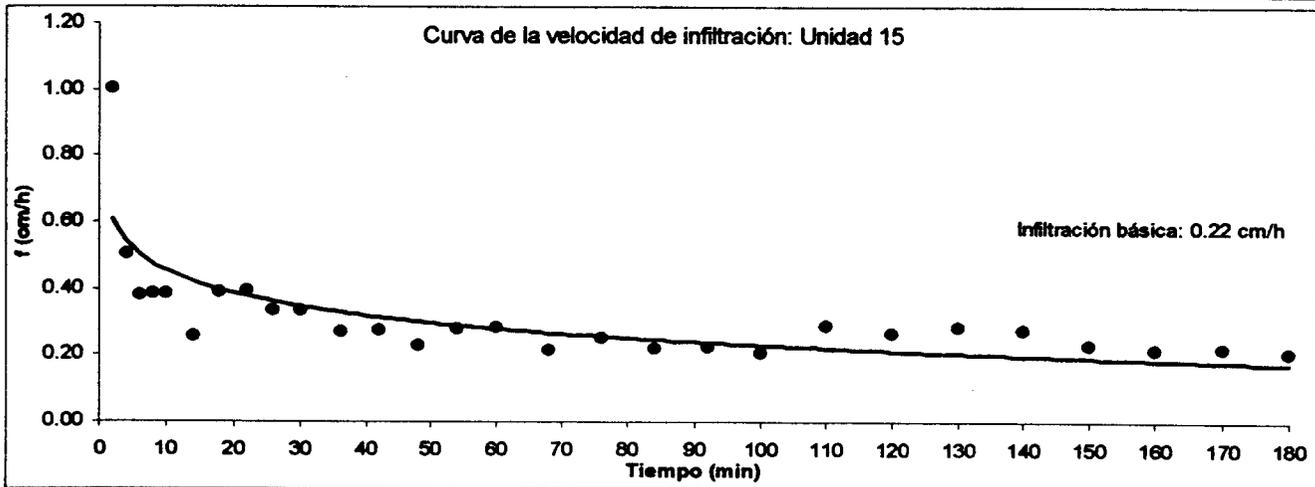


Figura 27A. Curva de infiltración básica de la unidad 14.

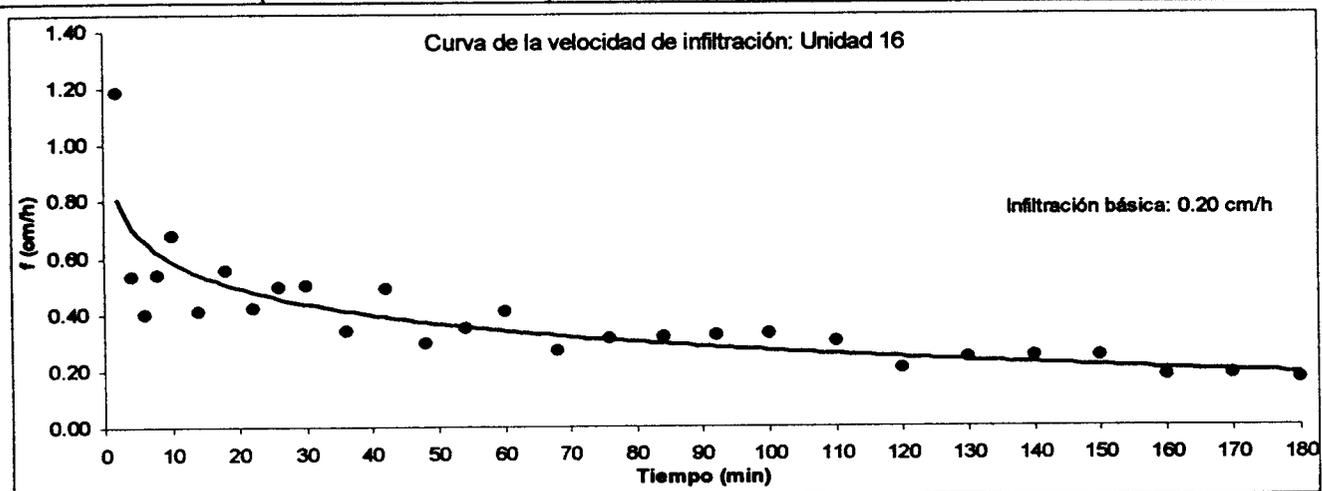
Cuadro 64A. Datos obtenidos en la prueba de infiltración de la unidad 15.

Profundidad del agujero: 62 cm		Diámetro del agujero: 10 cm		% pendiente: 15	
Lugar: Sajquim Xeabaj		Uso actual: Cultivos anuales		Altitud: 1630 m	
Profundidad efectiva: >90 cm		Limitante: ninguna		Altura del agua: 57.8 cm	
Volumen de saturación: 3 gal		Tiempo de saturación: 0.5 h		Duración de la prueba: 3 h	
Coordenadas UTM: 742466 m este y 1664353 m norte					
Tiempo min	Altura cm	Velocidad de Infiltración			
		cm/min	mm/min	cm/h	
0	57.8	0	0	0	
2	57.0	0.017	0.17	1.00	
4	56.6	0.008	0.08	0.51	
6	56.3	0.006	0.06	0.38	
8	56.0	0.006	0.06	0.38	
10	55.7	0.006	0.06	0.39	
14	55.3	0.004	0.04	0.26	
18	54.7	0.007	0.07	0.39	
22	54.1	0.007	0.07	0.40	
26	53.6	0.006	0.06	0.33	
30	53.1	0.006	0.06	0.34	
36	52.5	0.005	0.05	0.27	
42	51.9	0.005	0.05	0.27	
48	51.4	0.004	0.04	0.23	
54	50.8	0.005	0.05	0.28	
60	50.2	0.005	0.05	0.28	
68	49.6	0.004	0.04	0.21	
76	48.9	0.004	0.04	0.25	
84	48.3	0.004	0.04	0.22	
92	47.7	0.004	0.04	0.22	
100	47.2	0.003	0.03	0.21	
110	46.2	0.005	0.05	0.29	
120	45.4	0.004	0.04	0.26	
130	44.4	0.005	0.05	0.29	
140	43.6	0.005	0.05	0.27	
150	42.9	0.004	0.04	0.23	
160	42.3	0.004	0.04	0.22	
170	41.6	0.004	0.04	0.22	
180	41.0	0.003	0.03	0.21	

**Figura 28A. Curva de infiltración básica de la unidad 15.**

Cuadro 65A. Datos obtenidos en la prueba de infiltración de la unidad 16.

Profundidad del agujero: 64 cm		Diámetro del agujero: 11 cm		% pendiente: 50	
Lugar: Caquil		Uso actual: Bosque de coníferas		Altitud: 1290 m	
Profundidad efectiva: >90 cm		Limitante: pedregosidad 30%		Altura del agua: 60.5 cm	
Volumen de saturación: 3 gal		Tiempo de saturación: 0.5 h		Duración de la prueba: 3 h	
Coordenadas UTM: 742508 m este y 1659491 m norte					
Tiempo min	Altura cm	Velocidad de Infiltración			
		cm/min	mm/min	cm/h	
0	60.5	0	0	0	
2	59.6	0.020	0.20	1.18	
4	59.2	0.009	0.09	0.53	
6	58.9	0.007	0.07	0.40	
8	58.5	0.009	0.09	0.54	
10	58.0	0.011	0.11	0.68	
14	57.4	0.007	0.07	0.41	
18	56.6	0.009	0.09	0.55	
22	56.0	0.007	0.07	0.42	
26	55.3	0.008	0.08	0.49	
30	54.6	0.008	0.08	0.50	
36	53.9	0.006	0.06	0.34	
42	52.9	0.008	0.08	0.49	
48	52.3	0.005	0.05	0.30	
54	51.6	0.006	0.06	0.35	
60	50.8	0.007	0.07	0.41	
68	50.1	0.005	0.05	0.27	
76	49.3	0.005	0.05	0.31	
84	48.5	0.005	0.05	0.32	
92	47.7	0.005	0.05	0.32	
100	46.9	0.005	0.05	0.33	
110	46.0	0.005	0.05	0.30	
120	45.4	0.003	0.03	0.20	
130	44.7	0.004	0.04	0.24	
140	44.0	0.004	0.04	0.25	
150	43.3	0.004	0.04	0.25	
160	42.8	0.003	0.03	0.18	
170	42.3	0.003	0.03	0.18	
180	41.9	0.003	0.03	0.17	

**Figura 29A. Curva de infiltración básica de la unidad 16.**

Cuadro 66A. Datos obtenidos en la prueba de infiltración de la unidad 17.

Profundidad del agujero: 60 cm		Diámetro del agujero: 12 cm		% pendiente: 26	
Lugar: Caquil		Uso actual: Cultivos semipermanentes		Altitud: 1254 m	
Profundidad efectiva: >90 cm		Limitante: ninguna		Altura del agua: 46 y 37 cm	
Volumen de saturación: 15 gal		Tiempo de saturación: 2 h		Duración de la prueba: 3 h	
Coordenadas UTM: 742687 m este y 1659257 m norte					
Tiempo min	Altura cm	Velocidad de Infiltración			
		cm/min	mm/min	cm/h	
0	46.0	0	0	0	
2	44.0	0.063	0.63	3.75	
4	41.7	0.075	0.75	4.52	
6	39.7	0.069	0.69	4.12	
8	37.8	0.068	0.68	4.10	
10	36.0	0.068	0.68	4.06	
14	33.4	0.052	0.52	3.10	
18	30.9	0.053	0.53	3.20	
22	29.0	0.043	0.43	2.60	
26	27.2	0.043	0.43	2.61	
30	25.6	0.041	0.41	2.45	
36	23.8	0.033	0.33	1.95	
42	22.0	0.035	0.35	2.09	
48	20.5	0.031	0.31	1.86	
54	19.3	0.026	0.26	1.57	
60	18.1	0.028	0.28	1.66	
60	37.0	0.000	0.00	0.00	
68	29.5	0.078	0.78	4.67	
76	24.7	0.060	0.60	3.60	
84	21.5	0.046	0.46	2.76	
92	19.3	0.035	0.35	2.12	
100	17.4	0.033	0.33	2.00	
110	15.5	0.029	0.29	1.76	
120	13.7	0.031	0.31	1.84	
130	12.5	0.022	0.22	1.34	
140	11.4	0.022	0.22	1.33	
150	10.4	0.022	0.22	1.30	
160	9.5	0.022	0.22	1.30	
170	8.6	0.022	0.22	1.29	
180	7.8	0.022	0.22	1.30	

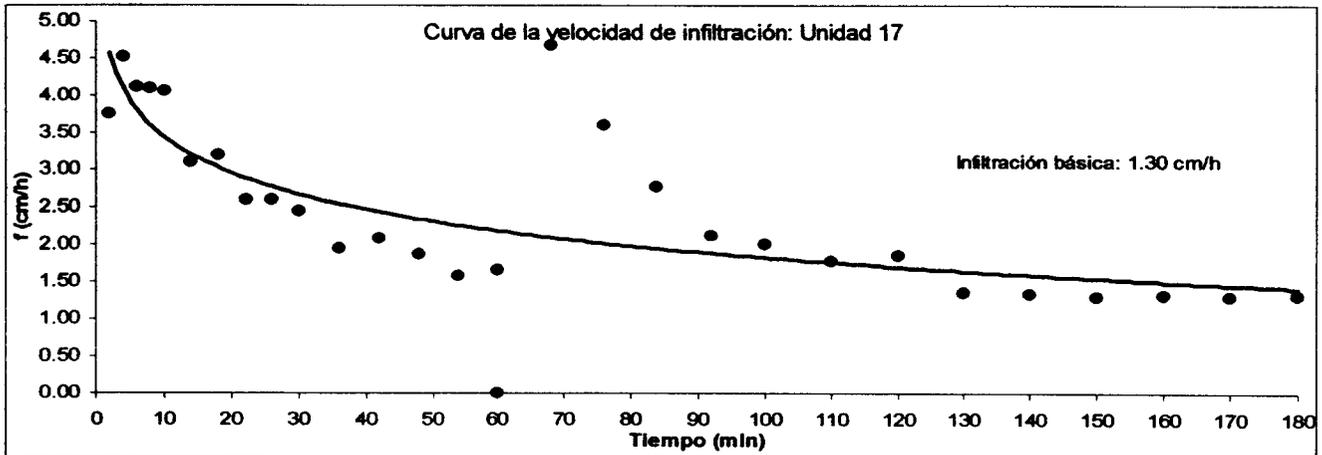
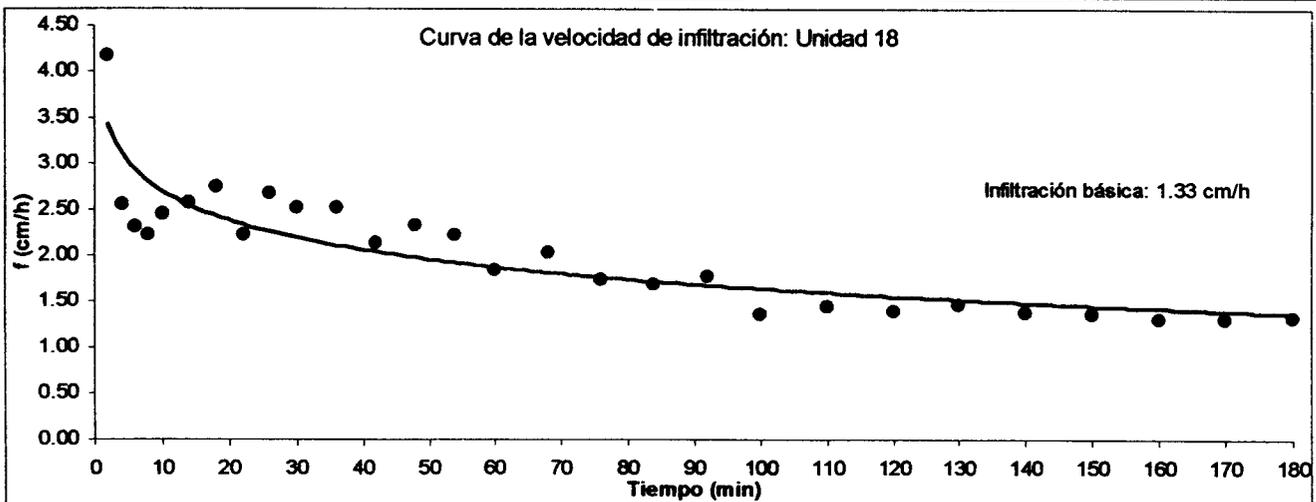


Figura 30A. Curva de infiltración básica de la unidad 17.

Cuadro 67A. Datos obtenidos en la prueba de infiltración de la unidad 18.

Profundidad del agujero: 63 cm		Diámetro del agujero: 11 cm		% pendiente: 35	
Lugar: Caquil		Uso actual: cultivos anuales		Altitud: 1348 m	
Profundidad efectiva: >90 cm		Limitante: ninguna		Altura del agua: 56 cm	
Volumen de saturación: 8 gal		Tiempo de saturación: 1.5 h		Duración de la prueba: 3 h	
Coordenadas UTM: 742749 m este y 1660844 m norte					
Tiempo min	Altura cm	Velocidad de Infiltración			
		cm/min	mm/min	cm/h	
0	56.0	0	0	0	
2	53.1	0.070	0.70	4.18	
4	51.4	0.043	0.43	2.55	
6	49.9	0.039	0.39	2.32	
8	48.5	0.037	0.37	2.22	
10	47.0	0.041	0.41	2.45	
14	44.0	0.043	0.43	2.57	
18	41.0	0.046	0.46	2.74	
22	38.7	0.037	0.37	2.23	
26	36.1	0.045	0.45	2.67	
30	33.8	0.042	0.42	2.52	
36	30.6	0.042	0.42	2.52	
42	28.1	0.036	0.36	2.14	
48	25.6	0.039	0.39	2.32	
54	23.4	0.037	0.37	2.22	
60	21.7	0.031	0.31	1.85	
68	19.4	0.034	0.34	2.04	
76	17.6	0.029	0.29	1.75	
84	16.0	0.028	0.28	1.69	
92	14.4	0.030	0.30	1.78	
100	13.4	0.023	0.23	1.36	
110	12.0	0.024	0.24	1.45	
120	10.8	0.023	0.23	1.40	
130	9.6	0.024	0.24	1.46	
140	8.6	0.023	0.23	1.39	
150	7.8	0.023	0.23	1.36	
160	7.0	0.022	0.22	1.31	
170	6.2	0.022	0.22	1.31	
180	5.5	0.022	0.22	1.32	

**Figura 31A. Curva de infiltración básica de la unidad 18.**

Cuadro 68A. Datos obtenidos en la prueba de infiltración de la unidad 19.

Profundidad del agujero: 50 cm		Diámetro del agujero: 15 cm		% pendiente: 35	
Lugar: Caquil		Uso actual: pasto natural		Altitud: 1355 m	
Profundidad efectiva: 60 cm		Limitante: pedregosidad 30 %		Altura del agua: 40 cm	
Volumen de saturación: 3 gal		Tiempo de saturación: 0.5 h		Duración de la prueba: 3 h	
Coordenadas UTM: 742360 m este y 1659759 m norte					
Tiempo min	Altura cm	Velocidad de Infiltración			
		cm/min	mm/min	cm/h	
0	40.0	0	0	0	
2	39.5	0.022	0.22	1.29	
4	39.2	0.013	0.13	0.78	
6	39.0	0.009	0.09	0.53	
8	38.8	0.009	0.09	0.53	
10	38.7	0.004	0.04	0.26	
14	38.5	0.004	0.04	0.27	
18	38.1	0.009	0.09	0.54	
22	37.9	0.004	0.04	0.27	
26	37.7	0.005	0.05	0.27	
30	37.4	0.007	0.07	0.41	
36	37.1	0.005	0.05	0.27	
42	36.8	0.005	0.05	0.28	
48	36.5	0.005	0.05	0.28	
54	36.1	0.006	0.06	0.37	
60	35.8	0.005	0.05	0.28	
68	35.3	0.006	0.06	0.36	
76	35.0	0.004	0.04	0.22	
84	34.6	0.005	0.05	0.29	
92	34.3	0.004	0.04	0.22	
100	33.9	0.005	0.05	0.30	
110	33.5	0.004	0.04	0.24	
120	33.1	0.004	0.04	0.24	
130	32.7	0.004	0.04	0.25	
140	32.3	0.004	0.04	0.25	
160	31.7	0.003	0.03	0.20	
180	31.0	0.003	0.03	0.20	

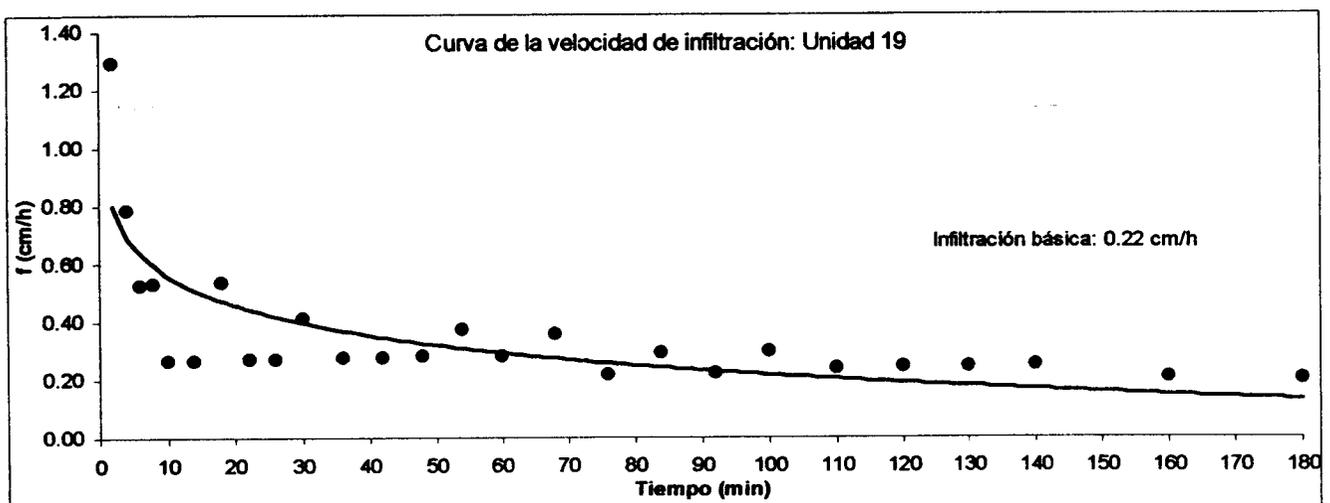


Figura 32A. Curva de infiltración básica de la unidad 19.

Cuadro 69A. Resultados del análisis de las muestras de suelo, unidad 01 hasta 10.

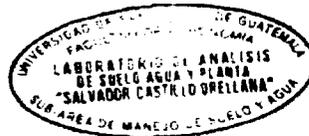
UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS
DE GUATEMALA



FACULTAD DE AGRONOMIA
LABORATORIO DE SUELO-PLANTA-AGUA
"SALVADOR CASTILLO ORELLANA"
CIUDAD UNIVERSITARIA, ZONA 12
GUATEMALA CENTROAMERICA

INTERESADO: INSTITUTO NACIONAL DE BOSQUES
RESPONSABLE: SALVADOR GARCIA
ANALISIS FISICO DE SUELOS.

No	IDENTIFICACION	%		gr/cc	%			CLASE TEXTURAL
		1/3 ATM	15 ATM		D.A	Arcilla	Limo	
1	U-1	27.12	15.86	1.1765	38.56	11.84	49.60	ARCILLO ARENOSO
2	U-2	12.32	6.27	1.2903	9.16	18.14	72.70	FRANCO ARENOSO
3	U-3	14.82	6.89	1.1429	11.26	22.34	66.40	FRANCO ARENOSO
F4	U-4	12.80	5.37	1.1765	9.16	18.14	72.70	FRANCO ARENOSO
5	U-5	23.30	12.44	1.1111	23.86	20.24	55.90	FRANCO ARCILLO ARENOSO
6	U-6	25.08	14.44	1.0000	34.36	16.04	49.60	FRANCO ARCILLO ARENOSO
7	U-7	18.74	10.52	1.1429	25.96	13.94	60.10	FRANCO ARCILLO ARENOSO
8	U-8	19.11	8.96	1.1765	17.56	18.14	64.30	FRANCO ARENOSO
9	U-9	20.78	6.02	1.1429	19.66	18.14	62.20	FRANCO ARENOSO
10	U-10	6.48	1.95	1.0256	4.96	7.64	87.40	ARENA



Apartado Postal 1,545 Tels.Planta (502) 476-0790 al 4 Tel/Fax (502) 476-9770
E-mail: usacagro.agro@usac.edu.gt
<http://www.usac.edu.gt/facultades/agronomia.htm>

Cuadro 70A. Resultados del análisis de las muestras de suelo, unidad 11 hasta 19.

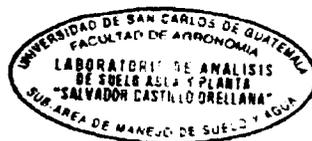
UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS
DE GUATEMALA



FACULTAD DE AGRONOMIA
LABORATORIO DE SUELO-PLANTA-AGUA
"SALVADOR CASTILLO ORELLANA"
CIUDAD UNIVERSITARIA, ZONA 12
GUATEMALA CENTROAMERICA

INTERESADO: INSTITUTO NACIONAL DE BOSQUES
RESPONSABLE: SALVADOR GARCIA
ANALISIS FISICO DE SUELOS.

No	IDENTIFICACION	%		gr/cc	%			CLASE TEXTURAL
		1/3 ATM	15 ATM	D.A	Arcilla	Limo	Arena	
11	U-11	18.02	9.91	1.1765	21.76	16.04	62.20	FRANCO ARCILLO ARENOSO
12	U-12	19.64	10.66	1.0000	15.46	20.24	64.30	FRANCO ARENOSO
13	U-13	14.78	8.48	0.9756	17.56	18.14	64.30	FRANCO ARENOSO
14	U-14	8.89	5.07	1.1429	7.06	16.04	76.90	ARENA FRANCA
15	U-15	18.30	10.41	1.1111	17.56	18.14	64.30	FRANCO ARENOSO
16	U-16	18.59	9.81	1.0256	23.86	22.34	53.80	FRANCO ARCILLO ARENOSO
17	U-17	12.75	6.04	1.1429	11.26	20.24	68.50	FRANCO ARENOSO
18	U-18	10.78	5.53	1.1429	11.26	16.04	72.70	FRANCO ARENOSO
19	U-19	13.05	6.88	1.2903	17.56	11.84	70.60	FRANCO ARENOSO



Apartado Postal 1,545 Tels.Planta (502) 476-0790 al 4 Td/Fax (502) 476-9770
E-mail: usccagro.agro@uscc.edu.gt
<http://www.uscc.edu.gt/facultades/agronomia.htm>

10.3 BALANCE HÍDRICO DE SUELOS CON DATOS DIARIOS

Cuadro 71A. Ejemplo del BH diario (estimando precipitación efectiva/M. Schosisnsky y L.)

Método de variación lineal de la evapotranspiración real						Unidad 03				
Serie de suelo: Civijá			Estación climática: Xeabaj							
Unidad geológica: Zona de Biotita del Chol			Textura del suelo: Franco arenoso							
Uso actual: Asentamiento Humano Rural										
Terminología						DS: Densidad de Suelo.				
(CC-PM): Rango de Agua Disponible.						PM: Punto de Marchites.				
ETP: Evapotranspiración Potencial.						PR: Profundidad de Raíces.				
HSf: Humedad de Suelo Final.						P: Precipitación				
Lluvia retenida: Bosques=0.2, otros=0.12						I: Infiltración.				
HSi: Humedad de Suelo Inicial.						Pi: Precipitación que infiltra / M. Schosisnsky y Losilla				
ESC: Escorrentía Superficial						Rp: Recarga Potencial				
ETR: Evapotranspiración Real.						CC: Capacidad de Campo.				
I [0.01%] 0.71										
DS (g/cm ³) 1.14						CC 14.82 168.95				
PR (mm) 1000						PM 6.89 78.55				
HSi: 78.55						(CC-PM) 7.93 90.40				
LI ret [0.01%] 0.12										
Periodo	P	R	Pi	ESC	ETP	ETR	HSF	DCC	Rp	NR
2004-2005	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm
Abr 04 - 1	0.0	0.00	0.00	0.00	4.26	0.00	78.55	90.40	0.00	94.66
2	0.0	0.00	0.00	0.00	4.31	0.00	78.55	90.40	0.00	94.71
3	1.6	1.30	0.19	0.08	3.75	0.01	78.73	90.22	0.00	93.96
4	7.8	1.30	4.63	1.88	3.92	0.14	83.21	85.73	0.00	89.51
5	0.0	0.00	0.00	0.00	4.09	0.21	83.01	85.94	0.00	89.82
6	0.0	0.00	0.00	0.00	4.14	0.20	82.81	86.14	0.00	90.08
7	0.2	0.19	0.00	0.00	4.82	0.22	82.59	86.36	0.00	90.96
8	0.0	0.00	0.00	0.00	4.48	0.20	82.39	86.56	0.00	90.84
9	0.0	0.00	0.00	0.00	4.20	0.17	82.22	86.73	0.00	90.76
10	0.0	0.00	0.00	0.00	4.59	0.18	82.04	86.91	0.00	91.32
11	0.0	0.00	0.00	0.00	4.14	0.16	81.88	87.07	0.00	91.06
12	0.0	0.00	0.00	0.00	4.31	0.16	81.72	87.22	0.00	91.38
13	0.0	0.00	0.00	0.00	4.31	0.15	81.58	87.37	0.00	91.54
14	0.0	0.00	0.00	0.00	3.97	0.13	81.45	87.50	0.00	91.35
15	0.0	0.00	0.00	0.00	4.37	0.14	81.31	87.64	0.00	91.87
16	0.0	0.00	0.00	0.00	3.92	0.12	81.19	87.76	0.00	91.56
17	0.0	0.00	0.00	0.00	3.92	0.11	81.08	87.87	0.00	91.67
18	0.0	0.00	0.00	0.00	4.03	0.11	80.97	87.98	0.00	91.90
19	0.0	0.00	0.00	0.00	3.81	0.10	80.87	88.08	0.00	91.78
20	0.0	0.00	0.00	0.00	4.03	0.10	80.77	88.18	0.00	92.11
21	0.0	0.00	0.00	0.00	4.31	0.10	80.66	88.28	0.00	92.49
22	0.0	0.00	0.00	0.00	4.09	0.09	80.57	88.38	0.00	92.37
23	0.0	0.00	0.00	0.00	4.20	0.09	80.48	88.47	0.00	92.58
24	0.0	0.00	0.00	0.00	4.26	0.09	80.39	88.56	0.00	92.73
25	0.0	0.00	0.00	0.00	4.26	0.08	80.31	88.64	0.00	92.81
26	0.0	0.00	0.00	0.00	4.14	0.08	80.23	88.72	0.00	92.79
27	0.0	0.00	0.00	0.00	4.31	0.08	80.15	88.80	0.00	93.03
28	0.0	0.00	0.00	0.00	4.14	0.07	80.08	88.87	0.00	92.94

29	0.0	0.00	0.00	0.00	4.26	0.07	80.01	88.94	0.00	93.13
30	0.0	0.00	0.00	0.00	4.48	0.07	79.94	89.01	0.00	93.42
May 04 - 31	10.6	1.30	6.63	2.69	4.17	0.27	86.30	82.65	0.00	86.55
32	8.1	1.30	4.85	1.97	4.28	0.51	90.64	78.31	0.00	82.07
33	28.1	3.38	17.60	7.15	4.17	1.10	107.14	61.80	0.00	64.87
34	0.2	0.19	0.00	0.00	4.28	1.32	105.82	63.12	0.00	66.08
35	0.0	0.00	0.00	0.00	4.05	1.20	104.63	64.32	0.00	67.18
36	0.0	0.00	0.00	0.00	4.39	1.24	103.39	65.56	0.00	68.71
37	1.0	1.00	0.00	0.00	4.28	1.15	102.24	66.70	0.00	69.83
38	0.0	0.00	0.00	0.00	4.39	1.12	101.12	67.83	0.00	71.09
39	0.0	0.00	0.00	0.00	4.00	0.98	100.15	68.80	0.00	71.82
40	0.0	0.00	0.00	0.00	4.28	1.00	99.15	69.80	0.00	73.08
41	0.0	0.00	0.00	0.00	4.11	0.92	98.23	70.72	0.00	73.91
42	0.0	0.00	0.00	0.00	4.39	0.93	97.30	71.65	0.00	75.10
43	16.9	2.03	10.60	4.30	4.33	1.22	106.68	62.27	0.00	65.38
44	2.8	1.30	1.03	0.42	4.22	1.32	106.39	62.55	0.00	65.46
45	0.7	0.69	0.00	0.00	3.94	1.19	105.21	63.74	0.00	66.50
46	51.8	6.21	32.39	13.15	4.22	2.24	135.35	33.60	0.00	35.57
47	20.8	2.49	12.99	5.27	4.22	3.00	145.34	23.61	0.00	24.83
48	7.1	1.30	4.14	1.68	3.94	2.97	146.51	22.44	0.00	23.41
49	0.8	0.75	0.00	0.00	3.77	2.78	143.73	25.22	0.00	26.22
50	4.6	1.30	2.36	0.96	3.89	2.81	143.28	25.67	0.00	26.74
51	4.4	1.30	2.19	0.89	4.00	2.87	142.60	26.34	0.00	27.48
52	0.0	0.00	0.00	0.00	4.11	2.85	139.76	29.19	0.00	30.45
53	34.7	4.16	21.71	8.81	3.89	3.21	158.26	10.69	0.00	11.37
54	20.9	2.51	13.10	5.32	4.00	3.79	167.57	1.38	0.00	1.58
55	0.0	0.00	0.00	0.00	4.11	3.96	163.62	5.33	0.00	5.49
56	0.0	0.00	0.00	0.00	4.17	3.83	159.79	9.16	0.00	9.50
57	23.6	2.84	14.79	6.00	4.05	3.89	168.95	0.00	1.73	0.16
58	7.8	1.30	4.59	1.86	4.11	4.06	168.95	0.00	0.53	0.05
59	12.2	1.46	7.63	3.10	4.17	4.14	168.95	0.00	3.49	0.02
60	0.0	0.00	0.00	0.00	4.05	3.96	164.99	3.96	0.00	4.05
61	0.0	0.00	0.00	0.00	4.00	3.74	161.25	7.70	0.00	7.96
Jun 04 - 62	0.0	0.00	0.00	0.00	4.18	3.74	157.51	11.44	0.00	11.89
63	5.9	1.30	3.25	1.32	4.13	3.62	157.14	11.81	0.00	12.32
64	14.1	1.70	8.84	3.59	4.01	3.68	162.30	6.65	0.00	6.98
65	26.3	3.15	16.43	6.67	4.07	3.98	168.95	0.00	5.80	0.09
66	0.0	0.00	0.00	0.00	3.90	3.82	165.13	3.82	0.00	3.90
67	0.0	0.00	0.00	0.00	4.07	3.81	161.32	7.63	0.00	7.89
68	7.8	1.30	4.59	1.86	4.18	3.89	162.02	6.93	0.00	7.23
69	25.2	3.02	15.76	6.40	3.96	3.86	168.95	0.00	4.98	0.10
70	23.8	2.85	14.86	6.04	4.07	4.07	168.95	0.00	10.79	0.00
71	24.9	2.99	15.61	6.34	4.07	4.07	168.95	0.00	11.54	0.00
72	17.5	2.10	10.95	4.45	4.01	4.01	168.95	0.00	6.94	0.00
73	0.2	0.19	0.00	0.00	3.96	3.87	165.08	3.87	0.00	3.96
74	0.0	0.00	0.00	0.00	4.18	3.91	161.16	7.78	0.00	8.06
75	0.0	0.00	0.00	0.00	4.18	3.74	157.43	11.52	0.00	11.97
76	40.9	4.91	25.62	10.40	4.24	4.12	168.95	0.00	9.99	0.13
77	25.4	3.05	15.88	6.45	4.01	4.01	168.95	0.00	11.87	0.00
78	0.0	0.00	0.00	0.00	4.07	3.98	164.97	3.98	0.00	4.07

79	0.0	0.00	0.00	0.00	4.01	3.75	161.22	7.73	0.00	7.99
80	9.4	1.30	5.74	2.33	4.18	3.92	163.04	5.91	0.00	6.17
81	0.0	0.00	0.00	0.00	4.07	3.72	159.32	9.63	0.00	9.98
82	0.0	0.00	0.00	0.00	4.07	3.56	155.77	13.18	0.00	13.70
83	50.6	6.08	31.69	12.86	4.07	3.97	168.95	0.00	14.53	0.10
84	0.0	0.00	0.00	0.00	4.13	4.03	164.91	4.03	0.00	4.13
85	16.1	1.93	10.05	4.08	4.07	3.98	168.95	0.00	2.04	0.09
86	2.6	1.30	0.94	0.38	3.96	3.88	166.01	2.94	0.00	3.01
87	5.2	1.30	2.76	1.12	4.07	3.93	164.84	4.11	0.00	4.24
88	0.0	0.00	0.00	0.00	4.07	3.80	161.04	7.91	0.00	8.18
89	0.0	0.00	0.00	0.00	3.90	3.48	157.56	11.39	0.00	11.81
90	3.6	1.30	1.65	0.67	4.01	3.48	155.73	13.21	0.00	13.75
91	13.7	1.64	8.57	3.48	4.13	3.71	160.59	8.36	0.00	8.78
Jul 04 - 92	33.4	4.01	20.89	8.48	3.96	3.87	168.95	0.00	8.66	0.08
93	0.0	0.00	0.00	0.00	4.01	3.93	165.02	3.93	0.00	4.01
94	0.0	0.00	0.00	0.00	3.90	3.65	161.37	7.58	0.00	7.83
95	0.3	0.31	0.00	0.00	3.84	3.45	157.93	11.02	0.00	11.42
96	6.9	1.30	3.97	1.61	4.01	3.57	158.32	10.62	0.00	11.07
97	18.9	2.27	11.81	4.80	4.01	3.80	166.34	2.61	0.00	2.82
98	12.2	1.46	7.63	3.10	4.13	4.04	168.95	0.00	0.98	0.08
99	27.4	3.29	17.13	6.96	3.84	3.84	168.95	0.00	13.29	0.00
100	31.1	3.74	19.48	7.91	3.96	3.96	168.95	0.00	15.52	0.00
101	28.8	3.45	17.99	7.31	4.01	4.01	168.95	0.00	13.98	0.00
102	39.3	4.72	24.60	9.99	3.90	3.90	168.95	0.00	20.70	0.00
103	0.3	0.31	0.00	0.00	4.01	3.93	165.02	3.93	0.00	4.01
104	0.0	0.00	0.00	0.00	3.96	3.70	161.32	7.63	0.00	7.88
105	3.4	1.30	1.48	0.60	3.96	3.59	159.21	9.74	0.00	10.11
106	0.3	0.31	0.00	0.00	3.84	3.36	155.85	13.10	0.00	13.58
107	0.0	0.00	0.00	0.00	3.96	3.31	152.54	16.41	0.00	17.05
108	0.0	0.00	0.00	0.00	4.13	3.30	149.24	19.71	0.00	20.53
109	0.0	0.00	0.00	0.00	3.96	3.03	146.21	22.74	0.00	23.67
110	0.0	0.00	0.00	0.00	4.24	3.10	143.11	25.84	0.00	26.98
111	17.9	2.15	11.19	4.54	4.18	3.27	151.03	17.92	0.00	18.83
112	30.3	3.64	18.97	7.70	4.07	3.75	166.25	2.70	0.00	3.02
113	20.3	2.44	12.71	5.16	4.07	4.03	168.95	0.00	5.98	0.04
114	0.0	0.00	0.00	0.00	4.18	4.09	164.86	4.09	0.00	4.18
115	0.0	0.00	0.00	0.00	4.18	3.90	160.96	7.99	0.00	8.27
116	0.0	0.00	0.00	0.00	4.07	3.63	157.33	11.62	0.00	12.06
117	36.3	4.35	22.69	9.21	4.07	3.93	168.95	0.00	7.14	0.15
118	0.0	0.00	0.00	0.00	4.01	3.93	165.02	3.93	0.00	4.01
119	0.0	0.00	0.00	0.00	3.96	3.70	161.32	7.63	0.00	7.88
120	0.0	0.00	0.00	0.00	4.24	3.79	157.53	11.42	0.00	11.87
121	20.9	2.51	13.10	5.32	4.24	4.00	166.63	2.32	0.00	2.56
122	28.8	3.45	17.99	7.31	4.24	4.24	168.95	0.00	11.44	0.00
Ago 04 - 123	0.0	0.00	0.00	0.00	4.21	4.12	164.83	4.12	0.00	4.21
124	0.0	0.00	0.00	0.00	4.10	3.83	161.01	7.94	0.00	8.22
125	2.1	1.30	0.54	0.22	4.10	3.67	157.88	11.07	0.00	11.50
126	0.0	0.00	0.00	0.00	4.16	3.56	154.31	14.64	0.00	15.23
127	24.3	2.91	15.18	6.16	4.16	3.87	165.62	3.32	0.00	3.62
128	0.0	0.00	0.00	0.00	4.21	3.96	161.66	7.29	0.00	7.54

129	17.5	2.10	10.95	4.45	4.16	4.00	168.62	0.33	0.00	0.49
130	0.0	0.00	0.00	0.00	4.10	3.99	164.62	4.33	0.00	4.43
131	0.0	0.00	0.00	0.00	4.21	3.92	160.70	8.24	0.00	8.54
132	0.0	0.00	0.00	0.00	4.10	3.64	157.06	11.89	0.00	12.35
133	0.0	0.00	0.00	0.00	4.21	3.57	153.49	15.46	0.00	16.10
134	26.3	3.15	16.43	6.67	4.16	3.86	166.06	2.89	0.00	3.19
135	0.0	0.00	0.00	0.00	4.16	3.93	162.12	6.82	0.00	7.05
136	0.0	0.00	0.00	0.00	4.16	3.76	158.37	10.58	0.00	10.98
137	0.0	0.00	0.00	0.00	4.16	3.59	154.78	14.17	0.00	14.74
138	0.0	0.00	0.00	0.00	4.21	3.47	151.31	17.64	0.00	18.38
139	9.1	1.30	5.52	2.24	3.99	3.30	153.53	15.42	0.00	16.10
140	0.0	0.00	0.00	0.00	4.04	3.28	150.25	18.70	0.00	19.46
141	7.2	1.30	4.19	1.70	3.99	3.22	151.22	17.73	0.00	18.50
142	0.0	0.00	0.00	0.00	3.99	3.13	148.08	20.87	0.00	21.72
143	0.0	0.00	0.00	0.00	4.10	3.08	145.00	23.95	0.00	24.97
144	0.0	0.00	0.00	0.00	4.21	3.03	141.97	26.97	0.00	28.16
145	0.0	0.00	0.00	0.00	4.21	2.89	139.09	29.86	0.00	31.19
146	6.2	1.30	3.48	1.41	4.04	2.75	139.81	29.14	0.00	30.43
147	25.0	3.00	15.65	6.35	3.99	3.11	152.34	16.60	0.00	17.48
148	0.0	0.00	0.00	0.00	3.87	3.10	149.25	19.70	0.00	20.48
149	0.0	0.00	0.00	0.00	3.93	3.01	146.24	22.71	0.00	23.63
150	12.5	1.50	7.82	3.18	4.04	3.20	150.86	18.08	0.00	18.93
151	19.4	2.33	12.13	4.92	3.93	3.44	159.56	9.39	0.00	9.89
152	2.4	1.30	0.81	0.33	3.99	3.52	156.85	12.10	0.00	12.57
153	0.0	0.00	0.00	0.00	4.10	3.47	153.37	15.57	0.00	16.20
Sep 04 - 154	0.0	0.00	0.00	0.00	3.77	3.05	150.32	18.63	0.00	19.34
155	0.0	0.00	0.00	0.00	3.98	3.09	147.23	21.72	0.00	22.61
156	12.5	1.50	7.82	3.18	3.98	3.20	151.85	17.09	0.00	17.88
157	48.8	5.85	30.51	12.39	4.04	3.84	168.95	0.00	9.57	0.20
158	0.6	0.63	0.00	0.00	4.09	4.00	164.95	4.00	0.00	4.09
159	8.4	1.30	5.08	2.06	4.04	3.91	166.12	2.83	0.00	2.96
160	60.0	7.20	37.55	15.25	4.04	4.04	168.95	0.00	30.68	0.00
161	1.3	1.25	0.00	0.00	3.98	3.90	165.05	3.90	0.00	3.98
162	0.0	0.00	0.00	0.00	3.98	3.73	161.32	7.63	0.00	7.88
163	0.0	0.00	0.00	0.00	3.93	3.52	157.80	11.15	0.00	11.56
164	1.9	1.30	0.45	0.18	4.09	3.52	154.73	14.21	0.00	14.79
165	0.0	0.00	0.00	0.00	3.98	3.28	151.45	17.50	0.00	18.20
166	20.6	2.48	12.91	5.24	3.88	3.44	160.92	8.03	0.00	8.47
167	0.0	0.00	0.00	0.00	4.04	3.60	157.32	11.62	0.00	12.06
168	29.7	3.56	18.58	7.54	3.98	3.81	168.95	0.00	3.15	0.18
169	1.6	1.30	0.19	0.08	3.93	3.85	165.29	3.66	0.00	3.74
170	0.0	0.00	0.00	0.00	4.09	3.84	161.45	7.50	0.00	7.75
171	0.0	0.00	0.00	0.00	4.04	3.62	157.83	11.12	0.00	11.54
172	21.4	2.57	13.42	5.45	4.09	3.87	167.37	1.57	0.00	1.80
173	0.0	0.00	0.00	0.00	4.04	3.88	163.49	5.45	0.00	5.61
174	0.3	0.31	0.00	0.00	4.09	3.76	159.73	9.21	0.00	9.55
175	13.1	1.58	8.21	3.34	3.93	3.70	164.25	4.70	0.00	4.93
176	4.9	1.30	2.54	1.03	4.04	3.82	162.97	5.97	0.00	6.19
177	0.3	0.31	0.00	0.00	3.98	3.64	159.34	9.61	0.00	9.96
178	0.0	0.00	0.00	0.00	4.09	3.58	155.76	13.19	0.00	13.71

