


UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA

FACULTAD DE AGRONOMÍA

INSTITUTO DE INVESTIGACIONES AGRONÓMICAS

The seal of the University of San Carlos of Guatemala is a circular emblem. It features a central shield with a blue background. Inside the shield, there is a golden crown at the top, a golden castle on the left, a golden lion on the right, and a central figure of a man on a white horse. The shield is flanked by two golden columns. The entire shield is set against a light blue background. The seal is surrounded by a circular border containing the Latin text "CETERAS DEBIS CONSPICUA CAROLINA ACADEMIA COACTEMALENSIS INTER".

**DETERMINACIÓN DE LAS ÁREAS PRINCIPALES DE RECARGA
HÍDRICA NATURAL EN LA MICROCUENCA DEL RÍO SIBACÁ,
CHINIQUE, QUICHÉ.**

JUAN PABLO NORIEGA ARRIAGA

GUATEMALA, OCTUBRE DE 2005

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE AGRONOMÍA
INSTITUTO DE INVESTIGACIONES AGRONÓMICAS

DETERMINACIÓN DE LAS ÁREAS PRINCIPALES DE RECARGA HÍDRICA NATURAL EN LA
MICROCUENCA DEL RÍO SIBACÁ, CHINIQUE, QUICHÉ

TESIS

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

POR

JUAN PABLO NORIEGA ARRIAGA

EN EL ACTO DE INVESTIDURA COMO

INGENIERO AGRÓNOMO

EN

RECURSOS NATURALES RENOVABLES

EN EL GRADO ACADÉMICO DE

LICENCIADO

GUATEMALA, OCTUBRE DE 2005

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA

FACULTAD DE AGRONOMÍA

RECTOR

M.V. Luís Alfonso Leal Monterroso

JUNTA DIRECTIVA DE LA FACULTAD DE AGRONOMÍA

DECANO:	Ing. Agr. Ariel Abderramán Ortiz López
VOCAL PRIMERO:	Ing. Agr. Alfredo Itzep Manuel
VOCAL SEGUNDO:	Ing. Agr. Walter Arnoldo Reyes Sanabria
VOCAL TERCERO:	Ing. Agr. Danilo Ernesto Dardón Avila
VOCAL CUARTO:	M.E.P. Elmer Antonio Alvarez Castillo
VOCAL QUINTO:	P.M.P Miriam Eugenia Espinoza Padilla
SECRETARIO:	Ing. Agr. Pedro Peláez Reyes

Guatemala, Octubre de 2005.

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

Señores presentes:

De conforme con las normas establecidas en la Ley Orgánica de la Universidad de San Carlos de Guatemala, tengo el honor de someter a su consideración el trabajo de tesis titulado:

**DETERMINACIÓN DE LAS ÁREAS PRINCIPALES DE RECARGA HÍDRICA NATURAL EN LA
MICROCUENCA DEL RÍO SIBACÁ, CHINIQUE, QUICHÉ.**

Presentándolo como requisito previo para optar al título de Ingeniero Agrónomo en Recursos Naturales Renovables, en el grado académico de Licenciado.

Esperando merezca su aprobación, me suscribo de ustedes,

Atentamente,

Juan Pablo Noriega Arriaga

ACTO QUE DEDICO

A:

DIOS: por dejarme unir mis pasos a los suyos y haber hecho por mí, lo que yo solo no hubiera podido nunca...

MIS PADRES: Raúl Mariano Noriega De León y Rosa Alva Arriaga de Noriega, por todo su amor, apoyo incondicional y ejemplo de lucha y sencillez.

MI HIJA: Paola Nohemí, lucecita que vino a alumbrar nuestra vidas.

MI ESPOSA: Astrid Betzaida, por brindarme apoyo, amor y comprensión.

MI HERMANA: Lucía de los Ángeles, por su ayuda y cariño.

MIS ABUELITOS: Juan Noriega, Rosendo Arriaga, Rosa Lilia de Noriega y Rosalina de Arriaga, por brindarme sabios consejos, amor y ejemplo de esfuerzo y humildad.

MIS TIOS: por todo su apoyo y cariño.