179	0.0	0.00	0.00	0.00	3.98	3.33	152.43	16.52	0.00	17.17
180	2.5	1.30	0.85	0.35	3.98	3.21	150.07	18.87	0.00	19.65
181	22.9	2.75	14.36	5.83	4.04	3.56	160.87	8.08	0.00	8.56
182	12.5	1.50	7.82	3.18	4.04	3.83	164.86	4.09	0.00	4.29
183	14.4	1.73	9.00	3.65	3.98	3.89	168.95	0.00	1.02	0.10
Oct 04 - 184	7.7	1.30	4.54	1.84	3.55	3.52	168.95	0.00	1.02	0.03
185	0.0	0.00	0.00	0.00	3.50	3.44	165.51	3.44	0.00	3.50
186	0.0	0.00	0.00	0.00	3.50	3.31	162.21	6.74	0.00	6.94
187	17.2	2.06	10.76	4.37	3.61	3.49	168.95	0.00	0.53	0.12
188	18.4	2.21	11.54	4.69	3.55	3.55	168.95	0.00	7.98	0.00
189	11.6	1.39	7.24	2.94	3.55	3.54	168.95	0.00	3.69	0.01
190	25.6	3.08	16.04	6.51	3.71	3.71	168.95	0.00	12.33	0.00
191	1.3	1.25	0.00	0.00	3.76	3.68	165.27	3.68	0.00	3.76
192	36.6	4.39	22.88	9.29	3.76	3.76	168.95	0.00	15.45	0.00
193	0.0	0.00	0.00	0.00	3.76	3.68	165.27	3.68	0.00	3.76
194	0.0	0.00	0.00	0.00	3.76	3.53	161.74	7.21	0.00	7.44
195	0.0	0.00	0.00	0.00	3.81	3.43	158.31	10.64	0.00	11.01
196	8.6	1.30	5.17	2.10	3.81	3.44	160.04	8.91	0.00	9.28
197	20.0	2.40	12.52	5.08	3.71	3.55	168.95	0.00	0.06	0.15
198	0.0	0.00	0.00	0.00	3.66	3.58	165.37	3.58	0.00	3.66
199	0.4	0.38	0.00	0.00	3.71	3.49	161.88	7.07	0.00	7.29
200	54.4	6.53	34.07	13.83	3.71	3.71	168.95	0.00	23.30	0.00
201	12.5	1.50	7.82	3.18	3.66	3.65	168.95	0.00	4.18	0.01
202	0.0	0.00	0.00	0.00	3.71	3.63	165.32	3.63	0.00	3.71
203	0.0	0.00	0.00	0.00	3.76	3.53	161.79	7.16	0.00	7.39
204	0.0	0.00	0.00	0.00	3.76	3.39	158.40	10.55	0.00	10.92
205	0.0	0.00	0.00	0.00	3.66	3.16	155.24	13.71	0.00	14.20
206	0.0	0.00	0.00	0.00	3.71	3.08	152.16	16.79	0.00	17.42
207	0.0	0.00	0.00	0.00	3.55	2.84	149.32	19.63	0.00	20.35
208	0.0	0.00	0.00	0.00	3.61	2.77	146.55	22.40	0.00	23.23
209	0.0	0.00	0.00	0.00	3.61	2.66	143.89	25.05	0.00	26.00
210	0.0	0.00	0.00	0.00	3.55	2.52	141.38	27.57	0.00	28.61
211	0.0	0.00	0.00	0.00	3.55	2.42	138.95	29.99	0.00	31.13
212	0.0	0.00	0.00	0.00	3.61	2.36	136.59	32.36	0.00	33.60
213	0.0	0.00	0.00	0.00	3.55	2.24	134.35	34.59	0.00	35.91
214	0.0	0.00	0.00	0.00	3.61	2.18	132.17	36.78	0.00	38.20
Nov 04 - 215	0.0	0.00	0.00	0.00	3.29	1.92	130.26	38.69	0.00	40.06
216	0.0	0.00	0.00	0.00	3.43	1.92	128.34	40.61	0.00	42.12
217	7.5	1.30	4.41	1.79	3.38	1.94	130.81	38.14	0.00	39.58
218	0.6	0.63	0.00	0.00	3.15	1.79	129.01	39.93	0.00	41.30
219	7.8	1.30	4.63	1.88	3.24	1.89	131.75	37.19	0.00	38.55
220	14.1	1.70	8.84	3.59	3.15	2.03	138.56	30.39	0.00	31.51
221	0.0	0.00	0.00	0.00	3.43	2.23	136.33	32.62	0.00	33.81
222	0.0	0.00	0.00	0.00	3.24	2.04	134.29	34.65	0.00	35.86
223	0.0	0.00	0.00	0.00	3.20	1.94	132.36	36.59	0.00	37.85
224	0.0	0.00	0.00	0.00	3.24	1.90	130.46	38.49	0.00	39.84
225	0.0	0.00	0.00	0.00	3.24	1.83	128.63	40.32	0.00	41.73
226	0.0	0.00	0.00	0.00	3.20	1.74	126.89	42.06	0.00	43.52
227	0.0	0.00	0.00	0.00	3.20	1.68	125.21	43.74	0.00	45.26
228	0.0	0.00	0.00	0.00	3.20	1.62	123.59	45.36	0.00	46.94

229	1.3	1.25	0.00	0.00	3.20	1.57	122.02	46.93	0.00	48.56
230	25.6	3.08	16.04	6.51	3.38	2.01	136.06	32.89	0.00	34.27
231	0.0	0.00	0.00	0.00	3.15	1.97	134.08	34.86	0.00	36.05
232	9.8	1.30	6.05	2.46	3.29	2.13	138.00	30.94	0.00	32.10
233	0.0	0.00	0.00	0.00	3.24	2.10	135.91	33.04	0.00	34.19
234	0.0	0.00	0.00	0.00	3.24	2.02	133.89	35.06	0.00	36.28
235	0.0	0.00	0.00	0.00	3.29	1.98	131.91	37.04	0.00	38.35
236	0.0	0.00	0.00	0.00	3.43	1.98	129.93	39.02	0.00	40.46
237	0.0	0.00	0.00	0.00	3.43	1.91	128.02	40.93	0.00	42.45
238	0.0	0.00	0.00	0.00	3.33	1.79	126.23	42.72	0.00	44.26
239	0.0	0.00	0.00	0.00	3.43	1.77	124.45	44.49	0.00	46.15
240	10.9	1.31	6.85	2.78	3.15	1.74	129.56	39.38	0.00	40.80
241	0.0	0.00	0.00	0.00	3.24	1.80	127.77	41.18	0.00	42.63
242	0.0	0.00	0.00	0.00	3.24	1.73	126.03	42.92	0.00	44.43
243	0.0	0.00	0.00	0.00	3.15	1.63	124.40	44.54	0.00	46.07
244	0.0	0.00	0.00	0.00	3.43	1.70	122.70	46.25	0.00	47.97
Dic 04 - 245	0.0	0.00	0.00	0.00	3.16	1.52	121.18	47.77	0.00	49.41
246	0.0	0.00	0.00	0.00	3.00	1.39	119.79	49.16	0.00	50.76
247	0.0	0.00	0.00	0.00	3.00	1.34	118.45	50.50	0.00	52.15
248	0.0	0.00	0.00	0.00	3.04	1.32	117.13	51.82	0.00	53.54
249	0.0	0.00	0.00	0.00	3.00	1.26	115.87	53.08	0.00	54.81
250	0.0	0.00	0.00	0.00	3.08	1.25	114.62	54.33	0.00	56.16
251	0.0	0.00	0.00	0.00	3.00	1.18	113.45	55.50	0.00	57.32
252	0.0	0.00	0.00	0.00	3.21	1.22	112.23	56.72	0.00	58.71
253	0.0	0.00	0.00	0.00	3.08	1.13	111.10	57.85	0.00	59.80
254	0.0	0.00	0.00	0.00	2.95	1.05	110.06	58.89	0.00	60.80
255	0.0	0.00	0.00	0.00	3.04	1.04	109.02	59.93	0.00	61.93
256	6.5	1.30	3.70	1.50	3.00	1.08	111.64	57.31	0.00	59.23
257	7.9	1.30	4.68	1.90	3.04	1.20	115.11	53.84	0.00	55.67
258	8.8	1.30	5.30	2.15	2.95	1.29	119.12	49.83	0.00	51.49
259	0.0	0.00	0.00	0.00	3.08	1.36	117.76	51.19	0.00	52.91
260	0.0	0.00	0.00	0.00	3.08	1.31	116.45	52.50	0.00	54.27
261	0.0	0.00	0.00	0.00	3.04	1.25	115.19	53.76	0.00	55.54
262	0.0	0.00	0.00	0.00	3.12	1.24	113.95	55.00	0.00	56.88
263	0.0	0.00	0.00	0.00	3.04	1.17	112.78	56.17	0.00	58.04
264	0.0	0.00	0.00	0.00	2.95	1.10	111.68	57.27	0.00	59.12
265	0.0	0.00	0.00	0.00	3.04	1.09	110.58	58.36	0.00	60.31
266	0.0	0.00	0.00	0.00	3.08	1.07	109.51	59.44	0.00	61.44
267	0.0	0.00	0.00	0.00	3.21	1.08	108.43	60.52	0.00	62.64
268	0.0	0.00	0.00	0.00	3.04	0.99	107.45	61.50	0.00	63.55
269	0.0	0.00	0.00	0.00	3.04	0.95	106.49	62.46	0.00	64.54
270	0.0	0.00	0.00	0.00	3.00	0.91	105.58	63.37	0.00	65.45
271	0.0	0.00	0.00	0.00	2.95	0.87	104.71	64.24	0.00	66.32
272	0.0	0.00	0.00	0.00	3.21	0.91	103.80	65.15	0.00	67.44
273	0.0	0.00	0.00	0.00	3.00	0.82	102.98	65.97	0.00	68.14
274	0.0	0.00	0.00	0.00	3.08	0.82	102.16	66.79	0.00	69.05
275	0.0	0.00	0.00	0.00	3.00	0.77	101.39	67.56	0.00	69.78
Ene 05 - 276	0.0	0.00	0.00	0.00	3.10	0.77	100.62	68.33	0.00	70.66
277	0.0	0.00	0.00	0.00	3.14	0.75	99.87	69.08	0.00	71.47
278	0.0	0.00	0.00	0.00	3.18	0.74	99.13	69.82	0.00	72.27

279	0.0	0.00	0.00	0.00	3.05	0.68	98.45	70.50	0.00	72.87
280	0.0	0.00	0.00	0.00	3.32	0.72	97.73	71.22	0.00	73.82
281	0.0	0.00	0.00	0.00	3.27	0.68	97.05	71.90	0.00	74.49
282	0.0	0.00	0.00	0.00	3.23	0.65	96.40	72.55	0.00	75.13
283	0.0	0.00	0.00	0.00	3.01	0.58	95.81	73.13	0.00	75.56
284	7.6	1.30	4.50	1.83	3.14	0.70	99.62	69.33	0.00	71.78
285	0.0	0.00	0.00	0.00	3.10	0.71	98.91	70.04	0.00	72.43
286	0.0	0.00	0.00	0.00	3.32	0.73	98.17	70.77	0.00	73.36
287	0.0	0.00	0.00	0.00	3.23	0.69	97.48	71.46	0.00	74.00
288	0.0	0.00	0.00	0.00	3.27	0.67	96.81	72.14	0.00	74.74
289	7.8	1.30	4.63	1.88	3.01	0.70	100.74	68.21	0.00	70.51
290	0.0	0.00	0.00	0.00	3.10	0.75	99.99	68.96	0.00	71.30
291	0.0	0.00	0.00	0.00	3.14	0.73	99.26	69.69	0.00	72.10
292	0.0	0.00	0.00	0.00	3.32	0.75	98.51	70.43	0.00	73.00
293	0.0	0.00	0.00	0.00	3.14	0.68	97.83	71.12	0.00	73.57
294	0.0	0.00	0.00	0.00	3.10	0.65	97.18	71.76	0.00	74.21
295	0.0	0.00	0.00	0.00	3.05	0.62	96.56	72.38	0.00	74.82
296	0.0	0.00	0.00	0.00	3.18	0.62	95.94	73.01	0.00	75.57
297	0.0	0.00	0.00	0.00	3.27	0.62	95.32	73.63	0.00	76.28
298	0.0	0.00	0.00	0.00	3.32	0.60	94.72	74.23	0.00	76.94
299	0.0	0.00	0.00	0.00	3.14	0.55	94.17	74.78	0.00	77.37
300	0.0	0.00	0.00	0.00	3.05	0.52	93.65	75.30	0.00	77.83
301	0.0	0.00	0.00	0.00	3.14	0.52	93.13	75.82	0.00	78.44
302	0.0	0.00	0.00	0.00	3.10	0.49	92.64	76.31	0.00	78.91
303	0.0	0.00	0.00	0.00	3.27	0.50	92.14	76.81	0.00	79.58
304	0.0	0.00	0.00	0.00	3.18	0.47	91.67	77.28	0.00	79.99
305	0.0	0.00	0.00	0.00	3.05	0.44	91.23	77.71	0.00	80.33
306	0.0	0.00	0.00	0.00	3.10	0.43	90.81	78.14	0.00	80.81
Feb 05 - 307	0.0	0.00	0.00	0.00	3.37	0.45	90.36	78.59	0.00	81.51
308	0.0	0.00	0.00	0.00	3.46	0.44	89.92	79.03	0.00	82.05
309	0.0	0.00	0.00	0.00	3.51	0.43	89.48	79.47	0.00	82.54
310	9.8	1.30	6.05	2.46	3.56	0.59	94.95	74.00	0.00	76.97
311	0.0	0.00	0.00	0.00	3.41	0.61	94.34	74.60	0.00	77.41
312	0.0	0.00	0.00	0.00	3.66	0.63	93.72	75.23	0.00	78.26
313	0.0	0.00	0.00	0.00	3.51	0.58	93.14	75.81	0.00	78.74
314	0.0	0.00	0.00	0.00	3.51	0.56	92.58	76.36	0.00	79.32
315	0.0	0.00	0.00	0.00	3.66	0.56	92.03	76.92	0.00	80.02
316	0.0	0.00	0.00	0.00	3.61	0.53	91.50	77.45	0.00	80.53
317	0.0	0.00	0.00	0.00	3.37	0.47	91.03	77.92	0.00	80.81
318	0.0	0.00	0.00	0.00	3.51	0.48	90.55	78.40	0.00	81.43
319	0.0	0.00	0.00	0.00	3.37	0.44	90.11	78.84	0.00	81.76
320	0.0	0.00	0.00	0.00	3.51	0.44	89.67	79.28	0.00	82.35
321	0.0	0.00	0.00	0.00	3.41	0.41	89.26	79.69	0.00	82.69
322	0.0	0.00	0.00	0.00	3.46	0.40	88.86	80.09	0.00	83.15
323	0.0	0.00	0.00	0.00	3.46	0.39	88.47	80.48	0.00	83.55
324	0.0	0.00	0.00	0.00	3.41	0.37	88.10	80.85	0.00	83.89
325	0.0	0.00	0.00	0.00	3.71	0.38	87.72	81.23	0.00	84.55
326	0.0	0.00	0.00	0.00	3.37	0.34	87.38	81.57	0.00	84.60
327	0.0	0.00	0.00	0.00	3.41	0.33	87.06	81.89	0.00	84.98
328	0.0	0.00	0.00	0.00	3.46	0.32	86.74	82.21	0.00	85.36

329	0.0	0.00	0.00	0.00	3.66	0.32	86.41	82.54	0.00	85.87
330	0.0	0.00	0.00	0.00	3.46	0.30	86.12	82.83	0.00	86.00
331	0.0	0.00	0.00	0.00	3.66	0.30	85.82	83.13	0.00	86.49
332	0.0	0.00	0.00	0.00	3.37	0.27	85.55	83.40	0.00	86.50
333	0.0	0.00	0.00	0.00	3.51	0.27	85.28	83.66	0.00	86.91
334	0.0	0.00	0.00	0.00	3.41	0.25	85.03	83.91	0.00	87.08
Mar 05 - 335	0.0	0.00	0.00	0.00	3.70	0.26	84.77	84.17	0.00	87.62
336	0.0	0.00	0.00	0.00	3.76	0.25	84.52	84.43	0.00	87.93
337	0.0	0.00	0.00	0.00	3.86	0.25	84.27	84.68	0.00	88.29
338	0.0	0.00	0.00	0.00	3.76	0.23	84.04	84.91	0.00	88.44
339	0.0	0.00	0.00	0.00	4.08	0.24	83.79	85.15	0.00	88.99
340	0.0	0.00	0.00	0.00	3.86	0.22	83.57	85.37	0.00	89.02
341	0.0	0.00	0.00	0.00	3.97	0.22	83.36	85.59	0.00	89.34
342	0.0	0.00	0.00	0.00	3.70	0.19	83.17	85.78	0.00	89.29
343	0.0	0.00	0.00	0.00	3.76	0.19	82.98	85.97	0.00	89.54
344	0.0	0.00	0.00	0.00	3.81	0.18	82.79	86.15	0.00	89.78
345	0.0	0.00	0.00	0.00	3.86	0.18	82.62	86.33	0.00	90.02
346	0.0	0.00	0.00	0.00	4.02	0.18	82.44	86.51	0.00	90.36
347	0.0	0.00	0.00	0.00	3.97	0.17	82.27	86.68	0.00	90.48
348	0.0	0.00	0.00	0.00	3.92	0.16	82.11	86.83	0.00	90.59
349	0.0	0.00	0.00	0.00	3.81	0.15	81.97	86.98	0.00	90.64
350	0.0	0.00	0.00	0.00	3.92	0.15	81.82	87.13	0.00	90.90
351	0.0	0.00	0.00	0.00	3.76	0.13	81.69	87.26	0.00	90.88
352	0.0	0.00	0.00	0.00	3.81	0.13	81.56	87.39	0.00	91.07
353	0.0	0.00	0.00	0.00	4.02	0.13	81.43	87.52	0.00	91.41
354	0.0	0.00	0.00	0.00	3.76	0.12	81.31	87.64	0.00	91.28
355	0.0	0.00	0.00	0.00	4.02	0.12	81.19	87.76	0.00	91.66
356	0.0	0.00	0.00	0.00	3.70	0.11	81.08	87.86	0.00	91.46
357	0.0	0.00	0.00	0.00	3.86	0.11	80.98	87.97	0.00	91.73
358	0.0	0.00	0.00	0.00	3.86	0.10	80.88	88.07	0.00	91.83
359	0.0	0.00	0.00	0.00	4.02	0.10	80.77	88.17	0.00	92.10
360	0.0	0.00	0.00	0.00	3.86	0.09	80.68	88.27	0.00	92.04
361	0.0	0.00	0.00	0.00	4.24	0.10	80.58	88.36	0.00	92.50
362	0.0	0.00	0.00	0.00	4.02	0.09	80.50	88.45	0.00	92.39
363	0.0	0.00	0.00	0.00	4.02	0.08	80.41	88.54	0.00	92.48
364	0.0	0.00	0.00	0.00	4.08	0.08	80.33	88.62	0.00	92.62
365	0.0	0.00	0.00	0.00	3.97	0.08	80.25	88.70	0.00	92.59
TOTAL	1706.06	234.62	1046.53	424.91	1370.84	749.94	TOTAL	294.88	620.89	

Cuadro 72A. Ejemplo del BH diario (estimando precipitación efectiva/M. Palacios Vélez)

Método de variación lineal de la evapotranspiración real						Unidad 03				
Serie de suelo:		Civijá				Estación climática:		Xeabaj		
Unidad geológica:		Zona de Biotita del Chol				Textura del suelo:		Franco arenoso		
Uso actual:		Asentamiento Humano Rural								
Terminología										
(CC-PM): Rango de Agua Disponible.						DS: Densidad de Suelo.				
ETP: Evapotranspiración Potencial.						PM: Punto de Marchites.				
HSf: Humedad de Suelo Final.						PR: Profundidad de Raíces.				
Lluvia retenida: Bosques=0.2, otros=0.12						P: Precipitación.				
HSi: Humedad de Suelo Inicial.						I: Infiltración.				
ESC: Escorrentía Superficial						Pi: Precipitación que infiltra / M. Palacios Vélez				
ETR: Evapotranspiración Real.						Rp: Recarga Potencial				
						CC: Capacidad de Campo.				
						(%) (mm)				
DS (g/cm ³)		1.14				CC		14.82		168.95
PR (mm)		1000				PM		6.89		78.55
HSi:		78.55				(CC-PM)		7.93		90.40
Li ret [0.01%]		0.12								
Período	P	R	Pi	ESC	ETP	ETR	HSF	DCC	Rp	NR
2004-2005	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm
Abr 04 - 1	0.0	0.00	0.00	0.00	4.26	0.00	78.55	90.40	0.00	94.66
2	0.0	0.00	0.00	0.00	4.31	0.00	78.55	90.40	0.00	94.71
3	1.6	1.30	0.26	0.00	3.75	0.01	78.80	90.15	0.00	93.89
4	7.8	1.30	6.30	0.21	3.92	0.15	84.96	83.99	0.00	87.76
5	0.0	0.00	0.00	0.00	4.09	0.28	84.67	84.27	0.00	88.08
6	0.0	0.00	0.00	0.00	4.14	0.27	84.40	84.55	0.00	88.42
7	0.2	0.19	0.00	0.00	4.82	0.30	84.10	84.85	0.00	89.37
8	0.0	0.00	0.00	0.00	4.48	0.27	83.83	85.12	0.00	89.33
9	0.0	0.00	0.00	0.00	4.20	0.24	83.59	85.36	0.00	89.32
10	0.0	0.00	0.00	0.00	4.59	0.25	83.34	85.61	0.00	89.95
11	0.0	0.00	0.00	0.00	4.14	0.21	83.12	85.82	0.00	89.75
12	0.0	0.00	0.00	0.00	4.31	0.21	82.91	86.04	0.00	90.14
13	0.0	0.00	0.00	0.00	4.31	0.20	82.71	86.24	0.00	90.35
14	0.0	0.00	0.00	0.00	3.97	0.18	82.53	86.42	0.00	90.22
15	0.0	0.00	0.00	0.00	4.37	0.19	82.34	86.61	0.00	90.79
16	0.0	0.00	0.00	0.00	3.92	0.16	82.18	86.77	0.00	90.53
17	0.0	0.00	0.00	0.00	3.92	0.15	82.03	86.92	0.00	90.69
18	0.0	0.00	0.00	0.00	4.03	0.15	81.87	87.07	0.00	90.95
19	0.0	0.00	0.00	0.00	3.81	0.14	81.74	87.21	0.00	90.88
20	0.0	0.00	0.00	0.00	4.03	0.14	81.60	87.35	0.00	91.24
21	0.0	0.00	0.00	0.00	4.31	0.14	81.46	87.49	0.00	91.66
22	0.0	0.00	0.00	0.00	4.09	0.13	81.33	87.62	0.00	91.58
23	0.0	0.00	0.00	0.00	4.20	0.13	81.20	87.75	0.00	91.82
24	0.0	0.00	0.00	0.00	4.26	0.12	81.08	87.87	0.00	92.00
25	0.0	0.00	0.00	0.00	4.26	0.12	80.96	87.99	0.00	92.13
26	0.0	0.00	0.00	0.00	4.14	0.11	80.85	88.09	0.00	92.13
27	0.0	0.00	0.00	0.00	4.31	0.11	80.75	88.20	0.00	92.41
28	0.0	0.00	0.00	0.00	4.14	0.10	80.65	88.30	0.00	92.35
29	0.0	0.00	0.00	0.00	4.26	0.10	80.55	88.40	0.00	92.56

30	0.0	0.00	0.00	0.00	4.48	0.10	80.45	88.49	0.00	92.88
May 04 - 31	10.6	1.30	8.89	0.43	4.17	0.29	89.05	79.89	0.00	83.77
32	8.1	1.30	6.59	0.23	4.28	0.64	95.01	73.94	0.00	77.58
33	28.1	3.38	21.69	3.06	4.17	1.29	115.40	53.54	0.00	56.42
34	0.2	0.19	0.00	0.00	4.28	1.70	113.70	55.25	0.00	57.82
35	0.0	0.00	0.00	0.00	4.05	1.54	112.16	56.79	0.00	59.30
36	0.0	0.00	0.00	0.00	4.39	1.59	110.57	58.38	0.00	61.18
37	1.0	1.00	0.00	0.00	4.28	1.48	109.09	59.86	0.00	62.66
38	0.0	0.00	0.00	0.00	4.39	1.45	107.64	61.31	0.00	64.25
39	0.0	0.00	0.00	0.00	4.00	1.26	106.38	62.56	0.00	65.30
40	0.0	0.00	0.00	0.00	4.28	1.29	105.10	63.85	0.00	66.84
41	0.0	0.00	0.00	0.00	4.11	1.18	103.92	65.03	0.00	67.96
42	0.0	0.00	0.00	0.00	4.39	1.20	102.72	66.23	0.00	69.42
43	16.9	2.03	13.79	1.11	4.33	1.47	115.04	53.91	0.00	56.77
44	2.8	1.30	1.44	0.01	4.22	1.70	114.78	54.17	0.00	56.69
45	0.7	0.69	0.00	0.00	3.94	1.55	113.24	55.71	0.00	58.11
46	51.8	6.21	31.76	13.78	4.22	2.61	142.38	26.56	0.00	28.18
47	20.8	2.49	16.59	1.67	4.22	3.32	155.66	13.29	0.00	14.19
48	7.1	1.30	5.66	0.17	3.94	3.41	157.90	11.05	0.00	11.58
49	0.8	0.75	0.00	0.00	3.77	3.24	154.66	14.29	0.00	14.82
50	4.6	1.30	3.27	0.06	3.89	3.27	154.66	14.29	0.00	14.91
51	4.4	1.30	3.03	0.05	4.00	3.36	154.33	14.62	0.00	15.26
52	0.0	0.00	0.00	0.00	4.11	3.37	150.96	17.99	0.00	18.73
53	34.7	4.16	25.03	5.49	3.89	3.53	168.95	0.00	3.51	0.35
54	20.9	2.51	16.73	1.70	4.00	3.95	168.95	0.00	12.78	0.05
55	0.0	0.00	0.00	0.00	4.11	4.02	164.93	4.02	0.00	4.11
56	0.0	0.00	0.00	0.00	4.17	3.89	161.04	7.91	0.00	8.18
57	23.6	2.84	18.63	2.16	4.05	3.83	168.95	0.00	6.89	0.22
58	7.8	1.30	6.24	0.21	4.11	4.02	168.95	0.00	2.22	0.09
59	12.2	1.46	10.15	0.58	4.17	4.08	168.95	0.00	6.07	0.08
60	0.0	0.00	0.00	0.00	4.05	3.96	164.99	3.96	0.00	4.05
61	0.0	0.00	0.00	0.00	4.00	3.74	161.25	7.70	0.00	7.96
Jun 04 - 62	0.0	0.00	0.00	0.00	4.18	3.74	157.51	11.44	0.00	11.89
63	5.9	1.30	4.47	0.10	4.13	3.62	158.35	10.59	0.00	11.10
64	14.1	1.70	11.66	0.77	4.01	3.71	166.30	2.64	0.00	2.95
65	26.3	3.15	20.43	2.67	4.07	3.98	168.95	0.00	13.81	0.09
66	0.0	0.00	0.00	0.00	3.90	3.82	165.13	3.82	0.00	3.90
67	0.0	0.00	0.00	0.00	4.07	3.81	161.32	7.63	0.00	7.89
68	7.8	1.30	6.24	0.21	4.18	3.89	163.68	5.27	0.00	5.57
69	25.2	3.02	19.71	2.46	3.96	3.81	168.95	0.00	10.63	0.15
70	23.8	2.85	18.72	2.18	4.07	4.03	168.95	0.00	14.69	0.04
71	24.9	2.99	19.54	2.41	4.07	4.03	168.95	0.00	15.50	0.04
72	17.5	2.10	14.21	1.19	4.01	3.95	168.95	0.00	10.26	0.06
73	0.2	0.19	0.00	0.00	3.96	3.87	165.08	3.87	0.00	3.96
74	0.0	0.00	0.00	0.00	4.18	3.91	161.16	7.78	0.00	8.06
75	0.0	0.00	0.00	0.00	4.18	3.74	157.43	11.52	0.00	11.97
76	40.9	4.91	27.70	8.33	4.24	4.07	168.95	0.00	12.11	0.17
77	25.4	3.05	19.84	2.49	4.01	3.98	168.95	0.00	15.86	0.03
78	0.0	0.00	0.00	0.00	4.07	3.98	164.97	3.98	0.00	4.07
79	0.0	0.00	0.00	0.00	4.01	3.75	161.22	7.73	0.00	7.99

80	9.4	1.30	7.75	0.33	4.18	3.92	165.05	3.90	0.00	4.17
81	0.0	0.00	0.00	0.00	4.07	3.81	161.24	7.71	0.00	7.97
82	0.0	0.00	0.00	0.00	4.07	3.64	157.60	11.35	0.00	11.78
83	50.6	6.08	31.36	13.19	4.07	4.02	168.95	0.00	16.00	0.05
84	0.0	0.00	0.00	0.00	4.13	4.03	164.91	4.03	0.00	4.13
85	16.1	1.93	13.14	1.00	4.07	3.91	168.95	0.00	5.19	0.16
86	2.6	1.30	1.32	0.01	3.96	3.87	166.39	2.55	0.00	2.64
87	5.2	1.30	3.81	0.08	4.07	3.92	166.28	2.67	0.00	2.81
88	0.0	0.00	0.00	0.00	4.07	3.86	162.42	6.53	0.00	6.74
89	0.0	0.00	0.00	0.00	3.90	3.54	158.88	10.07	0.00	10.43
90	3.6	1.30	2.30	0.03	4.01	3.54	157.64	11.31	0.00	11.79
91	13.7	1.64	11.32	0.73	4.13	3.79	165.17	3.78	0.00	4.12
Jul 04 - 92	33.4	4.01	24.44	4.93	3.96	3.90	168.95	0.00	16.76	0.06
93	0.0	0.00	0.00	0.00	4.01	3.93	165.02	3.93	0.00	4.01
94	0.0	0.00	0.00	0.00	3.90	3.65	161.37	7.58	0.00	7.83
95	0.3	0.31	0.00	0.00	3.84	3.45	157.93	11.02	0.00	11.42
96	6.9	1.30	5.42	0.16	4.01	3.56	159.78	9.17	0.00	9.62
97	18.9	2.27	15.23	1.38	4.01	3.75	168.95	0.00	2.31	0.26
98	12.2	1.46	10.15	0.58	4.13	4.05	168.95	0.00	6.10	0.08
99	27.4	3.29	21.19	2.90	3.84	3.82	168.95	0.00	17.36	0.02
100	31.1	3.74	23.39	4.00	3.96	3.96	168.95	0.00	19.43	0.00
101	28.8	3.45	22.23	3.07	4.01	3.99	168.95	0.00	18.24	0.02
102	39.3	4.72	27.03	7.57	3.90	3.90	168.95	0.00	23.13	0.00
103	0.3	0.31	0.00	0.00	4.01	3.93	165.02	3.93	0.00	4.01
104	0.0	0.00	0.00	0.00	3.96	3.70	161.32	7.63	0.00	7.88
105	3.4	1.30	2.05	0.02	3.96	3.59	159.79	9.16	0.00	9.53
106	0.3	0.31	0.00	0.00	3.84	3.38	156.41	12.54	0.00	13.01
107	0.0	0.00	0.00	0.00	3.96	3.33	153.07	15.88	0.00	16.50
108	0.0	0.00	0.00	0.00	4.13	3.33	149.75	19.20	0.00	20.00
109	0.0	0.00	0.00	0.00	3.96	3.05	146.70	22.25	0.00	23.16
110	0.0	0.00	0.00	0.00	4.24	3.12	143.58	25.37	0.00	26.49
111	17.9	2.15	14.49	1.24	4.18	3.29	154.78	14.17	0.00	15.06
112	30.3	3.64	23.00	3.68	4.07	3.74	168.95	0.00	5.08	0.33
113	20.3	2.44	16.28	1.60	4.07	4.02	168.95	0.00	12.26	0.06
114	0.0	0.00	0.00	0.00	4.18	4.09	164.86	4.09	0.00	4.18
115	0.0	0.00	0.00	0.00	4.18	3.90	160.96	7.99	0.00	8.27
116	0.0	0.00	0.00	0.00	4.07	3.63	157.33	11.62	0.00	12.06
117	36.3	4.35	25.72	6.18	4.07	3.86	168.95	0.00	10.25	0.21
118	0.0	0.00	0.00	0.00	4.01	3.93	165.02	3.93	0.00	4.01
119	0.0	0.00	0.00	0.00	3.96	3.70	161.32	7.63	0.00	7.88
120	0.0	0.00	0.00	0.00	4.24	3.79	157.53	11.42	0.00	11.87
121	20.9	2.51	16.73	1.70	4.24	3.91	168.95	0.00	1.39	0.33
122	28.8	3.45	22.23	3.07	4.24	4.21	168.95	0.00	18.02	0.03
Ago 04 - 123	0.0	0.00	0.00	0.00	4.21	4.12	164.83	4.12	0.00	4.21
124	0.0	0.00	0.00	0.00	4.10	3.83	161.01	7.94	0.00	8.22
125	2.1	1.30	0.76	0.00	4.10	3.67	158.09	10.85	0.00	11.28
126	0.0	0.00	0.00	0.00	4.16	3.57	154.52	14.43	0.00	15.01
127	24.3	2.91	19.06	2.28	4.16	3.78	168.95	0.00	0.85	0.37
128	0.0	0.00	0.00	0.00	4.21	4.12	164.83	4.12	0.00	4.21
129	17.5	2.10	14.21	1.19	4.16	3.99	168.95	0.00	6.10	0.16

130	0.0	0.00	0.00	0.00	4.10	4.01	164.94	4.01	0.00	4.10
131	0.0	0.00	0.00	0.00	4.21	3.93	161.01	7.94	0.00	8.22
132	0.0	0.00	0.00	0.00	4.10	3.66	157.35	11.60	0.00	12.04
133	0.0	0.00	0.00	0.00	4.21	3.59	153.76	15.18	0.00	15.81
134	26.3	3.15	20.43	2.67	4.16	3.77	168.95	0.00	1.47	0.38
135	0.0	0.00	0.00	0.00	4.16	4.06	164.89	4.06	0.00	4.16
136	0.0	0.00	0.00	0.00	4.16	3.88	161.01	7.94	0.00	8.22
137	0.0	0.00	0.00	0.00	4.16	3.70	157.30	11.65	0.00	12.10
138	0.0	0.00	0.00	0.00	4.21	3.59	153.72	15.23	0.00	15.86
139	9.1	1.30	7.46	0.30	3.99	3.41	157.77	11.18	0.00	11.76
140	0.0	0.00	0.00	0.00	4.04	3.47	154.31	14.64	0.00	15.22
141	7.2	1.30	5.71	0.17	3.99	3.39	156.63	12.32	0.00	12.92
142	0.0	0.00	0.00	0.00	3.99	3.37	153.26	15.69	0.00	16.31
143	0.0	0.00	0.00	0.00	4.10	3.31	149.95	19.00	0.00	19.79
144	0.0	0.00	0.00	0.00	4.21	3.25	146.70	22.25	0.00	23.21
145	0.0	0.00	0.00	0.00	4.21	3.10	143.59	25.35	0.00	26.47
146	6.2	1.30	4.77	0.12	4.04	2.95	145.41	23.54	0.00	24.63
147	25.0	3.00	19.58	2.42	3.99	3.35	161.64	7.31	0.00	7.94
148	0.0	0.00	0.00	0.00	3.87	3.49	158.16	10.79	0.00	11.18
149	0.0	0.00	0.00	0.00	3.93	3.39	154.77	14.18	0.00	14.72
150	12.5	1.50	10.40	0.60	4.04	3.57	161.60	7.35	0.00	7.83
151	19.4	2.33	15.60	1.45	3.93	3.72	168.95	0.00	4.53	0.21
152	2.4	1.30	1.13	0.01	3.99	3.90	166.18	2.77	0.00	2.86
153	0.0	0.00	0.00	0.00	4.10	3.89	162.29	6.65	0.00	6.87
Sep 04 - 154	0.0	0.00	0.00	0.00	3.77	3.42	158.88	10.07	0.00	10.42
155	0.0	0.00	0.00	0.00	3.98	3.46	155.41	13.53	0.00	14.06
156	12.5	1.50	10.40	0.60	3.98	3.55	162.26	6.69	0.00	7.12
157	48.8	5.85	30.70	12.20	4.04	4.04	168.95	0.00	19.97	0.00
158	0.6	0.63	0.00	0.00	4.09	4.00	164.95	4.00	0.00	4.09
159	8.4	1.30	6.88	0.25	4.04	3.86	167.97	0.98	0.00	1.16
160	60.0	7.20	34.46	18.34	4.04	4.04	168.95	0.00	29.44	0.00
161	1.3	1.25	0.00	0.00	3.98	3.90	165.05	3.90	0.00	3.98
162	0.0	0.00	0.00	0.00	3.98	3.73	161.32	7.63	0.00	7.88
163	0.0	0.00	0.00	0.00	3.93	3.52	157.80	11.15	0.00	11.56
164	1.9	1.30	0.64	0.00	4.09	3.52	154.92	14.03	0.00	14.60
165	0.0	0.00	0.00	0.00	3.98	3.29	151.62	17.32	0.00	18.02
166	20.6	2.48	16.50	1.65	3.88	3.44	164.69	4.26	0.00	4.70
167	0.0	0.00	0.00	0.00	4.04	3.76	160.92	8.02	0.00	8.30
168	29.7	3.56	22.69	3.43	3.98	3.80	168.95	0.00	10.87	0.19
169	1.6	1.30	0.26	0.00	3.93	3.85	165.37	3.58	0.00	3.67
170	0.0	0.00	0.00	0.00	4.09	3.84	161.52	7.42	0.00	7.68
171	0.0	0.00	0.00	0.00	4.04	3.62	157.90	11.05	0.00	11.46
172	21.4	2.57	17.09	1.78	4.09	3.79	168.95	0.00	2.25	0.30
173	0.0	0.00	0.00	0.00	4.04	3.95	165.00	3.95	0.00	4.04
174	0.3	0.31	0.00	0.00	4.09	3.83	161.17	7.77	0.00	8.04
175	13.1	1.58	10.88	0.67	3.93	3.69	168.37	0.58	0.00	0.82
176	4.9	1.30	3.51	0.06	4.04	3.94	167.94	1.01	0.00	1.11
177	0.3	0.31	0.00	0.00	3.98	3.85	164.09	4.86	0.00	4.99
178	0.0	0.00	0.00	0.00	4.09	3.79	160.30	8.65	0.00	8.95
179	0.0	0.00	0.00	0.00	3.98	3.52	156.78	12.17	0.00	12.63

180	2.5	1.30	1.19	0.01	3.98	3.40	154.57	14.38	0.00	14.96
181	22.9	2.75	18.15	2.04	4.04	3.67	168.95	0.00	0.10	0.37
182	12.5	1.50	10.40	0.60	4.04	3.96	168.95	0.00	6.43	0.08
183	14.4	1.73	11.85	0.80	3.98	3.91	168.95	0.00	7.94	0.07
Oct 04 - 184	7.7	1.30	6.18	0.20	3.55	3.49	168.95	0.00	2.69	0.07
185	0.0	0.00	0.00	0.00	3.50	3.44	165.51	3.44	0.00	3.50
186	0.0	0.00	0.00	0.00	3.50	3.31	162.21	6.74	0.00	6.94
187	17.2	2.06	13.98	1.14	3.61	3.42	168.95	0.00	3.82	0.18
188	18.4	2.21	14.91	1.32	3.55	3.51	168.95	0.00	11.40	0.04
189	11.6	1.39	9.66	0.52	3.55	3.50	168.95	0.00	6.16	0.06
190	25.6	3.08	20.01	2.54	3.71	3.68	168.95	0.00	16.33	0.02
191	1.3	1.25	0.00	0.00	3.76	3.68	165.27	3.68	0.00	3.76
192	36.6	4.39	25.86	6.32	3.76	3.73	168.95	0.00	18.45	0.02
193	0.0	0.00	0.00	0.00	3.76	3.68	165.27	3.68	0.00	3.76
194	0.0	0.00	0.00	0.00	3.76	3.53	161.74	7.21	0.00	7.44
195	0.0	0.00	0.00	0.00	3.81	3.43	158.31	10.64	0.00	11.01
196	8.6	1.30	7.00	0.26	3.81	3.43	161.87	7.07	0.00	7.45
197	20.0	2.40	16.05	1.55	3.71	3.52	168.95	0.00	5.46	0.19
198	0.0	0.00	0.00	0.00	3.66	3.58	165.37	3.58	0.00	3.66
199	0.4	0.38	0.00	0.00	3.71	3.49	161.88	7.07	0.00	7.29
200	54.4	6.53	32.67	15.23	3.71	3.71	168.95	0.00	21.90	0.00
201	12.5	1.50	10.40	0.60	3.66	3.59	168.95	0.00	6.80	0.06
202	0.0	0.00	0.00	0.00	3.71	3.63	165.32	3.63	0.00	3.71
203	0.0	0.00	0.00	0.00	3.76	3.53	161.79	7.16	0.00	7.39
204	0.0	0.00	0.00	0.00	3.76	3.39	158.40	10.55	0.00	10.92
205	0.0	0.00	0.00	0.00	3.66	3.16	155.24	13.71	0.00	14.20
206	0.0	0.00	0.00	0.00	3.71	3.08	152.16	16.79	0.00	17.42
207	0.0	0.00	0.00	0.00	3.55	2.84	149.32	19.63	0.00	20.35
208	0.0	0.00	0.00	0.00	3.61	2.77	146.55	22.40	0.00	23.23
209	0.0	0.00	0.00	0.00	3.61	2.66	143.89	25.05	0.00	26.00
210	0.0	0.00	0.00	0.00	3.55	2.52	141.38	27.57	0.00	28.61
211	0.0	0.00	0.00	0.00	3.55	2.42	138.95	29.99	0.00	31.13
212	0.0	0.00	0.00	0.00	3.61	2.36	136.59	32.36	0.00	33.60
213	0.0	0.00	0.00	0.00	3.55	2.24	134.35	34.59	0.00	35.91
214	0.0	0.00	0.00	0.00	3.61	2.18	132.17	36.78	0.00	38.20
Nov 04 - 215	0.0	0.00	0.00	0.00	3.29	1.92	130.26	38.69	0.00	40.06
216	0.0	0.00	0.00	0.00	3.43	1.92	128.34	40.61	0.00	42.12
217	7.5	1.30	6.01	0.19	3.38	1.94	132.40	36.54	0.00	37.98
218	0.6	0.63	0.00	0.00	3.15	1.85	130.56	38.39	0.00	39.70
219	7.8	1.30	6.30	0.21	3.24	1.95	134.91	34.03	0.00	35.33
220	14.1	1.70	11.66	0.77	3.15	2.14	144.43	24.52	0.00	25.53
221	0.0	0.00	0.00	0.00	3.43	2.45	141.98	26.97	0.00	27.94
222	0.0	0.00	0.00	0.00	3.24	2.24	139.75	29.20	0.00	30.21
223	0.0	0.00	0.00	0.00	3.20	2.13	137.62	31.33	0.00	32.40
224	0.0	0.00	0.00	0.00	3.24	2.08	135.54	33.41	0.00	34.57
225	0.0	0.00	0.00	0.00	3.24	2.01	133.53	35.42	0.00	36.65
226	0.0	0.00	0.00	0.00	3.20	1.91	131.62	37.33	0.00	38.62
227	0.0	0.00	0.00	0.00	3.20	1.84	129.77	39.17	0.00	40.53
228	0.0	0.00	0.00	0.00	3.20	1.78	127.99	40.95	0.00	42.37
229	1.3	1.25	0.00	0.00	3.20	1.72	126.28	42.67	0.00	44.15