MIS PRIMOS: que sea ejemplo de superación.

MIS AMIGOS: por brindarme su alegría y amistad sincera.

TESIS QUE DEDICO

A:

GUATEMALA: tierra linda de imponentes volcanes, hermosos paisajes y gente trabajadora y sencilla.

SANTA LUCÍA UTATLAN: lugar que me vio nacer, tierra de hombres con el don de hombres.

MI ASESOR: Ing. Agr. Eugenio Oliverio Orozco y Orozco, por su apoyo al realizar este trabajo.

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA: por abrirme las puertas a la educación superior.

FACULTAD DE AGRONOMÍA: por dejarme ser parte de ella y contribuir con mi formación.

MIS CATEDRÁTICOS: por sus sabias enseñanzas.

ESCUELA NACIONAL CENTRAL DE AGRICULTURA: por ayudarme a formar mi carácter.

AGRADECIMIENTOS ESPECIALES

A:

PROYECTO DE INVESTIGACIÓN FORESTAL Y EL PROYECTO DE CONSERVACIÓN DE ECOSISTEMAS FORESTALES ESTRATÉGICOS DEL INAB: por el apoyo técnico y financiero brindado en la elaboración de este trabajo de investigación.

PERSONAL SUB REGIÓN VII-1 -QUICHÉ-: por su apoyo y amistad brindada.

ING. AGR. GERONIMO ESTUARDO PÉREZ IRUNGARAY: por su apoyo, amistad y valiosos aportes a este trabajo.

TODAS AQUELLAS PERSONAS QUE CONTRIBUYERON CON LA ELABORACIÓN DE ESTE TRABAJO

ÍNDICE

	Página
ÍNDICE DE FIGURAS.....	iv
ÍNDICE DE CUADROS.....	v
RESUMEN.....	vi
1. INTRODUCCIÓN.....	1
2. DEFINICIÓN DEL PROBLEMA.....	2
3. MARCO TEÓRICO.....	3
3.1 MARCO CONCEPTUAL.....	3
3.1.1 Conceptos Básicos	3
A) Ciclo Hidrológico.....	3
B) Recarga Hídrica Natural.....	3
C) Acuífero.....	4
D) Manantiales.....	4
E) Cuenca.....	5
3.1.2 Factores que Afectan la Cantidad de Agua que puede Recargar un Acuífero	5
A) Clima.....	5
a) <i>Precipitación</i>	5
b) <i>Precipitación efectiva</i>	6
c) <i>Evapotranspiración</i>	7
d) <i>Factores que influyen en la evapotranspiración</i>	9
B) Suelo.....	9
a) <i>Textura</i>	9
b) <i>Densidad aparente</i>	10
c) <i>Agua en el suelo</i>	10
d) <i>Capacidad de infiltración</i>	11
C) Topografía.....	11
D) Estratigrafía Geológica.....	11
E) Cobertura Vegetal.....	12
a) <i>Profundidad radicular</i>	12
b) <i>Intercepción vegetal</i>	12
3.2 MARCO REFERENCIAL.....	13
3.2.1 Características Biofísicas	13
A) Ubicación.....	13
B) Superficie.....	13
C) Altimetría.....	13
D) Hidrografía.....	13
E) Clima.....	16
F) Geología.....	16
a) <i>Rocas volcánicas sin dividir del terciario</i>	16
b) <i>Rocas metamórficas sin dividir del paleozoico</i>	17
G) Capacidad de Uso de la Tierra.....	17
H) Suelos.....	19
a) <i>Suelos Civijá</i>	19
b) <i>Suelos Sacapulas</i>	19
c) <i>Suelos Sinaché</i>	19

3.2.2 Características Socioeconómicas	21
A) Población.....	21
B) Accesibilidad.....	21
4. OBJETIVOS	22
4.1 OBJETIVO GENERAL	22
4.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	22
5. METODOLOGÍA	23
5.1 CUANTIFICACIÓN DE LA RECARGA HÍDRICA NATURAL DE LA MICROCUENCA DEL RÍO SIBACÁ	23
5.1.1 Fase de Gabinete Inicial	23
A) Recopilación de Información Básica.....	23
B) Recopilación de Información Climática.....	23
C) Identificación y Mapeo de Áreas de Recarga Hídrica.....	25
5.1.2 Fase de Campo	25
A) Pruebas de Infiltración.....	25
B) Determinación de Densidad Aparente, Textura y Constantes de Humedad del Suelo.....	26
C) Localización y Aforo de Manantiales.....	26
D) Aforos Diferenciales.....	27
5.1.3 Fase de Gabinete Final	29
A) Determinación de la Evapotranspiración Potencial y Real.....	29
B) Determinación de Precipitación Media.....	31
C) Determinación de Precipitación Efectiva.....	32
D) Cálculo de la Recarga Hídrica Natural.....	34
5.2 DETERMINACIÓN DE LAS ZONAS DE MAYOR RECARGA HÍDRICA NATURAL DE LA MICROCUENCA DEL RÍO SIBACÁ	34
5.3 REALIZACIÓN DEL BALANCE HÍDRICO DE SUELOS DE LA MICROCUENCA DEL RÍO SIBACÁ	35
5.4 ELABORACIÓN DEL MAPA DE RECARGA HÍDRICA DE LA MICROCUENCA DEL RÍO SIBACÁ	35
6. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	36
6.1 CUANTIFICACIÓN DE LA RECARGA HÍDRICA NATURAL DE LA MICROCUENCA DEL RÍO SIBACÁ	36
6.1.1 Información Climática	36
6.1.2 Unidades de Mapeo	36
6.1.3 Cálculo de la Infiltración Básica	38
6.1.4 Densidad Aparente, Textura y Constantes de Humedad	38
6.1.5 Aforo de Manantiales y Aforos Diferenciales	39
6.1.6 Evapotranspiración Potencial	40
6.1.7 Precipitación Media	41
6.1.8 Cálculo de la Recarga Hídrica Natural	41
6.2 DETERMINACIÓN DE LAS ZONAS DE MAYOR RECARGA HÍDRICA NATURAL DE LA MICROCUENCA DEL RÍO SIBACÁ	42
6.3 BALANCE HIDRICO DE SUELOS	43
6.4 MAPA DE RECARGA HÍDRICA DE LA MICROCUENCA DEL RÍO SIBACÁ	44
7. CONCLUSIONES	46
8. RECOMENDACIONES	47

Página

9. BIBLIOGRAFÍA.....	48
10. ANEXOS.....	50

ÍNDICE DE FIGURAS

	Página
FIGURA 1. Mapa de ubicación geográfica de la microcuenca del río Sibacá.....	14
FIGURA 2. Mapa de centros poblados y vías de acceso de microcuenca del río Sibacá.....	15
FIGURA 3. Mapa de unidades geológicas de la microcuenca del río Sibacá.....	18
FIGURA 4. Mapa de Series de Suelos de la microcuenca del río Sibacá.....	20
FIGURA 5. Mapa de cobertura vegetal de la microcuenca del río Sibacá.....	24
FIGURA 6. Mapa de ubicación de afloros en la microcuenca del río Sibacá.....	28
FIGURA 7. Mapa de unidades de mapeo y pruebas de infiltración de la microcuenca del río Sibacá.....	37
FIGURA 8. Mapa de clasificación de la recarga hídrica natural de la microcuenca del río Sibacá.....	45