230	25.6	3.08	20.01	2.54	3.38	2.16	144.12	24.82	0.00	26.05
231	0.0	0.00	0.00	0.00	3.15	2.25	141.88	27.07	0.00	27.98
232	9.8	1.30	8.15	0.36	3.29	2.41	147.62	21.33	0.00	22.21
233	0.0	0.00	0.00	0.00	3.24	2.43	145.18	23.77	0.00	24.58
234	0.0	0.00	0.00	0.00	3.24	2.35	142.83	26.11	0.00	27.01
235	0.0	0.00	0.00	0.00	3.29	2.30	140.54	28.41	0.00	29.40
236	0.0	0.00	0.00	0.00	3.43	2.30	138.23	30.72	0.00	31.84
237	0.0	0.00	0.00	0.00	3.43	2.22	136.01	32.93	0.00	34.14
238	0.0	0.00	0.00	0.00	3.33	2.08	133.93	35.01	0.00	36.27
239	0.0	0.00	0.00	0.00	3.43	2.06	131.88	37.07	0.00	38.44
240	10.9	1.31	9.16	0.46	3.15	1.99	139.05	29.90	0.00	31.06
241	0.0	0.00	0.00	0.00	3.24	2.13	136.92	32.03	0.00	33.14
242	0.0	0.00	0.00	0.00	3.24	2.06	134.86	34.09	0.00	35.28
243	0.0	0.00	0.00	0.00	3.15	1.93	132.93	36.02	0.00	37.24
244	0.0	0.00	0.00	0.00	3.43	2.02	130.91	38.04	0.00	39.44
Dic 04 - 245	0.0	0.00	0.00	0.00	3.16	1.80	129.11	39.84	0.00	41.21
246	0.0	0.00	0.00	0.00	3.00	1.65	127.46	41.49	0.00	42.84
247	0.0	0.00	0.00	0.00	3.00	1.59	125.87	43.08	0.00	44.48
248	0.0	0.00	0.00	0.00	3.04	1.56	124.30	44.65	0.00	46.12
249	0.0	0.00	0.00	0.00	3.00	1.49	122.81	46.14	0.00	47.64
250	0.0	0.00	0.00	0.00	3.08	1.48	121.33	47.62	0.00	49.22
251	0.0	0.00	0.00	0.00	3.00	1.39	119.93	49.01	0.00	50.61
252	0.0	0.00	0.00	0.00	3.21	1.44	118.49	50.46	0.00	52.22
253	0.0	0.00	0.00	0.00	3.08	1.34	117.15	51.79	0.00	53.54
254	0.0	0.00	0.00	0.00	2.95	1.24	115.91	53.03	0.00	54.75
255	0.0	0.00	0.00	0.00	3.04	1.23	114.68	54.27	0.00	56.07
256	6.5	1.30	5.06	0.14	3.00	1.26	118.48	50.46	0.00	52.20
257	7.9	1.30	6.36	0.22	3.04	1.43	123.42	45.53	0.00	47.14
258	8.8	1.30	7.17	0.28	2.95	1.56	129.03	39.92	0.00	41.31
259	0.0	0.00	0.00	0.00	3.08	1.69	127.34	41.61	0.00	43.00
260	0.0	0.00	0.00	0.00	3.08	1.63	125.70	43.24	0.00	44.69
261	0.0	0.00	0.00	0.00	3.04	1.56	124.15	44.80	0.00	46.28
262	0.0	0.00	0.00	0.00	3.12	1.55	122.60	46.35	0.00	47.92
263	0.0	0.00	0.00	0.00	3.04	1.46	121.14	47.80	0.00	49.39
264	0.0	0.00	0.00	0.00	2.95	1.37	119.77	49.17	0.00	50.76
265	0.0	0.00	0.00	0.00	3.04	1.36	118.41	50.54	0.00	52.21
266	0.0	0.00	0.00	0.00	3.08	1.34	117.08	51.87	0.00	53.62
267	0.0	0.00	0.00	0.00	3.21	1.34	115.73	53.21	0.00	55.08
268	0.0	0.00	0.00	0.00	3.04	1.23	114.51	54.44	0.00	56.25
269	0.0	0.00	0.00	0.00	3.04	1.19	113.32	55.63	0.00	57.48
270	0.0	0.00	0.00	0.00	3.00	1.13	112.18	56.76	0.00	58.63
271	0.0	0.00	0.00	0.00	2.95	1.08	111.10	57.84	0.00	59.72
272	0.0	0.00	0.00	0.00	3.21	1.13	109.97	58.98	0.00	61.05
273	0.0	0.00	0.00	0.00	3.00	1.02	108.95	60.00	0.00	61.97
274	0.0	0.00	0.00	0.00	3.08	1.02	107.93	61.02	0.00	63.08
275	0.0	0.00	0.00	0.00	3.00	0.96	106.97	61.98	0.00	64.02
Ene 05 - 276	0.0	0.00	0.00	0.00	3.10	0.96	106.01	62.93	0.00	65.07
277	0.0	0.00	0.00	0.00	3.14	0.94	105.08	63.87	0.00	66.08
278	0.0	0.00	0.00	0.00	3.18	0.92	104.16	64.79	0.00	67.06
279	0.0	0.00	0.00	0.00	3.05	0.85	103.31	65.64	0.00	67.84

280	0.0	0.00	0.00	0.00	3.32	0.89	102.42	66.53	0.00	68.96
281	0.0	0.00	0.00	0.00	3.27	0.85	101.57	67.38	0.00	69.80
282	0.0	0.00	0.00	0.00	3.23	0.81	100.76	68.19	0.00	70.61
283	0.0	0.00	0.00	0.00	3.01	0.73	100.03	68.92	0.00	71.20
284	7.6	1.30	6.12	0.20	3.14	0.84	105.32	63.63	0.00	65.93
285	0.0	0.00	0.00	0.00	3.10	0.90	104.42	64.53	0.00	66.73
286	0.0	0.00	0.00	0.00	3.32	0.93	103.48	65.46	0.00	67.65
287	0.0	0.00	0.00	0.00	3.23	0.87	102.61	66.34	0.00	68.69
288	0.0	0.00	0.00	0.00	3.27	0.86	101.75	67.19	0.00	69.61
289	7.8	1.30	6.30	0.21	3.01	0.86	107.19	61.76	0.00	63.90
290	0.0	0.00	0.00	0.00	3.10	0.96	106.23	62.72	0.00	64.85
291	0.0	0.00	0.00	0.00	3.14	0.94	105.28	63.67	0.00	65.86
292	0.0	0.00	0.00	0.00	3.32	0.96	104.32	64.63	0.00	66.98
293	0.0	0.00	0.00	0.00	3.14	0.88	103.44	65.51	0.00	67.77
294	0.0	0.00	0.60	0.00	3.10	0.84	102.60	66.35	0.00	68.61
295	0.0	0.00	0.00	0.00	3.05	0.80	101.80	67.15	0.00	69.40
296	0.0	0.00	0.00	0.00	3.18	0.80	101.00	67.95	0.00	70.33
297	0.0	0.00	0.00	0.00	3.27	0.80	100.20	68.75	0.00	71.22
298	0.0	0.00	0.00	0.00	3.32	0.78	99.42	69.53	0.00	72.06
299	0.0	0.00	0.00	0.00	3.14	0.71	98.71	70.24	0.00	72.67
300	0.0	0.00	0.00	0.00	3.05	0.67	98.04	70.91	0.00	73.29
301	0.0	0.00	0.00	0.00	3.14	0.67	97.37	71.58	0.00	74.05
302	0.0	0.00	0.00	0.00	3.10	0.63	96.74	72.21	0.00	74.67
303	0.0	0.00	0.00	0.00	3.27	0.65	96.09	72.86	0.00	75.48
304	0.0	0.00	0.00	0.00	3.18	0.61	95.48	73.46	0.00	76.04
305	0.0	0.00	0.00	0.00	3.05	0.56	94.92	74.03	0.00	76.52
306	0.0	0.00	0.00	0.00	3.10	0.55	94.37	74.58	0.00	77.12
Feb 05 - 307	0.0	0.00	0.00	0.00	3.37	0.58	93.79	75.16	0.00	77.94
308	0.0	0.00	0.00	0.00	3.46	0.57	93.22	75.73	0.00	78.62
309	0.0	0.00	0.00	0.00	3.51	0.56	92.66	76.29	0.00	79.24
310	9.8	1.30	8.15	0.36	3.56	0.71	100.10	68.84	0.00	71.70
311	0.0	0.00	0.00	0.00	3.41	0.80	99.31	69.64	0.00	72.26
312	0.0	0.00	0.00	0.00	3.66	0.82	98.48	70.46	0.00	73.30
313	0.0	0.00	0.00	0.00	3.51	0.76	97.72	71.22	0.00	73.98
314	0.0	0.00	0.00	0.00	3.51	0.73	96.99	71.95	0.00	74.74
315	0.0	0.00	0.00	0.00	3.66	0.73	96.26	72.69	0.00	75.61
316	0.0	0.00	0.00	0.00	3.61	0.69	95.57	73.38	0.00	76.29
317	0.0	0.00	0.00	0.00	3.37	0.62	94.95	74.00	0.00	76.75
318	0.0	0.00	0.00	0.00	3.51	0.62	94.32	74.63	0.00	77.51
319	0.0	0.00	0.00	0.00	3.37	0.58	93.75	75.20	0.00	77.99
320	0.0	0.00	0.00	0.00	3.51	0.58	93.17	75.78	0.00	78.71
321	0.0	0.00	0.00	0.00	3.41	0.54	92.62	76.32	0.00	79.20
322	0.0	0.00	0.00	0.00	3.46	0.53	92.10	76.85	0.00	79.79
323	0.0	0.00	0.00	0.00	3.46	0.51	91.59	77.36	0.00	80.32
324	0.0	0.00	0.00	0.00	3.41	0.48	91.10	77.84	0.00	80.78
325	0.0	0.00	0.00	0.00	3.71	0.50	90.60	78.35	0.00	81.55
326	0.0	0.00	0.00	0.00	3.37	0.44	90.16	78.79	0.00	81.71
327	0.0	0.00	0.00	0.00	3.41	0.43	89.73	79.22	0.00	82.20
328	0.0	0.00	0.00	0.00	3.46	0.42	89.31	79.64	0.00	82.68
329	0.0	0.00	0.00	0.00	3.66	0.43	88.88	80.07	0.00	83.30

330	0.0	0.00	0.00	0.00	3.46	0.39	88.49	80.45	0.00	83.53
331	0.0	0.00	0.00	0.00	3.66	0.39	88.10	80.85	0.00	84.11
332	0.0	0.00	0.00	0.00	3.37	0.35	87.75	81.20	0.00	84.22
333	0.0	0.00	0.00	0.00	3.51	0.35	87.40	81.55	0.00	84.71
334	0.0	0.00	0.00	0.00	3.41	0.33	87.07	81.88	0.00	84.96
Mar 05 - 335	0.0	0.00	0.00	0.00	3.70	0.34	86.73	82.22	0.00	85.58
336	0.0	0.00	0.00	0.00	3.76	0.33	86.40	82.55	0.00	85.98
337	0.0	0.00	0.00	0.00	3.86	0.33	86.07	82.88	0.00	86.42
338	0.0	0.00	0.00	0.00	3.76	0.31	85.76	83.19	0.00	86.64
339	0.0	0.00	0.00	0.00	4.08	0.32	85.44	83.50	0.00	87.26
340	0.0	0.00	0.00	0.00	3.86	0.29	85.15	83.79	0.00	87.37
341	0.0	0.00	0.00	0.00	3.97	0.28	84.87	84.08	0.00	87.76
342	0.0	0.00	0.00	0.00	3.70	0.25	84.62	84.33	0.00	87.78
343	0.0	0.00	0.00	0.00	3.76	0.25	84.37	84.58	0.00	88.09
344	0.0	0.00	0.00	0.00	3.81	0.24	84.13	84.82	0.00	88.39
345	0.0	0.00	0.00	0.00	3.86	0.23	83.90	85.05	0.00	88.68
346	0.0	0.00	0.00	0.00	4.02	0.23	83.66	85.29	0.00	89.08
347	0.0	0.00	0.00	0.00	3.97	0.22	83.44	85.50	0.00	89.26
348	0.0	0.00	0.00	0.00	3.92	0.21	83.24	85.71	0.00	89.42
349	0.0	0.00	0.00	0.00	3.81	0.19	83.04	85.91	0.00	89.52
350	0.0	0.00	0.00	0.00	3.92	0.19	82.85	86.10	0.00	89.82
351	0.0	0.00	0.00	0.00	3.76	0.18	82.68	86.27	0.00	89.85
352	0.0	0.00	0.00	0.00	3.81	0.17	82.51	86.44	0.00	90.08
353	0.0	0.00	0.00	0.00	4.02	0.17	82.33	86.61	0.00	90.47
354	0.0	0.00	0.00	0.00	3.76	0.15	82.18	86.77	0.00	90.37
355	0.0	0.00	0.00	0.00	4.02	0.16	82.02	86.93	0.00	90.79
356	0.0	0.00	0.00	0.00	3.70	0.14	81.88	87.07	0.00	90.63
357	0.0	0.00	0.00	0.00	3.86	0.14	81.74	87.21	0.00	90.93
358	0.0	0.00	0.00	0.00	3.86	0.13	81.61	87.34	0.00	91.07
359	0.0	0.00	0.00	0.00	4.02	0.13	81.47	87.47	0.00	91.36
360	0.0	0.00	0.00	0.00	3.86	0.12	81.35	87.60	0.00	91.34
361	0.0	0.00	0.00	0.00	4.24	0.13	81.22	87.72	0.00	91.83
362	0.0	0.00	0.00	0.00	4.02	0.12	81.11	87.84	0.00	91.75
363	0.0	0.00	0.00	0.00	4.02	0.11	81.00	87.95	0.00	91.87
364	0.0	0.00	0.00	0.00	4.08	0.11	80.89	88.06	0.00	92.03
365	0.0	0.00	0.00	0.00	3.97	0.10	80.79	88.16	0.00	92.03
TOTAL	1706.06	234.62	1271.01	200.43	1370.84	789.96	TOTAL	478.81	580.88	

10.4 BALANCE HÍDRICO DE SUELOS CON DATOS MENSUALES

Cuadro 73A. Balance hídrico de suelos de la unidad 01.

Zona de Estudio:	Unidad:	1											
	Serie de suelo:	Chol											
	Unidad geológica:	Zona de Biotita del Chol											
	Uso actual de la tierra:	Bosque ralo de coníferas											
Estación climática:	Caquil - Xeabaj												
Textura de Suelo:	Arcillo arenoso												
Simbología													
fc: Capacidad de Infiltración.	P: Precipitación Media Mensual.												
I: Infiltración.	Pi: Precipitación que infiltra.												
CC: Capacidad de Campo.	ESC: Eacorrenría Superficial												
PM: Punto de Marchitez.	ETP: Evapotranspiración Potencial.												
PR: Profundidad de Raíces.	ETR: Evapotranspiración Real.												
(CC-PM): Rango de Agua Disponible.	HSi: Humedad de Suelo Inicial.												
DS: Densidad de Suelo.	HD: Humedad Disponible												
C1: Factor de ETP, por cierre de estomas, antes que ocurra ETR	HSf: Humedad de Suelo Final.												
C2: Factor de ETP, por cierre de estomas, después que ocurre ETR	DCC: Déficit de Capacidad de Campo.												
Kp: Factor por pendiente	Rp: Recarga Potencial												
Kv: Factor por vegetación	NR: Necesidad de Riego.												
Kfc: Factor estimado con base a la prueba de infiltración	Ret: Retención de lluvia												
fc [mm/d]	43.20												
Kp [0.01%]	0.06												
Kv [0.01%]	0.15												
Kfc [0.01%]	0.28												
I [0.01%]	0.49												
DS (g/cm ³):	1.18												
PR (mm)	1400												
HSi (mm)	262.01												
Nº de mes con que inicia HSi;1,2,3...12?	8												
Lluvia retenida [0.01%] : Bosques=0.2, otros=0.1:	0.20												
		Por peso											
		(%) (mm)											
	CC	27.12 448.02											
	PM	15.86 262.01											
	(CC-PM)	11.26 186.02											
	Mes												
Concepto	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Total
P (mm)	178.84	64.87	19.31	12.89	8.19	0.00	9.47	215.32	261.38	297.76	126.75	231.90	1426.68
Ret [mm]	35.77	12.97	5.00	5.00	5.00	0.00	5.00	43.06	52.28	59.55	25.35	46.38	295.36
PI (mm)	69.51	25.21	6.95	3.83	1.55	0.00	2.17	83.69	101.59	115.73	49.26	90.13	549.62
ESC (mm)	73.56	26.68	7.36	4.06	1.64	0.00	2.30	88.57	107.52	122.48	52.14	95.39	581.69
ETP (mm)	119.05	102.36	93.48	96.79	99.74	126.08	134.18	140.30	140.92	139.26	138.39	125.72	1456.26
HSi (mm)	356.71	354.75	332.91	310.57	294.23	282.53	273.28	262.01	306.38	339.28	365.26	343.26	
C1	0.88	0.63	0.42	0.28	0.18	0.11	0.07	0.45	0.78	1.00	0.82	0.92	
C2	0.32	0.29	0.21	0.14	0.08	0.03	0.02	0.11	0.19	0.29	0.21	0.30	
HD (mm)	164.21	117.96	77.86	52.40	33.78	20.52	13.43	83.69	145.96	193.00	152.51	171.39	
ETR (mm)	71.46	47.05	29.29	20.17	13.25	9.27	6.19	39.32	68.69	89.74	71.26	76.69	542.39
HSf (mm)	354.75	332.91	310.57	294.23	282.53	273.28	269.24	306.38	339.28	365.26	343.26	356.71	
DCC (mm)	93.27	115.11	137.45	153.79	165.49	174.76	178.78	141.64	108.75	82.76	104.76	91.32	
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)	140.86	170.42	201.63	230.41	251.98	293.58	306.77	242.63	180.98	132.28	171.89	140.34	2463.75

Cuadro 74A. Balance hídrico de suelos de la unidad 02.

Zona de Estudio:	Unidad:	2											
	Serie de suelo:	Chol											
	Unidad geológica:	Zona de Biotita del Chol											
	Uso actual de la tierra:	Cultivos anuales											
Estación climática:	Caquil - Xeabaj												
Textura de Suelo:	Franco arenoso												
Simbología													
fc: Capacidad de Infiltración.	P: Precipitación Media Mensual.												
I: Infiltración.	Pi: Precipitación que infiltra.												
CC: Capacidad de Campo.	ESC: Escorrentía Superficial												
PM: Punto de Marchitez.	ETP: Evapotranspiración Potencial.												
PR: Profundidad de Raíces.	ETR: Evapotranspiración Real.												
(CC-PM): Rango de Agua Disponible.	HSi: Humedad de Suelo Inicial.												
DS: Densidad de Suelo.	HD: Humedad Disponible												
C1: Factor de ETP, por cierre de estomas, antes que ocurra ETR	HSf: Humedad de Suelo Final.												
C2: Factor de ETP, por cierre de estomas, después que ocurre ETR	DCC: Déficit de Capacidad de Campo.												
Kp: Factor por pendiente	Rp: Recarga Potencial												
Kv: Factor por vegetación	NR: Necesidad de Riego.												
Kfc: Factor estimado con base a la prueba de infiltración	Ret: Retención de lluvia												
fc [mm/d]	180.00												
Kp [0.01%]	0.06												
Kv [0.01%]	0.10												
Kfc [0.01%]	0.64												
I [0.01%]	0.80												
DS (g/cm ³):	1.29												
PR (mm)	800												
HSi (mm)	127.14												
Nº de mes con que inicia HSi;1,2,3...12?	1												
Lluvia retenida [0.01%] : Bosques=0.2, otros=0.1:	0.12												
		Por peso											
		(%) (mm)											
		CC 12.32 127.14											
		PM 6.27 64.71											
		(CC-PM) 6.05 62.44											
Mes													
Concepto	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Total
P (mm)	166.45	60.38	17.97	12.00	7.62	0.00	9.43	200.72	243.28	277.14	117.97	215.85	1328.82
Ret [mm]	19.97	7.25	5.00	5.00	5.00	0.00	5.00	24.09	29.19	33.26	14.16	25.90	173.82
Pi (mm)	116.57	42.28	10.32	5.57	2.09	0.00	3.53	140.57	170.37	194.08	82.62	151.16	919.16
ESC (mm)	29.91	10.85	2.65	1.43	0.54	0.00	0.91	36.07	43.72	49.80	21.20	38.79	235.85
ETP (mm)	121.62	104.87	94.43	97.56	101.18	130.87	136.45	143.41	146.02	142.83	141.53	127.54	1488.32
HSi (mm)	127.14	127.01	116.86	79.96	69.26	65.97	64.71	64.71	127.14	127.14	127.14	127.14	
C1	1.00	1.00	1.00	0.33	0.11	0.02	0.06	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	
C2	0.92	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.00	1.00	0.06	1.00	
HD (mm)	179.00	104.59	62.48	20.83	6.64	1.26	3.53	140.57	232.81	256.52	145.05	213.59	
ETR (mm)	116.70	52.43	47.22	16.27	5.38	1.26	3.53	71.70	146.02	142.83	74.76	127.54	805.64
HSf (mm)	127.01	116.86	79.96	69.26	65.97	64.71	64.71	127.14	127.14	127.14	127.14	127.14	
DCC (mm)	0.13	10.28	47.18	57.88	61.18	62.44	62.44	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
Rp (mm)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	6.43	24.35	51.26	7.86	23.62	113.51
NR (mm)	5.05	62.72	94.39	139.17	156.98	192.04	195.36	71.70	0.00	0.00	66.77	0.00	984.20

Cuadro 75A. Balance hídrico de suelos de la unidad 03.

Zona de Estudio:	Unidad:	3
	Serie de suelo:	Civijá
	Unidad geológica:	Zona de Biotita del Chol
	Uso actual de la tierra:	Asentamiento Humano Rural
Estación climática:	Caquil - Xeabaj	
Textura de Suelo:	Franco arenoso	
Simbología		
fc: Capacidad de Infiltración.	P: Precipitación Media Mensual.	
I: Infiltración.	Pi: Precipitación que infiltra.	
CC: Capacidad de Campo.	ESC: Escorrentía Superficial	
PM: Punto de Marchitez.	ETP: Evapotranspiración Potencial.	
PR: Profundidad de Raíces.	ETR: Evapotranspiración Real.	
(CC-PM): Rango de Agua Disponible.	HSi: Humedad de Suelo Inicial.	
DS: Densidad de Suelo.	HD: Humedad Disponible	
C1: Factor de ETP, por cierre de estomas, antes que ocurra ETR	HSf: Humedad de Suelo Final.	
C2: Factor de ETP, por cierre de estomas, después que ocurre ETR	DCC: Déficit de Capacidad de Campo.	
Kp: Factor por pendiente	Rp: Recarga Potencial	
Kv: Factor por vegetación	NR: Necesidad de Riego.	
Kfc: Factor estimado con base a la prueba de infiltración	Ret: Retención de lluvia	
fc [mm/d]	127.20	
Kp [0.01%]	0.06	
Kv [0.01%]	0.10	
Kfc [0.01%]	0.55	Por peso
I [0.01%]	0.71	(%) (mm)
DS (g/cm ³):	1.14	CC 14.82 168.95
PR (mm)	1000	PM 6.89 78.55
HSi (mm)	168.95	(CC-PM) 7.93 90.40
Nº de mes con que inicia HSi;1,2,3...12?	1	
Lluvia retenida [0.01%] : Bosques=0.2, otros=0.1:	0.12	

Concepto	Mes												Total
	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	
P (mm)	208.94	75.79	22.58	15.08	9.57	0.00	9.55	250.81	305.39	347.89	148.09	270.94	1684.58
Ret (mm)	25.07	9.09	5.00	5.00	5.00	0.00	5.00	30.10	38.65	41.75	17.77	32.51	212.94
Pi (mm)	130.77	47.43	12.49	7.16	3.25	0.00	3.23	158.98	191.14	217.74	92.69	169.58	1032.45
ESC (mm)	53.10	19.26	5.07	2.91	1.32	0.00	1.31	63.74	77.60	88.40	37.63	68.85	419.19
ETP (mm)	112.79	96.25	91.15	94.91	96.22	121.31	128.67	132.74	128.53	130.58	130.75	121.28	1385.18
HSi (mm)	168.95	168.95	148.12	118.25	100.81	90.48	82.47	80.61	151.91	168.95	168.95	158.41	
C1	1.00	1.00	0.89	0.52	0.28	0.13	0.08	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	
C2	1.00	0.46	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.29	1.00	1.00	0.58	1.00	
HD (mm)	221.17	137.84	80.06	46.86	25.51	11.93	7.16	159.04	284.50	308.14	183.09	249.44	
ETR (mm)	112.79	70.26	40.36	24.60	13.58	8.01	5.10	85.68	128.53	130.58	103.22	121.28	843.99
HSf (mm)	168.95	148.12	118.25	100.81	90.48	82.47	80.61	151.91	168.95	168.95	158.41	168.95	
DCC (mm)	0.00	22.83	50.70	68.14	78.47	86.48	88.34	17.04	0.00	0.00	10.54	0.00	
Rp (mm)	17.98	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	45.57	87.15	0.00	37.76	188.46
NR (mm)	0.00	48.82	101.49	138.45	161.11	199.78	211.91	64.10	0.00	0.00	38.06	0.00	963.72

Cuadro 76A. Balance hídrico de suelos de la unidad 04.

Zona de Estudio:	Unidad: 4
	Serie de suelo: Civijá
	Unidad geológica: Zona de Biotita del Chol
	Ueo actual de la tierra: Bosque de coníferas
Estación climática:	Caquil - Xeabaj
Textura de Suelo:	Arcillo arenosa

Simbología

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

fc (mm/d)	163.20
Kp [0.01%]	0.06
Kv [0.01%]	0.20
Kfc [0.01%]	0.61
I [0.01%]	0.87
DS (g/cm ³):	1.18
PR (mm)	2000
HSi (mm)	302.08
Nº de mes con que inicia HSi:1,2,3...12?	1
Lluvia retenida [0.01%]: Bosques=0.2, otros=0.1:	0.20

	Por peso	
	(%)	(mm)
CC	12.80	302.08
PM	5.37	126.73
(CC-PM)	7.43	175.35

Concepto	Mes												Total
	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	
P (mm)	193.85	70.31	20.93	13.98	8.88	0.00	9.51	233.03	283.33	322.77	137.40	251.38	1545.36
Ret [mm]	38.77	14.06	5.00	5.00	5.00	0.00	5.00	46.61	56.67	64.55	27.48	50.28	318.41
Pi (mm)	135.27	49.06	13.90	7.83	3.38	0.00	3.93	162.60	197.71	225.22	95.87	175.41	1070.18
ESC (mm)	19.82	7.19	2.04	1.15	0.50	0.00	0.58	23.82	28.96	32.99	14.04	25.70	156.77
ETP (mm)	115.93	99.31	92.31	95.85	97.98	124.71	131.43	136.53	134.74	134.93	134.58	123.50	1421.80
HSi (mm)	302.08	302.08	286.06	220.52	187.99	165.34	147.65	139.93	218.98	289.68	302.08	278.23	
C1	1.00	1.00	0.87	0.58	0.37	0.22	0.14	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	
C2	1.00	0.71	0.41	0.26	0.16	0.06	0.04	0.22	0.89	1.00	0.78	1.00	
HD (mm)	310.62	224.41	153.23	101.62	64.64	38.61	24.84	175.80	289.95	388.17	271.22	326.90	
ETR (mm)	115.93	85.08	59.43	40.37	26.03	17.69	11.64	83.55	127.00	134.93	119.72	123.50	944.69
HSf (mm)	302.08	286.06	220.52	187.99	165.34	147.65	139.93	218.98	289.68	302.08	278.23	302.08	
DCC (mm)	0.00	36.02	81.56	114.09	136.74	154.43	162.15	83.10	12.40	0.00	23.85	0.00	
Rp (mm)	19.34	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	77.89	0.00	28.05	125.29
NR (mm)	0.00	50.25	114.44	169.58	208.69	261.44	281.93	136.07	20.13	0.00	38.70	0.00	1281.24

Cuadro 77A. Balance hídrico de suelos de la unidad 05.

Zona de Estudio:	Unidad:	5
	Serie de suelo:	Civilja
	Unidad geológica:	Zona de Biotita del Chol
	Uso actual de la tierra:	Bosque latifoliado
Estación climática:	Caquil - Xeabaj	
Textura de Suelo:	Franco arcillo arenoso	
Simbología		
fc: Capacidad de Infiltración.		P: Precipitación Media Mensual.
I: Infiltración.		Pi: Precipitación que infiltra.
CC: Capacidad de Campo.		ESC: Escorrentía Superficial
PM: Punto de Marchitez.		ETP: Evapotranspiración Potencial.
PR: Profundidad de Raíces.		ETR: Evapotranspiración Real.
(CC-PM): Rango de Agua Disponible.		HSi: Humedad de Suelo Inicial.
DS: Densidad de Suelo.		HD: Humedad Disponible
C1: Factor de ETP, por cierre de estomas, antes que ocurra ETR		HSf: Humedad de Suelo Final.
C2: Factor de ETP, por cierre de estomas, después que ocurre ETR		DCC: Déficit de Capacidad de Campo.
Kp: Factor por pendiente		Rp: Recarga Potencial
Kv: Factor por vegetación		NR: Necesidad de Riego.
Kfc: Factor estimado con base a la prueba de infiltración		Ret: Retención de lluvia
fc [mm/d]	314.40	
Kp [0.01%]	0.06	
Kv [0.01%]	0.20	
Kfc [0.01%]	0.76	
I [0.01%]	1.00	
DS (g/cm ³):	1.11	
PR (mm)	2000	
HSi (mm)	517.26	
Nº de mes con que inicia HSi;1,2,3...12?	1	
Lluvia retenida [0.01%] : Bosques=0.2, otros=0.1:	0.20	
		Por peso
		(%) (mm)
		CC 23.30 517.26
		PM 12.44 276.17
		(CC-PM) 10.86 241.09

Concepto	Mes												Total
	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	
P (mm)	236.52	85.79	25.54	17.05	10.83	0.00	9.62	283.33	345.70	393.82	167.64	306.71	1882.56
Ret [mm]	47.30	17.16	5.11	5.00	5.00	0.00	5.00	56.67	69.14	78.76	33.53	61.34	384.01
Pi (mm)	189.22	68.63	20.43	12.05	5.83	0.00	4.62	226.66	276.56	315.05	134.11	245.37	1498.55
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)	107.05	90.66	89.01	93.18	93.00	115.11	123.61	125.81	117.17	122.84	123.75	117.22	1318.22
HSi (mm)	517.26	517.26	499.37	446.76	401.86	366.74	333.82	314.70	442.09	517.26	517.26	517.26	
C1	1.00	1.00	1.00	0.76	0.55	0.38	0.26	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	
C2	1.00	0.91	0.64	0.46	0.34	0.20	0.13	0.58	1.00	1.00	1.00	1.00	
HD (mm)	430.31	309.72	243.64	182.64	131.52	90.57	62.27	265.19	442.48	556.15	375.20	486.46	
ETR (mm)	107.05	86.52	73.05	58.95	40.95	32.92	23.74	99.27	117.17	122.64	123.75	117.22	1001.23
HSf (mm)	517.26	499.37	446.76	401.86	366.74	333.82	314.70	442.09	517.26	517.26	517.26	517.26	
DCC (mm)	0.00	17.89	70.50	115.40	150.52	183.44	202.56	75.17	0.00	0.00	0.00	0.00	
Rp (mm)	82.16	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	84.23	192.42	10.37	128.15	497.32
NR (mm)	0.00	22.03	86.47	151.64	202.57	265.63	302.43	101.71	0.00	0.00	0.00	0.00	1132.47

Cuadro 78A. Balance hídrico de suelos de la unidad 06.

Zona de Estudio:	Unidad: 6	
	Serie de suelo: Civijá	
	Unidad geológica: Zona de Biotita del Chol	
	Ueo actual de la tierra: Bosque mixto	
Estación climática:	Caquil - Xeabaj	
Textura de Suelo:	Franco arcillo arenoso	
Simbología		
fc: Capacidad de Infiltración.		P: Precipitación Media Mensual.
I: Infiltración.		Pi: Precipitación que infiltra.
CC: Capacidad de Campo.		ESC: Escorrentía Superficial
PM: Punto de Marchitez.		ETP: Evapotranspiración Potencial.
PR: Profundidad de Raíces.		ETR: Evapotranspiración Real.
(CC-PM): Rango de Agua Disponible.		HSi: Humedad de Suelo Inicial.
DS: Densidad de Suelo.		HD: Humedad Disponible
C1: Factor de ETP, por cierre de estomas, antes que ocurra ETR		HSf: Humedad de Suelo Final.
C2: Factor de ETP, por cierre de estomas, después que ocurre ETR		DCC: Déficit de Capacidad de Campo.
Kp: Factor por pendiente		Rp: Recarga Potencial
Kv: Factor por vegetación		NR: Necesidad de Riego.
Kfc: Factor estimado con base a la prueba de infiltración		Ret: Retención de lluvia
fc [mm/d]	40.80	
Kp [0.01%]	0.06	
Kv [0.01%]	0.20	
Kfc [0.01%]	0.26	
I [0.01%]	0.52	
DS (g/cm ³):	1.00	
PR (mm)	2000	
HSi (mm)	288.80	
Nº de mes con que inicia HSi;1,2,3...12?	6	
Lluvia retenida [0.01%] : Bosques=0.2, otros=0.1:	0.20	
		Por peso
		(%) (mm)
		CC 25.08 501.60
		PM 14.44 288.80
		(CC-PM) 10.64 212.80

Concepto	Mes												Total
	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	
P (mm)	214.11	77.66	23.12	15.43	9.81	0.00	9.56	298.90	312.94	356.49	151.75	277.64	1705.42
Ret [mm]	42.82	15.53	5.00	5.00	5.00	0.00	5.00	51.38	62.59	71.30	30.35	55.53	349.50
Pi (mm)	89.23	32.36	9.44	5.44	2.50	0.00	2.38	107.06	130.42	148.57	63.24	115.71	706.34
ESC (mm)	82.06	29.76	8.66	5.00	2.30	0.00	2.18	98.46	119.93	136.63	58.16	106.41	649.57
ETP (mm)	111.71	95.21	90.75	94.58	95.62	120.15	127.72	131.44	126.40	129.10	129.44	120.52	1372.63
HSi (mm)	436.92	437.31	406.86	373.52	347.79	288.80	288.80	290.18	350.95	400.95	445.05	416.18	
C1	1.00	0.85	0.60	0.42	0.29	0.00	0.01	0.51	0.90	1.00	1.00	1.00	
C2	0.59	0.47	0.34	0.24	0.16	0.00	0.00	0.19	0.37	0.62	0.42	0.58	
HD (mm)	237.35	180.88	127.50	90.15	61.49	0.00	2.38	108.44	192.56	260.72	219.49	243.09	
ETR (mm)	88.83	62.82	42.78	31.17	21.42	0.00	1.00	46.29	80.41	104.47	92.11	94.97	666.27
HSf (mm)	437.31	406.86	373.52	347.79	326.87	288.80	290.18	350.95	400.95	445.05	416.18	436.92	
DCC (mm)	64.29	94.74	128.08	153.81	172.73	212.80	211.42	150.65	100.65	56.55	85.42	64.68	
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)	87.16	127.13	176.05	217.23	246.92	332.95	338.14	235.80	146.63	81.17	122.75	90.23	2202.18

Cuadro 79A. Balance hídrico de suelos de la unidad 07a.

Zona de Estudio:	Unidad:	7a											
	Serie de suelo:	Civijá											
	Unidad geológica:	Zona de Biotita del Chol											
	Uso actual de la tierra:	Cultivos anuales											
Estación climática:	Caquil - Xeabaj												
Textura de Suelo:	Franco arcillo arenoso												
Simbología													
fc: Capacidad de Infiltración.	P: Precipitación Media Mensual.												
I: Infiltración.	Pi: Precipitación que infiltra.												
CC: Capacidad de Campo.	ESC: Escorrentía Superficial												
PM: Punto de Marchitez.	ETP: Evapotranspiración Potencial.												
PR: Profundidad de Raíces.	ETR: Evapotranspiración Real.												
(CC-PM): Rango de Agua Disponible.	HSi: Humedad de Suelo Inicial.												
DS: Densidad de Suelo.	HD: Humedad Disponible												
C1: Factor de ETP, por cierre de estomas, antes que ocurra ETR	HSf: Humedad de Suelo Final.												
C2: Factor de ETP, por cierre de estomas, después que ocurre ETR	DCC: Déficit de Capacidad de Campo.												
Kp: Factor por pendiente	Rp: Recarga Potencial												
Kv: Factor por vegetación	NR: Necesidad de Riego.												
Kfc: Factor estimado con base a la prueba de infiltración	Ret: Retención de lluvia												
fc [mm/d]	84.00												
Kp [0.01%]	0.06												
Kv [0.01%]	0.10												
Kfc [0.01%]	0.45	Por peso											
I [0.01%]	0.61	(%) (mm)											
DS (g/cm ³):	1.14	CC 18.74 213.64											
PR (mm)	1000	PM 10.52 119.93											
HSi (mm)	213.64	(CC-PM) 8.22 93.71											
Nº de mes con que inicia HSi;1,2,3...12?	1												
Lluvia retenida [0.01%] : Bosques=0.2, otros=0.1:	0.12												
Mes													
Concepto	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Total
P (mm)	229.85	83.37	24.82	16.57	10.53	0.00	9.60	275.46	335.95	382.71	162.91	298.06	1829.83
Ret [mm]	27.58	10.00	5.00	5.00	5.00	0.00	5.00	33.06	40.31	45.92	19.55	35.77	232.20
Pi (mm)	122.80	44.54	12.03	7.02	3.36	0.00	2.79	147.16	179.48	204.46	87.03	159.23	969.91
ESC (mm)	79.47	28.83	7.79	4.55	2.17	0.00	1.81	95.24	116.16	132.32	56.33	103.08	627.72
ETP (mm)	108.44	92.01	89.53	93.60	93.78	116.61	124.83	127.49	119.91	124.56	125.44	118.20	1334.42
HSi (mm)	213.64	213.64	189.47	160.80	143.87	133.57	125.08	122.58	190.81	213.64	213.64	200.94	
C1	1.00	1.00	0.87	0.51	0.29	0.15	0.08	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	
C2	1.00	0.49	0.04	0.00	0.00	0.00	0.00	0.24	1.00	1.00	0.59	1.00	
HD (mm)	216.50	138.25	81.58	47.89	27.30	13.64	7.95	149.82	250.36	298.17	180.74	240.24	
ETR (mm)	108.44	68.71	40.71	23.95	13.66	8.49	5.29	78.93	119.91	124.56	99.73	118.20	810.59
HSf (mm)	213.64	189.47	160.80	143.87	133.57	125.08	122.58	190.81	213.64	213.64	200.94	213.64	
DCC (mm)	0.00	24.17	52.84	69.76	80.07	88.55	91.05	22.82	0.00	0.00	12.70	0.00	
Rp (mm)	14.35	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	36.74	79.90	0.00	28.33	159.32
NR (mm)	0.00	47.47	101.66	139.42	160.18	196.68	210.60	71.38	0.00	0.00	38.41	0.00	965.80

Cuadro 80A. Balance hídrico de suelos de la unidad 07b.