ÍNDICE DE CUADROS

		Página
CUADRO 1.	Ubicación de las estaciones meteorológicas de la microcuenca del río Sibacá.....	23
CUADRO 2.	Unidades de muestreo de la microcuenca del río Sibacá.....	25
CUADRO 3.	Valores de Infiltración por Efecto de la Pendiente (Kp).....	33
CUADRO 4.	Valores de Infiltración por Efecto de la Cobertura Vegetal (Kv).....	34
CUADRO 5.	Clasificación de las zonas de mayor recarga hídrica natural por medio de la lámina de recarga anual.....	35
CUADRO 6.	Precipitación pluvial mensual (mm) de las estaciones de la microcuenca del río Sibacá.....	36
CUADRO 7.	Temperatura máxima, media y mínima (°C) promedio mensual de las estaciones de la microcuenca del río Sibacá.....	36
CUADRO 8.	Infiltración básica de las unidades de muestreo de la microcuenca del río Sibacá.....	38
CUADRO 9.	Constantes de humedad, densidad aparente y textura de las unidades de mapeo de la microcuenca del río Sibacá.....	39
CUADRO 10.	Ubicación y caudal de manantiales aforados en la microcuenca del río Sibacá.....	40
CUADRO 11.	Evapotranspiración potencial (mm) de la estación Chinique, para la parte baja de la microcuenca del río Sibacá.....	40
CUADRO 12.	Evapotranspiración potencial (mm) de la estación Tapesquillo, para la parte alta y media de la microcuenca del río Sibacá.....	41
CUADRO 13.	Recarga hídrica natural de las unidades de mapeo de la microcuenca del río Sibacá.....	42
CUADRO 14.	Clasificación de las unidades de mapeo de recarga hídrica natural de la microcuenca del río Sibacá.....	42
CUADRO 15.	Balance hídrico de suelos de la microcuenca del río Sibacá.....	43

DETERMINACIÓN DE LAS ÁREAS PRINCIPALES DE RECARGA HÍDRICA NATURAL EN LA
MICROCUENCA DEL RÍO SIBACÁ, CHINIQUE, QUICHÉ.

DETERMINATION OF THE MAIN AREAS OF NATURAL GROUNDWATER RECHARGE IN THE
SIBACA BASIN, CHINIQUE, QUICHE.

RESUMEN

El agua es reconocida como uno de los recursos naturales renovables que más conflictos de uso genera. Dichos conflictos se acentúan en tierras con aptitud preferentemente forestal, por ejemplo en áreas con altas pendientes, en cabeceras de cuenca, sitios próximos a nacimientos, riberas de ríos y otros cuerpos de agua; donde la cobertura forestal es un elemento crítico para la regulación del ciclo hidrológico.

La microcuenca del río Sibacá es parte de la cabecera de la cuenca del río Motagua, y es el lugar donde varias comunidades obtienen el agua para su consumo, la autorización de licencias de aprovechamiento forestal por parte del Instituto Nacional de Bosques, causa malestar entre los pobladores pues ven amenazados sus recursos hídricos en cuanto al abastecimiento y calidad.

La presente investigación pretende contribuir a la implementación de una metodología de priorización de zonas de recarga hídrica natural, con ella se pretende garantizar a los usuarios del bosque y el agua la sostenibilidad de sus recursos, principalmente la disponibilidad del agua.

Para la determinación de las principales áreas de recarga hídrica natural de la microcuenca del río Sibacá se necesitó recopilar información climática, para lo cual se estableció una estación meteorológica tipo "C" en la parte alta de la microcuenca.

Mediante el uso de un sistema de información geográfica se sobrepusieron los mapas temáticos de series de suelos, unidades geológicas y cobertura vegetal, y se definieron ocho unidades de mapeo, en cada una de las unidades de mapeo se realizaron las siguientes actividades a) análisis de las características físicas del suelo, b) constantes de humedad, c) pruebas de infiltración, d) cálculo de la precipitación efectiva mediante el método de propuesto

por Schosinsky y Losilla (13), y e) balance hídrico de suelos. También se aforaron los principales manantiales y el cauce principal del río en distintos puntos y en distintas fechas para conocer sus respectivos caudales.

Se identificó que en la cuenca existe una recarga de $16,194,945.01 \text{ m}^3/\text{año}$, ocurriendo la misma en la totalidad de la cuenca, las unidades definidas como de muy alta recarga aportan el 56% del total de la recarga hídrica natural. No se identificaron unidades de mapeo de baja recarga, pues la microcuenca posee un alto potencial y facilidad para recargar el agua de la lluvia.

Se considera que gran parte de la recarga no llega hasta el acuífero profundo, debido al tipo de materiales geológicos no fracturados presentes en la microcuenca, haciendo que el agua se convierta en una corriente sub superficial que alimenta al caudal del río, además recibe corrientes de áreas adyacentes debido a la posición dentro del sistema regional.