Zona de Estudio:	Unidad:	7b											
	Serie de suelo:	Civijá											
	Unidad geológica:	Zona de Biotita del Chol											
	Uso actual de la tierra:	Cultivos anuales											
Estación climática:	Caquil - Xeabaj												
Textura de Suelo:	Franco arcillo arenoso												
Simbología													
fc: Capacidad de Infiltración.	P: Precipitación Media Mensual.												
I: Infiltración.	Pi: Precipitación que infiltra.												
CC: Capacidad de Campo.	ESC: Escorrentía Superficial												
PM: Punto de Marchitez.	ETP: Evapotranspiración Potencial.												
PR: Profundidad de Raíces.	ETR: Evapotranspiración Real.												
(CC-PM): Rango de Agua Disponible.	HSi: Humedad de Suelo Inicial.												
DS: Densidad de Suelo.	HD: Humedad Disponible												
C1: Factor de ETP, por cierre de estomas, antes que ocurra ETR	HSf: Humedad de Suelo Final.												
C2: Factor de ETP, por cierre de estomas, después que ocurre ETR	DCC: Déficit de Capacidad de Campo.												
Kp: Factor por pendiente	Rp: Recarga Potencial												
Kv: Factor por vegetación	NR: Necesidad de Riego.												
Kfc: Factor estimado con base a la prueba de infiltración	Ret: Retención de lluvia												
fc [mm/d]	84.00												
Kp [0.01%]	0.06												
Kv [0.01%]	0.10												
Kfc [0.01%]	0.45	Por peso											
I [0.01%]	0.61	(%) (mm)											
DS (g/cm ³):	1.14	CC 18.74 213.64											
PR (mm)	1000	PM 10.52 119.93											
HSi (mm)	213.64	(CC-PM) 8.22 93.71											
Nº de mes con que inicia HSi;1,2,3...12?	1												
Lluvia retenida [0.01%] : Bosques=0.2, otros=0.1;	0.12												
Mes													
Concepto	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Total
P (mm)	198.71	72.08	21.46	14.32	9.10	0.00	9.52	238.75	290.43	330.85	140.84	257.67	1583.72
Ret [mm]	23.84	8.65	5.00	5.00	5.00	0.00	5.00	28.65	34.85	39.70	16.90	30.92	203.52
Pi (mm)	106.16	38.51	9.99	5.66	2.49	0.00	2.74	127.55	155.16	178.75	75.24	137.66	837.91
ESC (mm)	68.71	24.92	6.47	3.66	1.61	0.00	1.78	82.55	100.42	114.39	48.70	89.09	542.29
ETP (mm)	114.92	98.33	91.94	95.55	97.42	123.61	130.54	135.31	132.74	133.53	133.34	122.79	1410.02
HSi (mm)	213.64	210.25	183.59	156.77	140.76	131.13	123.74	121.92	181.81	210.89	213.64	196.87	
C1	1.00	1.00	0.79	0.45	0.25	0.12	0.07	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	
C2	0.91	0.33	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.90	1.00	0.38	0.98	
HD (mm)	199.87	128.83	73.65	42.50	23.32	11.20	6.56	129.54	217.04	267.72	168.95	214.60	
ETR (mm)	108.55	65.16	36.81	21.67	12.12	7.39	4.57	67.65	126.08	133.53	92.00	121.55	798.09
HSf (mm)	210.25	183.59	156.77	140.76	131.13	123.74	121.92	181.81	210.89	213.64	196.87	212.98	
DCC (mm)	3.39	30.05	56.87	72.88	82.51	89.90	91.72	31.82	2.74	0.00	16.76	0.65	
Rp (mm)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	40.48	0.00	0.00	40.48
NR (mm)	8.76	63.21	112.00	146.76	167.80	206.12	217.69	99.48	9.40	0.00	58.10	1.89	1091.22

Cuadro 81A. Balance hídrico de suelos de la unidad 08.

Zona de Estudio:	Unidad: 8	Serie de suelo: Civijá	Unidad geológica: Zona de Biotita del Chol	Uso actual de la tierra: Bosque secundario (matorral)									
Estación climática:	Caquil - Xeabaj												
Textura de Suelo:	Franco arenosa												
Simbología													
fc: Capacidad de Infiltración.	P: Precipitación Media Mensual.												
l: Infiltración.	Pi: Precipitación que infiltra.												
CC: Capacidad de Campo.	ESC: Escorrentía Superficial												
PM: Punto de Marchitez.	ETP: Evapotranspiración Potencial.												
PR: Profundidad de Raíces.	ETR: Evapotranspiración Real.												
(CC-PM): Rango de Agua Disponible.	HSi: Humedad de Suelo Inicial.												
DS: Densidad de Suelo.	HD: Humedad Disponible												
C1: Factor de ETP, por cierre de estomas, antes que ocurra ETR	HSf: Humedad de Suelo Final.												
C2: Factor de ETP, por cierre de estomas, después que ocurre ETR	DCC: Déficit de Capacidad de Campo.												
Kp: Factor por pendiente	Rp: Recarga Potencial												
Kv: Factor por vegetación	NR: Necesidad de Riego.												
Kfc: Factor estimado con base a la prueba de infiltración	Ret: Retención de lluvia												
fc [mm/d]	206.40												
Kp [0.01%]	0.06												
Kv [0.01%]	0.15	Por peso											
Kfc [0.01%]	0.67	(%) (mm)											
l [0.01%]	0.88	CC	19.11	263.83									
DS (g/cm³):	1.18	PM	8.96	123.70									
PR (mm)	1170	(CC-PM)	10.15	140.13									
HSi (mm)	263.83												
N° de mes con que inicia HSi;1,2,3...12?	1												
Lluvia retenida [0.01%] : Boques=0.2, otros=0.1:	0.16												
Mes													
Concepto	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Total
P (mm)	183.58	88.59	19.82	13.24	8.41	0.00	9.48	220.92	268.32	305.66	130.11	238.06	1464.18
Ret [mm]	29.37	10.65	5.00	5.00	5.00	0.00	5.00	35.35	42.93	48.91	20.82	38.09	246.12
Pi (mm)	135.44	49.13	13.02	7.23	2.99	0.00	3.93	162.98	197.95	225.50	95.99	175.63	1069.80
ESC (mm)	18.77	6.81	1.80	1.00	0.41	0.00	0.55	22.59	27.44	31.25	13.30	24.34	148.27
ETP (mm)	118.06	101.40	93.11	96.49	99.18	127.01	133.31	139.11	138.97	137.89	137.18	125.02	1446.74
HSi (mm)	263.83	263.83	230.47	190.34	164.22	147.31	135.61	131.64	209.28	263.83	263.83	242.80	
C1	1.00	1.00	0.85	0.53	0.31	0.17	0.11	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	
C2	1.00	0.63	0.29	0.16	0.09	0.02	0.01	0.23	1.00	1.00	0.71	1.00	
HD (mm)	275.57	189.26	119.79	73.87	43.51	23.61	15.84	170.92	283.53	365.63	236.12	294.73	
ETR (mm)	118.06	82.49	53.15	33.35	19.90	11.70	7.90	85.34	138.97	137.89	117.02	125.02	930.80
HSf (mm)	263.83	230.47	190.34	164.22	147.31	135.61	131.64	209.28	263.83	263.83	242.80	263.83	
DCC (mm)	0.00	33.36	73.49	99.61	116.52	128.22	132.19	54.55	0.00	0.00	21.03	0.00	
Rp (mm)	17.38	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	4.43	87.61	0.00	29.58	139.00
NR (mm)	0.00	52.27	113.45	162.75	195.80	243.53	257.60	106.32	0.00	0.00	41.19	0.00	1174.92

Cuadro 82A. Balance hídrico de suelos de la unidad 09.

Zona de Estudio:	Unidad:	9											
	Serie de suelo:	Chol											
	Unidad geológica:	Zona de Granate de Palibat											
	Uso actual de la tierra:	Bosque de coníferas											
Estación climática:	Caquil - Xeabaj												
Textura de Suelo:	Franco arenoso												
Simbología													
fc: Capacidad de Infiltración.	P: Precipitación Media Mensual.												
I: Infiltración.	PI: Precipitación que infiltra.												
CC: Capacidad de Campo.	ESC: Escorrentía Superficial												
PM: Punto de Marchitez.	ETP: Evapotranspiración Potencial.												
PR: Profundidad de Raíces.	ETR: Evapotranspiración Real.												
(CC-PM): Rango de Agua Disponible.	HSI: Humedad de Suelo Inicial.												
DS: Densidad de Suelo.	HD: Humedad Disponible												
C1: Factor de ETP, por cierre de estomas, antes que ocurra ETR	HSf: Humedad de Suelo Final.												
C2: Factor de ETP, por cierre de estomas, después que ocurre ETR	DCC: Déficit de Capacidad de Campo.												
Kp: Factor por pendiente	Rp: Recarga Potencial												
Kv: Factor por vegetación	NR: Necesidad de Riego.												
Kfc: Factor estimado con base a la prueba de infiltración	Ret: Retención de lluvia												
fc [mm/d]	124.80												
Kp [0.01%]	0.06												
Kv [0.01%]	0.20												
Kfc [0.01%]	0.55												
I [0.01%]	0.81												
DS (g/cm³):	1.14												
PR (mm)	2000												
HSi (mm)	137.26												
N° de mes con que inicia HSi: 1,2,3...12?	6												
Lluvia retenida [0.01%] : Bosques=0.2, otros=0.1:	0.20												
		Por peso											
		(%) (mm)											
		CC 20.78 473.78											
		PM 6.02 137.26											
		(CC-PM) 14.76 336.53											
Mes													
Concepto	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Total
P (mm)	181.80	65.94	19.63	13.11	8.32	0.00	9.47	218.82	265.72	302.70	128.85	235.75	1450.12
Ret [mm]	38.38	13.19	5.00	5.00	5.00	0.00	5.00	43.76	53.14	60.54	25.77	47.15	299.92
PI (mm)	117.30	42.55	11.80	6.54	2.68	0.00	3.61	141.18	171.44	185.30	83.14	152.11	927.65
ESC (mm)	28.14	10.21	2.83	1.57	0.64	0.00	0.87	33.87	41.13	46.85	19.94	36.49	222.55
ETP (mm)	118.43	101.76	93.25	96.60	99.39	127.42	133.64	139.55	139.70	138.40	137.63	125.28	1451.06
HSi (mm)	408.97	419.44	378.64	330.01	287.55	137.26	137.26	139.72	233.68	317.01	394.45	367.32	
C1	1.00	0.98	0.75	0.59	0.45	0.00	0.01	0.43	0.80	1.00	1.00	1.00	
C2	0.80	0.87	0.54	0.42	0.32	0.00	0.01	0.25	0.47	0.70	0.80	0.76	
HD (mm)	369.01	324.73	253.19	199.29	152.98	0.00	3.61	143.64	267.87	375.06	340.33	382.17	
ETR (mm)	106.83	83.35	60.44	49.00	38.51	0.00	1.15	47.22	88.12	117.87	110.27	110.46	813.19
HSf (mm)	419.44	378.64	330.01	287.55	251.72	137.26	139.72	233.68	317.01	394.45	367.32	408.97	
DCC (mm)	54.34	95.14	143.77	186.23	222.06	336.53	334.07	240.10	156.78	79.34	106.47	64.81	
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)	65.94	113.55	176.59	233.84	282.94	463.94	466.56	332.44	208.36	99.88	133.84	79.64	2657.51

Cuadro 83A. Balance hídrico de suelos de la unidad 10.

Zona de Estudio:	Unidad:	10											
	Serie de suelo:	Chol											
	Unidad geológica:	Zona de Granate de Palibatz											
	Uso actual de la tierra:	Cultivos anuales											
Estación climática:	Caquil - Xeabaj												
Textura de Suelo:	Arena												
Simbología													
fc: Capacidad de Infiltración.		P: Precipitación Media Mensual.											
I: Infiltración.		Pi: Precipitación que infiltra.											
CC: Capacidad de Campo.		ESC: Escorrentía Superficial											
PM: Punto de Marchitez.		ETP: Evapotranspiración Potencial.											
PR: Profundidad de Raíces.		ETR: Evapotranspiración Real.											
(CC-PM): Rango de Agua Disponible.		HSi: Humedad de Suelo Inicial.											
DS: Densidad de Suelo.		HD: Humedad Disponible											
C1: Factor de ETP, por cierre de estomas, antes que ocurra ETR		HSf: Humedad de Suelo Final.											
C2: Factor de ETP, por cierre de estomas, después que ocurre ETR		DCC: Déficit de Capacidad de Campo.											
Kp: Factor por pendiente		Rp: Recarga Potencial											
Kv: Factor por vegetación		NR: Necesidad de Riego.											
Kfc: Factor estimado con base a la prueba de infiltración		Ret: Retención de lluvia											
fc [mm/d]	129.60												
Kp [0.01%]	0.06												
Kv [0.01%]	0.10												
Kfc [0.01%]	0.56												
I [0.01%]	0.72												
DS (g/cm ³):	1.03												
PR (mm)	600												
HSi (mm)	40.05												
Nº de mes con que inicia HSi;1,2,3...12?	1												
Lluvia retenida [0.01%] : Bosques=0.2, otros=0.1?	0.12												
		Por peso											
		(%)	(mm)										
		CC	6.48 40.05										
		PM	1.95 12.05										
		(CC-PM)	4.53 28.00										
Mes													
Concepto	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Total
P (mm)	174.68	63.36	18.86	12.59	8.00	0.00	9.45	210.43	255.31	290.85	123.81	226.52	1393.87
Ret [mm]	20.96	7.60	5.00	5.00	5.00	0.00	5.00	25.25	30.64	34.90	14.86	27.18	181.40
Pi (mm)	110.04	39.91	9.92	5.44	2.15	0.00	3.19	132.56	160.83	183.22	77.99	142.70	867.95
ESC (mm)	43.68	15.84	3.94	2.16	0.85	0.00	1.27	52.62	63.84	72.73	30.96	56.64	344.52
ETP (mm)	119.91	103.20	93.80	97.05	100.22	129.02	134.94	141.34	142.63	140.46	139.44	126.33	1466.34
HSi (mm)	40.05	40.05	28.36	12.05	12.05	12.05	12.05	12.05	40.05	40.05	40.05	40.05	
C1	1.00	1.00	0.94	0.19	0.08	0.00	0.11	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	
C2	0.85	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.00	1.00	0.00	1.00	
HD (mm)	138.04	67.91	26.23	5.44	2.15	0.00	3.19	132.56	188.83	211.21	105.99	170.69	
ETR (mm)	98.78	51.60	26.23	5.44	2.15	0.00	3.19	70.67	142.63	140.46	69.72	126.33	737.19
HSf (mm)	40.05	28.36	12.05	12.05	12.05	12.05	12.05	40.05	40.05	40.05	40.05	40.05	
DCC (mm)	0.00	11.69	28.00	28.00	28.00	28.00	28.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
Rp (mm)	11.27	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	33.89	18.20	42.76	8.27	16.37	130.76
NR (mm)	21.13	63.29	95.56	119.61	126.07	157.01	159.75	70.67	0.00	0.00	69.72	0.00	882.81

Cuadro 84A. Balance hídrico de suelos de la unidad 11.

Zona de Estudio:	Unidad:	11																																																																																																																																																																																																																																									
	Serie de suelo:	Civijá																																																																																																																																																																																																																																									
	Unidad geológica:	Zona de Granate de Palibat																																																																																																																																																																																																																																									
	Uso actual de la tierra:	Bosque de coníferas																																																																																																																																																																																																																																									
Estación climática:	Caquil - Xeabaj																																																																																																																																																																																																																																										
Textura de Suelo:	Franco arcillo arenoso																																																																																																																																																																																																																																										
Simbología																																																																																																																																																																																																																																											
<p>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 Kv: Factor por vegetación Kfc: Factor estimado con base a la prueba de infiltración</p>																																																																																																																																																																																																																																											
<p>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</p>																																																																																																																																																																																																																																											
fc [mm/d]	19.20																																																																																																																																																																																																																																										
Kp [0.01%]	0.06																																																																																																																																																																																																																																										
Kv [0.01%]	0.20																																																																																																																																																																																																																																										
Kfc [0.01%]	0.06																																																																																																																																																																																																																																										
I [0.01%]	0.32																																																																																																																																																																																																																																										
DS (g/cm ³):	1.18																																																																																																																																																																																																																																										
PR (mm)	1600																																																																																																																																																																																																																																										
HSi (mm)	187.10																																																																																																																																																																																																																																										
Nº de mes con que inicia HSi;1,2,3...12?	6																																																																																																																																																																																																																																										
Lluvia retenida [0.01%] : Bosques=0.2, otros=0.1:	0.20																																																																																																																																																																																																																																										
		<table border="1"> <tr> <td colspan="3">Por peso</td> </tr> <tr> <td></td> <td>(%)</td> <td>(mm)</td> </tr> <tr> <td>CC</td> <td>18.02</td> <td>340.22</td> </tr> <tr> <td>PM</td> <td>9.91</td> <td>187.10</td> </tr> <tr> <td>(CC-PM)</td> <td>8.11</td> <td>153.12</td> </tr> </table>	Por peso				(%)	(mm)	CC	18.02	340.22	PM	9.91	187.10	(CC-PM)	8.11	153.12																																																																																																																																																																																																																										
Por peso																																																																																																																																																																																																																																											
	(%)	(mm)																																																																																																																																																																																																																																									
CC	18.02	340.22																																																																																																																																																																																																																																									
PM	9.91	187.10																																																																																																																																																																																																																																									
(CC-PM)	8.11	153.12																																																																																																																																																																																																																																									
<table border="1"> <thead> <tr> <th rowspan="2">Concepto</th> <th colspan="12">Mes</th> <th rowspan="2">Total</th> </tr> <tr> <th>Oct</th> <th>Nov</th> <th>Dic</th> <th>Ene</th> <th>Feb</th> <th>Mar</th> <th>Abr</th> <th>May</th> <th>Jun</th> <th>Jul</th> <th>Ago</th> <th>Sep</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>P (mm)</td> <td>185.36</td> <td>67.23</td> <td>20.01</td> <td>13.36</td> <td>8.49</td> <td>0.00</td> <td>9.48</td> <td>223.01</td> <td>270.92</td> <td>308.63</td> <td>131.37</td> <td>240.37</td> <td>1478.25</td> </tr> <tr> <td>Ret [mm]</td> <td>37.07</td> <td>13.45</td> <td>5.00</td> <td>5.00</td> <td>5.00</td> <td>0.00</td> <td>5.00</td> <td>44.80</td> <td>54.18</td> <td>61.73</td> <td>26.27</td> <td>48.07</td> <td>305.38</td> </tr> <tr> <td>Pi (mm)</td> <td>47.90</td> <td>17.37</td> <td>4.85</td> <td>2.70</td> <td>1.13</td> <td>0.00</td> <td>1.45</td> <td>57.63</td> <td>70.01</td> <td>79.75</td> <td>33.95</td> <td>62.11</td> <td>378.84</td> </tr> <tr> <td>ESC (mm)</td> <td>100.39</td> <td>36.41</td> <td>10.17</td> <td>5.66</td> <td>2.36</td> <td>0.00</td> <td>3.04</td> <td>120.78</td> <td>146.73</td> <td>167.15</td> <td>71.15</td> <td>130.18</td> <td>794.03</td> </tr> <tr> <td>ETP (mm)</td> <td>117.69</td> <td>101.04</td> <td>92.97</td> <td>96.38</td> <td>98.97</td> <td>126.61</td> <td>132.99</td> <td>138.66</td> <td>138.24</td> <td>137.38</td> <td>136.73</td> <td>124.75</td> <td>1442.42</td> </tr> <tr> <td>HSi (mm)</td> <td>245.27</td> <td>242.97</td> <td>227.96</td> <td>213.48</td> <td>203.64</td> <td>187.10</td> <td>187.10</td> <td>187.84</td> <td>216.54</td> <td>237.29</td> <td>252.76</td> <td>237.47</td> <td></td> </tr> <tr> <td>C1</td> <td>0.69</td> <td>0.48</td> <td>0.30</td> <td>0.19</td> <td>0.12</td> <td>0.00</td> <td>0.01</td> <td>0.38</td> <td>0.65</td> <td>0.85</td> <td>0.65</td> <td>0.73</td> <td></td> </tr> <tr> <td>C2</td> <td>0.16</td> <td>0.16</td> <td>0.12</td> <td>0.07</td> <td>0.04</td> <td>0.00</td> <td>0.00</td> <td>0.04</td> <td>0.06</td> <td>0.09</td> <td>0.07</td> <td>0.14</td> <td></td> </tr> <tr> <td>HD (mm)</td> <td>106.07</td> <td>73.25</td> <td>45.71</td> <td>29.08</td> <td>17.66</td> <td>0.00</td> <td>1.45</td> <td>58.36</td> <td>99.45</td> <td>129.94</td> <td>99.61</td> <td>112.48</td> <td></td> </tr> <tr> <td>ETR (mm)</td> <td>50.20</td> <td>32.39</td> <td>19.33</td> <td>12.55</td> <td>7.73</td> <td>0.00</td> <td>0.71</td> <td>28.92</td> <td>49.25</td> <td>64.29</td> <td>49.23</td> <td>54.31</td> <td>368.90</td> </tr> <tr> <td>HSf (mm)</td> <td>242.97</td> <td>227.96</td> <td>213.48</td> <td>203.64</td> <td>197.04</td> <td>187.10</td> <td>187.84</td> <td>216.54</td> <td>237.29</td> <td>252.76</td> <td>237.47</td> <td>245.27</td> <td></td> </tr> <tr> <td>DCC (mm)</td> <td>97.24</td> <td>112.26</td> <td>126.73</td> <td>136.58</td> <td>143.18</td> <td>153.12</td> <td>152.38</td> <td>123.67</td> <td>102.92</td> <td>87.46</td> <td>102.74</td> <td>94.94</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Rp (mm)</td> <td>0.00</td> </tr> <tr> <td>NR (mm)</td> <td>164.74</td> <td>180.90</td> <td>200.38</td> <td>220.42</td> <td>234.43</td> <td>279.73</td> <td>284.66</td> <td>233.41</td> <td>191.90</td> <td>160.55</td> <td>190.24</td> <td>165.39</td> <td>2506.75</td> </tr> </tbody> </table>														Concepto	Mes												Total	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	P (mm)	185.36	67.23	20.01	13.36	8.49	0.00	9.48	223.01	270.92	308.63	131.37	240.37	1478.25	Ret [mm]	37.07	13.45	5.00	5.00	5.00	0.00	5.00	44.80	54.18	61.73	26.27	48.07	305.38	Pi (mm)	47.90	17.37	4.85	2.70	1.13	0.00	1.45	57.63	70.01	79.75	33.95	62.11	378.84	ESC (mm)	100.39	36.41	10.17	5.66	2.36	0.00	3.04	120.78	146.73	167.15	71.15	130.18	794.03	ETP (mm)	117.69	101.04	92.97	96.38	98.97	126.61	132.99	138.66	138.24	137.38	136.73	124.75	1442.42	HSi (mm)	245.27	242.97	227.96	213.48	203.64	187.10	187.10	187.84	216.54	237.29	252.76	237.47		C1	0.69	0.48	0.30	0.19	0.12	0.00	0.01	0.38	0.65	0.85	0.65	0.73		C2	0.16	0.16	0.12	0.07	0.04	0.00	0.00	0.04	0.06	0.09	0.07	0.14		HD (mm)	106.07	73.25	45.71	29.08	17.66	0.00	1.45	58.36	99.45	129.94	99.61	112.48		ETR (mm)	50.20	32.39	19.33	12.55	7.73	0.00	0.71	28.92	49.25	64.29	49.23	54.31	368.90	HSf (mm)	242.97	227.96	213.48	203.64	197.04	187.10	187.84	216.54	237.29	252.76	237.47	245.27		DCC (mm)	97.24	112.26	126.73	136.58	143.18	153.12	152.38	123.67	102.92	87.46	102.74	94.94		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)	164.74	180.90	200.38	220.42	234.43	279.73	284.66	233.41	191.90	160.55	190.24	165.39	2506.75
Concepto	Mes												Total																																																																																																																																																																																																																														
	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep																																																																																																																																																																																																																															
P (mm)	185.36	67.23	20.01	13.36	8.49	0.00	9.48	223.01	270.92	308.63	131.37	240.37	1478.25																																																																																																																																																																																																																														
Ret [mm]	37.07	13.45	5.00	5.00	5.00	0.00	5.00	44.80	54.18	61.73	26.27	48.07	305.38																																																																																																																																																																																																																														
Pi (mm)	47.90	17.37	4.85	2.70	1.13	0.00	1.45	57.63	70.01	79.75	33.95	62.11	378.84																																																																																																																																																																																																																														
ESC (mm)	100.39	36.41	10.17	5.66	2.36	0.00	3.04	120.78	146.73	167.15	71.15	130.18	794.03																																																																																																																																																																																																																														
ETP (mm)	117.69	101.04	92.97	96.38	98.97	126.61	132.99	138.66	138.24	137.38	136.73	124.75	1442.42																																																																																																																																																																																																																														
HSi (mm)	245.27	242.97	227.96	213.48	203.64	187.10	187.10	187.84	216.54	237.29	252.76	237.47																																																																																																																																																																																																																															
C1	0.69	0.48	0.30	0.19	0.12	0.00	0.01	0.38	0.65	0.85	0.65	0.73																																																																																																																																																																																																																															
C2	0.16	0.16	0.12	0.07	0.04	0.00	0.00	0.04	0.06	0.09	0.07	0.14																																																																																																																																																																																																																															
HD (mm)	106.07	73.25	45.71	29.08	17.66	0.00	1.45	58.36	99.45	129.94	99.61	112.48																																																																																																																																																																																																																															
ETR (mm)	50.20	32.39	19.33	12.55	7.73	0.00	0.71	28.92	49.25	64.29	49.23	54.31	368.90																																																																																																																																																																																																																														
HSf (mm)	242.97	227.96	213.48	203.64	197.04	187.10	187.84	216.54	237.29	252.76	237.47	245.27																																																																																																																																																																																																																															
DCC (mm)	97.24	112.26	126.73	136.58	143.18	153.12	152.38	123.67	102.92	87.46	102.74	94.94																																																																																																																																																																																																																															
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)	164.74	180.90	200.38	220.42	234.43	279.73	284.66	233.41	191.90	160.55	190.24	165.39	2506.75																																																																																																																																																																																																																														

Cuadro 85A. Balance hídrico de suelos de la unidad 12.

Zona de Estudio:	Unidad:	12
	Serie de suelo:	Civijá
	Unidad geológica:	Zona de Granate de Palibatz
	Uso actual de la tierra:	Cultivos anuales
Estación climática:	Caquil - Xeabaj	
Textura de Suelo:	Franco arenoso	
Simbología		
fc: Capacidad de Infiltración.	P: Precipitación Media Mensual.	
I: Infiltración.	Pi: Precipitación que infiltra.	
CC: Capacidad de Campo.	ESC: Escorrentía Superficial	
PM: Punto de Marchitez.	ETP: Evapotranspiración Potencial.	
PR: Profundidad de Raíces.	ETR: Evapotranspiración Real.	
(CC-PM): Rango de Agua Disponible.	HSi: Humedad de Suelo Inicial.	
DS: Densidad de Suelo.	HD: Humedad Disponible	
C1: Factor de ETP, por cierre de estomas, antes que ocurra ETR	HSf: Humedad de Suelo Final.	
C2: Factor de ETP, por cierre de estomas, después que ocurre ETR	DCC: Déficit de Capacidad de Campo.	
Kp: Factor por pendiente	Rp: Recarga Potencial	
Kv: Factor por vegetación	NR: Necesidad de Riego.	
Kfc: Factor estimado con base a la prueba de infiltración	Ret: Retención de lluvia	
fc [mm/d]	57.60	
Kp [0.01%]	0.06	
Kv [0.01%]	0.10	
Kfc [0.01%]	0.35	
I [0.01%]	0.51	
DS (g/cm ³):	1.00	
PR (mm)	800	
HSi (mm)	157.12	
Nº de mes con que inicia HSi;1,2,3...12?	11	
Lluvia retenida [0.01%]: Bosques=0.2, otros=0.1:	0.12	
		Por peso
		(%) (mm)
	CC	19.64 157.12
	PM	10.66 85.28
	(CC-PM)	8.98 71.84

Concepto	Mes												Total
	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	
P (mm)	191.59	69.49	20.69	13.81	8.77	0.00	9.50	230.36	280.02	319.00	135.79	248.44	1527.47
Ret (mm)	22.99	8.34	5.00	5.00	5.00	0.00	5.00	27.64	33.60	38.28	16.29	29.81	196.96
Pi (mm)	86.06	31.21	8.01	4.50	1.93	0.00	2.30	103.47	125.78	143.28	60.99	111.59	679.12
ESC (mm)	82.54	29.94	7.68	4.31	1.85	0.00	2.20	99.24	120.64	137.43	58.50	107.04	651.39
ETP (mm)	116.40	89.77	92.49	95.99	96.25	125.21	131.85	137.09	135.67	135.58	135.15	123.84	1427.30
HSi (mm)	154.52	150.86	132.19	104.85	93.27	88.41	85.68	85.50	120.42	154.52	157.12	150.54	
C1	1.00	1.00	0.76	0.33	0.14	0.04	0.04	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	
C2	0.54	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.35	1.00	0.00	0.74	
HD (mm)	155.30	96.80	54.92	24.08	9.91	3.13	2.70	103.69	160.92	212.53	132.83	176.85	
ETR (mm)	89.71	49.89	35.35	16.08	6.78	2.73	2.48	68.55	91.68	135.58	67.58	107.61	674.01
HSf (mm)	150.86	132.19	104.85	93.27	88.41	85.68	85.50	120.42	154.52	157.12	150.54	154.52	
DCC (mm)	6.26	24.93	52.27	63.85	68.71	71.44	71.62	36.70	2.60	0.00	6.58	2.60	
Rp (mm)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	5.10	0.00	0.00	5.10
NR (mm)	32.94	74.81	109.41	143.77	160.17	193.92	200.99	105.24	46.59	0.00	74.16	18.83	1160.83

PROPIEDAD DE:

Cuadro 86A. Balance hídrico de suelos de la unidad 13.

Zona de Estudio:	Unidad:	13
	Serie de suelo:	Civijá
	Unidad geológica:	Zona de Granate de Patibatz
	Uso actual de la tierra:	Bosque secundario (matorral)
Estación climática:	Caquil - Xeabaj	
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		
Kv: Factor por vegetación		
Kfc: Factor estimado con base a la prueba de infiltración		
P: Precipitación Media Mensual.		
Pi: Precipitación que infiltra.		
ESC: Ecorrentía 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]	40.80	
Kp [0.01%]	0.06	
Kv [0.01%]	0.15	
Kfc [0.01%]	0.26	
I [0.01%]	0.47	
DS (g/cm ³):	0.98	
PR (mm)	1170	
HSi (mm)	97.23	
Nº de mes con que inicia HSi;1,2,3...12?	7	
Lluvia retenida [0.01%] : Bosques=0.2, otros=0.1:	0.16	
		Por peso
		(%) (mm)
CC	14.78	169.47
PM	8.48	97.23
(CC-PM)	6.30	72.24

Concepto	Mes												Total
	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	
P (mm)	179.13	64.98	19.34	12.91	8.20	0.00	9.47	215.67	261.82	298.25	126.96	232.29	1429.02
Ret [mm]	28.86	10.40	5.00	5.00	5.00	0.00	5.00	34.51	41.89	47.72	20.31	37.17	240.86
Pi (mm)	70.86	25.70	6.75	3.73	1.51	0.00	2.10	85.32	103.57	117.99	50.22	91.89	559.64
ESC (mm)	79.61	28.88	7.59	4.19	1.69	0.00	2.36	95.85	116.36	132.55	56.42	103.23	628.72
ETP (mm)	118.99	102.30	93.45	96.77	99.70	128.02	134.13	140.22	140.80	139.17	138.31	125.67	1457.54
HSi (mm)	162.39	159.73	134.28	112.70	103.57	99.66	97.23	97.36	112.59	145.76	167.82	148.89	
C1	1.00	1.00	0.61	0.27	0.11	0.03	0.03	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	
C2	0.24	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.38	0.00	0.25	
HD (mm)	136.02	88.20	43.81	19.20	7.85	2.43	2.10	85.47	118.93	166.51	120.81	143.55	
ETR (mm)	73.53	51.15	28.34	12.86	5.41	2.15	1.95	70.11	70.40	95.92	69.16	78.38	559.37
HSf (mm)	159.73	134.28	112.70	103.57	99.66	97.51	97.38	112.59	145.76	167.82	148.89	162.39	
DCC (mm)	9.74	35.18	56.77	65.80	69.80	71.96	72.09	56.88	23.71	1.65	20.58	7.07	
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)	55.20	86.33	121.88	149.81	164.09	197.82	204.26	126.99	94.11	44.90	89.74	54.36	1389.49

Cuadro 87A. Balance hídrico de suelos de la unidad 14.

Zona de Estudio:	Unidad:	14
	Serie de suelo:	Chol
	Unidad geológica:	Depósitos fluviales
	Uso actual de la tierra:	Cultivos anuales
Estación climática:	Caquil - Xeabaj	
Textura de Suelo:	Arena franca	
Simbología		
fc: Capacidad de Infiltración.		P: Precipitación Media Mensual.
I: Infiltración.		Pi: Precipitación que infiltra.
CC: Capacidad de Campo.		ESC: Escorrentía Superficial
PM: Punto de Marchitez.		ETP: Evapotranspiración Potencial.
PR: Profundidad de Raíces.		ETR: Evapotranspiración Real.
(CC-PM): Rango de Agua Disponible.		HSi: Humedad de Suelo Inicial.
DS: Densidad de Suelo.		HD: Humedad Disponible
C1: Factor de ETP, por cierre de estomas, antes que ocurra ETR		HSf: Humedad de Suelo Final.
C2: Factor de ETP, por cierre de estomas, después que ocurre ETR		DCC: Déficit de Capacidad de Campo.
Kp: Factor por pendiente		Rp: Recarga Potencial
Kv: Factor por vegetación		NR: Necesidad de Riego.
Kfc: Factor estimado con base a la prueba de infiltración		Ret: Retención de lluvia
fc [mm/d]	72.00	
Kp [0.01%]	0.10	
Kv [0.01%]	0.10	
Kfc [0.01%]	0.41	
I [0.01%]	0.61	
DS (g/cm ³):	1.14	
PR (mm)	1000	
HSi (mm)	101.35	
Nº de mes con que inicia HSi;1,2,3...12?	1	
Lluvia retenida [0.01%] : Bosques=0.2, otros=0.1:	0.12	
		Por peso
		(%) (mm)
		CC 8.89 101.35
		PM 5.07 57.80
		(CC-PM) 3.82 43.55

Concepto	Mes												Total
	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	
P (mm)	158.67	57.55	17.13	11.44	7.28	0.00	9.41	191.54	231.90	264.18	112.45	205.75	1287.30
Ret [mm]	19.04	6.91	5.00	5.00	5.00	0.00	5.00	22.99	27.83	31.70	13.49	24.69	166.65
Pi (mm)	84.86	30.78	7.37	3.91	1.38	0.00	2.68	102.45	124.03	141.30	60.15	110.04	668.96
ESC (mm)	54.76	19.86	4.76	2.53	0.89	0.00	1.73	66.11	80.04	91.18	38.81	71.01	431.70
ETP (mm)	123.24	106.45	95.04	98.05	102.09	132.62	137.88	145.36	149.23	145.07	143.51	128.68	1507.22
HSi (mm)	101.35	101.35	78.90	57.80	57.80	57.80	57.80	57.80	87.56	101.35	101.35	89.74	
C1	1.00	1.00	0.85	0.09	0.03	0.00	0.08	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	
C2	0.12	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.10	0.91	0.00	0.31	
HD (mm)	128.41	74.33	28.48	3.91	1.38	0.00	2.68	102.45	153.80	184.84	103.69	141.99	
ETR (mm)	68.94	53.22	28.48	3.91	1.38	0.00	2.68	72.68	82.44	138.78	71.75	83.99	608.27
HSf (mm)	101.35	78.90	57.80	57.80	57.80	57.80	57.80	87.56	101.35	101.35	89.74	101.35	
DCC (mm)	0.00	22.44	43.55	43.55	43.55	43.55	43.55	13.78	0.00	0.00	11.61	0.00	
Rp (mm)	15.93	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	27.81	2.51	0.00	14.44	60.69
NR (mm)	54.30	75.67	110.11	137.69	144.26	176.16	178.75	86.46	66.79	6.29	83.36	44.69	1164.52

Cuadro 88A. Balance hídrico de suelos de la unidad 15.

Zona de Estudio:	Unidad:	15											
	Serie de suelo:	Ci											
	Unidad geológica:	Depósitos fluviales											
	Uso actual de la tierra:	Cultivos anuales											
Estación climática:	Caquil - Xeabaj												
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													
Kv: Factor por vegetación													
Kfc: Factor estimado con base a la prueba de infiltración													
P: Precipitación Media Mensual.													
Pi: Precipitación que infiltra.													
ESC: Escorrentía Superficial													
ETP: Evapotranspiración Potencial.													
ETR: Evapotranspiración Real.													
HSi: Humedad de Suelo Inicial.													
HD: Humedad Disponible													
HSf: Humedad de Suelo Final.													
DCC: Déficit de Capacidad de Campo.													
Rp: Recarga Potencial													
NR: Necesidad de Riego.													
Ret: Retención de lluvia													
fc [mm/d]	52.80												
Kp [0.01%]	0.06												
Kv [0.01%]	0.10												
Kfc [0.01%]	0.33												
I [0.01%]	0.49												
DS (g/cm ³):	1.11												
PR (mm)	1000												
HSi (mm)	115.55												
N° de mes con que inicia HSi;1,2,3...12?	7												
Lluvia retenida [0.01%]: Bosques=0.2, otros=0.1:	0.12												
		Por peso											
		(%) (mm)											
	CC	18.30 203.13											
	PM	10.41 115.55											
	(CC-PM)	7.89 87.58											
Concepto	Mes												Total
	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	
P (mm)	201.36	73.04	21.75	14.52	9.22	0.00	9.53	241.69	294.33	335.29	142.73	261.13	1604.81
Ret [mm]	24.17	8.77	5.00	5.00	5.00	0.00	5.00	29.03	35.32	40.24	17.13	31.34	205.98
Pi (mm)	86.47	31.36	8.17	4.64	2.08	0.00	2.21	103.66	126.38	143.97	61.28	112.12	682.53
ESC (mm)	90.75	32.91	8.57	4.87	2.16	0.00	2.32	109.00	132.63	151.09	64.32	117.67	716.31
ETP (mm)	114.36	97.79	91.73	95.38	97.10	123.01	130.05	134.64	131.64	132.76	132.67	122.40	1403.54
HSi (mm)	194.77	190.55	168.23	144.53	130.87	123.29	115.55	116.12	152.67	189.28	202.49	185.66	
C1	1.00	1.00	0.69	0.36	0.20	0.09	0.03	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	
C2	0.59	0.10	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.36	0.97	0.18	0.68	
HD (mm)	165.69	108.36	60.85	33.63	17.38	7.74	2.21	104.43	163.49	217.70	148.22	182.23	
ETR (mm)	90.69	53.68	31.87	18.31	9.63	5.44	1.64	67.32	89.76	130.76	78.12	103.01	680.23
HSf (mm)	190.55	168.23	144.53	130.87	123.29	117.86	116.12	152.67	189.28	202.49	185.66	194.77	
DCC (mm)	12.58	34.90	58.60	72.26	79.84	85.27	87.01	50.46	13.85	0.64	17.47	8.36	
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)	36.25	79.01	118.46	149.33	167.31	202.85	215.42	117.78	55.73	2.64	72.02	27.74	1244.55

Cuadro 89A. Balance hídrico de suelos de la unidad 16.

Zona de Estudio:	Unidad:	16
	Serie de suelo:	Chol
	Unidad geológica:	Depósitos piroclásticos
	Uso actual de la tierra:	Cultivos anuales
Estación climática:	Caquil - Xebaj	
Textura de Suelo:	Franco arcillo arenoso	
Simbología		
fc: Capacidad de Infiltración.		P: Precipitación Media Mensual.
I: Infiltración.		Pi: Precipitación que infiltra.
CC: Capacidad de Campo.		ESC: Escoorrentía Superficial
PM: Punto de Marchitez.		ETP: Evapotranspiración Potencial.
PR: Profundidad de Raíces.		ETR: Evapotranspiración Real.
(CC-PM): Rango de Agua Disponible.		HSi: Humedad de Suelo Inicial.
DS: Densidad de Suelo.		HD: Humedad Disponible
C1: Factor de ETP, por cierre de estomas, antes que ocurra ETR		HSf: Humedad de Suelo Final.
C2: Factor de ETP, por cierre de estomas, después que ocurre ETR		DCC: Déficit de Capacidad de Campo.
Kp: Factor por pendiente		Rp: Recarga Potencial
Kv: Factor por vegetación		NR: Necesidad de Riego.
Kfc: Factor estimado con base a la prueba de infiltración		Ret: Retención de lluvia
fc [mm/d]	48.00	
Kp [0.01%]	0.06	
Kv [0.01%]	0.15	
Kfc [0.01%]	0.30	
I [0.01%]	0.51	
DS (g/cm ³):	1.03	
PR (mm)	1400	
HSi (mm)	141.46	
Nº de mes con que inicia HSi;1,2,3...12?	7	
Lluvia retenida [0.01%] : Bosques=0.2, otros=0.1:	0.20	
		Por peso
		(%) (mm)
		CC 18.59 268.07
		PM 9.81 141.46
		(CC-PM) 8.78 126.61

Concepto	Mes												Total
	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	
P (mm)	158.67	57.55	17.13	11.44	7.26	0.00	9.41	191.54	231.90	264.18	112.45	205.75	1267.30
Ret [mm]	31.73	11.51	5.00	5.00	5.00	0.00	5.00	38.31	46.38	52.84	22.49	41.15	264.41
Pi (mm)	65.15	23.63	6.23	3.31	1.16	0.00	2.26	78.64	95.21	108.46	46.17	84.48	514.70
ESC (mm)	61.79	22.41	5.91	3.14	1.10	0.00	2.15	74.59	90.31	102.88	43.79	80.12	488.19
ETP (mm)	123.24	106.45	95.04	98.05	102.09	132.62	137.88	145.36	149.23	145.07	143.51	128.68	1507.22
HSi (mm)	210.99	208.95	188.17	169.58	157.97	150.63	141.46	142.49	175.40	195.99	221.65	196.21	
C1	1.00	0.72	0.42	0.25	0.14	0.07	0.02	0.63	1.00	1.00	1.00	1.00	
C2	0.09	0.11	0.10	0.06	0.03	0.00	0.00	0.00	0.00	0.14	0.00	0.08	
HD (mm)	134.67	91.12	52.94	31.42	17.67	9.17	2.26	79.67	129.15	163.00	126.36	139.22	
ETR (mm)	67.18	44.40	24.82	14.91	8.50	4.80	1.23	45.74	74.62	82.81	71.61	69.70	510.33
HSf (mm)	208.95	188.17	169.58	157.97	150.63	145.83	142.49	175.40	195.99	221.65	196.21	210.99	
DCC (mm)	59.12	79.89	98.49	110.10	117.44	122.24	125.58	92.67	72.07	46.42	71.86	57.08	
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)	115.18	141.94	168.70	193.24	211.03	250.06	262.22	192.30	146.69	108.68	143.75	116.07	2049.85

Cuadro 90A. Balance hídrico de suelos de la unidad 17.