La microcuenca del río Sibacá y principalmente las áreas de muy alta recarga hídrica definidas en este estudio, deben ser objeto de manejo especial, para conservar o mejorar su capacidad para recargar agua al acuífero, es decir, las áreas cubiertas con bosque deben ser manejadas sosteniblemente y en las áreas de cultivos se debe de promover prácticas de conservación de suelos que contribuyan con el proceso de captación y regulación hídrica.

1. INTRODUCCIÓN

Contradictoriamente a lo que puede parecer a simple vista, el agua es un recurso finito. Existe una cantidad fija de ella en el planeta, la cual no puede aumentar ni disminuir; la mayor parte de ella (97.5 %) es agua salada y es de escasa utilidad directa para la población. Otro 1.76 % se encuentra atrapada en el permagélido, los casquetes de hielo y los glaciares. Casi todo el resto del agua es subterránea quedando menos de 0.4 % en los ríos, lagos, depósitos, suelo, pantanos, la atmósfera y los organismos vivos (7).

En Guatemala, a pesar de contar con suficientes recursos hídricos, en gran parte de buena calidad, su distribución geográfica y temporal no es uniforme, ni concuerda con las áreas donde se concentra la población y las actividades productivas. Además, la realidad socio económica y política, provee un complejo escenario para la planificación de los recursos naturales en general. La extrema pobreza crea una sobredependencia hacia los recursos naturales, muy característica del área rural, lo cual genera una severa presión sobre los mismos, desencadenando una explotación irracional de los bosques creando conflictos principalmente en el manejo del agua entre estos dos actores, usuarios del bosque y usuarios del agua.

Comparativamente es muy poca el agua que dispone la población para su consumo, y día a día hay más presión sobre ella y los recursos relacionados con la cantidad y calidad de la misma. Además, es el recurso natural que más conflictos de uso genera. Este panorama es el que se vive dentro de la microcuenca del río Sibacá. El área cuenta con muchos manantiales los que proveen agua a varias comunidades de los municipios de Santa Cruz del Quiché, Chinique y San Andrés Sajcabajá, todos en el departamento de Quiché. Últimamente, la autorización de licencias forestales dentro del área ha causado malestar entre los usuarios del agua, ya que han disminuido los caudales de los manantiales. Debido a ello, se hace necesario realizar el presente estudio para determinar las principales áreas de recarga hídrica potencial dentro de la cuenca y generar un mapa de dichas áreas de recarga. Con ello, los técnicos podrán tener un parámetro científico para recomendar aprovechamientos forestales idóneos, buscando con esto asegurar la producción hídrica, el mantenimiento de la calidad del agua y en general un manejo racional de los recursos hídricos de la microcuenca.

2. DEFINICIÓN DEL PROBLEMA

El agua es reconocida como uno de los recursos naturales renovables que más conflictos de uso genera. Dichos conflictos se acentúan en tierras con aptitud preferentemente forestal, por ejemplo en áreas con altas pendientes, en cabeceras de cuenca, sitios próximos a nacimientos, riberas de ríos y otros cuerpos de agua; donde la cobertura forestal es un elemento crítico para la regulación del ciclo hidrológico. Esto incluye, mantener la productividad del suelo, garantizar una alta calidad de agua, la sostenibilidad del caudal a lo largo del año y la reducción de la ocurrencia de desastres naturales. En síntesis, los recursos suelo y agua son directamente afectados, en diferentes intensidades, de acuerdo al tipo de manejo forestal.

En el municipio de Chinique, los aprovechamientos forestales empezaron a causar impacto y preocupación entre sus pobladores ya que ven dichos aprovechamientos como una amenaza en cuanto al abastecimiento y calidad del agua que consumen. Además, no se cuentan con instrumentos y directrices que garanticen a los pobladores la sostenibilidad de sus recursos, principalmente en la regulación del ciclo hidrológico.