Zona de Estudio:	Unidad: 17												
	Serie de suelo: Chol												
	Unidad geológica: Depósitos piroclásticos												
	Uso actual de la tierra: Cultivos semipermanentes (caña de azúcar)												
Estación climática:	Caquil - Xeabaj												
Textura de Suelo:	Franco arenoso												
Simbología													
fc: Capacidad de Infiltración.		P: Precipitación Media Mensual.											
I: Infiltración.		Pi: Precipitación que infiltra.											
CC: Capacidad de Campo.		ESC: Escorrentía Superficial											
PM: Punto de Marchitez.		ETP: Evapotranspiración Potencial.											
PR: Profundidad de Raíces.		ETR: Evapotranspiración Real.											
(CC-PM): Rango de Agua Disponible.		HSi: Humedad de Suelo Inicial.											
DS: Densidad de Suelo.		HD: Humedad Disponible											
C1: Factor de ETP, por cierre de estomas, antes que ocurra ETR		HSf: Humedad de Suelo Final.											
C2: Factor de ETP, por cierre de estomas, después que ocurre ETR		DCC: Déficit de Capacidad de Campo.											
Kp: Factor por pendiente		Rp: Recarga Potencial											
Kv: Factor por vegetación		NR: Necesidad de Riego.											
Kfc: Factor estimado con base a la prueba de infiltración		Ret: Retención de lluvia											
fc [mm/d]	312.00												
Kp [0.01%]	0.06												
Kv [0.01%]	0.15												
Kfc [0.01%]	0.76												
I [0.01%]	0.97												
DS (g/cm ³):	1.14												
PR (mm)	1000												
HSi (mm)	145.35												
N° de mes con que inicia HSi;1,2,3...12?	1												
Lluvia retenida [0.01%] : Bosques=0.2, otros=0.1:	0.13												
		Por peso											
		(%) (mm)											
		CC 12.75 145.35											
		PM 6.04 68.86											
		(CC-PM) 6.71 76.49											
Concepto	Mes												Total
	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	
P (mm)	157.78	57.23	17.03	11.38	7.22	0.00	9.41	190.50	230.60	262.70	111.82	204.60	1280.27
Ret [mm]	20.51	7.44	5.00	5.00	5.00	0.00	5.00	24.78	29.98	34.15	14.54	28.60	177.98
Pi (mm)	133.47	48.41	11.70	6.20	2.16	0.00	4.29	161.15	195.07	222.22	94.59	173.07	1052.34
ESC (mm)	3.80	1.38	0.33	0.18	0.08	0.00	0.12	4.59	5.55	6.32	2.69	4.92	29.94
ETP (mm)	123.43	106.63	95.10	98.11	102.20	132.82	138.04	145.59	149.60	145.33	143.73	128.81	1509.38
HSi (mm)	145.35	145.35	127.71	95.55	80.66	73.49	69.47	69.33	142.43	145.35	145.35	142.38	
C1	1.00	1.00	0.92	0.43	0.18	0.06	0.06	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	
C2	1.00	0.24	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.21	1.00	1.00	0.36	1.00	
HD (mm)	209.98	124.91	70.55	32.89	13.96	4.64	4.90	161.62	268.64	298.72	171.09	246.59	
ETR (mm)	123.43	66.05	43.86	21.09	9.33	4.02	4.42	88.06	149.60	145.33	97.57	128.81	881.57
HSf (mm)	145.35	127.71	95.55	80.66	73.49	69.47	69.33	142.43	145.35	145.35	142.38	145.35	
DCC (mm)	0.00	17.64	49.80	64.69	71.86	75.88	76.02	2.92	0.00	0.00	2.97	0.00	
Rp (mm)	10.04	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	42.55	76.90	0.00	41.29	170.78
NR (mm)	0.00	58.22	101.04	141.71	164.73	204.68	209.64	60.46	0.00	0.00	49.14	0.00	989.60

Cuadro 91A. Balance hídrico de suelos de la unidad 18.

Zona de Estudio:	Unidad:	18
	Serie de suelo:	Chol
	Unidad geológica:	Depósitos piroclásticos
	Uso actual de la tierra:	Cultivos anuales
Estación climática:	Caquil - Xeabaj	
Textura de Suelo:	Franco arenoso	
Simbología		
fc: Capacidad de Infiltración.		P: Precipitación Media Mensual.
I: Infiltración.		Pi: Precipitación que infiltra.
CC: Capacidad de Campo.		ESC: Escorrentía Superficial
PM: Punto de Marchitez.		ETP: Evapotranspiración Potencial.
PR: Profundidad de Raíces.		ETR: Evapotranspiración Real.
(CC-PM): Rango de Agua Disponible.		HSi: Humedad de Suelo Inicial.
DS: Densidad de Suelo.		HD: Humedad Disponible
C1: Factor de ETP, por cierre de estomas, antes que ocurra ETR		HSf: Humedad de Suelo Final.
C2: Factor de ETP, por cierre de estomas, después que ocurre ETR		DCC: Déficit de Capacidad de Campo.
Kp: Factor por pendiente		Rp: Recarga Potencial
Kv: Factor por vegetación		NR: Necesidad de Riego.
Kfc: Factor estimado con base a la prueba de infiltración		Ret: Retención de lluvia
fc [mm/d]	319.20	
Kp [0.01%]	0.06	
Kv [0.01%]	0.10	
Kfc [0.01%]	0.77	
I [0.01%]	0.93	
DS (g/cm ³):	1.14	
PR (mm)	1000	
HSi (mm)	122.89	
Nº de mes con que inicia HSi;1,2,3...12?	1	
Lluvia retenida [0.01%]: Bosques=0.2, otros=0.1:	0.12	
		Por peso
		(%) (mm)
		CC 10.78 122.89
		PM 5.53 63.04
		(CC-PM) 5.25 59.85

Concepto	Mes												Total
	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	
P (mm)	156.89	56.91	16.94	11.31	7.18	0.00	9.41	189.45	229.30	261.21	111.19	203.44	1253.23
Ret (mm)	18.83	6.83	5.00	5.00	5.00	0.00	5.00	22.73	27.52	31.35	13.34	24.41	165.01
PI (mm)	128.03	46.44	11.07	5.85	2.02	0.00	4.09	154.60	187.12	213.16	90.74	166.02	1000.13
ESC (mm)	10.03	3.64	0.87	0.46	0.16	0.00	0.32	12.12	14.67	16.71	7.11	13.01	79.10
ETP (mm)	123.61	106.81	95.17	98.16	102.30	133.02	138.21	145.81	149.96	145.58	143.96	128.95	1511.54
HSi (mm)	122.89	122.89	115.93	79.41	67.04	63.92	63.04	63.04	122.89	122.89	122.89	122.89	
C1	1.00	1.00	1.00	0.37	0.10	0.01	0.07	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	
C2	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.15	1.00	1.00	0.11	1.00	
HD (mm)	187.88	106.29	63.96	22.22	6.02	0.88	4.09	154.60	246.97	273.01	150.59	225.87	
ETR (mm)	123.61	53.40	47.59	18.22	5.15	0.88	4.09	83.61	149.96	145.58	79.95	128.95	840.99
HSf (mm)	122.89	115.93	79.41	67.04	63.92	63.04	63.04	122.89	122.89	122.89	122.89	122.89	
DCC (mm)	0.00	6.97	43.48	55.85	58.97	59.85	59.85	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
Rp (mm)	4.42	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	11.14	37.16	67.58	10.79	37.07	168.15
NR (mm)	0.00	60.37	91.07	135.79	156.13	191.99	193.97	62.20	0.00	0.00	64.01	0.00	955.53

Cuadro 92A. Balance hídrico de suelos de la unidad 19.

Zona de Estudio:	Unidad: 19	
	Serie de suelo: Chol	
	Unidad geológica: Depósitos piroclásticos	
	Uso actual de la tierra: pastos naturales	
Estación climática:	Caquil - Xeabaj	
Textura de Suelo:	Franco arenoso	
Simbología		
fc: Capacidad de Infiltración.		P: Precipitación Media Mensual.
I: Infiltración.		Pi: Precipitación que infiltra.
CC: Capacidad de Campo.		ESC: Escoorrentía Superficial
PM: Punto de Marchitez.		ETP: Evapotranspiración Potencial.
PR: Profundidad de Raíces.		ETR: Evapotranspiración Real.
(CC-PM): Rango de Agua Disponible.		HSi: Humedad de Suelo Inicial.
DS: Densidad de Suelo.		HD: Humedad Disponible
C1: Factor de ETP, por cierre de estomas, antes que ocurra ETR		HSf: Humedad de Suelo Final.
C2: Factor de ETP, por cierre de estomas, después que ocurre ETR		DCC: Déficit de Capacidad de Campo.
Kp: Factor por pendiente		Rp: Recarga Potencial
Kv: Factor por vegetación		NR: Necesidad de Riego.
Kfc: Factor estimado con base a la prueba de infiltración		Ret: Retención de lluvia
fc [mm/d]	52.80	
Kp [0.01%]	0.06	
Kv [0.01%]	0.09	
Kfc [0.01%]	0.33	
I [0.01%]	0.48	
DS (g/cm ³):	1.29	
PR (mm)	850	
HSi (mm)	143.09	
Nº de mes con que inicia HSi;1,2,3...12?	11	
Lluvia retenida [0.01%]: Bosques=0.2, otros=0.1:	0.12	
		Por peso
		(%) (mm)
		CC 13.05 143.09
		PM 6.88 75.44
		(CC-PM) 6.17 67.65

Concepto	Mes												Total
	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	
P (mm)	164.01	59.49	17.71	11.83	7.51	0.00	9.43	197.84	239.71	273.07	116.24	212.67	1309.49
Ret [mm]	19.88	7.14	5.00	5.00	5.00	0.00	5.00	23.74	28.76	32.77	13.95	25.52	171.56
PI (mm)	68.98	25.02	6.07	3.28	1.20	0.00	2.12	83.21	100.81	114.85	48.89	89.44	543.85
ESC (mm)	75.35	27.33	6.63	3.58	1.31	0.00	2.31	90.89	110.13	125.45	53.40	97.71	594.08
ETP (mm)	122.13	105.37	94.62	97.72	101.47	131.42	136.90	144.02	147.03	143.53	142.15	127.90	1494.26
HSi (mm)	139.77	137.59	109.93	87.64	79.73	76.81	75.48	75.44	86.63	113.93	143.09	120.90	
C1	1.00	1.00	0.60	0.23	0.08	0.02	0.03	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	
C2	0.17	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.14	0.00	0.10	
HD (mm)	133.31	87.17	40.56	15.46	5.49	1.37	2.15	83.21	112.01	153.34	116.54	134.91	
ETR (mm)	71.16	52.68	28.37	11.16	4.12	1.33	2.15	72.01	73.52	82.17	71.08	70.58	540.33
HSf (mm)	137.59	109.93	87.64	79.73	76.81	75.48	75.44	86.63	113.93	143.09	120.90	139.77	
DCC (mm)	5.50	33.16	55.46	63.36	66.28	67.61	67.65	56.46	29.16	0.00	22.19	3.32	
Rp (mm)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	3.52	0.00	0.00	3.52
NR (mm)	56.47	85.85	121.71	149.91	163.63	197.70	202.40	128.47	102.68	61.36	93.26	60.64	1424.08

Cuadro 93A. Balance hídrico anual de la microcuenca del Río Tzulbá.

Unidad Microcuenca del Río Tzulbá				Textura del suelo Franco arenoso			
Terminología				DS: Densidad de Suelo.			
(CC-PM): Rango de Agua Disponible.				PM: Punto de Marchites.			
ETP: Evapotranspiración Potencial.				PR: Profundidad de Raíces.			
HSf: Humedad de Suelo Final.				P: Precipitación			
Lluvia retenida: Bosques=0.2, otros=0.12				I: Infiltración.			
HSi: Humedad de Suelo Inicial.				Pi: Precipitación que infiltra.			
ESC: Escorrentía Superficial				Rp: Recarga Potencial			
ETR: Evapotranspiración Real.				CC: Capacidad de Campo.			
						(%)	(m)
DS (g/cm ³)	1.11			CC	18.06	0.40	
PR (m)	2.0			PM	9.41	0.21	
HSi:	0.40			(CC-PM)	8.65	0.19	
LI ret [0.01%]	0.17						
Período	P	R	Pi	ESC	ETP	ETR	Rp
	m ³	m ³	m ³	m ³	m ³	m ³	m ³
2004-2005	42,026,880	7,144,570	24,509,804	10,372,506	40,802,606	20,401,303	4,108,501
TOTAL	42,026,880	7,144,570	24,509,804	10,372,506	40,802,606	20,401,303	4,108,501

CAPITULO III

SERVICIOS REALIZADOS

SERVICIO 1

ESTUDIO AGROLÓGICO DE LA MICROCUENCA DEL RÍO TZULBÁ, JOYABAJ, EL QUICHÉ

INDICE GENERAL

Indice general	213
Indice de figuras	215
Indice de cuadros	215
Resumen	216
I. INTRODUCCIÓN	218
II. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	219
III. MARCO CONCEPTUAL	220
3.1 Conceptos básicos	220
3.1.1 Paisaje	220
3.1.2 Leyenda fisiográfica	220
3.1.3 Análisis del paisaje.....	220
3.1.4 Capacidad de uso de la tierra	220
3.1.5 Clasificación de tierras por capacidad de uso.....	220
3.1.6 Unidad de mapeo.....	221
3.1.7 Tierra.....	221
3.1.8 Suelo.....	221
3.2 Metodologías para determinar capacidad de uso.....	221
3.2.1 Metodología USDA	221
3.2.2 Metodología C.C.T.....	222
3.2.3 metodología T.C. Sheng	222
3.2.4 Clasificación de tierras por capacidad de uso del INAB.....	222
3.3 Uso de la tierra	227
3.4 Intensidad de uso de la tierra	227
3.4.1 Uso correcto.....	227
3.4.2 Subuso de la tierra.....	227
3.4.3 Sobreuso de la tierra.....	228
IV. OBJETIVOS.....	229
4.1 Objetivo general.....	229
4.2 Objetivos específicos.....	229
V. METODOLOGIA	230
5.1 Fase de gabinete inicial	230
5.1.1 Recopilación de información general del área de estudio.....	230
5.1.2 Elaboración del mapa de unidades fisiográficas	230
5.1.3 Elaboración del mapa de pendientes	230
5.1.4 Elaboración del mapa de uso de la tierra.....	230
5.2 Fase de campo.....	230
5.2.1 Verificación de límites de las unidades fisiográficas o mapeo.....	230
5.2.2 Determinación de profundidades de suelos y factores modificadores	231
5.2.3 Chequeo del mapa de pendientes	231
5.2.4 Chequeo del mapa de cobertura y uso de la tierra	231
5.3 Fase de gabinete final	231

5.3.1 Integración del mapa de unidades de tierras	231
5.3.2 Elaboración del mapa de capacidad de uso	231
5.3.3 Elaboración del mapa de uso de la tierra	232
5.3.4 Elaboración del mapa de intensidad de uso de la tierra.....	232
VI. RESULTADOS	233
6.1 Unidades fisiográficas.....	233
6.1.1 Zona de montaña del sureste.....	235
6.1.2 Zona de montaña del suroeste.....	235
6.1.3 Planicies.....	236
6.1.4 Zona de montaña del noroeste	237
6.1.5 Zona de montaña del noreste	238
6.1.6 Zona de montañas del norte	239
6.2 Capacidad de uso del suelo	240
6.2.1 Unidades de capacidad de uso.....	240
6.3 Uso de la tierra	243
6.3.1 Categorías de uso actual	243
6.4 Intensidad de uso	246
6.4.1 Unidades de intensidad de uso.....	247
6.5 Propuesta de uso y manejo de los suelos	249
VII. CONCLUSIONES	251
VIII. RECOMENDACIONES	252
IX. BIBLIOGRAFÍA.....	254
X. ANEXO	255

INDICE DE FIGURAS

Figura 1. Mapa de unidades fisiográficas de la microcuenca del río Tzulbá.....	234
Figura 2. Mapa de capacidad de uso de la microcuenca del río Tzulbá.....	242
Figura 3. Mapa de uso actual de la microcuenca del río Tzulbá.....	244
Figura 4. Mapa de intensidad de uso de la microcuenca del río Tzulbá.....	248
Figura 5A. Mapa de pendientes de la microcuenca del río Tzulbá.....	256
Figura 6A. Mapa de profundidad de suelos de la microcuenca del río Tzulbá.....	257
Figura 7A. Mapa de factores modificadores de la microcuenca del río Tzulbá.....	258

INDICE DE CUADROS

Cuadro 1. Matriz de capacidad de uso de la tierra para la región Tierras Metamórficas.....	226
Cuadro 2. Modificaciones a las categorías en función de la pedregosidad y el drenaje.....	226
Cuadro 3. Leyenda de uso actual de la tierra.....	228
Cuadro 4. Leyenda fisiográfica de la microcuenca del río Tzulbá, Joyabaj, El Quiché.....	233
Cuadro 5. Categorías de capacidad de uso de la microcuenca río Tzulbá.....	241
Cuadro 6. Uso actual de la tierra de la microcuenca del río Tzulbá.....	243
Cuadro 7. Intensidad de uso de las tierras de la microcuenca del río Tzulbá.....	247

ESTUDIO AGROLÓGICO DE LA MICROCUENCA DEL RÍO TZULBÁ, JOYABAJ, EL QUICHÉ

RESUMEN

La microcuenca del río Tzulbá se ubica según división político-administrativa en el municipio de Joyabaj, El Quiché y en base a la hidrografía en la subcuenca del río Cocol, que ocupa la parte alta de la cuenca del río Motagua.

Por la fisiografía se localiza en la Sierra de Chuacús que se caracteriza por presentar valles profundos y laderas fuertemente pronunciadas, así también un clima templado, donde la vegetación predominante es el bosque.

El deterioro del recurso suelo en la microcuenca del río Tzulbá, ocurre en su mayor parte por la erosión que se origina debido al uso inadecuado de los suelos. La erosión implica la pérdida de la fertilidad, asolvamiento del cauce de los ríos, desbordes y crecidas que afectan las áreas de la parte media y baja de la microcuenca.

El manejo inadecuado del suelo en la microcuenca no sólo provoca el deterioro del mismo, sino también contribuye a incrementar las áreas sin cobertura forestal, ocasionando con ello la disminución de caudales y pérdida de manantiales, que abastecen a varias comunidades, agudizando con ello, la problemática del recurso agua.

El presente estudio se realizó con la finalidad de generar información básica que aporte elementos técnicos para el uso, manejo y conservación del recurso suelo. Para ello se efectuaron diferentes etapas de trabajo.

Se delimitó el área de estudio, y por análisis fisiográfico se encontraron 32 unidades fisiográficas, las cuales sirvieron de base para determinar la profundidad de los suelos y los factores limitantes: pedregosidad y drenaje. Se efectuó una comparación de curvas de nivel para agrupar los diferentes rangos de pendientes propuestos por el Instituto Nacional de Bosques para la región natural de Tierras Metamórficas. Y en base a toda esta información se clasificó los suelos de acuerdo a la capacidad de uso.

Además por interpretación de fotografías aéreas del año 2003, a escala 1:30,000 se identificaron las diferentes categorías de uso que se otorga actualmente a los suelos de la microcuenca y por sobreposición de capacidad de uso y uso de la tierra, se estableció la intensidad de uso.

De acuerdo a la capacidad de uso de la tierra en la microcuenca del río Tzulbá se identificaron las siguientes unidades: Aa (3.54%), Ss (2.95%), F (60.56%) y Fp (32.94%). Según el uso de la tierra se establecieron las siguientes categorías: asentamiento humano rural (1.70%), cultivos anuales (44.88%), cultivos semipermanentes (1.53%), pastos naturales (0.67%), bosque latifoliado (19.75%), bosque de coníferas (18.49%), bosque mixto (11.11%) y matorral (1.87%). Y por la intensidad de uso se determinó que el 48.40% recibe un uso correcto, 1.52% esta subutilizado y 50.07% se encuentra sobre utilizado.

En base a estos resultados se recomienda lo siguiente: desarrollar y aplicar un plan de manejo forestal sostenible con fines de aprovechamiento en las tierras que tienen cobertura forestal, complementar este trabajo con un estudio socioeconómico para establecer un plan de manejo integral que proponga nuevas opciones de producción como alternativa para mejorar el nivel de vida de los habitantes, propiciar prácticas de conservación de suelos como: construcción de diques de contención de piedra o sacos de arena, construcción de barreras muertas y/o barreras vivas acompañados de acequias, impulsar la utilización de sistemas agroforestales como frutales-especies forestales y realizar reforestación con especies nativas como pino macho (*Pinus montezumae*), pino hembra (*Pinus oocarpa*), ilamo (*Alnus jorullensis*) y encino (*Quercus* sp.). Además que se promuevan proyectos acordes a la capacidad de uso del suelo, así como la asistencia técnica y crediticia para los pobladores; y también proporcionar capacitaciones sobre prácticas de conservación de suelos, restauración de suelos, sistemas agroforestales, producción de especies frutales y forestales.

I. INTRODUCCIÓN

El uso inadecuado de los suelos en Guatemala se inicia con la producción agrícola que es la principal actividad económica de la mayoría de habitantes del área rural, sin importar que las pendientes de los terrenos sean las más abruptas, lo cual somete a los terrenos a los mayores riesgos de erosión.

La erosión es causante de problemas como la pérdida de fertilidad, contaminación y asolvamientos de las fuentes de agua y la pérdida del recurso suelo, elemento importante para la producción agrícola.

Siendo el suelo, un elemento importante para la producción agrícola, el uso adecuado constituye una de las condiciones básicas para lograr la sostenibilidad del mismo. A esto se debe la importancia de efectuar estudios sobre el suelo que permitan conocer las potencialidades y limitaciones a través de las cuales se determine el mejor uso o cobertura, así como la mejor alternativa de conservación de suelos, para alterar las características de los factores que favorecen la erosión.

A nivel nacional se cuenta con estudios del suelo, sobresaliendo los siguientes: Mapa de clasificación de reconocimiento de los suelos, primera aproximación al mapa de clasificación taxonómica de suelos, mapa de capacidad de uso de la tierra basado en la metodología Departamento de Agricultura de los Estados Unidos –USDA–, mapa de capacidad de uso de la tierra por la metodología del Instituto Nacional de Bosques –INAB–, que debido al nivel de estudio, son de utilidad limitada para la planificación de sistemas de cultivo o coberturas y/o ejecutar prácticas de conservación de suelos en áreas particulares.

Es por ello, que se realizó en el 2004, un estudio agrológico semidetallado contando con el apoyo financiero del Proyecto de Investigación Forestal, el Proyecto de Ecosistemas Forestales Estratégicos, la Subregión VII-1, del INAB y la asesoría técnica de la Facultad de Agronomía de la Universidad de San Carlos de Guatemala.

Esta información será de mucha utilidad para organizaciones gubernamentales, no gubernamentales, pobladores y autoridades municipales debido a que aporta más elementos para evaluar potencialidades y limitaciones de la actividad forestal y también proporciona criterios para realizar un ordenamiento de las actividades productivas actuales, lo que puede conducir a que exista asistencia técnica y económica, para la población de la microcuenca.

II. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

El uso inadecuado de los suelos en Guatemala, específicamente en las zonas que abarcan las partes altas de cuencas hidrográficas, provoca altas tasas de erosión lo cual contribuye al deterioro del recurso suelo.

Esta situación también se está dando en la microcuenca del río Tzulbá que se ubica en la parte alta de la cuenca del río Motagua, donde el recurso suelo no recibe el uso adecuado, lo cual se corrobora observando: pérdidas de suelo por erosión hídrica, presencia de cultivos limpios en terrenos con altas pendientes sin ninguna práctica de conservación de suelos y la existencia de áreas erosionadas en cárcavas sin ningún tipo de control.

Todo esto estimula el deterioro de la fauna, flora y del recurso hídrico de la microcuenca y genera pérdida de productividad de los suelos que se manifiesta en el bajo rendimiento de los cultivos, provocando con ello un detrimento directo o indirecto en la condiciones de vida de la población.

El uso adecuado y conservación del recurso suelo es de gran importancia para los pobladores de la microcuenca, porque les proporciona a través del rendimiento de los cultivos el mayor ingreso periódico para satisfacer sus necesidades básicas. Además en el suelo se encuentran los nacimientos de agua que abastecen a toda la población del área, el bosque que suministra leña, madera y protege las fuentes de agua.

La falta de un estudio agrológico a nivel semidetallado ha imposibilitado efectuar propuestas que contribuyan a minimizar el deterioro del suelo y maximizar el rendimiento de los cultivos al aplicar un uso y manejo adecuado del suelo.

Por lo anterior, se hace necesaria la realización de estudios que permitan conocer las potencialidades y limitaciones del recurso suelo que sirvan como base para efectuar un manejo sostenible.

Por la extensión del área se planificó la realización de un estudio agrológico semidetallado que permitió generar información sobre el estado actual de los mismos, su capacidad de uso y además identificar las tierras de la microcuenca que merecen especial atención de acuerdo al grado de intensidad de uso que reciben.

III. MARCO CONCEPTUAL

3.1 CONCEPTOS BÁSICOS

Según Villolta (6), en el documento sistema CIAF de clasificación fisiográfica del terreno, enumera los siguientes conceptos.

3.1.1 PAISAJE

Es la porción tridimensional de la superficie terrestre, resultante de una misma geogénesis, que puede describirse en términos de similares características climáticas, morfológicas, de material parental y de edad, dentro de la cual puede esperarse una alta homogeneidad pedológica, así como una cobertura vegetal o un uso de la tierra similar.

3.1.2 LEYENDA FISIAGRÁFICA

Es una jerarquización de lo general a lo particular del paisaje de una zona determinada como producto de un análisis paisajístico basado en criterios fisiográficos y/o geomorfológicos.

3.1.3 ANÁLISIS DEL PAISAJE

Es un conjunto de conceptos, métodos y técnicas que permiten interpretar imágenes de la superficie terrestre, basadas en la relación fisiografía-suelo.

Y en el manual para clasificación de tierras por capacidad de uso del INAB (2), se establecen las nociones siguientes.

3.1.4 CAPACIDAD DE USO DE LA TIERRA

Es la identificación en términos físicos, del soporte que tiene una unidad de tierra de ser utilizada para determinadas coberturas y/o tratamientos, que se basa en el principio de la máxima intensidad de uso soportable sin causar deterioro físico del suelo.

3.1.5 CLASIFICACIÓN DE TIERRAS POR CAPACIDAD DE USO

Es un agrupamiento de interpretaciones que se hacen principalmente para fines agrícolas y comienza por la distinción de unidades de mapeo. Permite hacer algunas generalizaciones con respecto a las potencialidades del suelo, limitaciones de uso y problemas de manejo.

3.1.6 UNIDAD DE MAPEO

Es una parte de la superficie terrestre con un tamaño definido en función del nivel, escala de levantamiento y los criterios de clasificación de la tierra.

3.1.7 TIERRA

Son todos los aspectos del ambiente natural de una parte de la superficie de la tierra, en la medida en que ellos ejerzan una influencia significativa sobre su potencial de uso por el hombre. Incluye la geología, la fisiografía, los suelos, el clima, la vegetación y las actividades del hombre.

3.1.8 SUELO

Según Tobías (5), es un sistema natural desarrollado a partir de una mezcla de minerales y restos orgánicos bajo la influencia del clima y del medio biológico, se diferencia en horizontes y suministra, en parte los nutrimentos y el sostén que necesitan las plantas, al contener cantidades apropiadas de aire y agua.

3.2 METODOLOGÍAS PARA DETERMINAR CAPACIDAD DE USO

Existen varias metodologías para la determinación de la capacidad de uso de la tierra, entre las más conocidas en Guatemala, Tobías (4), menciona las siguientes: Clasificación de tierras por capacidad de uso del INAB, clasificación agrológica de USDA, Centro Científico Tropical de Costa Rica (C.C.T) y T.C. Sheng.

3.2.1 METODOLOGÍA USDA

Fue desarrollada por el Departamento de Agricultura de los Estados Unidos y ha sido ampliamente utilizada para fines agropecuarios productivos. Las desventajas están en que: los parámetros considerados para las condiciones que fue creada difieren mucho con las que se cuenta en Guatemala, por tanto no se logra una aplicación adecuada y además requiere información físico-química que incrementa los costos (4).

La clasificación está dividida en ocho clases agrológicas que están determinadas por los criterios siguientes: rango de pendiente, profundidad efectiva, textura, drenaje superficial, relieve, erosión sufrida, estructura, permeabilidad, restricción radicular, salinidad, alcalinidad, nivel freático, retención de humedad y porcentaje de materia orgánica (4).

3.2.2 METODOLOGÍA C.C.T

Esta orientada hacia el objetivo de brindar al usuario un instrumento para el ordenamiento de la tierra en los campos agropecuario y forestal, basado en el rendimiento sostenido y recomendada para aplicarse a escalas muy detalladas (4).

La clasificación se divide en diez clases de capacidad de uso donde los mayores números se refieren a clases con mayores limitantes para uso agrícola.

Requiere para su aplicación los siguientes criterios: sistemas de manejo tecnológico (tradicional, avanzado y mecanizado); parámetros de evaluación: climáticos (zona de vida, meses secos, viento y neblina), edáficos (profundidad efectiva, textura, pH y pedregosidad), topográficos (pendiente, microrelieve y erosión sufrida) y drenaje (drenaje y riesgo de inundación); y factores limitantes (clima, erosión, suelos y drenaje) (4).

3.2.3 METODOLOGÍA T.C. SHENG

Este sistema consta de ocho clases de capacidad de uso que disminuyen en intensidad hasta protección absoluta. Se consideran principalmente las características del suelo: profundidad efectiva y pendiente (4).

3.2.4 CLASIFICACIÓN DE TIERRAS POR CAPACIDAD DE USO DEL INAB

El INAB (1), para fines de clasificar y certificar la capacidad de uso de la tierra, hizo una revisión de diferentes sistemas de clasificación que han sido utilizados en Guatemala.

Según revisiones a estos sistemas y con la participación de expertos nacionales en planificación del uso de la tierra, se adoptó una metodología que combina principios, conceptos y procedimientos de los métodos USDA, T.C. Sheng y C.C.T. la cual se resume a continuación.

La metodología parte de los siguientes elementos:

- Se incluye a todas las tierras del país.
- Se considera un primer nivel representado por la región natural, la cual está definida por límites fisiográficos, climáticos e hidrográficos.
- Se modificaron las descripciones de las categorías de capacidad de uso, partiendo de un ordenamiento de mayor a menor intensidad de uso.
- Considera factores limitantes que afectan directamente a los usos forestales en cuanto a su crecimiento, manejo y conservación; de fácil medición o estimación y de bajo costo.

Con la finalidad de considerar las variaciones fisiográficas, climáticas e hidrográficas que generan influencia sobre la capacidad de uso de las tierras, se hizo una división del país en lo que se le denominó regiones naturales.

Las regiones definidas son: Tierras de la Llanura Costera del Pacífico, Tierras Volcánicas de la Bocacosta, Tierras Altas Volcánicas, Tierras Metamórficas, Tierras Calizas Altas del Norte, Tierras Calizas Bajas del Norte y Tierras de las Llanuras de Inundación del Norte.

3.2.4.1 Tierras Metamórficas

La región se distribuye desde los límites entre los departamentos de San Marcos y Huehuetenango, atraviesa El Quiché, Baja Verapaz, El Progreso, Zacapa, Chiquimula e Izabal. Conforman buena parte de las tierras, desde el punto de vista orográfico, la Sierra Chuacús, la Sierra de las Minas y las Montañas del Mico.

3.2.4.2 Factores modificadores

Entre los factores que se consideran como determinantes están la profundidad efectiva del suelo, la pendiente del terreno y en forma temporal o permanente la pedregosidad (superficial e interna) y el drenaje superficial. Estos cuatro factores son los que principalmente según expertos, definen la aptitud física para el crecimiento, manejo y conservación, de una unidad de tierra cuando es utilizada con propósito forestal y agroforestal.

A. Pendiente

Se refiere al grado de inclinación de los terrenos, expresado en porcentaje. Los rangos son variables dentro de cada región fisiográfica. En gabinete puede ser estimada por medio de técnicas cartográficas utilizando mapas de curvas a nivel. En el caso de extensiones relativamente pequeñas, las pendientes pueden ser medidas en campo mediante procedimientos topográficos.

B. Profundidad efectiva del suelo

Indica la profundidad máxima del suelo susceptible de ser ocupada por el sistema radicular de plantas, nativas o cultivadas, dentro de toda la gama de usos agropecuarios y forestales posibles. No forman parte de la profundidad efectiva horizontes R o capas endurecidas.

C. Pedregosidad

Se refiere a la presencia de fracciones mayores a las gravas (0.045 metros de diámetro) sobre la superficie del suelo y dentro del perfil del mismo. Incluye afloramientos rocosos, ya sea materiales de origen o transportados como materiales aluviales.

Los criterios para definir a este factor como limitante o no, son los siguientes:

- No limitante: libre o ligeramente pedregosa (menos del 5%), moderadamente pedregosa (entre 5 y 20%) y pedregosidad interna (35% o menos por volumen en el perfil del suelo).
- Limitante: pedregosa (21 al 50%), muy pedregosa (50 a 90%), extremadamente pedregosa (90 al 100 %) y pedregosidad interna (mas de 35% por volumen en el perfil del suelo).

D. Drenaje

Expresa la facilidad con la que el agua se infiltra y/o percola dentro del interior del perfil del suelo. Se estima a través de indicadores como: presencia directa de capas de agua sobre la superficie del terreno, procesos de reducción dentro del perfil del suelo (moteados grisáceos), clase textural y presencia de capas endurecidas.

- No limitante: Excesivo (escurrimiento inmediato del agua), bueno (escurrimiento en pocas horas), e imperfecto (suelos que no permiten el escurrimiento en un día).
- Limitante: Pobre (suelos que no permiten el escurrimiento por varios días) y nulo o cenegado (capas freáticas a nivel del suelo o por períodos que duran semanas o meses).

3.2.4.3 Categorías de capacidad de uso:

Las categorías se ordenan en forma decreciente en cuanto a la intensidad de uso soportable sin poner en riesgo la estabilidad física del suelo, y éstas son:

- Agricultura sin limitaciones (A): Áreas con aptitud para cultivos agrícolas sin mayores limitaciones en ninguno de los factores analizados. Permiten cultivos agrícolas en monocultivo o asociados en forma intensiva y no requieren o demandan muy pocas prácticas intensivas de conservación de suelos. Pueden ser objeto de mecanización.
- Agricultura con mejoras (Am): Áreas que presentan limitaciones de uso moderadas con respecto a los factores considerados. Para su cultivo se requieren prácticas de manejo y conservación de suelos, así como medidas agronómicas relativamente intensas y acordes al tipo de cultivo establecido.

- **Agroforestería con cultivos anuales (Aa):** Son áreas con limitaciones de pendiente y/o profundidad efectiva del suelo, donde se permite la siembra de cultivos agrícolas asociados con árboles y/o con obras de conservación de suelos y prácticas agronómicas de cultivo.
- **Sistema silvopastoriles (Ss):** Unidades con limitaciones de pendiente y/o profundidad, drenaje interno que tienen limitaciones permanentes o transitorias de pedregosidad y/o drenaje. Permiten el desarrollo de pastos naturales o cultivados y/o asociados con árboles.
- **Agroforestería con cultivos permanentes (Ap):** Corresponde a unidades con limitaciones de pendiente y profundidad, aptas para el establecimiento de sistemas de cultivos permanentes asociados con árboles (aislados, en bloques o plantaciones, ya sean especies frutales, con fines de producción de madera y otros productos forestales).
- **Tierras forestales para producción (F):** Áreas con limitaciones para usos agropecuarios; de pendiente o pedregosidad, con aptitud preferente para realizar un manejo forestal sostenible, tanto del bosque nativo como de plantaciones con fines de aprovechamiento, sin que esto signifique el deterioro de otros recursos naturales. La sustitución del bosque por otros sistemas conllevaría la degradación productiva de los suelos.
- **Tierras forestales de protección (Fp):** Son áreas con limitaciones severas en cualquiera de los factores limitantes o modificadores; apropiadas para actividades forestales de protección o conservación ambiental exclusiva. Son tierras marginales para uso agrícola o pecuario intensivo. Tienen como objetivo preservar el ambiente natural, conservar la biodiversidad, así como las fuentes de agua. Estas áreas permiten la investigación científica y el uso ecoturístico en sitios habilitados para tales fines, sin que afecte negativamente los ecosistemas presentes. También se incluyen las áreas sujetas a inundaciones frecuentes, manglares y otros ecosistemas frágiles. Además incluye las zonas denominadas bosques de galería, las cuales son áreas ubicadas en las márgenes de los ríos, riachuelos o quebradas y en los nacimientos de agua.

3.2.4.4 Matrices de decisión y asignación de categorías de uso

Cuando se combinan los niveles de los factores profundidad de suelos y pendientes, se asignan categorías de capacidad de uso. Los rangos de los niveles varían según la región natural en que fue dividido el país y por tanto se presenta una matriz por región natural.

En el cuadro 1, se presenta la matriz que corresponde a la región natural de Tierras Metamórficas y se muestran las categorías asignadas según los rangos de profundidad y pedregosidad.

Cuadro 1. Matriz de capacidad de uso de la tierra para la región Tierras Metamórficas.

Profundidad del suelo (cm)	PENDIENTES (%)				
	<12	12-26	26-36	36-55	>55
>90	A	Am/Aa	Ap/F	F/Fp	Fp
50-90	A	Am/Aa	Ap/F	F/Fp	Fp
20-50	Am/Aa	Aa/Ss	Ap/F	F/Fp	Fp
<20	Am/Aa	Ss	Fp	Fp	Fp

Fuente: INAB 2000.

3.2.4.5 Modificación de la capacidad de uso de la tierra por los factores modificadores

En el cuadro 2, se presenta la modificación de la capacidad de uso según el nivel en que se presentan los factores modificadores:

Cuadro 2. Modificaciones a las categorías en función de la pedregosidad y el drenaje.

Categoría sin factores modificadores	Pedregosidad	Drenaje	Categoría modificada
A	No limitante	No limitante	Aa
		Limitante	Am
	Limitante	No limitante	Ss
		Limitante	Ss
Am	No limitante	No limitante	Am
		Limitante	Ss/Ap
	Limitante	No limitante	Ss
		Limitante	Ss
Aa	No limitante	No limitante	Aa
		Limitante	Ss/Ap
	Limitante	No limitante	Ss
		Limitante	Ss
Ss	Limitante	No limitante	F/Fp
		Limitante	Fp
Ap	No limitante	No limitante	Ap
	Limitante	No limitante	F/Fp
F	No limitante	No limitante	F
	Limitante	No limitante	Fp

Casos especiales: En las categorías Ap y F, se considera poco probable la presencia de limitaciones de drenaje; de presentarse se modifican hacia Fp.

La categoría Ss por definición ya presenta limitaciones de pedregosidad y/o drenaje, por lo que su grado de manifestación determina que permanezca como Ss o bien se modifique a F o Fp.

Fuente: INAB 2000.

3.3 USO DE LA TIERRA

De acuerdo al INAB (1), es la descripción de las formas de uso de la tierra. Puede ser expresado a un nivel general en términos de cobertura vegetal y a un nivel específico como tipo de uso de la tierra, que consiste en una serie de especificaciones técnicas dentro de un contexto físico, económico y social.

Según el Ministerio de Agricultura, Ganadería y Alimentación –MAGA– (3), todas las actividades inherentes para llevar a cabo los estudios del uso de la tierra, conducen a la conformación de un mapa temático, cuya aplicación está dirigida a sustentar los proyectos de desarrollo.

El mapa de uso actual de la tierra clasifica la forma en que el hombre interviene la superficie terrestre, y es parte integral en la investigación para el desarrollo de los recursos naturales renovables, ya que expresa como están siendo utilizados en relación con su producción y productividad (3).

El uso actual de la tierra se determina con técnicas de interpretación de fotografías y se puede asignar nombre a las unidades de uso encontradas, utilizando las categorías propuestas por el MAGA (3), que están elaboradas para niveles de estudios de reconocimiento, semidetallado y detallado, según el nivel de trabajo que se utilizará en el estudio, como se muestra en el cuadro 3.

3.4 INTENSIDAD DE USO DE LA TIERRA

En base al MAGA (3), se refiere al grado de intervención humana, para la modificación de los ecosistemas naturales y dar origen a los agroecosistemas, que permiten la utilización sostenida del medio, para producir plantas o animales de consumo inmediato o transformable y para la zonificación se manejan los siguientes términos.

3.4.1 USO CORRECTO

Uso que indica que no hay discrepancia entre la capacidad de uso de la tierra y el uso que actualmente se le está dando.

3.4.2 SUBUSO DE LA TIERRA

Uso de una unidad de tierra a una intensidad menor que la que es capaz de soportar en términos físicos.

3.4.3 SOBREUSO DE LA TIERRA

Uso de una unidad de tierra a una intensidad mayor que la que es capaz de soportar en términos físicos o sea su capacidad de uso.

Cuadro 3. Leyenda de uso actual de la tierra.

Nivel de estudio	Reconocimiento	Semidetallado	Detallado	
CATEGORIAS	1. Asentamiento humano	1.1 Urbano		
		1.2 Rural		
	2. Cultivos	2.1 Anuales		2.1.1 Maíz
				2.1.2 Frijol
				2.1.3 Ajonjolí
				2.1.4 Algodón
				2.1.5 Sorgo
				2.1.6 Trigo
				2.1.7 Avena
				2.1.8 Arroz
				2.1.9 Maní
				2.1.10 Tabaco
	2.2 Semipermanentes		2.2.1 Caña	
			2.2.2 Cardamomo	
			2.2.3 Citronela	
			2.2.4 Té de limón	
		2.3 Permanentes		2.3.1 Café
				2.3.2 Hule
				2.3.3 Quina
			2.3.4 Mimbre	
		2.3.5 Cacao		
		2.3.6 Banano		
		2.3.7 Plátano		
	3. Pastos	3.1 Sabanas		
3.2 Naturales				
3.3 Cultivados				
4. Bosques	4.1 Latifoliado	1. Denso 2. Abierto 3. Disperso 4. Bajo o matorral 5. Alto		
	4.2 Coníferas			
	4.3 Mixtos			
	4.4 Mangle			
	4.5 Matorral			
5. Cuerpos de agua	5.1 Lagos			
	5.2 Lagunas			
	5.3 Embalses			
6. Humedales	6.1 Temporales			
	6.2 Permanentes			
7. Tierras sin cobertura vegetal	7.1 Rocas			
	7.2 Conos volcánicos			
	7.3 Lava volcánica			
	7.4 Playas			

Fuente: MAGA, 2002.

IV. OBJETIVOS

4.1 OBJETIVO GENERAL

Realizar un estudio agrológico de la microcuenca del río Tzulbá, Joyabaj, El Quiché que aporte elementos técnicos para el uso, manejo y conservación del recurso suelo.

4.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Clasificar las tierras por capacidad de uso con base a la Metodología del Instituto Nacional de Bosques.
- Establecer el uso actual de las tierras con base a las categorías propuestas por el Ministerio de Agricultura, Ganadería y Alimentación.
- Identificar la intensidad de uso que reciben los suelos del área.
- Elaborar las recomendaciones pertinentes de uso y manejo de los suelos de la microcuenca del río Tzulbá que contribuyan a la conservación del agua y el bosque.

V. METODOLOGIA

5.1 FASE DE GABINETE INICIAL

5.1.1 RECOPIACIÓN DE INFORMACIÓN GENERAL DEL ÁREA DE ESTUDIO

Se adquirieron las hojas cartográficas y fotografías aéreas que cubren el área de la microcuenca. Estas son: Granados 2060 I, Cubulco 2061 II y Zacualpa 2061 III, escala 1:50,000; fotografías No. 6322 al 6325 línea 15 y 6125 al 6127 línea 16, escala 1:30,000 del año 2003.

Se revisaron estudios y mapas de donde se obtuvo información hidrográfica, del clima, zonas de vida, formas de la tierra, características del suelo, flora y fauna.

5.1.2 ELABORACIÓN DEL MAPA DE UNIDADES FISIAGRÁFICAS

Se elaboró el mapa de unidades fisiográficas a través de la interpretación de fotografías aéreas del área de estudio y el auxilio de un estereoscopio, también se generó la leyenda fisiográfica utilizando el análisis fisiográfico y se definieron las unidades hasta la clasificación de subpaisaje.

5.1.3 ELABORACIÓN DEL MAPA DE PENDIENTES.

El mapa de pendientes se realizó con el auxilio de las curvas de nivel de las hojas cartográficas del área. Las unidades se agruparon utilizando una plantilla de pendientes que se elaboró para la región natural "Tierras Metamórficas".

5.1.4 Elaboración del mapa de uso de la tierra.

Se realizó la interpretación de las fotografías aéreas que cubren la microcuenca, en las que se delimitaron las categorías de uso y/o cobertura a un nivel semidetallado, utilizando la leyenda propuesta por el MAGA (3), que se muestra en el cuadro 3.

5.2 FASE DE CAMPO

5.2.1 VERIFICACIÓN DE LÍMITES DE LAS UNIDADES FISIAGRÁFICAS O MAPEO

Se efectuaron caminamientos, observaciones visuales y barrenamientos en los límites de las unidades fisiográficas para determinar la homogeneidad de las unidades fisiográficas establecidas.

5.2.2 DETERMINACIÓN DE PROFUNDIDADES DE SUELOS Y FACTORES MODIFICADORES

Para esta etapa se utilizó el mapa de unidades fisiográficas, determinando la profundidad efectiva y la presencia de factores modificadores pedregosidad y drenaje, en cada unidad.

Para medir la profundidad efectiva de los suelos se utilizaron los cortes en los caminos, agujeros y barrenamientos, y para los factores modificadores se anotó el porcentaje del área que afectan y en algunos casos se delimitó el área por cumplir con la unidad mínima de mapeo (6.25 ha).

5.2.3 CHEQUEO DEL MAPA DE PENDIENTES

A través de los recorridos por el área, se realizó un chequeo de las pendientes de las unidades definidas, efectuando la medición con clinómetro.

5.2.4 CHEQUEO DEL MAPA DE COBERTURA Y USO DE LA TIERRA

Mediante recorridos en el área de la microcuenca se verificó el límite de las unidades de uso y la categoría asignada, ya que estos tienden a cambiar debido al avance de la frontera agrícola y al ciclo productivo.

5.3 FASE DE GABINETE FINAL

5.3.1 INTEGRACIÓN DEL MAPA DE UNIDADES DE TIERRAS

El mapa de unidades de tierra se realizó sobreponiendo el mapa de pendientes en el mapa de profundidad de suelos posterior a la corrección de los mismos. Para ello se unieron áreas y separaron otras según el rango de pendiente y profundidad de los suelos. Todo este proceso se llevó a cabo con un sistema de información geográfico.

5.3.2 ELABORACIÓN DEL MAPA DE CAPACIDAD DE USO

Al tener las unidades de tierras definidas se les asignó una categoría de capacidad de uso de la tierra según cuadro 1, que posteriormente se modificó al sobreponer los factores limitantes pedregosidad y drenaje, anotando la categoría de capacidad de uso definitivo en base al cuadro 2.

Al final se cuantificaron áreas en porcentajes y hectáreas, se anotó la leyenda, la orientación y la escala del mapa con el auxilio de un sistema de información geográfico.

5.3.3 ELABORACIÓN DEL MAPA DE USO DE LA TIERRA

Este mapa se modificó en base a las correcciones realizadas en la fase de campo y con el apoyo de un sistema de información geográfico se procedió a anotar la leyenda, área en porcentaje y hectáreas de cada tipo de uso, orientación y escala.

5.3.4 ELABORACIÓN DEL MAPA DE INTENSIDAD DE USO DE LA TIERRA

Se compararon los mapas de uso de la tierra y capacidad de uso utilizando un sistema de información geográfico, lo cual permitió conocer las áreas críticas de la microcuenca, que se plasmaron en el mapa de intensidad de uso del suelo.

VI. RESULTADOS

Al integrar las fases de gabinete y campo, se presentan los resultados del estudio agrológico a nivel semidetallado la microcuenca del río Tzulbá.

6.1 UNIDADES FISIAGRÁFICAS

En el cuadro 4 se presenta la estructura de la leyenda fisiográfica, en la que se identifica las unidades de mapeo a nivel de subpaisaje y en la figura 1 se muestra la distribución espacial de las mismas.

Cuadro 4. Leyenda fisiográfica de la microcuenca del río Tzulbá, Joyabaj, El Quiché.

Región fisiográfica	Unidad Climática	Gran Paisaje	Paisaje	Subpaisaje	Código	Área (ha)	
Tierras Altas Cristalinas	Bosque Húmedo Subtropical (templado)	Montañas bajas de la Sierra Chuacús	Zona de montaña del sureste	Estribaciones bajas	A-11	40.17	
				Ladera inclinada con estribaciones	A-12	200.25	
				Ladera escarpada	A-13	84.77	
				Ladera inclinada erosionada	A-14	106.33	
			Zona de montaña del suroeste	Ladera escarpada	A-21	211.92	
				Cima erosionada	A-22	52.76	
				Ladera ondulada	A-23	130.19	
				Pie de monte	A-24	106.36	
				Ladera fuertemente escarpada	A-25	81.07	
			Planicies	Terraza ondulada	A-31	29.11	
				Terraza ligeramente inclinada	A-32	19.80	
				Colinas bajas	B-11	36.02	
				Pie de monte ondulado	B-12	33.32	
			Bosque Húmedo Montano Bajo Subtropical	Montañas altas de la Sierra Chuacús	Zona de montaña del noroeste	Cima aguda	B-13
	Ladera escarpada	B-14				62.82	
	Cima redonda	B-15				30.47	
	Ladera inclinada con cárcavas	B-16				54.04	
	Colinas bajas fuertemente erosionadas	B-17				68.26	
	Ladera con fuerte ondulaciones	B-21				68.62	
	Zona de montaña del noreste	Ladera escarpada erosionada			B-22	49.38	
		Ladera inclinada con estribaciones			B-23	97.82	
		Ladera erosionada			B-24	86.57	
		Ladera erosionada con estribaciones			B-25	144.16	
		Cima de montaña Chimachó			B-26	96.32	
	Zona de montañas del norte	Pie de monte con estribaciones colinares			B-31	95.62	
		Estribaciones con cima aguda			B-32	82.71	
		Ladera fuertemente escarpada erosionada			B-33	75.98	
		Ladera escarpada con cárcavas	B-34	128.82			
		Ladera inclinada con estribaciones	B-35	60.23			
		Ladera fuertemente escarpada	B-36	103.73			
		Ladera escarpada erosionada	B-37	254.31			
	Cima aguda	B-38	102.02				
	Total						2,832



Las unidades fisiográficas delimitadas sirvieron de base para la determinación de la capacidad de uso de la tierra, ya que en éstas, se determinó la profundidad de los suelos.

6.1.1 ZONA DE MONTAÑA DEL SURESTE

6.1.1.1 Estribaciones bajas (A-11)

Tiene un área de 40.17 ha., correspondiendo al 1.42% del área total y se caracteriza por un relieve de colinas que presentan cimas agudas donde predominan las pendientes fuertes y pedregosidad interna y superficial en un 100%.

6.1.1.2 Ladera inclinada con estribaciones (A-12)

Ocupa el 7% de la microcuenca (200.25 ha.), donde predomina las pendientes fuertes, sobresaliendo pequeñas colinas donde los pobladores del área construyen sus viviendas. Los suelos van desde poco profundos a profundos, en donde los primeros son limitados por pedregosidad interna y superficial.

6.1.1.3 Ladera escarpada (A-13)

Se caracteriza por pendientes muy fuertes, mayores al 55%, presentando limitaciones de pedregosidad superficial e interna, por lo que la profundidad de los suelos oscila entre 20 a 50 cm. Esta unidad ocupa un área de 84.77 ha.

6.1.1.4 Ladera inclinada erosionada (A-14)

Esta unidad representa el 3.75% del área total, equivalente a 106.33 ha., se caracteriza por pendientes fuertes, con bastante pedregosidad y poca profundidad de los suelos, donde la erosión se ha producido por el establecimiento de cultivos limpios.

6.1.2 ZONA DE MONTAÑA DEL SUROESTE

6.1.2.1 Ladera escarpada (A-21)

Esta unidad tiene un área de 211.92 ha. (7.48%) y se caracteriza por presentar pendientes muy fuertes, suelos poco profundos debido a la pedregosidad que cubre casi toda la superficie y el perfil del suelo.

6.1.2.2 Cima erosionada (A-22)

Representa el 1.86% del área (52.76 ha.), donde predominan las pendientes suaves. En ésta unidad se encuentra asentado el caserío de Xeabaj y donde efectúan la mayoría de sus actividades agrícolas. No tiene pedregosidad limitante y por ello sus suelos tienen una profundidad mayor a los 90 cm.

6.1.2.3 Ladera ondulada (A-23)

Ocupa un área de 130.19 ha. (4.60%) que se caracteriza por presentar pendientes muy fuertes y en algunas zonas pedregosidad superficial abundante y pedregosidad interna limitante. Los suelos del área tienen una profundidad de 50 – 90 cm.

6.1.2.4 Pie de monte (A-24)

A esta unidad le corresponde un área de 106.36 ha. (3.75%) donde se pueden encontrar pendientes ligeramente inclinadas, pequeñas áreas con pedregosidad superficial limitante y suelos con muy buena profundidad.

6.1.2.5 Ladera fuertemente escarpada (A-25)

Esta unidad ocupa el 2.86% del área total, equivalente a 81.07 ha., siendo sus características la pendiente arriba del 55% y sus suelos poco profundos limitados por pedregosidad interna.

6.1.3 PLANICIES

6.1.3.1 Terraza ondulada (A-31)

Esta unidad forma una franja a la orilla del río, tiene un área de 29.11 ha. (1.03%) se caracteriza por pendientes onduladas menores del 12%, poca pedregosidad superficial y profundidad del suelo mayor a los 90 cm.

6.1.3.2 Terraza ligeramente inclinada (A-32)

Unidad localizada en la parte baja de la microcuenca, específicamente en el punto de aforo, presenta pendientes suaves, suelos profundos y arenosos, lo que facilita su mecanización. Ocupa un área de 19.80 ha o sea 1.03% de la superficie de la microcuenca.

6.1.4 ZONA DE MONTAÑA DEL NOROESTE

6.1.4.1 Colinas bajas (B-11)

Representa el 1.27% (36.02 ha.) del área de la microcuenca, su relieve consiste en pequeñas colinas con cima aguda, cubiertas de bosque, donde predomina la pendiente fuerte y suelos moderadamente profundos.

6.1.4.2 Pie de monte ondulado (B-12)

Ocupa un área de 33.32 ha. (1.18%) donde predominan laderas con pendiente fuerte y suelos moderadamente profundos. Es utilizado para cultivos limpios por tanto se empiezan a formar cárcavas por donde corre el agua.

6.1.4.3 Cima aguda (B-13)

Le corresponde un área de 38.06 ha. (1.34%) donde su principal limitante es la pendiente muy fuerte y sus suelos son bastante profundos.

6.1.4.4 Ladera escarpada (B-14)

Esta unidad ocupa 62.82 ha. (2.22%) donde la fuerte pendiente es la principal limitante, sus suelos son moderadamente profundos y el área está siendo utilizada para cultivos limpios lo que provoca que existan pequeñas cárcavas y pequeños derrumbes de suelos.

6.1.4.5 Cima redonda (B-15)

Presenta un relieve con pendientes ligeramente fuertes, profundidad moderada y sin limitación de pedregosidad. Su extensión es de 30.47 ha. (1.07%).

6.1.4.6 Ladera inclinada con cárcavas (B-16)

Ocupa 54.04 ha. (1.91%), y es una unidad que presenta pendientes moderadamente fuertes y una profundidad de 50 a 90 cm. Debido al establecimiento de cultivos limpios que la población realiza sin ningún tipo de conservación de suelos, se presentan una serie de cárcavas.

6.1.4.7 Colinas bajas fuertemente erosionadas (B-17)

Esta unidad corresponde a la parte alta de la microcuenca, en donde existen colinas bajas con pendientes ligeramente fuertes y la profundidad del suelo es mayor a los 90 cm. Su extensión

es de 68.26 ha. (2.41%), siendo utilizada la misma para cultivos limpios por ello sus suelos están muy erosionados y presentan un color claro.

6.1.5 ZONA DE MONTAÑA DEL NORESTE

6.1.5.1 Ladera con fuerte ondulaciones (B-21)

Unidad con extensión de 68.62 ha. (2.42%), que presenta pendientes de 36 a 55%, donde las zonas onduladas predominan por lo que la profundidad de los suelos varía de 50 a 90 cm.

6.1.5.2 Ladera escarpada erosionada (B-22)

Se caracteriza por pendientes muy fuertes (mayor a 55%), pedregosidad interna y profundidad de suelos de 20 a 50 cm. Tiene una superficie de 49.38 ha. (1.74%) con poca cobertura forestal, suelos muy erosionados y con pequeños derrumbes.

6.1.5.3 Ladera inclinada con estribaciones (B-23)

Es una unidad con pendientes moderadas, donde sobresalen crestas de montaña que limitan las corrientes de agua, la profundidad del suelo oscila entre 50 a 90 cm. Su extensión es de 97.82 ha. que corresponde a 3.45 % del área total.

6.1.5.4 Ladera erosionada (B-24)

Esta unidad tiene un área de 86.57 ha. (3.06%), donde se encuentran pendientes de 26 hasta 55% y pedregosidad superficial del 10%. Los suelos del área son bastante profundos siendo utilizados para cultivos limpios lo que ha generado una gran erosión, esto ha provocado que algunas zonas de cultivo hayan sido abandonadas por su bajo rendimiento.

6.1.5.5 Ladera erosionada con estribaciones (B-25)

Ocupa el 5% (144.16 ha.) del área total de la microcuenca, que se caracteriza por pendientes moderadamente fuertes, suelos profundos, de color rojizo, sin limitaciones de pedregosidad y crestas que limitan las corrientes. Las áreas sin cobertura forestal tienen suelos muy erosionados y algunos están siendo abandonados para utilizarlos como potreros.

6.1.5.6 Cima de montaña Chimachó (B-26)

Esta unidad cuenta con un área de 96.32 ha. (3.40%) donde se encuentran pendientes de 26 a 55% y profundidades de 50 a 90 cm. También la unidad presenta pedregosidad superficial en un 15% del área.

6.1.6 ZONA DE MONTAÑAS DEL NORTE

6.1.6.1 Pie de monte con estribaciones colinares (B-31)

Ocupa el 3.38% del área total lo que equivale a 95.62 ha. donde los suelos son profundos, de color oscuro, bien drenados y el relieve presenta pendientes de 26 a 55% donde sobresalen pequeñas colinas con cima redonda que dividen el área de influencia de las diferentes corrientes.

6.1.6.2 Estribaciones con cima aguda (B-32)

Esta es una unidad donde se localizan varias corrientes, las cuales están limitadas por crestas de montaña con cimas agudas. La extensión es de 82.71 ha. (2.92%), donde los suelos son profundos, siendo su principal limitante la pendiente que oscila de 26 a 36%.

6.1.6.3 Ladera fuertemente escarpada erosionada (B-33)

Ocupa una extensión de 75.98 ha. (2.68%), donde predominan pendientes muy fuertes y los suelos poco profundos. Debido a la falta de cobertura forestal presenta áreas muy erosionadas donde los cultivos tienen muy bajo rendimiento.

6.1.6.4 Ladera escarpada con cárcavas (B-34)

Esta unidad representa el 4.55% (128.82 ha.) del área donde predominan pendientes fuertes y suelos poco profundos. Es un suelo muy utilizado para cultivos limpios por lo que se han desarrollado muchas cárcavas y se localizan pequeños derrumbes.

6.1.6.5 Ladera inclinada con estribaciones (B-35)

Esta unidad ocupa 60.23 ha. (2.13%), donde se localizan crestas con cima aguda que limitan las corrientes, pendientes de 36 a 55% y suelos profundos.

6.1.6.6 Ladera fuertemente escarpada (B-36)

Tiene una extensión de 103.73 ha. (3.66%), donde se encuentran pendientes mayor a 55% y suelos poco profundos. Presenta pedregosidad superficial en un 15% del área.

6.1.6.7 Ladera escarpada erosionada (B-37)

Ocupa el 9% (254.31 ha.) del área total, siendo la unidad fisiográfica con mayor extensión encontrada, se caracteriza por presentar pendientes muy fuertes y profundidad moderada de los suelos. Debido a la presencia de cultivos limpios, el área está muy erosionada, lo cual se demuestra al encontrar área abandonadas por bajo rendimiento.

6.1.6.8 Cima aguda (B-38)

Esta unidad presenta una extensión de 102.02 ha. (3.60%), donde se localizan pendientes moderadamente fuertes y profundidad mayor a 90 cm. Esta unidad se encuentra en la parte más alta de la microcuenca y es donde se ubican la mayoría de manantiales.

6.2 CAPACIDAD DE USO DEL SUELO

El mapa de capacidad de uso de la tierra que se muestra en la figura 2, es el producto de sobreponer las figuras 5A, 6A y 7A que corresponden al mapa de pendientes, profundidad del suelo y de factores modificadores respectivamente.

En el mapa de capacidad de uso se observa la distribución espacial de las categorías encontradas y en el cuadro 5, se anotan las características principales de cada unidad.

6.2.1 UNIDADES DE CAPACIDAD DE USO

6.2.1.1 Agroforestería con cultivos anuales (Aa):

Esta unidad presenta el rango de pendiente de 12 a 26%, profundidad efectiva del suelo mayor de 90 cm., sin limitaciones de pedregosidad y drenaje, constituyéndose la pendiente como la limitante principal.

La unidad ocupa el 3.54%, que corresponde a 100.20 ha. donde se pueden sembrar cultivos anuales asociados con especies forestales y/o frutales, que además deberán acompañarse con alguna práctica de conservación de suelos, como: barreras vivas, barreras muertas o acequias.

Cuadro 5. Categorías de capacidad de uso de la microcuenca río Tzulbá.

Unidad	Pendiente (%)	Profundidad efectiva (cm)	Factores modificadores		Categoría	Extensión	
			Pedregosidad	Drenaje		ha.	%
1	12-26	>90	No limitante	No limitante	Aa	100.20	3.54
2	12-26	>90	Limitante	No limitante	Ss	83.50	2.95
3	12-26/+26-36/+36-55	20-50/+50-90/+>90	Limitante	No limitante	F	1,715.40	60.57
4	36-55/+>55	20-50/+50-90/+>90	Limitante	No limitante	Fp	933.00	32.94
Total						2,832	100

6.2.1.2 Sistemas silvopastoriles (Ss):

La categoría de sistemas silvopastoriles tiene una extensión de 83.50 ha. que representa el 2.95% de la microcuenca, siendo sus principales aspectos: pendientes de 12 hasta 26%, profundidad efectiva mayor de 90 cm. y con limitante de pedregosidad.

En esta unidad se pueden desarrollar pastos naturales o pastos cultivados tolerantes a la poca humedad asociados con especies arbóreas.

6.2.1.3 Tierras forestales para producción (F):

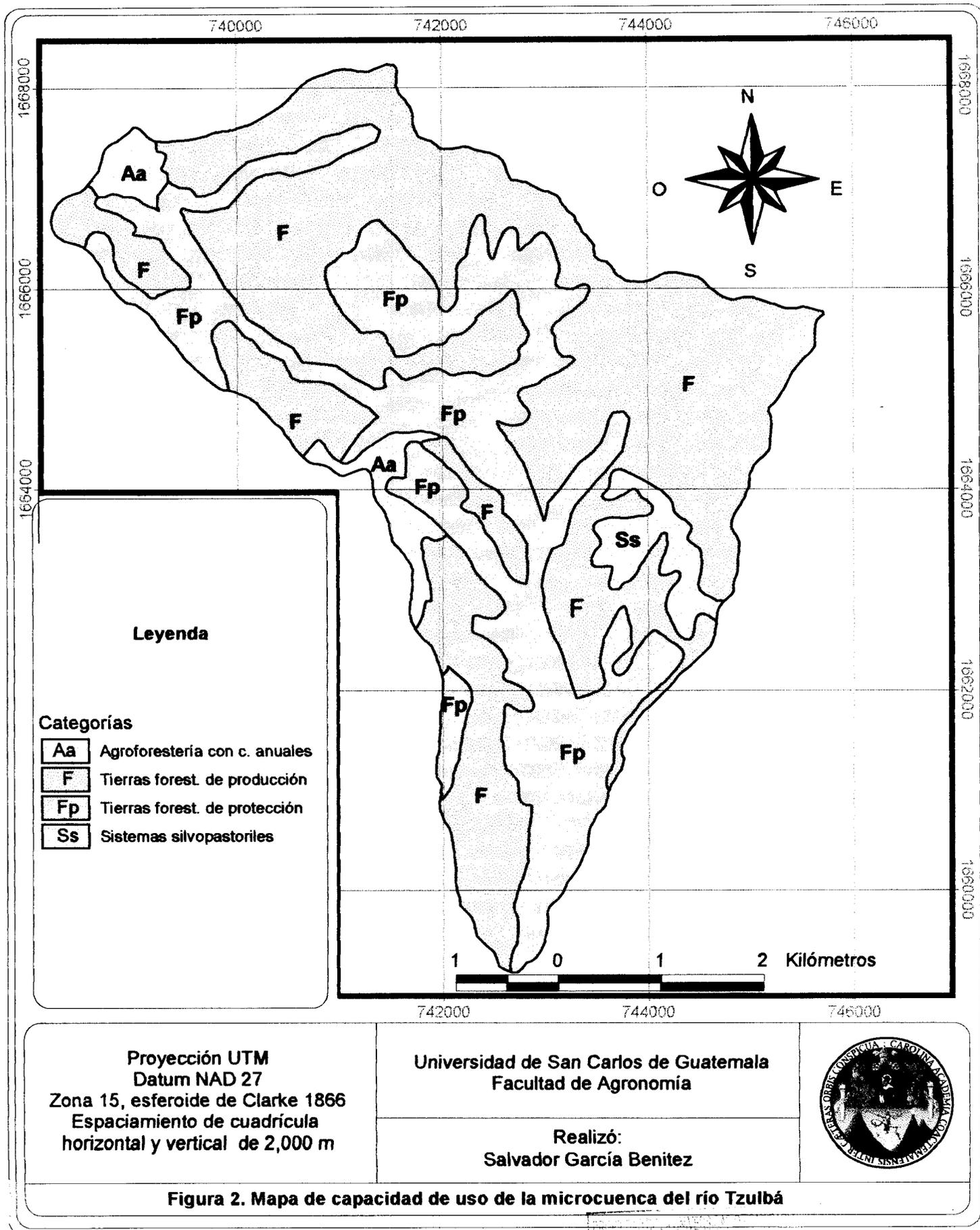
Ocupa 1,715.40 ha. que corresponden al 60.57% del área total, siendo sus principales características, la pendiente de 12 hasta 55%, la profundidad de 20 hasta mayor de 90 cm. y limitaciones de pedregosidad en algunas áreas.

Esta unidad puede ser utilizada para manejo forestal sostenible tanto del bosque nativo como de plantaciones con fines de aprovechamiento y para zonas de protección, al delimitarse las áreas de recarga hídrica e identificar los manantiales de la microcuenca.

6.2.1.4 Tierras forestales de protección (Fp):

La unidad tiene una extensión de 933.00 ha. que corresponde al 32.94% de la microcuenca, en donde todos los factores son limitantes, excepto el drenaje, por lo tanto debe ser utilizada para actividades forestales de protección, conservación de biodiversidad, protección de fuentes de agua y ecoturismo.

En esta unidad se incluyen las áreas ubicadas en las márgenes de la corriente permanente, para protección del cauce del río Tzulbá.



6.3 USO DE LA TIERRA

Como producto de la fotointerpretación y observaciones de campo se obtuvieron las categorías que se enumeran en el cuadro 6 y su distribución espacial se muestra en la figura 3.

Cuadro 6. Uso actual de la tierra de la microcuenca del río Tzulbá.

Código	Categorías de uso de la tierra	Extensión	
		ha.	%
1.2	Asentamiento humano rural	48.10	1.70
2.1	Cultivos anuales	1,271.00	44.88
2.2	Cultivos semipermanentes	43.30	1.53
3.2	Pastos naturales	19.00	0.67
4.1	Bosque latifoliado	559.45	19.75
4.2	Bosque de coníferas	523.52	18.49
4.3	Bosque mixto	314.65	11.11
4.5	Matorral (Bosque secundario)	52.95	1.87
Total		2,832	100

6.3.1 CATEGORIAS DE USO ACTUAL

6.3.1.1 Asentamiento humano rural

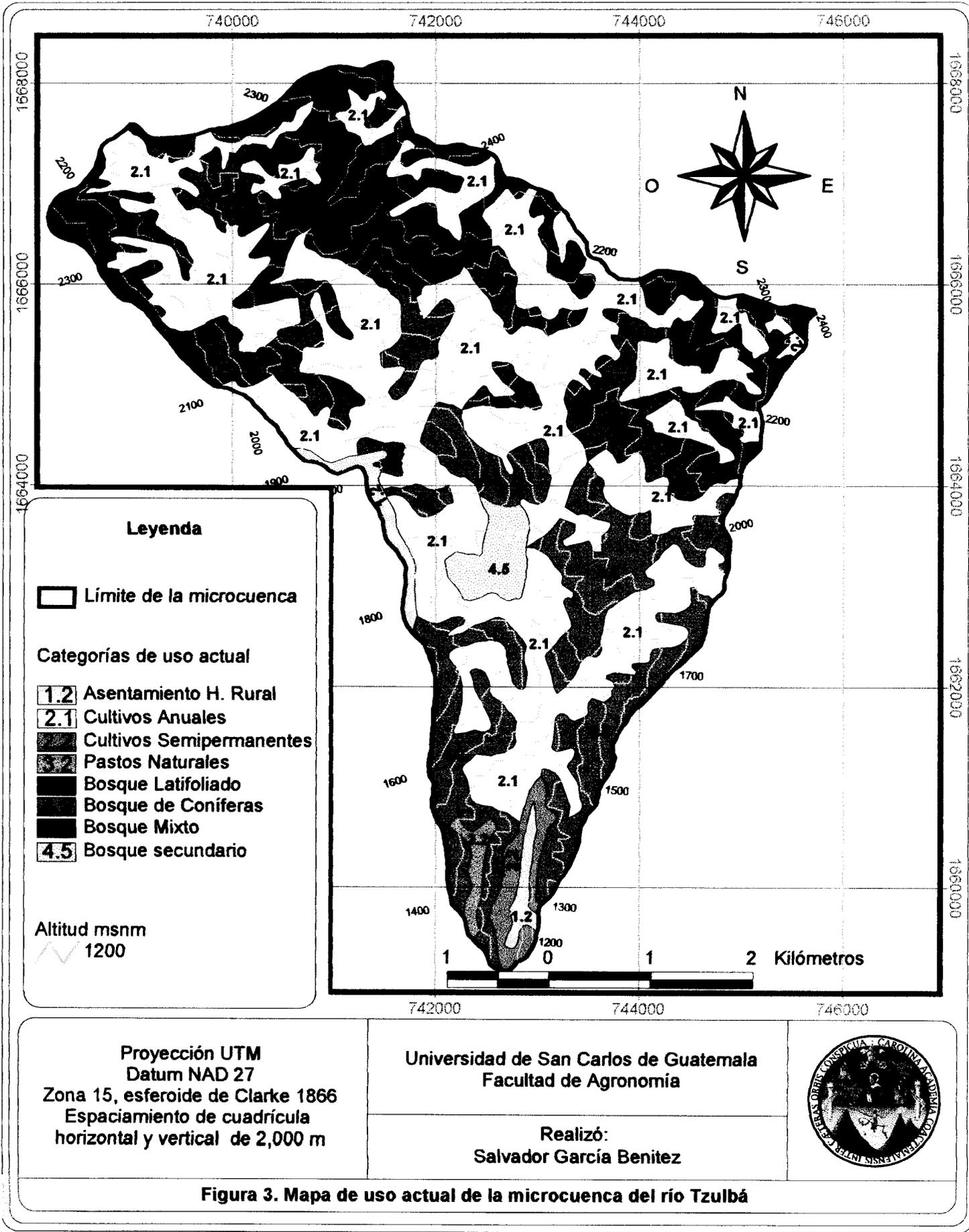
Esta categoría tiene una extensión de 48.10 ha. que corresponde a 1.70 % del área de la microcuenca. En esta área se encuentran los centros poblados más grandes de la microcuenca, siendo ellos la aldea de Caquil en la parte baja de la microcuenca y el caserío Xeabaj en la parte alta.

El área delimitada es relativamente grande debido a que las viviendas son localizadas en forma dispersa y dentro de la misma se encuentra ubicado la infraestructura básica como: carreteras, plazas (mercado), escuelas, centro de salud, iglesias, campos de fútbol, líneas del servicio eléctrico y tubería de conducción de agua.

6.3.1.2 Cultivos anuales

Es el principal uso que se otorga a las tierras de la microcuenca. La categoría de cultivos anuales representa el 45%, que equivale a 1,271 ha. Los cultivos que se pueden encontrar son los siguientes: maíz (*Zea mays*), frijol (*Phaseolus vulgaris*) y brócoli (*Brassica oleracea*).

El maíz es el cultivo que más se siembra en el área y en unas pocas cuerdas siembran frijol en Caquil y brócoli en Tzajmá. El maíz y frijol son utilizados para autoconsumo y el brócoli es vendido a una agroexportadora bajo contratos establecidos.



Leyenda

□ Limite de la microcuenca

Categorías de uso actual

- 1.2 Asentamiento H. Rural
- 2.1 Cultivos Anuales
- Cultivos Semipermanentes
- Pastos Naturales
- Bosque Latifoliado
- Bosque de Coníferas
- Bosque Mixto
- 4.5 Bosque secundario

Altitud msnm

1200

Proyección UTM
 Datum NAD 27
 Zona 15, esferoide de Clarke 1866
 Espaciamiento de cuadrícula
 horizontal y vertical de 2,000 m

Universidad de San Carlos de Guatemala
 Facultad de Agronomía

Realizó:
 Salvador García Benitez



Figura 3. Mapa de uso actual de la microcuenca del río Tzulbá

En base a lo anterior se determina que los pobladores de la microcuenca utilizan la mayor parte de sus áreas de trabajo agrícola para el cultivo tradicional de maíz, bajo una economía de subsistencia.

6.3.1.3 Cultivos semipermanentes

Ocupa 43.30 ha. que corresponde a 1.53% del área total. Esta categoría se encuentra localizada en la parte baja de la microcuenca donde el clima es más cálido y sobresale el cultivo de caña de azúcar (*Saccharum officinarum*).

Esta actividad es la que mayor ingreso produce para la población de Caquil, ya que el producto final es la rapadura (dulce o panela) que venden en la cabecera municipal de Joyabaj. Según pobladores esta actividad ha decaído en un 50%, ya que el precio que actualmente tiene el producto no genera muchas ganancias como antes y el trabajo que requiere es demasiado fuerte, por tanto se han eliminado varias zonas cultivadas de caña para dar paso al cultivo de maíz que no requiere mucho esfuerzo para producirlo.

6.3.1.4 Pastos naturales

Esta categoría tiene una extensión de 19 ha. que equivale al 0.67% de la microcuenca. Esta zona está ubicada en la parte baja de la microcuenca en áreas donde el cultivo de maíz tenía muy poco rendimiento.

Es el uso que menor extensión tiene, pero con el tiempo de no aplicarse prácticas y estructuras de conservación de suelos en las áreas de cultivo, se va a incrementar debido a que existen tierras muy erosionadas y poco productivas.

6.3.1.5 Bosque de latifoliadas

Este tipo de uso ocupa 559.45 ha. que corresponde al 19.75 % del área total. Se localiza en la parte alta de la microcuenca y las especies encontradas son *Quercus* sp., *Alnus* sp., *Arbustus xalapensis*, *Pinus oocarpa*, *Pinus montezumae*, *Litsea guatemalensis* y *Prunus* sp.

Predomina en el área el *Quercus* sp. por tanto el mayor aprovechamiento que se realiza es para la obtención de leña, aunque también es importante mencionar que donde se encuentra este tipo de bosque se localizan la mayor parte de manantiales que abastecen a las diferentes comunidades del área y a las corrientes principales.

6.3.1.6 Bosque de coníferas

Esta categoría de uso de la tierra representa el 18.49% del área total, mismo que equivale a 523.52 ha. y se localiza en la parte baja y media de la microcuenca.

En ésta área se localizan las siguientes especies: *Pinus oocarpa*, *Pinus montezumae*, *Quercus sp.*, y *Arbustus xalapensis*, que son utilizadas por los pobladores para la obtención de leña para cocinar alimentos y madera para la construcción de viviendas.

Es interesante mencionar que la mayor parte de este bosque se localiza en áreas con limitantes de pedregosidad, por lo que se considera un factor importante en la conservación del bosque.

6.3.1.7 Bosque mixto

Ocupa un área de 314.65 ha., que corresponde al 11.11% del área de la microcuenca y se localiza en la parte media de la microcuenca.

Las especies arbóreas que representan este tipo de bosque son *Quercus sp.*, *Alnus sp.*, *Arbustus xalapensis*, *Pinus oocarpa*, *Pinus montezumae* y *Prunus sp.* que también son utilizadas como recurso energético y madera para la construcción.

6.3.1.8 Matorral (Bosque secundario)

Tiene una extensión de 52.95 ha., siendo la misma 1.87% de toda la microcuenca. Esta área se caracteriza por la presencia de *Quercus sp.* de unos 3 a 4 años de regeneración.

En parte de esta área se cultivó maíz pero debido al bajo rendimiento se abandonó la zona de cultivo para dar paso a la regeneración natural. Y en la otra parte se aprovechó los árboles de *Pinus sp.* que había pero no se regeneraron, debido a que no es tolerante al crecimiento bajo sombra y esto permite inferir que de no efectuarse los tratamientos silviculturales adecuados al bosque natural, el mismo terminará siendo un bosque secundario de *Quercus sp.*

6.4 INTENSIDAD DE USO

Las unidades de intensidad de uso que se presentan en el cuadro 7 y en la figura 4 son el producto de la comparación del mapa de capacidad de uso y el mapa del uso de la tierra.

6.4.1 UNIDADES DE INTENSIDAD DE USO

6.4.1.1 Uso correcto

Le corresponde el 48.40% del área, que equivale a 1,370.80 ha. como se muestra en el cuadro 7. Este tipo de intensidad se debe a que el 49.35% del área total de la microcuenca se encuentra ocupada por bosque natural.

6.4.1.2 Subuso

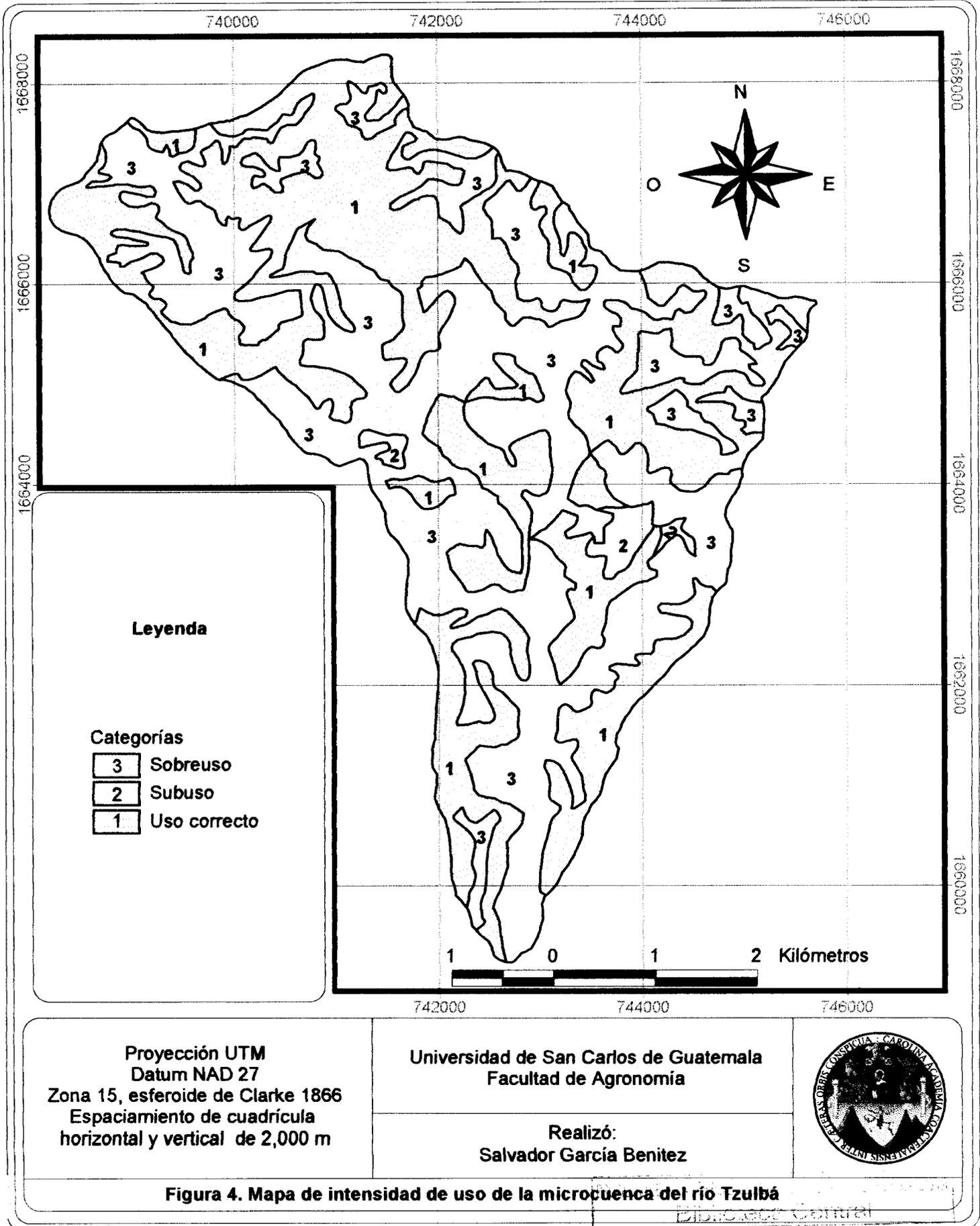
Ocupa un área de 43.10 ha. que corresponde al 1.52% del área total. Esta área se encuentra ocupada por bosque y según la clasificación de capacidad de uso, se puede utilizar para agroforestería con cultivos anuales y para sistemas silvopastoriles, asociado con prácticas de conservación de suelos siempre que el rendimiento de la actividad a establecer sea mayor al generado por el uso actual.

6.4.1.3 Sobre uso

Esta unidad tiene una extensión de 1,418.10 ha. que representa el 50.07% del área de la microcuenca. Corresponde a los terrenos utilizados con cultivos limpios, que debido a las pendientes fuertes y a la falta de implementación de técnicas de conservación de suelos, ocasionan deterioro del suelo, el cual se muestra en la presencia de cárcavas, derrumbes y abandono de áreas de cultivo por bajo rendimiento.

Cuadro 7. Intensidad de uso de las tierras de la microcuenca del río Tzulbá.

Código	Unidades de intensidad de uso de la tierra	Extensión	
		ha.	%
1	Uso correcto	1,370.80	48.40
2	Sub uso	43.10	1.52
3	Sobre uso	1,418.10	50.07
Total		2,832	100



6.5 PROPUESTA DE USO Y MANEJO DE LOS SUELOS

En base a la capacidad de uso de los suelos de la microcuenca del río Tzulbá se propone lo siguiente:

- Para la categoría agroforestería con cultivos anuales, que representa el 3.54% del área total de la microcuenca, se recomienda, para amortiguar la erosión por escorrentía, además de efectuar el uso adecuado: especies forestales o frutales asociados con cultivos anuales, establecer prácticas de conservación de suelos como: barreras vivas, barreras muertas y acequias, para evitar la erosión del suelo y el asolvamiento del cauce del río.
- En la categoría de sistemas silvopastoriles que ocupa el 2.95% del área total, se debe incorporar pastos cultivados y para aprovechar el material local conviene construir barreras muertas, dispuestas en líneas de contorno perpendicular a la dirección de la pendiente para favorecer la retención de humedad y evitar la erosión del suelo. También hay que sembrar árboles para sombra del ganado, en áreas retiradas de las corrientes de agua, y con ello evitar que el estiércol contamine las mismas. Además, no se debe sobrepastorear el área, para preservar el suelo de la compactación.
- Para la categoría tierras forestales de producción forestal que representa el 60.56%, se deberá aplicar un manejo forestal sostenible con fines de aprovechamiento en las áreas que están ocupadas por bosque natural. También, es urgente reforestar las áreas sin cobertura forestal en ésta categoría, porque debido a las pendientes fuertes los suelos presentan el tipo de erosión hídrica en remoción por masas como: cárcavas y derrumbes. Para ello, se puede recurrir al programa de incentivos forestales –PINFOR– que proporciona el INAB, al proyecto de reforestación del Programa de Apoyo a la Reconversión Productiva –PARPA– o al proyecto de Cuencas Altas. Las especies forestales recomendadas que tienen alto valor comercial son: *Pinus oocarpa*, *Pinus montezumae* y *Alnus* sp. Además, es imprescindible la protección de manantiales y áreas de recarga hídrica ubicadas en ésta zona, por ello es necesario la identificación y delimitación, puesto que alrededor de los manantiales se debe dejar una cobertura forestal de un radio de 50 a 75 m según el INAB (2).
- La categoría de tierras forestales de protección, ocupa el 32.94% de la extensión total de la microcuenca, tiene un área determinada por la alta pendiente, pedregosidad y bosque de

galería, que deberá ser sujeta a manejo forestal sostenible con fines de protección, conservación de biodiversidad y protección de fuentes de agua, que se puede lograr a través del programa de incentivos forestales otorgados por el INAB. También, las áreas sin cobertura forestal deberán ser restauradas y rehabilitadas, para evitar los derrumbes del suelo y disminuir el asolvamiento de cauces, para ello los propietarios de estas tierras podrán beneficiarse con el proyecto de reforestación del PARPA y Cuencas Altas. Además, sería importante buscar mecanismos de compensación para los propietarios de éstas tierras en donde se ubican los manantiales que abastecen de agua a las diferentes comunidades y cabecera municipal de Joyabaj.

VII. CONCLUSIONES

- En base a la capacidad de uso de la tierra en la microcuenca del Río Tzulbá se identificaron las siguientes unidades: Aa (3.54%), Ss (2.95%), F (60.56%) y Fp (32.94%); lo que establece según esta clasificación que únicamente el 3.54% del área es adecuada para agroforestería con cultivos anuales, siempre que se asocie con prácticas de conservación de suelos, 2.95% tiene aptitud para sistemas silvopastoriles, 60.56% del área tiene vocación forestal y el restante 32.94% es adecuado para zonas de protección de biodiversidad y recreación.
- Según el uso de la tierra se establecieron las siguientes categorías: asentamiento humano rural (1.70%), cultivos anuales (44.88%), cultivos semipermanentes (1.53%), pastos naturales (0.67%), bosque latifoliado (19.75%), bosque de coníferas (18.49%), bosque mixto (11.11%) y matorral (1.87%); que permiten determinar que el 48.78% de la microcuenca se encuentra sin cobertura forestal, y el restante 51.22% presenta cobertura forestal.
- Por la intensidad de uso se estableció que el 48.40% recibe un uso correcto, 1.52% esta subutilizado y 50.07% se encuentra sobre utilizado; lo cual permite inferir que en la mitad del área total se está causando un grave deterioro del suelo que provocará el avance de la frontera agrícola en la microcuenca y/o la pérdida de cobertura forestal.

VIII. RECOMENDACIONES

- Para las áreas que tienen vocación forestal, que representan el 60.56% se debe efectuar lo siguiente: en conjunto autoridades y comunidades, desarrollar y aplicar un plan de manejo forestal sostenible con fines de aprovechamiento en las tierras que tienen cobertura forestal y para las áreas que no presentan cobertura forestal, elaborar y ejecutar planes de reforestación a través del programa de incentivos forestales del Instituto Nacional de Bosques y con ello crear una nueva alternativa de trabajo.
- Debido a que los cultivos anuales ocupan el 45% de la microcuenca, donde predomina el monocultivo de maíz (*Zea mays*), se recomienda complementar este trabajo con un estudio socioeconómico que permita conocer las características culturales de la población de la microcuenca, para establecer en conjunto autoridades y comunidades, un plan de manejo integral, que proponga nuevas opciones de producción, mejore los canales de comercialización y determine otras actividades no agrícolas, como alternativa para mejorar el nivel de vida de los habitantes de la microcuenca.
- En las tierras de la microcuenca que están siendo sobre utilizadas (50.07%), deben propiciarse prácticas de conservación de suelos como: construcción de diques de contención de piedra o sacos de arena para reducir la velocidad de escorrentía donde existen cárcavas; construcción de barreras muertas con piedras y/o barreras vivas utilizando especies de flores que amacollan como el agapanto (*Agaphantus africanus*) o con especies de pasto de corte como la festuca (*Lolium perenne*) acompañados de acequias para reducir la erosión del suelo en áreas con moderadas pendientes; impulsar la utilización de sistemas agroforestales como frutales-especies forestales en áreas con altas pendiente y profundidad de suelos mayor a los 90 cm., sistemas que además de brindar mayor protección a los suelos permitirá a los pobladores obtener una fuente alterna de ingresos; y realizar reforestación con especies nativas como pino macho (*Pinus montezumae*), pino hembra (*Pinus oocarpa*), ilamo (*Alnus jorullensis*) y encino (*Quercus* sp.) en las tierras forestales de producción y protección para restaurar el paisaje natural y evitar la degradación del suelo por las excesivas pendientes.

- Se considera necesario que todas las instituciones involucradas en el desarrollo de las comunidades de la microcuenca, específicamente la corporación municipal, promuevan proyectos acordes a la capacidad de uso del suelo que generen mejores márgenes de ganancia, así como la asistencia técnica y crediticia para los pobladores; también se debe proporcionar capacitaciones sobre prácticas de conservación de suelos, restauración de suelos, sistemas agroforestales, producción de especies frutales y forestales.

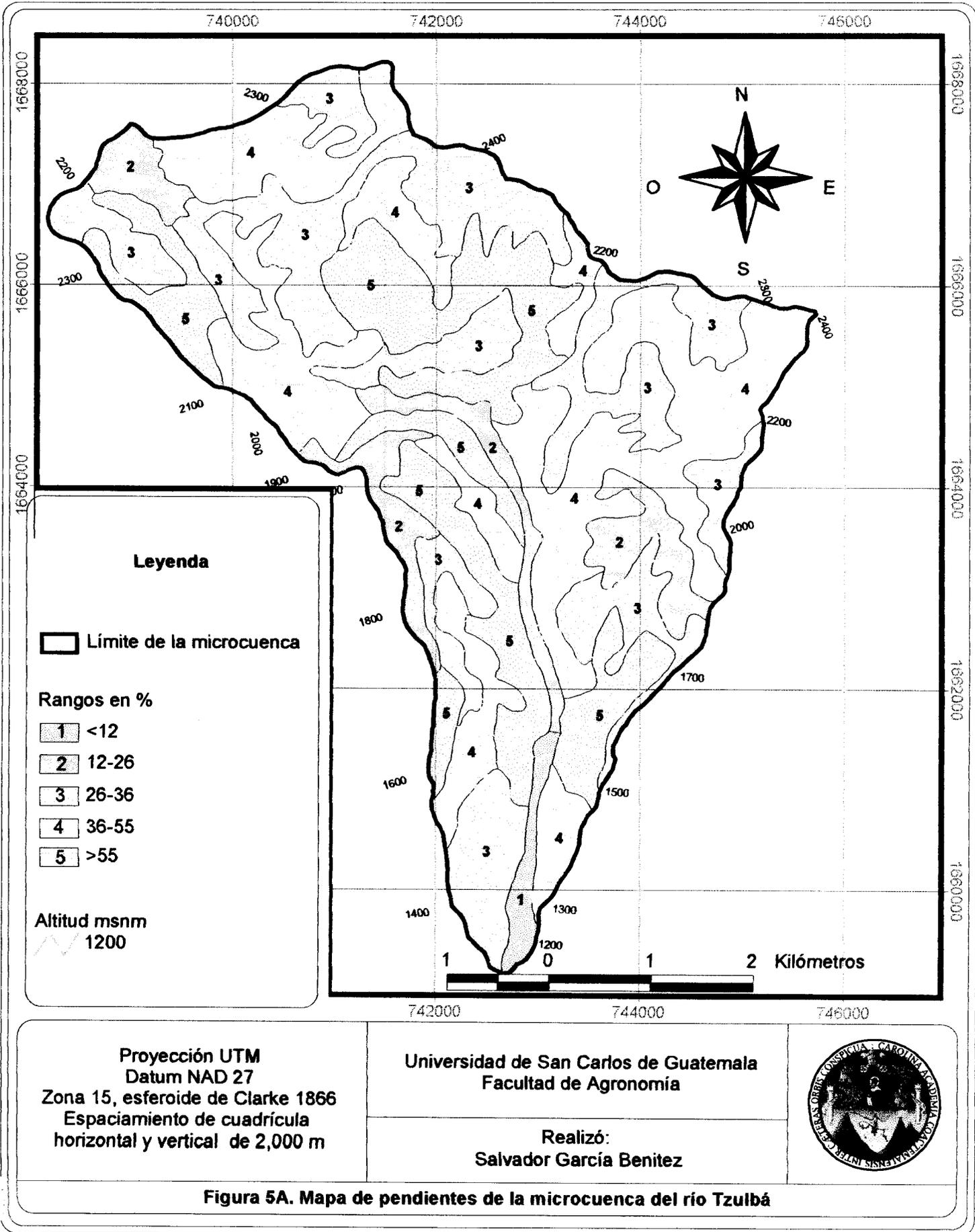
- La corporación municipal de Joyabaj, autoridades comunitarias, instituciones gubernamentales y no gubernamentales, deberán promover un adecuado uso, manejo y conservación de los recursos suelo, agua y bosque, tomando en cuenta los resultados del presente trabajo, siempre que se complementen con el inventario forestal y el estudio de recarga hídrica, para alcanzar el desarrollo sostenible en la microcuenca del río Tzulbá.

IX. BIBLIOGRAFÍA

1. INAB (Instituto Nacional de Bosques, GT). 2000. Manual para la clasificación de tierras por capacidad de uso. Guatemala. 96 p.
2. _____. 2003. Consideraciones técnicas y propuesta de normas de manejo forestal para la conservación de suelo y agua. Guatemala. 34 p.
3. MAGA (Ministerio de Agricultura, Ganadería y Alimentación, GT). 2002. Manual para la elaboración de estudios de suelos. Guatemala. 99 p.
4. Tobías Vásquez, HA. 1994. Resumen de métodos para la determinación de la capacidad de uso de la tierra: documento de apoyo a los cursos génesis y clasificación de suelos, mapeo y clasificación de suelos. Guatemala, USAC, Facultad de Agronomía. s.p
5. _____. 1997. Guía para descripción de suelos. Guatemala, USAC, Facultad de Agronomía. 73 p.
6. Villalta, H. 1992. Sistema CIAF de clasificación fisiográfica del terreno. Revista CIAF (CO) no. 13:57-69.



Va. Bc. Rolando Barrios.



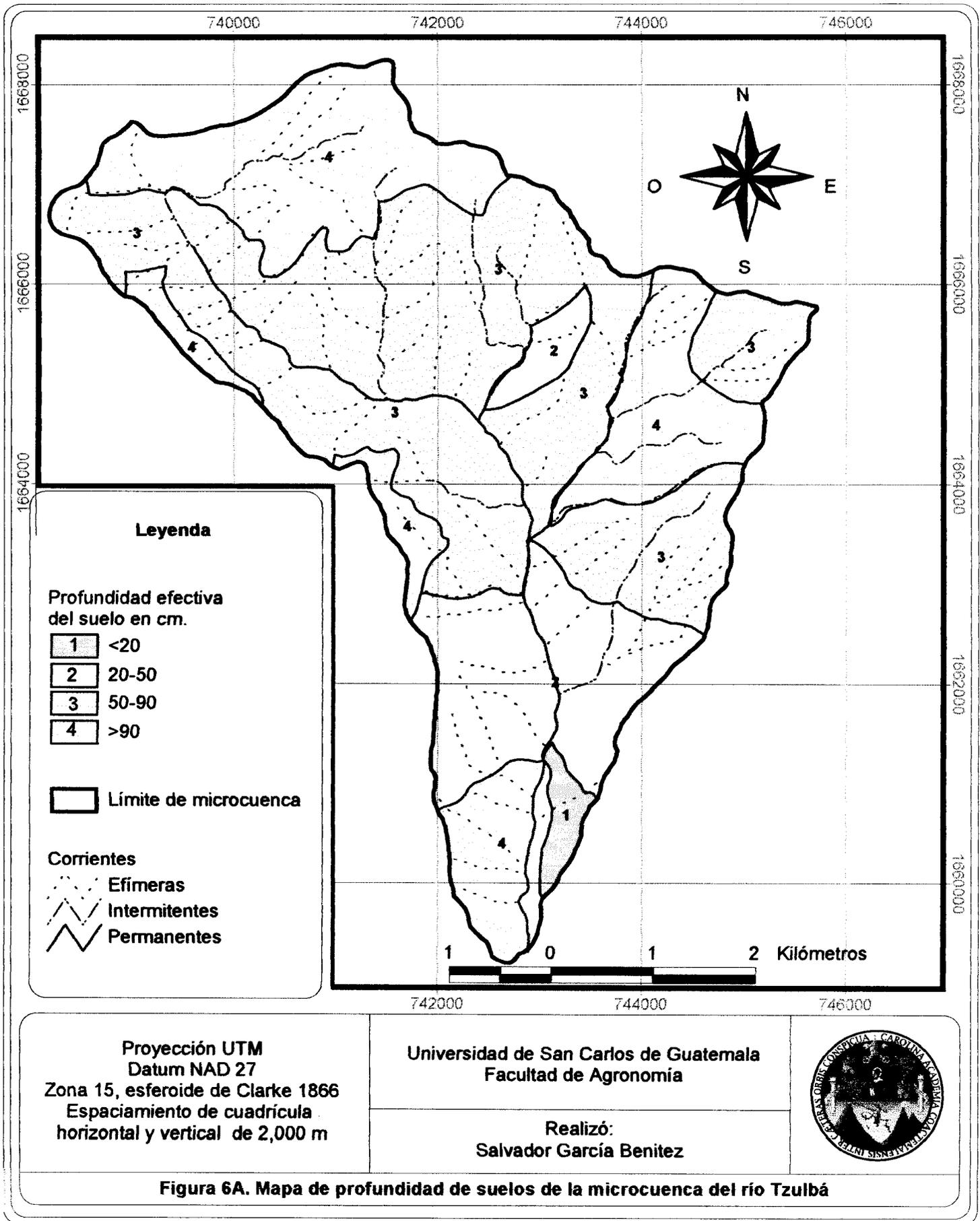
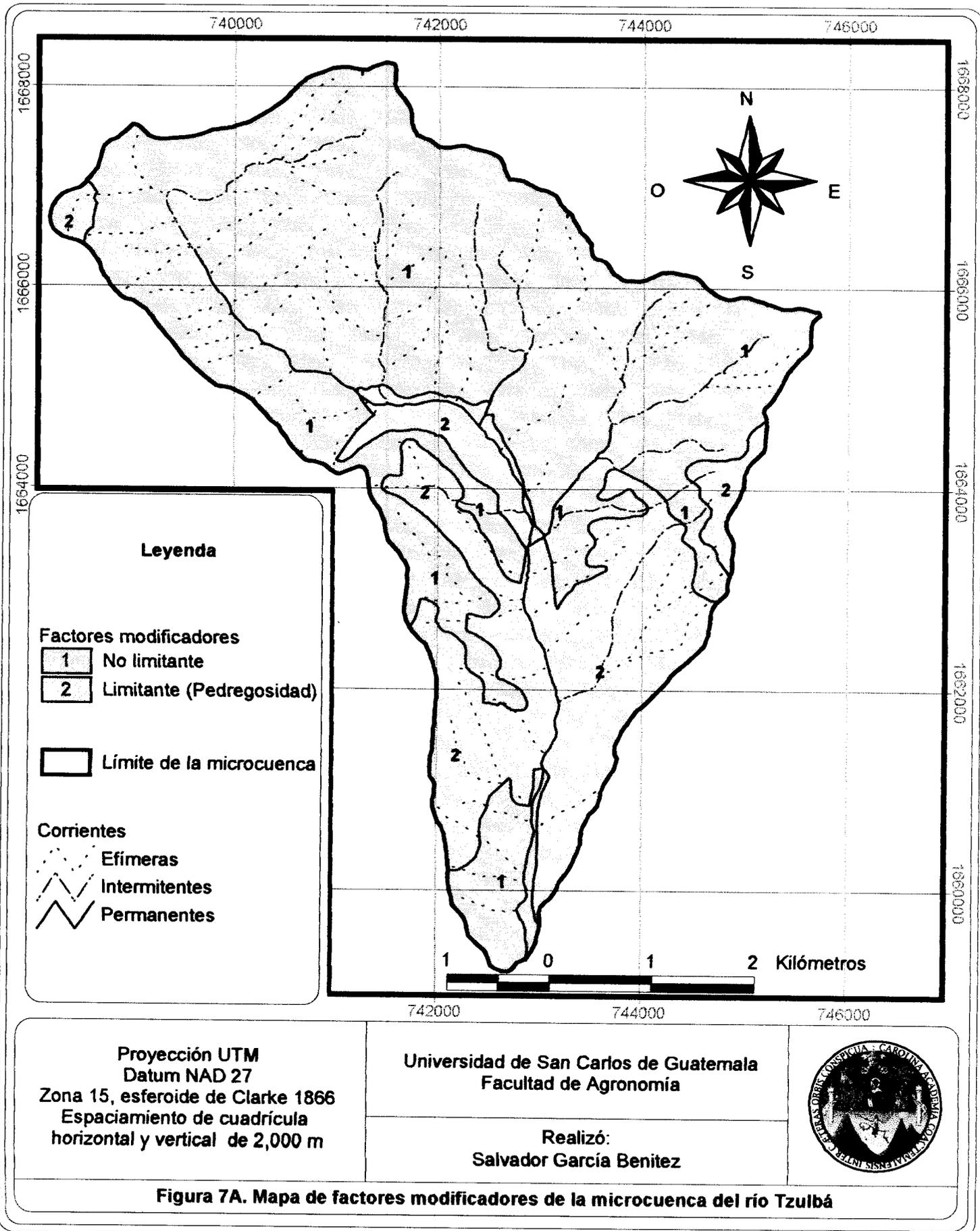


Figura 6A. Mapa de profundidad de suelos de la microcuencia del río Tzulbá



SERVICIO 2

INVENTARIO FORESTAL DEL BOSQUE NATURAL DE LA MICROCUENCA DEL RÍO TZULBÁ, JOYABAJ, EL QUICHÉ

INDICE GENERAL

Indice general.....	260
Indice de figuras.....	262
Indice de cuadros.....	263
Resumen.....	264
I. INTRODUCCIÓN.....	265
II. DEFINICIÓN DEL PROBLEMA.....	266
III. MARCO CONCEPTUAL.....	267
3.1 Bosque y su función.....	267
3.2 Inventario forestal.....	267
3.3 Objetivos del inventario forestal.....	267
3.4 Estratificación.....	268
3.5 Muestreo en el inventario forestal.....	268
3.5.1 Muestreo aleatorio.....	268
3.5.2 Muestreo sistemático.....	268
3.6 Intensidad de muestreo.....	269
3.7 Tamaño y forma de las parcelas.....	269
3.8 Variables.....	269
3.9 Tipos de inventarios.....	270
3.9.1 Inventario exploratorio.....	270
IV. OBJETIVOS.....	271
4.1 Objetivo general.....	271
4.2 Objetivos específicos.....	271
V. METODOLOGÍA.....	272
5.1 Fase de gabinete inicial.....	272
5.1.1 Recopilación de información básica.....	272
5.1.2 Delimitación de estratos y cuantificación de áreas.....	272
5.1.3 Tipo e intensidad de muestreo.....	272
5.1.4 Forma y tamaño de las parcelas.....	272
5.1.5 Disposición de las unidades de muestreo.....	272
5.1.6 Elaboración de las boletas.....	273
5.2 Fase de campo.....	273
5.2.1 Verificación de límites de estratos.....	273
5.2.2 Ubicación de puntos y trazo de las unidades de muestreo.....	273
5.2.3 Toma de datos.....	273
5.3 Fase de gabinete final.....	274
5.3.1 Procesamiento de la información.....	274
5.3.2 Cálculo estadístico.....	275

VI. RESULTADOS	276
6.1 Cobertura forestal	276
6.1.1 Estratificación forestal	276
6.2 Inventario forestal	278
6.2.1 Estrato de coníferas	278
6.2.2 Estrato mixto	282
6.2.3 Estrato de latifoliadas	285
6.2.4 Análisis global del bosque	289
6.2.5 Análisis estadístico	290
VII. CONCLUSIONES	291
VIII. RECOMENDACIONES	292
IX. BIBLIOGRAFÍA	293
X. ANEXOS	294

INDICE DE FIGURAS

Figura 1. Mapa de cobertura forestal y estratificación del bosque de la m. del río Tzulbá.....	277
Figura 2. Distribución de la densidad, área basal y volumen por hectárea para las especies del estrato de coníferas.	279
Figura 3. Distribución diamétrica de las principales especies por hectárea para el estrato de coníferas.	280
Figura 4. Distribución de la densidad, área basal y volumen por hectárea para las especies del estrato mixto.	283
Figura 5. Distribución diamétrica de las principales especies por hectárea para el estrato mixto.	284
Figura 6. Distribución de la densidad, área basal y volumen por hectárea para las especies del estrato de latifoliadas.	286
Figura 7. Distribución diamétrica de las principales especies por hectárea para el estrato de latifoliadas.	287

INDICE DE CUADROS

Cuadro 1. Cubierta forestal	276
Cuadro 2. Estratificación forestal	278
Cuadro 3. Dendrometría de cada especie por hectárea para el estrato de coníferas.....	279
Cuadro 4. Dendrometría total por especie para el estrato de coníferas.....	280
Cuadro 5. Regeneración natural por hectárea para el estrato de coníferas.....	281
Cuadro 6. Características cualitativas para el estrato de coníferas.	281
Cuadro 7. Dendrometría de cada especie por hectárea para el estrato mixto.	282
Cuadro 8. Dendrometría total por especie para el estrato mixto.	283
Cuadro 9. Regeneración natural por hectárea para el estrato mixto.	284
Cuadro 10. Características cualitativas para el estrato mixto.....	285
Cuadro 11. Dendrometría de cada especie por hectárea para el estrato de latifoliadas.....	286
Cuadro 12. Dendrometría total por especie para el estrato de latifoliadas.....	287
Cuadro 13. Regeneración natural por hectárea para el estrato de latifoliadas.....	288
Cuadro 14. Características cualitativas para el estrato de latifoliadas.	288
Cuadro 15. Datos totales del área con cubierta forestal.	289
Cuadro 16. Análisis estadístico del muestreo (por área basal)	290
Cuadro 17A. Boleta de evaluación forestal.	295
Cuadro 18A. Distribución diamétrica por especie y hectárea para el estrato de coníferas.	296
Cuadro 19A. Distribución diamétrica por especie y hectárea para el estrato mixto.	296
Cuadro 20A. Distribución diamétrica por especie y hectárea para el estrato de latifoliadas.	296

INVENTARIO FORESTAL DEL BOSQUE NATURAL DE LA MICROCUENCA DEL RÍO TZULBÁ, JOYABAJ, EL QUICHÉ

RESUMEN

La microcuenca del río Tzulbá se ubica en la Sierra de Chuacús que se caracteriza por presentar valles profundos y laderas fuertemente pronunciadas, así también un clima templado, donde la vegetación predominante es el bosque.

Esta microcuenca presenta una superficie de 28.32 km² de las cuales casi el 50% (13.98 km²) contiene bosque, el cual fue inventariado para determinar sus potencialidades y limitaciones, para ello se procedió a estratificar el área en base a la clase de bosque presente.

Después de levantar la información, la misma se procesó y se obtuvieron los resultados siguientes:

- Estrato de coníferas: Presenta un área de 523.52 hectáreas, donde cada hectárea tiene una densidad de 403 árboles y un volumen de 156.88 m³ de madera. Sobresalen las especies de *Pinus oocarpa*, *Quercus sp.* y *Pinus montezumae*.
- Estrato mixto: Representado por las especies de *Quercus sp.*, *Alnus sp.* y *Pinus oocarpa*, tiene una extensión de 314.65 hectáreas, en donde se encuentra por hectárea una densidad de 680 árboles y un volumen de 194.85 m³ de madera.
- Estrato de latifoliadas: Es el estrato con mayor área ya que presenta una superficie de 559.45 hectáreas, donde predominan las especies de *Quercus sp.* y *Alnus sp.* Se caracteriza por presentar una densidad alta de 788 árboles/ha. y un volumen de 240.6 m³ de madera por hectárea.

Según los datos de regeneración natural, el *Quercus sp.* ejerce dominancia en los tres estratos ya que tiene una capacidad de regeneración bajo las condiciones de sombra y alta densidad, que no tienen otras especies, especialmente las coníferas.

En cuanto al estado fitosanitario, se considera que el bosque es sano donde se debe ejercer control para la prevención de incendios forestales.

Por último, se anotan las recomendaciones que se deben seguir para asegurar la continuidad y sostenibilidad del recurso forestal de la microcuenca del río Tzulbá.

I. INTRODUCCIÓN

Este inventario forestal tiene como propósito evaluar las potencialidades y limitaciones de la cobertura forestal presente en la microcuenca del río Tzulbá, Joyabaj, El Quiché.

La microcuenca se ubica en la Sierra de Chuacús, donde predominan las laderas de fuerte pendiente con suelos poco profundos, que confirma la vocación forestal de dichos suelos, pero actualmente el 50% del área está siendo utilizado para agricultura de subsistencia.

Los pobladores de la microcuenca cuentan con muchos recursos naturales, entre ellos el bosque, que por desconocimiento no están aprovechando adecuadamente, por ello es indispensable este tipo de estudios que permiten conocer la situación actual, potencialidades y limitaciones del mismo para establecer lineamientos que busquen mejorar el bienestar general de la población.

El tipo de bosque presente en la microcuenca, es un bosque maduro, que proporciona a los habitantes de la microcuenca madera y leña, además de proteger a los recursos suelo, agua y fauna. Y es por ello que esto facilitaría insertar a los pobladores al manejo del mismo porque los beneficios son inmediatos y no a largo plazo.

Este inventario forestal se levantó a un nivel exploratorio, utilizando el diseño sistemático estratificado donde se establecieron parcelas de 500 m² y se registró en boletas las variables cuantitativas y cualitativas del bosque.

El inventario forestal se efectuó el año 2004, para su realización se contó con el apoyo financiero del Programa de Investigación Forestal, el Proyecto de Conservación de Ecosistemas Forestales Estratégicos –CEFE– y la Subregión VII-1 del Instituto Nacional de Bosques –INAB– y también con la asesoría técnica de la subárea de Ejercicio Profesional Supervisado de Agronomía –EPSA– de la Facultad de Agronomía, Universidad de San Carlos de Guatemala –USAC–.

II. DEFINICIÓN DEL PROBLEMA

En Guatemala, la deforestación de las tierras constituye uno de los principales problemas que produce erosión del suelo, pérdida de biodiversidad, pérdida y disminución de caudales de fuentes de agua. La deforestación se debe al avance de la frontera agrícola, necesidad de combustible y madera para la construcción, así también al desconocimiento del valor del bosque.

Todos estos aspectos se repiten en la microcuenca del río Tzulbá, donde el recurso forestal no ha tenido un manejo adecuado: ello se confirma porque el bosque se deteriora progresivamente por las extracciones de productos forestales para madera y combustibles, sin tomar en cuenta aspectos técnicos y también por la sustitución gradual del bosque por áreas de cultivos de subsistencia y de pastoreo.

La conservación y adecuado manejo de la cobertura forestal es una verdadera necesidad porque de él se extrae leña para la cocción de los alimentos, madera para la construcción de las viviendas y además el bosque es el que protege las fuentes de agua que abastecen a los habitantes de la microcuenca y de la cabecera municipal de Joyabaj.

La falta de un inventario forestal no ha permitido realizar propuestas de soluciones concretas para un manejo adecuado del bosque de la microcuenca del río Tzulbá.

Debido a lo anterior es necesario efectuar estudios sobre el bosque que tiendan a definir el potencial y limitaciones del mismo, para establecer lineamientos que permitan un aprovechamiento continuo y sostenido.

Por la extensión del área con cobertura forestal, lo limitado del tiempo, los recursos económicos y los propósitos del estudio se planificó la generación de información del bosque a nivel exploratorio.

Esta información generada permitirá al INAB, autoridades municipales y pobladores, conformar un grupo de actores que establezcan lineamientos para un manejo adecuado del recurso forestal y con ello conservar la biodiversidad, el recurso hídrico y edafológico, y que además se traduzca en una nueva alternativa de trabajo a la población del área.

III. MARCO CONCEPTUAL

3.1 BOSQUE Y SU FUNCIÓN

Según Daniel (3), el bosque es una comunidad biológica en la que predominan los árboles y ocupa un área extensa en donde se desarrollan condiciones locales climáticas y ecológicas diferentes a otros lugares.

Entre los diferentes tipos de bosque se tienen los siguientes:

- Bosque de latifoliadas: son los bosques característicos de las regiones de baja altitud, donde dominan las especies de hoja ancha.
- Bosques de coníferas: son bosques donde predominan las especies coníferas como el pinabete, ciprés y varias especies de pinos.
- Bosques mixtos: tipo de bosque donde se encuentran especies de coníferas y latifoliadas, y ninguna de ellas ejerce predominio mayor del 70 % en área basal.

Los bosques tienen funciones vitales como: evitar la degradación del suelo, proteger fuentes de agua, ser refugio de la biodiversidad de flora y fauna, etc. (3).

3.2 INVENTARIO FORESTAL

El Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza –CATIE– (1), indica que es un procedimiento necesario con el objeto de recabar información básica para la toma de decisiones sobre el manejo y aprovechamiento forestal. En todo inventario forestal, se debe recabar cinco tipos de información: área de bosques, localización y distribución por tipos de bosque, cantidad de recursos existentes, calidad de los recursos y como cambian estos en el tiempo.

Según la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación –FAO– (4), es la estimación de la cantidad y calidad de los árboles de un bosque, donde se describen muchas de las características de la zona del terreno donde crecen los árboles.

3.3 OBJETIVOS DEL INVENTARIO FORESTAL

Según Saravia (8), es el punto de partida para todos los trabajos del inventario ya que toma en cuenta el tiempo y los recursos necesarios. Y estos objetivos están directamente relacionados con dos aspectos básicos: el nivel de confiabilidad del trabajo y el énfasis relativo en un determinado parámetro o característica del área.

3.4 ESTRATIFICACIÓN

La FAO (4), indica que para reducir la variabilidad de un parámetro de la población total y el error de muestreo de la estimación, resulta útil dividir la población en estratos más homogéneos y aplicar un muestreo independiente en cada estrato.

La fotografía aérea es uno de los métodos para efectuar la estratificación y consiste en aplicar la técnica de la fotointerpretación, delimitando las diferentes clases según la clasificación adoptada. Una buena fotointerpretación debe ser objetiva y uniforme, necesitando para ello conocimiento del área, antes de iniciar la misma (4).

3.5 MUESTREO EN EL INVENTARIO FORESTAL

FAO (4), expresa que el muestreo estadístico es utilizado en inventarios forestales por razones económicas, ya que las poblaciones de estudio normalmente son grandes y por tanto, es factible efectuar el trabajo con la selección de elementos de la población total.

El muestreo debe ser objetivo para no introducir sesgos personales en las estimaciones. La elección del diseño de muestreo debe ser aquel que proporciona las estimaciones más precisas para un determinado costo, o bien el que tiene un menor costo para una precisión dada de las estimaciones (4).

Para la realización de un inventario forestal, según el CATIE (1), existen varias clases de muestreo: muestreo simple aleatorio y muestreo sistemático.

3.5.1 MUESTREO ALEATORIO

La muestra es tomada directamente de la población según los requisitos de aleatoriedad, por ello este diseño es una aplicación exacta de las leyes de la probabilidad y sus resultados tienen una alta confiabilidad, son imparciales y consistentes. Su principal desventaja radica en que hay poca seguridad sobre el establecimiento exacto de las parcelas en el bosque y por lo inaccesible de algunos sitios, repercute en el incremento de los costos.

3.5.2 MUESTREO SISTEMÁTICO

El muestreo sistemático es el más utilizado en inventarios forestales en bosques naturales, aunque en teoría no está basado en las leyes de la probabilidad, lo que no permite calcular con precisión el error de muestreo. Pero en la práctica, casi todos los inventarios realizados con muestreo sistemático son analizados utilizando las fórmulas del muestreo al azar.

Entre las ventajas, se pueden mencionar que permiten hacer estimaciones confiables de medias poblacionales y totales (ej.: volumen total) ya que la muestra se distribuye en toda la población y los inventarios son más rápidos y baratos.

Las principales desventajas radican en que no se puede hacer estimaciones válidas del error de muestreo y la estimación del error estándar solo es una aproximación.

3.6 INTENSIDAD DE MUESTREO

Según la FAO (4), la intensidad de muestreo es la relación entre el área muestreada y el área total. Y para su determinación, hay que tomar en cuenta lo siguiente: deberá decidirse la magnitud aceptable del error de muestreo, este error se expresa con frecuencia en porcentaje y también se deberá decidir la probabilidad del error de muestreo aceptable fijado previamente.

3.7 TAMAÑO Y FORMA DE LAS PARCELAS

El CATIE (1) menciona que según el tipo de parcela utilizado, la precisión y el costo del inventario pueden variar significativamente. En bosques homogéneos, el error de muestreo tiende a disminuir si se utilizan parcelas pequeñas; lo contrario sucede en bosque heterogéneos, ya que el coeficiente de variación aumenta.

Orozco (7) indica que el tamaño de la unidad de muestreo es frecuentemente de 500 a 1,000 metros cuadrados y de forma rectangular o circular.

3.8 VARIABLES

De acuerdo a Cruz et al. (2), las variables de medición son esencialmente: el diámetro a la altura del pecho (DAP) a 1.30 metros del nivel del suelo, altura total del árbol y frecuencia de árboles por parcela.

Y según Orozco (7), para un inventario más completo, se agrega forma del fuste (recto, inclinado, sinuoso o bifurcado), estado fitosanitario (sano, quemado, macheteado o enfermo: con roya, necrosis foliar, etc.) y regeneración natural específicamente brinzales (árboles con altura menor de 1 metro y diámetro menor de cinco centímetros) y latizales (árboles con altura mayor de 1 metro y diámetro entre 5 y 10 cm).

3.9 TIPOS DE INVENTARIOS

El CATIE (1), menciona los siguientes tipos que responden a un objetivo específico, que indica claramente el tipo, cantidad y calidad de la información a tomar:

- Inventario para manejo de plantaciones
- Inventario para aprovechamiento forestal
- Inventario para manejo de bosques naturales
- Inventario exploratorio.

En base a Cruz et al. (2), los inventarios forestales generalmente tienen como objetivo estimar el volumen de madera en bruto, especies, área basal y regeneración natural para especies de importancia comercial.

3.9.1 INVENTARIO EXPLORATORIO

De acuerdo al CATIE (1), tiene como objetivo recolectar información básica para la evaluación y monitoreo de bosques a gran escala y de interés gubernamental. Estos inventarios son de baja a mediana intensidad de muestreo (0.1% a 2% del área). Tanto en el caso de bosques naturales como de plantaciones forestales, la información por recolectar se centra en el área de bosques, su localización y distribución por tipos, cantidad y calidad de productos que contiene.

IV. OBJETIVOS

4.1 OBJETIVO GENERAL

Elaborar un inventario forestal a nivel exploratorio en el bosque natural de la microcuenca del río Tzulbá, Joyabaj, El Quiché que sea útil para la evaluación de las potencialidades y limitaciones del recurso forestal.

4.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Identificar las especies arbóreas que existen en el bosque natural.
- Estimar la volumetría, área basal y densidad por especie arbórea.
- Cuantificar la regeneración natural del bosque para los géneros de Pinus, Quercus y Alnus.
- Establecer la forma del fuste y estado fitosanitario del bosque.

V. METODOLOGÍA

5.1 FASE DE GABINETE INICIAL

5.1.1 RECOPIACIÓN DE INFORMACIÓN BÁSICA

Comprendió la adquisición de material cartográfico y fotográfico: las hojas cartográficas obtenidas son Granados 2060 I, Cubulco 2061 II y Zacualpa 2061 III, a escala 1:50.000 y las fotografías aéreas del 2003, a escala 1:30,000.

5.1.2 DELIMITACIÓN DE ESTRATOS Y CUANTIFICACIÓN DE ÁREAS

A través de la fotointerpretación, se delimitaron tres estratos (coníferas, mixto y latifoliado), para ello se utilizó el material fotográfico, acetato y marcadores, posteriormente, utilizando el método de la cuadrícula, se procedió a determinar el área de cada estrato.

5.1.3 TIPO E INTENSIDAD DE MUESTREO

El muestreo utilizado fue el sistemático estratificado tomando como base, el tipo de bosque existente en el área y la fácil ubicación de las parcelas en toda la población inventariada.

La intensidad de muestreo propuesta por el CATIE (1), para un tipo de inventario forestal a nivel exploratorio varía de 0.1 a 2%, por lo que se consideró este rango para la ejecución de este trabajo.

5.1.4 FORMA Y TAMAÑO DE LAS PARCELAS

Las unidades de muestreo fueron de forma rectangular, 20 metros de ancho y 25 metros de largo, presentando una área de 500 metros cuadrados (0.05 ha), para la toma de datos de árboles con DAP mayor de 10 cm. Y dentro de cada unidad, se planificó el trazo de una subunidad de 100 metros cuadrados (10 x 10 m).

5.1.5 DISPOSICIÓN DE LAS UNIDADES DE MUESTREO

En el mapa de estratos utilizando el diseño distribución cuadrada del muestreo sistemático, se trazaron líneas paralelas y equidistantes a una distancia de 590 metros. Una vez definido el punto central de las parcelas (intersección de líneas paralelas y equidistantes), se enumeraron las

unidades de muestreo en forma correlativa, tomando en cuenta el estrato y posteriormente a ello, se determinó las coordenadas de cada unidad.

5.1.6 ELABORACIÓN DE LAS BOLETAS

Se diseñó una boleta en donde se anotaron las variables de importancia a evaluar durante la toma de muestras en el campo, al momento de ser ubicada y trazada la respectiva unidad de muestreo, ésta se presenta en el cuadro 17A.

5.2 FASE DE CAMPO

5.2.1 VERIFICACIÓN DE LÍMITES DE ESTRATOS

Realizando caminamientos, se comprobó los límites reales del mapa de estratos, utilizando la fotografía aérea y estereoscopio de bolsillo, procediendo a modificar áreas cuando se determinó que las condiciones de cobertura no coincidían con las establecidas en la fotografía aérea.

5.2.2 UBICACIÓN DE PUNTOS Y TRAZO DE LAS UNIDADES DE MUESTREO

La ubicación de los puntos de muestreo en campo, se realizó con el auxilio del Sistema de Posicionamiento Global (GPS), al cual se introdujeron las coordenadas de cada punto establecidas en gabinete.

Una vez ubicado el punto, se procedió a delimitar la unidad de muestreo colocando estacas en cada vértice y orientando el largo de la parcela a favor de la pendiente, utilizando para ello la cinta métrica, brújula, machete y el clinómetro, para efectuar la corrección de pendientes.

Y posteriormente, se delimitó la subunidad de muestreo que se ubicó al noroeste de cada unidad de muestreo.

5.2.3 TOMA DE DATOS

Utilizando la boleta de campo en la unidad de muestreo, se registró para árboles con DAP ≥ 10 cm. la información siguiente: especie, número de árboles, diámetro a la altura del pecho (DAP medido a 1.3 metros de altura) utilizando cinta diamétrica, altura total medida con hipsómetro, forma del fuste (1= recto, 2= inclinado, 3= sinuoso y 4= bifurcado) y el estado fitosanitario (1= sano, 2= atacado por gorgojo, 3= atacado por roya, 4= ocoteado o macheteado y 5= parcialmente quemado).

Y en la subunidad de muestreo, se cuantificó por especie el número de plántulas correspondientes a brinzal ($0.3 \text{ m} \leq \text{altura} < 1.5 \text{ m}$), latizal alto ($5.0 \text{ cm.} \leq \text{DAP} < 10 \text{ cm.}$) y bajo ($\text{altura} \geq 1.5 \text{ m}$ pero con $\text{DAP} < 5 \text{ cm.}$).

5.3 FASE DE GABINETE FINAL

5.3.1 PROCESAMIENTO DE LA INFORMACIÓN

Los datos recolectados fueron vaciados y tabulados por medio de un programa de computadora (Microsoft Excel). A través de esta hoja electrónica, se determinó la densidad, área basal, diámetro medio, altura media y volumen por parcela, para posteriormente presentar estos datos por especie, hectárea y estrato.

Las ecuaciones utilizadas son las siguientes:

$$\text{Diámetro medio (d):} \quad d = (\sum di / n)$$

$$\text{Altura media (h):} \quad h = (\sum hi / n)$$

$$\text{Área Basal (AB):} \quad AB = 0.7854 * d^2$$

$$\text{Densidad (\vartheta):} \quad \vartheta = n / A$$

donde d = diámetro en cm.

Volumen:

Ecuaciones elaboradas por Peters 1977, citado por el INAB (5) y Palacios (7).

$$\textit{Pinus oocarpa} \quad V = 0.0268287659 + 0.0000287215 * d^2 * h$$

$$\textit{Pinus montezumae} \quad V = -0.0229946375 + 0.0000277515 * d^2 * h$$

$$\textit{Alnus sp.} \quad V = 0.1125761 + 0.00004148 * d^2 * h$$

Ecuación elaborada por Rodas Manuel, citado por el INAB (5).

$$\textit{Quercus sp.} \quad V = -0.004699 + 0.000049672 * d^2 * h$$

Ecuación reportada por FUNDAP 1993, citado por Palacios (7).

$$\textit{Arbustus xalapensis} \quad V = 0.7854D^2 * h * 0.38$$

donde D = diámetro en metros.

Ecuación elaborada por Koper, citado por el INAB (5).

$$\text{Otras especies latifoliadas } V = 0.10833737266 + 0.000046499 * d^2h$$

Para los datos de regeneración natural, forma del fuste y estado fitosanitario, se tabularon y graficaron los datos en base al porcentaje de ocurrencia por hectárea en cada uno de los estratos.

5.3.2 CALCULO ESTADÍSTICO

Las ecuaciones estadísticas utilizadas en el inventario forestal fueron las siguientes:

Media (X): $X = \Sigma x / n$

Donde: $x = \text{valor observado en la unidad de muestreo}$
 $n = \text{número de unidades en la muestra}$

Varianza (S²): $S^2 = ((\Sigma x^2) - ((\Sigma x)^2/n)) / n - 1$

Desviación estándar (S): $S = \sqrt{S^2}$

Coefficiente de variación (CV): $CV = (S/X) * 100$

Error estándar de la media (Sx): $Sx = \sqrt{(S^2/n)}$

Error de muestreo o precisión (Em): $Em = Sx * t(0.05/2, n-1)$

Error de muestreo en porcentaje (E%): $E\% = (Em * 100) / X$

Límites de confianza (Li): $Li = X \pm (Sx * t)$

VI. RESULTADOS

6.1 COBERTURA FORESTAL

La microcuenca del río Tzulbá ubicada en el municipio de Joyabaj, departamento El Quiché, forma parte de la Sierra Chuacús, su extensión es de 2,832 ha. (28.32 km²), en donde a través de fotografías aéreas del año 2003, se determinó que el 49.35% del área presenta cobertura forestal, según el cuadro 1, y el porcentaje restante está constituido por cultivos anuales, pastos naturales y matorral que se distribuye en la microcuenca, como se muestra en la figura 1.

Cuadro 1. Cubierto forestal

Categoría	Área (ha)	%
Cobertura forestal	1,397.62	49.35
Cultivos + pastos + matorral	1,434.38	50.65
Total	2,832.00	100

6.1.1 ESTRATIFICACIÓN FORESTAL

En la figura 1, se presenta la distribución espacial de los tres estratos en base al tipo de bosque, identificados por fotointerpretación y recorridos de campo.

- Estrato de coníferas: En este estrato se encontraron las especies de *Pinus oocarpa*, *Pinus montezumae*, *Quercus sp.*, y *Arbustus xalapensis*. Ocupa el 37.46% del área con cobertura forestal, según el cuadro 2, y se distribuye en la parte baja de la microcuenca, entre los rangos de altitud de 1,200 a 1,800 msnm.
- Estrato mixto: Las especies arbóreas que representan este estrato son *Quercus sp.*, *Alnus sp.*, *Arbustus xalapensis*, *Pinus oocarpa*, *Pinus montezumae* y *Prunus sp.* Se localiza en la microcuenca a una altitud aproximadamente de 1,800 a 2,100 msnm. y según el cuadro 2, constituye el 22.51% de la cobertura forestal.
- Estrato de latifoliadas: Este estrato se ubica entre el rango altitudinal de 2,000 a 2,400 msnm, ocupando el 40.03 % del área de cobertura forestal y es el estrato con mayor porcentaje de área, como se muestra en el cuadro 2. Las especies encontradas en el estrato son *Quercus sp.*, *Alnus sp.*, *Arbustus xalapensis*, *Pinus oocarpa*, *Pinus montezumae*, *Litsea guatemalensis* y *Prunus sp.*



Leyenda

Cobertura forestal y estratificación

- Bosque de coníferas
- Bosque de latifoliadas
- Bosque mixto
- Sin cobertura forestal

Corrientes

- Efímeras
- Intermitentes
- Permanentes

1 0 1 2 Kilómetros

Cuadro 2. Estratificación forestal

Estrato	Área (ha)	%
Coníferas	523.52	37.46
Mixto	314.65	22.51
Latifoliado	559.45	40.03
Total	1397.62	100

6.2 INVENTARIO FORESTAL

El inventario forestal proporciona información de las potencialidades y limitaciones del recurso bosque en la microcuenca del río Tzulbá. Para ello, se analizaron variables cuantitativas y cualitativas, que se detallan por estrato y por cobertura forestal total.

6.2.1 ESTRATO DE CONÍFERAS

Es un bosque maduro, donde los árboles con mejores diámetros ya han sido aprovechados y los que existen no reciben manejo alguno. Por ello, el bosque presenta un dosel alto y un dosel bajo.

El dosel alto está dominado por *Pinus* sp. característico del bosque maduro y el dosel bajo por *Quercus* sp. representando a la regeneración (bosque secundario) y ello se muestra en las variables diámetro y altura del cuadro 3.

La dominancia del dosel bajo por *Quercus* sp. expresa que es un bosque donde el *Pinus* sp. no se ha regenerado y por tanto esta área tiende a ser un bosque secundario de *Quercus* sp.

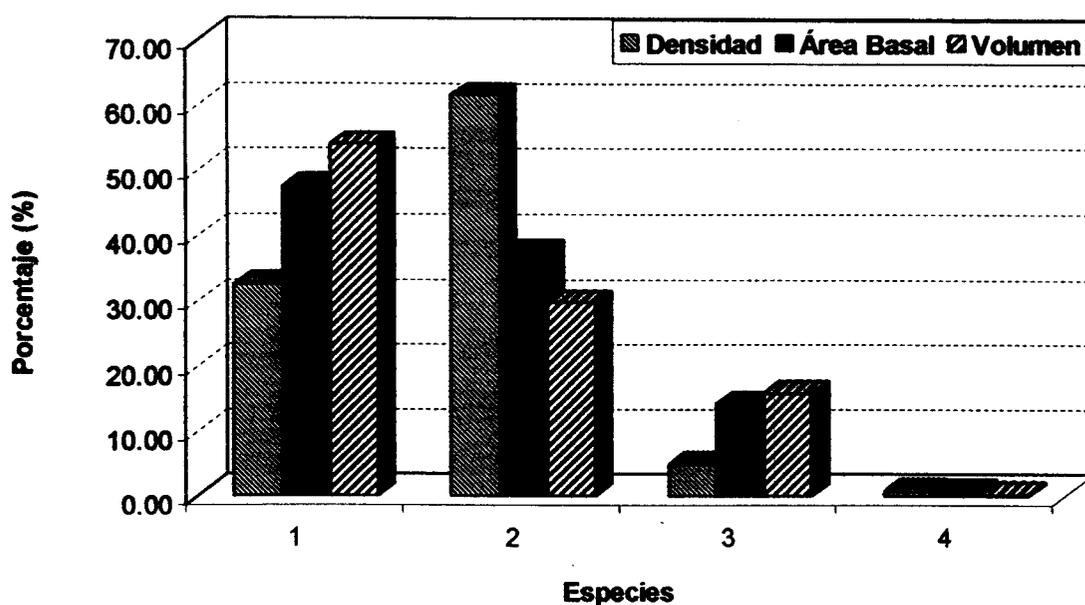
Es importante mencionar que la conservación y falta de manejo de este estrato, se debe a que en su mayor parte se ubica en terrenos pedregosos donde la agricultura no es factible de practicar, también porque la construcción de viviendas no requiere de mucha madera y por desconocimiento del mercado maderero.

De las mediciones dasométricas presentadas en el cuadro 3, se establece:

- En el estrato existen por hectárea aproximadamente 403 árboles, con un área basal de 21.69 m² y un volumen de 156.88 m³ de madera.
- La densidad del estrato por hectárea es de 403 árboles, misma que se considera como una densidad regular en un bosque natural sin manejo donde existe variedad de diámetros, puesto que la densidad ideal para un bosque manejado y con diámetros similares según el Índice de Hart es de 250 árboles maduros por hectárea.

Cuadro 3. Dendrometría de cada especie por hectárea para el estrato de coníferas.

No.	Especie	Árboles/ha	DAP medio (cm)	H media (m)	Área Basal (m ² /ha)	Volumen (m ³ /ha)
1	<i>Pinus oocarpa</i> Schiede	131.67	31.75	17.25	10.310	84.817
2	<i>Quercus</i> sp.	248.33	17.52	6.40	8.134	46.700
3	<i>Pinus montezumae</i> Lambert	20.00	43.88	22.38	3.086	24.969
4	<i>Arbustus xalapensis</i>	3.33	22.20	5.50	0.156	0.392
	Totales	403.33			21.686	156.88



1= *Pinus oocarpa*; 2= *Quercus* sp.; 3= *Pinus montezumae*; 4= *Arbustus xalapensis*.

Figura 2. Distribución de la densidad, área basal y volumen por hectárea para las especies del estrato de coníferas.

En la figura 2, se presenta la distribución de la densidad, el área basal y el volumen por hectárea, de donde se puede inferir lo siguiente:

- *Quercus* sp. presenta una mayor densidad (62%) de árboles por hectárea, a pesar de que es la especie más utilizada para leña pero también es la especie que presenta menor diámetro y altura por tanto, esa densidad no se refleja en el volumen.
- En cuanto a área basal *Pinus oocarpa* y *Quercus* sp. presentan los mayores porcentajes, 47.5 y 37.5 respectivamente.

- En lo que se refiere a volumen el 70% (109.8 m³/ha) lo ocupan *Pinus* sp. lo que expresa el potencial que existe en este tipo de bosque, ya que es en este género donde se concentra el mayor volumen para aserrío.

El área total del estrato es de 523.52 ha. donde se puede encontrar aproximadamente 211,153 árboles, un área basal de 11,353.03 m² y un volumen total de 82,128.82 m³, como se define en el cuadro 4.

Cuadro 4. Dendrometría total por especie para el estrato de coníferas.

No.	Especie	Árboles/ha	DAP medio (cm)	H media (m)	Área Basal (m ²)	Volumen (m ³)
1	<i>Pinus oocarpa</i> Schiede	68,930	31.75	17.25	5,397.45	44,403.41
2	<i>Quercus</i> sp.	130,007	17.52	6.40	4,258.22	24,448.39
3	<i>Pinus montezumae</i> Lambert	10,470	43.88	22.38	1,615.82	13,071.60
4	<i>Arbustus xalapensis</i>	1,745	22.20	5.50	81.53	205.43
	Totales	211,153			11,353.03	82,128.82

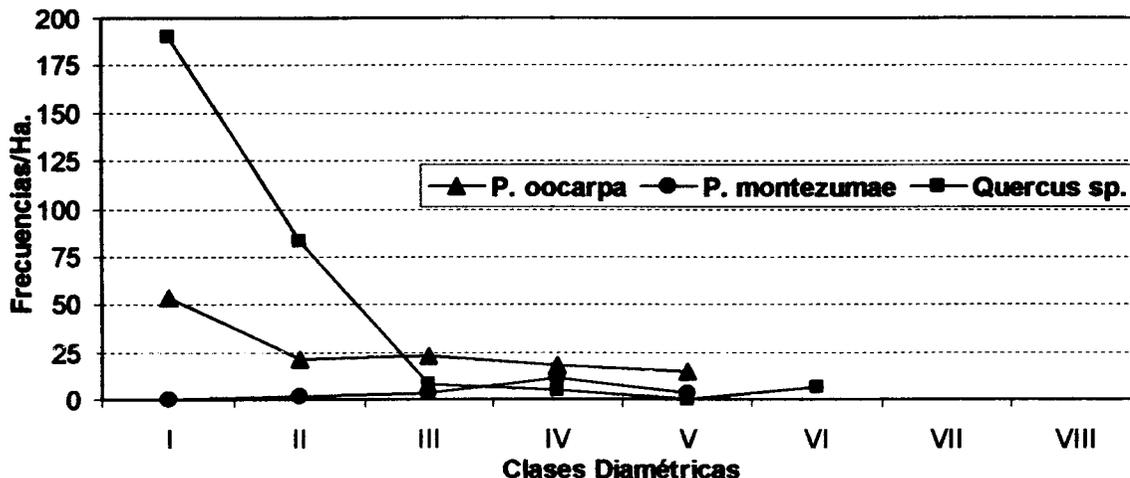


Figura 3. Distribución diamétrica de las principales especies por hectárea para el estrato de coníferas.

Como se muestra en la figura 3 y cuadro 18A, el *Quercus* sp. presenta mayor distribución en la clase diamétrica I (10-19.99) y II (20-29.99) confirmando lo que se explicó antes sobre la dominancia de este género y la poca regeneración de *Pinus* sp.

También en la misma figura, se muestra como *Pinus sp.* presenta mayor distribución en las clases diamétricas mayores, lo que valida el potencial de volumen de aserrío que existe en este estrato.

Cuadro 5. Regeneración natural por hectárea para el estrato de coníferas.

Espece	Latizal alto	Latizal bajo	Brinzal	TOTAL
<i>Pinus sp.</i>	150	116	242	508
<i>Quercus sp.</i>	516	183	1,166	1,865
TOTAL	666	299	1,408	2,373

En el cuadro 5, se presentan los valores de regeneración para brinzal, latizal bajo y alto, donde es importante resaltar la dominancia del *Quercus sp.* y la conversión de este estrato en un bosque secundario de *Quercus sp.* desapareciendo casi por completo *Pinus sp.* porque su regeneración es apenas del 20 % de la regeneración total.

Cuadro 6. Características cualitativas para el estrato de coníferas.

Característica	<i>Pinus sp.</i>	Latifoliadas
Forma (%)		
Recto	56.25	5.37
Inclinado	5	24.83
Sinuoso	37.5	37.58
Bifurcado	1.25	31.54
Otro	0	0
Estado fitosanitario (%)		
Sano	73.91	83.33
Atacado por gorgojo	0	0
Atacado por roya	2.17	0.67
Ocoteado o macheteado	1.09	1.33
parcialmente quemado	17.39	12.67
Otro	5.43	2

Definiendo las características cualitativas del estrato, se tiene según el cuadro 6, que *Pinus sp.* presenta en cuanto a forma 56% de árboles rectos y 37% de árboles sinuosos, en cambio para latifoliadas, el 38% es sinuoso y el 31% bifurcado, por tanto, las especies pueden ser utilizadas solo para leña o postes de pequeñas dimensiones.

En cuanto al estado fitosanitario, sobresalen para *Pinus* sp. el valor de 74% sanos y 17% parcialmente quemado, así también en latifoliadas el 83% sanos y el 13% parcialmente quemado, demostrando con ello que el bosque no está deteriorado por plagas o enfermedades y su principal deterioro se debe a los incendios forestales que se dan en época de verano como lo reportan los pobladores.

6.2.2 ESTRATO MIXTO

Este es un estrato que se diferencia al anterior por la presencia de una mayor cantidad de especies, donde sobresalen el *Quercus* sp, *Pinus oocarpa*, y *Arbustus xalapensis*, donde no predominan las latifoliadas ni el *Pinus* sp.

En base al cuadro 7, se presenta el siguiente análisis de las mediciones dasométricas:

- El estrato presenta por hectárea una densidad de 680 árboles, un área basal de 32 m² y 194.85 m³ de madera.
- La densidad del estrato por hectárea es de 680 árboles, la que se considera inadecuada porque los árboles no pueden desarrollar completamente, lo cual queda demostrado en la heterogeneidad del diámetro y la altura.

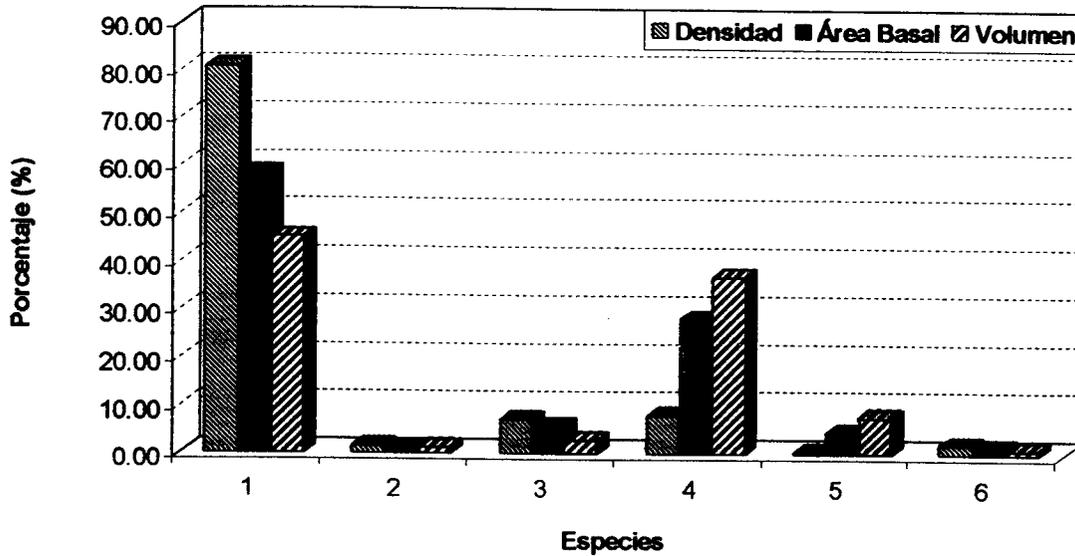
Cuadro 7. Dendrometría de cada especie por hectárea para el estrato mixto.

No.	Especie	Árboles/ha	DAP medio (cm)	H media (m)	Área Basal (m ² /ha)	Volumen (m ³ /ha)
1	<i>Quercus</i> sp.	548.57	19.17	7.36	18.700	92.469
2	<i>Alnus</i> sp.	11.43	17.23	7.50	0.293	2.719
3	<i>Arbustus xalapensis</i>	48.57	23.52	5.57	1.934	5.602
4	<i>Pinus oocarpa</i> Schiede	54.29	50.95	23.18	9.066	76.058
5	<i>Pinus montezumae</i> Lambert	2.86	41.15	15.00	1.520	16.046
6	<i>Prunus</i> sp.	14.29	11.48	4.75	0.492	1.957
	Total	680.00			32.004	194.852

Al analizar la distribución de la densidad, el área basal y el volumen que se muestra en la figura 4, se tiene lo siguiente:

- El *Quercus* sp. ocupa el mayor porcentaje de densidad (81%), que corresponde a 549 árboles por hectárea.
- En cuanto al área basal, el *Quercus* sp. ocupa el 58% y el *Pinus oocarpa* el 28% ya que es la especie que presenta el mayor diámetro medio.

- En lo que corresponde a volumen, las diferencias son mínimas entre *Quercus* sp. y *Pinus oocarpa* ya que respecto al volumen total, la primera contiene el 45% y la segunda el 37%.



1= *Quercus* sp.; 2= *Alnus* sp.; 3= *Arbustus xalapensis*; 4= *P. oocarpa*; 5= *P. montezumae*; 6= *Prunus* sp.

Figura 4. Distribución de la densidad, área basal y volumen por hectárea para las especies del estrato mixto.

Este estrato presenta un área de 314.65 hectáreas, y es el más pequeño de los estratos en que se dividió la cobertura forestal de la microcuenca del río Tzulbá y presenta los valores de densidad, área basal y volumen total, que se establecen en el cuadro 8.

Cuadro 8. Dendrometría total por especie para el estrato mixto.

No.	Especie	Árboles	DAP medio (cm)	H media (m)	Área Basal (m ²)	Volumen (m ³)
1	<i>Quercus</i> sp.	172,608	19.17	7.36	5,884	2,9095.52
2	<i>Alnus</i> sp.	3,596	17.23	7.50	92	855.42
3	<i>Arbustus xalapensis</i>	15,283	23.52	5.57	608	1,762.81
4	<i>Pinus oocarpa</i> Schiede	17,081	50.95	23.18	2,853	23,931.65
5	<i>Pinus montezumae</i> Lambert	899	41.15	15.00	478	5,048.85
6	<i>Prunus</i> sp.	4,495	11.48	4.75	155	615.82
	Total	213,962			10,070.18	61,310.08

En la figura 5 y cuadro 19A, se presenta la distribución diamétrica de las principales especies del estrato, de donde se deduce lo siguiente:

- El *Quercus* sp. es el que predomina en las clases inferiores I, II y III que es donde se concentra la especie con mayor potencial de regeneración y con mayor capacidad de competir en condiciones adversas como lo es la alta densidad.
- El *Pinus oocarpa* domina en las clases diamétricas mayores, lo que nos permite establecer que el área es adecuada para la producción de esta especie siempre que se realicen los tratamientos silviculturales correspondientes.

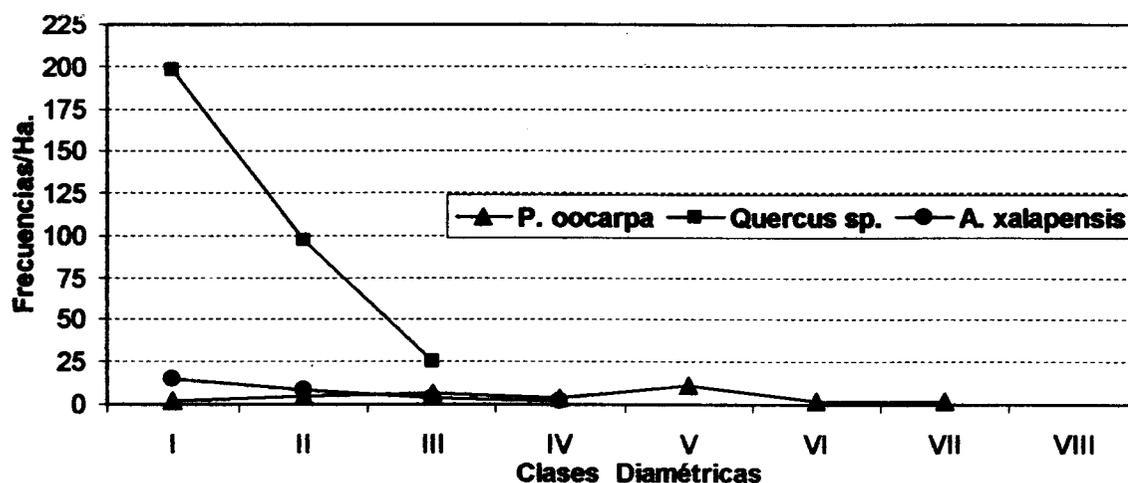


Figura 5. Distribución diamétrica de las principales especies por hectárea para el estrato mixto.

El *Quercus* sp. según el cuadro 9, muestra el 87% del total de regeneración natural, siendo nula la regeneración de *Pinus* sp. por tanto, este tipo de bosque también tiende a transformarse en latifoliado, con lo cual sólo existirá recurso energético pero no para la construcción.

Cuadro 9. Regeneración natural por hectárea para el estrato mixto.

Especie	Latizal alto	Latizal bajo	Brinzal	Total
<i>Quercus</i> sp.	250	391	375	1,016
<i>Prunus</i> sp.	25	25	0	50
<i>Litsea guatemalensis</i>	0	0	75	75
<i>Agnus</i> sp.	0	16	8	24
<i>Pinus</i> sp.	0	0	0	0
Total	275	432	458	1,165

De las variables cualitativas de este estrato que se presentan en el cuadro 10, es importante mencionar el estado fitosanitario de las especies que es el 100% sano, indicando con ello que el bosque no ha sufrido deterioro significativo alguno y de la forma del género *Pinus* sp. que presenta el 50% de árboles rectos y por tantos aprovechables para la producción de madera para la construcción.

Y también sobresale que las especies de latifoliadas en su mayoría, son árboles bifurcados y sinuosos, siendo únicamente aprovechables como recurso energético o como postes de pequeñas dimensiones.

Cuadro 10. Características cualitativas para el estrato mixto.

Característica	<i>Pinus</i> sp.	Latifoliadas
Forma (%)		
Recto	50	12.38
Inclinado	5	14.22
Sinuoso	45	38.07
Bifurcado	0	32.57
Otro	0	0
Estado fitosanitario (%)		
Sano	100	99.08
Atacado por gorgojo	0	0
Atacado por roya	0	0
Ocoteado o macheteado	0	0.46
parcialmente quemado	0	0.46
Otro	0	0

6.2.3 ESTRATO DE LATIFOLIADAS

Este estrato se ubica en la parte alta de la microcuenca y le corresponde el 40.03% (559.45 ha) de la cobertura forestal total, se caracteriza por tener una densidad alta y estar representado por *Quercus* sp. y *Alnus* sp.

Es importante mencionar que en este estrato se encuentra la mayoría de nacimientos de agua y éstos se localizan en las zonas donde predomina el *Alnus* sp., así también es el área que más se está deforestando porque las pendientes son ligeramente inclinadas y la profundidad del suelo facilita labores agrícolas.

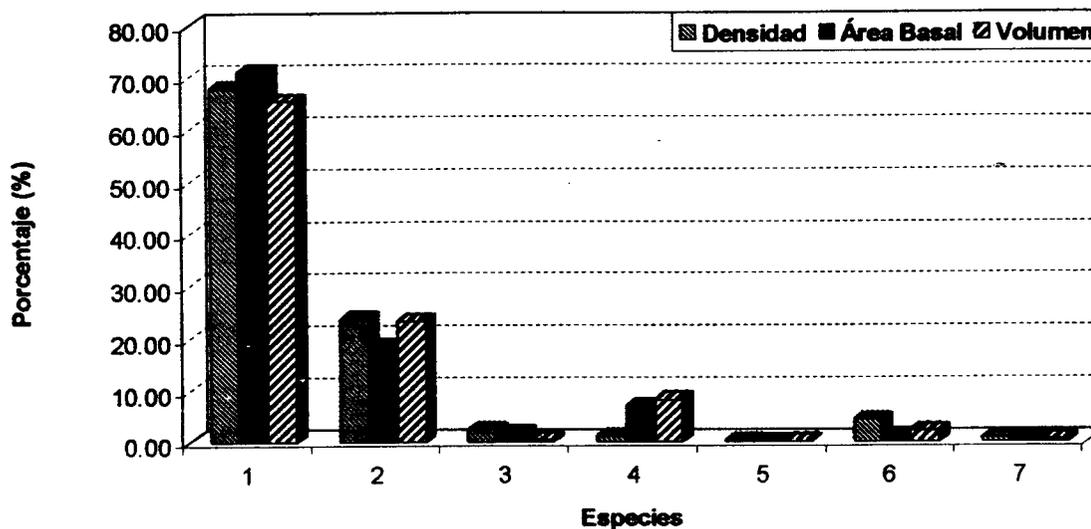
En base al cuadro 11, que presenta la información dendrométrica por hectárea se establece lo siguiente:

Presenta una densidad de 788 árboles, un área basal de 33.32 m² y un volumen de 240.6 m³ siendo el estrato que presenta mayor volumen de madera por hectárea.

En base a la densidad de árboles por hectárea (788), se determina que este estrato tiene una densidad muy alta, lo cual ocasiona una alta competencia entre árboles lo cual se confirma en las pequeñas dimensiones de la altura y diámetro.

Cuadro 11. Dendrometría de cada especie por hectárea para el estrato de latifoliadas

No.	Especie	Arboles/ha	DAP medio (cm)	H media (m)	Área Basal (m ² /ha)	Volumen (m ³ /ha)
1	<i>Quercus sp.</i>	535.00	20.02	7.42	23.682	157.672
2	<i>Alnus sp.</i>	186.67	20.83	8.08	6.180	55.765
3	<i>Arbustus xalapensis</i>	18.33	18.56	5.66	0.555	1.213
4	<i>Pinus oocarpa</i> Schiede	8.33	59.89	20.38	2.337	19.724
5	<i>Pinus montezumae</i> Lambert	1.67	16.80	8.00	0.034	0.066
6	<i>Litsea guatemalensis</i>	33.33	12.68	5.80	0.431	5.099
7	<i>Prunus sp.</i>	5.00	15.93	7.33	0.103	1.061
	Totales	788.33			33.322	240.601



1= *Quercus sp.* 2= *Alnus sp.* 3= *A. xalapensis*; 4= *P. oocarpa*; 5= *P. montezumae*; 6= *L. guatemalensis*; 7= *Prunus sp.*

Figura 6. Distribución de la densidad, área basal y volumen por hectárea para las especies del estrato de latifoliadas.

Según la distribución de densidad, área basal y volumen por hectárea expresado en porcentaje en la figura 6, la dominancia en estas tres variables la ejerce el *Quercus sp.* y en menor escala se encuentra *Alnus sp.*

En base al cuadro 12, el estrato de latifoliadas tiene una densidad total estimada de 441,033 árboles con área basal de 18,642 m² y un volumen de 134,604.13 m³.

Cuadro 12. Dendrometría total por especie para el estrato de latifoliadas.

No.	Especie	Árboles/ha	DAP medio (cm)	H media (m)	Área Basal (m ²)	Volumen (m ³)
1	<i>Quercus sp.</i>	299,305.75	20.02	7.42	13,248.70	88,209.87
2	<i>Alnus sp.</i>	104,430.67	20.83	8.08	3,457.62	31,197.96
3	<i>Arbustus xalapensis</i>	10,256.58	18.56	5.66	310.61	678.44
4	<i>Pinus oocarpa</i> Schiede	4,662.08	59.89	20.38	1,307.17	11,034.80
5	<i>Pinus montezumae</i> Lambert	932.42	16.80	8.00	19.22	36.99
6	<i>Litsea guatemalensis</i>	18,648.33	12.68	5.80	241.18	2,852.75
7	<i>Prunus sp.</i>	2,797.25	15.93	7.33	57.50	593.33
	Totales	441,033.08			18,641.99	134,604.13

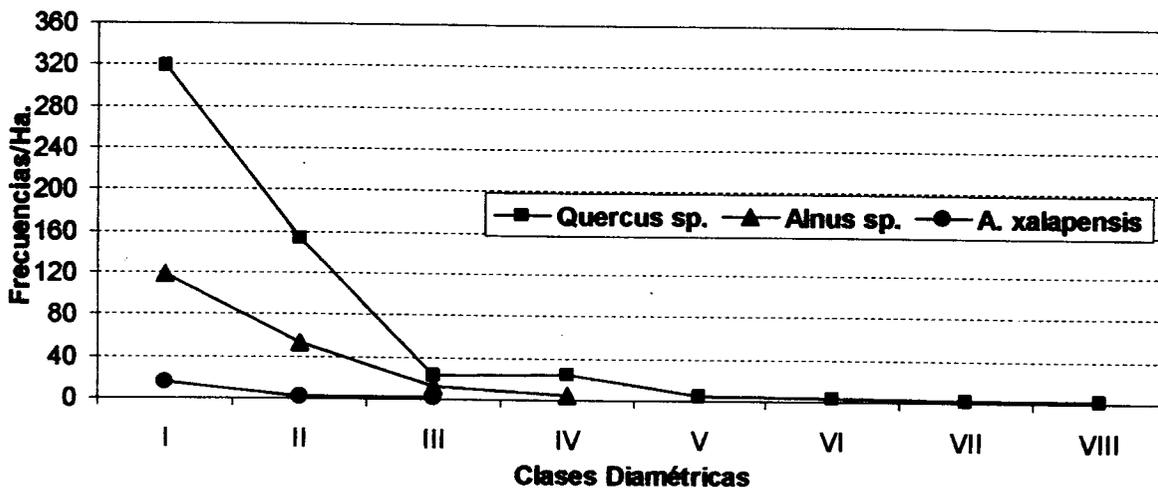


Figura 7. Distribución diamétrica de las principales especies por hectárea para el estrato de latifoliadas.

La distribución diamétrica de las principales especies del estrato latifoliado, se presentan en la figura 7 y cuadro 20A, en donde se confirma la dominancia del *Quercus sp.* en las 8 clases diamétricas encontradas.

También es importante resaltar la frecuencia regular del *Alnus sp.* en las primeras dos clases diámétricas, porque ayuda a confirmar la regeneración de esta especie en áreas donde el *Quercus sp.* ha sido eliminado. Además, es una especie adecuada para la rehabilitación de áreas sin cobertura forestal por la diversidad de propósitos que tiene la misma: protección de fuentes de

agua, recurso energético y utilidad para la fabricación de muebles, además de ser una especie de rápido crecimiento.

Cuadro 13. Regeneración natural por hectárea para el estrato de latifoliadas.

Especie	Latizal alto	Latizal bajo	Brinzal	Total
<i>Quercus sp.</i>	550	650	916	2,116
<i>Arbustus xalapensis</i>	242	58	58	358
<i>Litsea guatemalensis</i>	17	0	25	42
<i>Alnus sp.</i>	233	150	316	699
<i>Pinus sp.</i>	0	58	8	66
Total	1,042	916	1,323	3,281

En cuanto a la regeneración natural del área, como se define en el cuadro 13, el *Quercus sp.* y el *Alnus sp.* son las especies que mejor se regeneran, pero también se encuentra regeneración de *Pinus sp.* lo cual indica que para rehabilitación de áreas con una capacidad de uso de producción forestal, se puede utilizar el *Pinus oocarpa* ya que según el cuadro 11, se encuentra esta especie en menor cantidad pero con diámetros adecuados para el aprovechamiento.

Cuadro 14. Características cualitativas para el estrato de latifoliadas.

Característica	<i>Pinus sp.</i>	Latifoliadas
Forma (%)		
Recto	50	17.56
Inclinado	17	18.41
Sinuoso	0	34.9
Bifurcado	33	29.12
Otro	0	0
Estado fitosanitario (%)		
Sano	80	90.15
Atacado por gorgojo	0	0.21
Atacado por roya	0	2.14
Ocoteado o macheteado	20	2.14
Parcialmente quemado	0	2.35
Otro	0	3

En el cuadro 14, se presentan las características de forma y estado fitosanitario del estrato, siendo importante resaltar que el 90% de los árboles que corresponden a la clase de latifoliadas, son sanos y que el 18% son rectos según su forma.

6.2.4 ANÁLISIS GLOBAL DEL BOSQUE

6.2.4.1 Antecedentes

La microcuenca del río Tzulbá posee una cobertura forestal de 1,397.62 ha que corresponde casi al 50% del área total de la microcuenca. En la microcuenca, se ubican 7 comunidades y como en la mayoría de comunidades de Guatemala, el nivel de vida de la mayoría de los habitantes es de extrema pobreza, esto conlleva a que practiquen una agricultura de subsistencia en terrenos sin ninguna aptitud para esta actividad.

En la microcuenca, existe el recurso bosque que está siendo subutilizado porque no existe un plan de manejo que permita un aprovechamiento continuo y sostenido, sino que al contrario, se realiza un aprovechamiento "operación hormiga" que ocasiona un deterioro progresivo del bosque porque se extraen los mejores individuos y al resto que queda no se le aplican tratamientos silviculturales por tanto crecen sinuosos, bifurcados o de diámetros delgados.

También el crecimiento demográfico de las comunidades y la poca capacidad productiva de los suelos, genera la expansión agrícola en la zona, produciendo con ello pérdida de la masa boscosa, y como efectos colaterales la degradación del suelo, flora, fauna, pérdida de fuentes de agua y disminución de caudales.

6.2.4.2 Dendrometría total del bosque

Los datos que se presentan en el cuadro 15, corresponden a los tres estratos que componen la cubierta forestal total. Es importante resaltar el número total de 866,148 árboles, con un área basal de 40,065.20 m² y un volumen total de 278,043.03 m³ de madera.

Cuadro 15. Datos totales del área con cubierta forestal.

Estrato	Cobertura forestal (ha)	Árboles/ha	Árboles total	Área Basal (m ² /ha)	AB total (m ²)	Volumen (m ³ /ha)	Volumen total (m ³)
Coníferas	523.52	403.33	211,153	21.686	11,353.03	156.878	82,128.82
Mixto	314.65	680.00	213,962	32.004	10,070.18	194.852	61,310.08
Latifoliadas	559.45	788.33	441,033	33.322	18,641.99	240.601	134,604.13
Totales	1,397.62		866,148		40,065.20		278,043.03

El bosque en su conjunto es un bosque maduro, en donde predomina en densidad, área basal y volumen el *Quercus* sp. ya que se encuentra en los tres estratos analizados.

VII. CONCLUSIONES

- La microcuenca del río Tzulbá tiene una cobertura forestal de 1,397.62 hectáreas en donde se puede identificar tres estratos en base al volumen de madera: coníferas, mixto y latifoliado.
- En la microcuenca, se reportaron siete especies arbóreas, de las cuales cinco son de interés comercial a nivel nacional: *Pinus oocarpa*, *Pinus montezumae*, *Alnus* sp. para la industria maderera; *Quercus* sp. y el grupo anterior como recurso energético; y *Litsea guatemalensis* como especia culinaria y para la medicina natural.
- El estrato de coníferas tiene una densidad de 403 árboles/ha., con un volumen total para el estrato de 82,128.82 m³ de madera, correspondiendo el 70% a las especies de coníferas.
- El estrato mixto presenta una dendrometría por hectárea de 680 árboles, con un volumen de 194.85 m³ de madera, donde el *Quercus* sp. presenta una mayor distribución en densidad, área basal y volumen.
- El estrato de latifoliadas presenta una alta densidad de 788 árboles/ha. con un volumen total para el estrato de 134,604.13 m³ de madera, donde el *Quercus* sp. aporta el 65% y presenta mayor distribución en todas las clases diamétricas analizadas.
- La regeneración natural para todos los estratos está dominada por la especie *Quercus* sp. debido a que es tolerante a la sombra y a la densidad alta, pero en zonas limpias, las especies de coníferas y el *Alnus* sp. se desarrollan adecuadamente.
- El bosque de la microcuenca según las características evaluadas en los tres estratos, está sano y las especies para la industria maderera en un 75% presentan un fuste recto.

VIII. RECOMENDACIONES

- Se considera importante que todas las instituciones involucradas en el desarrollo de las comunidades de la microcuenca del río Tzulbá, participen en la concientización de los pobladores para promover en ellos una cultura forestal y de esta forma, crear otra alternativa de ingreso económico que con el transcurrir del tiempo, evitará la práctica de la agricultura de subsistencia.
- Propiciar reforestaciones de *Pinus oocarpa* y *Alnus* sp., así también introducir especies de rápido crecimiento o especies frutales en la modalidad de Sistemas Agroforestales para rehabilitar las zonas donde no existe cobertura forestal, puesto que la agricultura limpia está ocupando el 50% del área total de la microcuenca.
- Fomentar investigaciones en la relación *Alnus* sp. y nacimientos de agua, para realizar un manejo adecuado de esta especie y con ello, contribuir a mejorar la calidad y cantidad de agua para las poblaciones de la microcuenca del río Tzulbá.
- Promover capacitaciones en prevención de los incendios forestales, reducción gradual de densidades para permitir la regeneración natural de *Pinus* sp., valor económico de las especies existentes, beneficios del Programa de Incentivos Forestales –PINFOR– y divulgación de los documentos elaborados en el área.
- Establecer lineamientos de manejo forestal tomando en cuenta los resultados del presente trabajo, siempre que se complementen con el estudio de capacidad de uso y el estudio de recarga hídrica, para lograr la sostenibilidad de los recursos existentes en la microcuenca del río Tzulbá.

IX. BIBLIOGRAFÍA

1. CATIE (Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza, CR). 2002. Inventarios forestales para bosques latifoliados en América Central. Eds. L Orozco; C Brumér. Turrialba, Costa Rica. 264 p.
2. Cruz, C. et al. 1990. Inventario forestal del bosque municipal de Tecpán, Guatemala: práctica del curso inventarios forestales. Guatemala, USAC, Facultad de Agronomía. 46 p.
3. Daniel, TW. 1982. Principios de silvicultura. México, McGraw-Hill. p. 350-400.
4. FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación, IT). 1971. Manual de inventarios forestales. Roma, Italia. 135 p.
5. INAB (Instituto Nacional de Bosques, GT). 1999. Manual técnico forestal. Guatemala. 110 p.
6. Orozco y Orozco, E. 1992. Inventario forestal y propuesta de manejo del bosque comunal de la aldea La Brea, Quesada, Jutiapa. Tesis Ing. Agr. Guatemala, USAC. 96 p.
7. Palacios Martínez, M. 1996. Evaluación del recurso forestal y descripción general de la flora de la cabecera municipal de San José Poaquil, Chimaltenango. Guatemala, USAC, Centro Universitario del Noroccidente. 70 p.
8. Saravia, J. 1990. Aplicación del muestreo simple aleatorio a inventarios forestales. Guatemala, USAC, Facultad de Agronomía. 15 p.



Vo.Bo Rolando Barrios.

X. ANEXOS

PROPIEDAD DE LA UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
Biblioteca Central

Cuadro 18A. Distribución diamétrica por especie y hectárea para el estrato de coníferas.

No.	Clases diamétricas	<i>Pinus oocarpa</i>	<i>Pinus montezumae</i>	<i>Quercus sp.</i>	<i>Arbustus xalapensis</i>
I	10-19.99	53	0	190	2
II	20-29.99	22	2	83	0
III	30-39.99	23	3	8	2
IV	40-49.99	18	12	5	
V	50-59.99	15	3	0	
VI	60-69.99			7	

Cuadro 19A. Distribución diamétrica por especie y hectárea para el estrato mixto.

No.	C. diamétricas	<i>P. oocarpa</i>	<i>Quercus</i>	<i>A. xalapensis</i>	<i>P. montezumae</i>	<i>Alnus</i>	<i>Prunus sp.</i>
I	10-19.99	2	198	15	0	5	8
II	20-29.99	5	97	8	0	2	
III	30-39.99	7	25	3	0		
IV	40-49.99	3		2	0		
V	50-59.99	12			0		
VI	60-69.99	2			0		
VII	70-79.99	2			0		
VIII	80-89.99				2		

Cuadro 20A. Distribución diamétrica por especie y hectárea para el estrato de latifoliadas.

No.	C. diamétricas	<i>Quercus</i>	<i>Alnus</i>	<i>A. xalapensis</i>	<i>P. oocarpa</i>	<i>L. guatemalensis</i>	<i>Prunus</i>	<i>P. montezumae</i>
I	10-19.99	318	118	15	0	33	5	2
II	20-29.99	153	53	2	2			
III	30-39.99	23	12	2	0			
IV	40-49.99	25	5		3			
V	50-59.99	5			0			
VI	60-69.99	3			0			
VII	70-79.99	2			2			
VIII	80-89.99	2						



UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE AGRONOMÍA -FAUSAC-
INSTITUTO DE INVESTIGACIONES AGRONÓMICAS
Y AMBIENTALES -IIA-



REF. Sem. 2/2006

EI DOCUMENTO TITULADO:

"IDENTIFICACION DE AREAS DE
RECARGA HIDRICA NATURAL EN LA
MICROCUEENCA DEL RIO TZULBA,
JOYABAJ, EL QUICHE".

DESARROLLADA POR EL ESTUDIANTE:

SALVADOR GARCIA BENITEZ

CARNE:

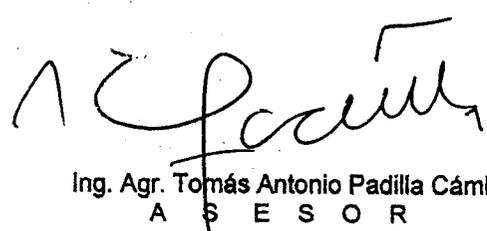
9910581

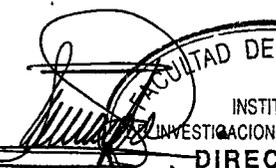
HA SIDO EVALUADO POR LOS PROFESIONALES:

Ing. Agr. Guillermo Méndez Beteta
Ing. Agr. Marvin Roberto Salguero Barahona
Ing. Agr. Tomás Antonio Padilla Cámara

Los Asesores y la Dirección del Instituto de Investigaciones Agronómicas de la Facultad de Agronomía, hace constar que ha cumplido con las Normas Universitarias y el Reglamento de este Instituto. En tal sentido pase a la Dirección del Área Integrada para lo procedente.


Ing. Agr. Guillermo Edilberto Méndez Beteta
A S E S O R


Ing. Agr. Tomás Antonio Padilla Cámara
A S E S O R


FACULTAD DE AGRONOMIA
INSTITUTO
DE INVESTIGACIONES AGRONOMICAS
DIRECCION
Dr. David Monterroso Salvatierra
DIRECTOR DEL INSTITUTO DE AGRONOMIA
UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS

DMS/nm
c.c. Archivo



UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE AGRONOMIA
AREA INTEGRADA



Guatemala, 16 de Febrero de 2006

Ref.: Trabajo de Graduación 028-2006

INVESTIGACIÓN TITULADA:

"IDENTIFICACIÓN DE AREAS DE
RECARGA HÍDRICA NATURAL EN LA
MICROCUENCA DEL RIO TZULBA,
JOYABAJ, EL QUICHÉ".

DESARROLLADA POR EL ESTUDIANTE:

SALVADOR GARCIA BENITEZ

CARNÉ No.:

9910581

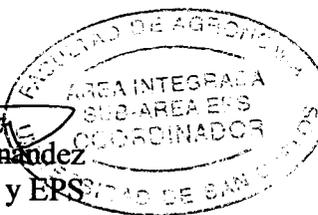
HA SIDO EVALUADO POR LOS PROFESIONALES:

Ing. Agr. Guillermo Méndez Beteta
Ing. Agr. Marvin Roberto Salguero Barahona
Ing. Agr. Tomás Antonio Padilla Cámara

Los Asesores de Investigación, Docente Asesor de EPSA y la Coordinación del Área Integrada, hacen constar que ha cumplido con las normas universitarias y Reglamento de la Facultad de Agronomía. En tal sentido, pase a Decanatura.

"ID Y ENSEÑAD A TODOS"

Ing. Agr. Marco Vinicio Fernández
Coordinador Área Integrada y EPSA



c.c. Archivo
Control Académico
MVF/badp

SAI.EPSA.106.05



FACULTAD DE AGRONOMÍA
UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



No. 002-2006

Investigación Titulada:	IDENTIFICACION DE AREAS DE RECARGA HIDRICA NATURAL EN LA MICROCUENCA DEL RIO TZULBA, JOYABAJ, EL QUICHE.
Estudiante:	SALVADOR GARCIA BENITEZ

"IMPRIMASE"


Dr. Ariel Abderramán Ortiz López
DECANO