La microcuenca del río Sibacá es parte de la cabecera de la cuenca del río Motagua, y es el lugar de donde la cabecera de Chinique y varias comunidades obtienen el vital líquido, por lo que la autorización de aprovechamientos dentro de esta área, causa malestar. Haciendo de vital importancia contar con información básica respecto a las zonas de mayor recarga dentro de la cuenca, para poder regular las actividades forestales como lo manda la ley forestal en su artículo 47.

La investigación pretende implementar una metodología para la priorización de zonas de recarga hídrica natural. La validación de dicha metodología, se está realizando en varias áreas piloto, una de ellas es la microcuenca del río Sibacá, con ella se conseguirá garantizar a los usuarios del bosque y el agua de las comunidades de Sibacá, Aguilix, Pachoj y Paquinac, Tapesquillo, Cordoncillo y Choaxán, la sostenibilidad de sus recursos naturales, principalmente la disponibilidad del recurso agua, esto se logrará mediante la implementación de técnicas silvícolas apropiadas y la protección especial de las principales zonas de recarga hídrica natural que se identifiquen.

3. MARCO TEÓRICO

3.1 MARCO CONCEPTUAL

3.1.1 Conceptos Básicos

A) Ciclo Hidrológico

El ciclo hidrológico es un proceso continuo en el que una partícula de agua vaporada del océano, vuelve a él después de pasar por las etapas de precipitación y escorrentía superficial o subterránea. A lo largo del ciclo, existen múltiples cortos circuitos o ciclos menores. También hay que tener en cuenta que el movimiento del agua en ciclo hidrológico se caracteriza por la irregularidad, tanto en el espacio como en el tiempo (2).

Las fases principales del ciclo hidrológico son:

- Evaporación del suelo, plantas y océano.
- Formación y desplazamiento de nubes y niebla.
- Condensación del agua y precipitación en forma de lluvia, granizo, etc.
- Escorrentía superficial, sobre el suelo.
- Infiltración, en el perfil del suelo.
- Percolación a estratos más profundos.
- Flujo subterráneo y retorno a la superficie. (manantiales y pozos)
- Formación de corrientes superficiales como ríos y arroyos.
- Descarga en lagos, océanos y mares.
- Evaporación y se repite el ciclo.

B) Recarga Hídrica Natural

Es el volumen de agua que entra en un embalse subterráneo durante un período de tiempo, a causa de la infiltración de las precipitaciones o de un curso de agua. Es equivalente a la infiltración eficaz (2).

Proceso que implica el incremento de agua hasta la zona de saturación, donde se encuentra el nivel de las aguas subterráneas (5).

La cantidad de recarga de un acuífero, depende en cierto modo de la extensión de área de entrada o de captación. De hecho, los acuíferos más productivos son los lechos permeables situados en áreas extensas. Por otra parte, la infiltración es mayor cuando en el área de

entrada o zona de recarga ocurren no solo la precipitación local, sino el escurrimiento superficial de alguna área tributaria. Esto sucede principalmente en pendientes aluviales que reciben aguas superficiales provenientes de áreas montañosas con fuerte precipitación (11).

No toda el agua que precipita infiltra hasta los estratos inferiores, parte del agua se puede perder por escorrentía superficial, parte puede quedar retenida en las hojas de la vegetación y en el suelo por fuerzas capilares, también puede ser absorbida por las raíces de las plantas existentes. Además, también depende de la permeabilidad del suelo; en suelos ligeros, se da de mejor forma la infiltración que en suelos pesados. Hay que tener en cuenta además que el agua empieza a alcanzar estratos inferiores en el suelo, hasta que este se sature a su capacidad de campo, luego el excedente de agua se mueve hacia abajo por efecto de la gravedad.

C) Acuífero

Es una unidad geológica saturada, capaz de suministrar agua a pozos y manantiales, los que a su vez sirven de fuentes prácticas de abastecimiento del líquido. Para que un acuífero sea funcional, sus poros o intersticios deben de estar llenos de agua y ser lo suficientemente grandes como que permitan que el agua se desplace hacia los pozos o manantiales con un caudal apreciable (19).

Se denomina acuífero a aquel estrato o formación geológica que permitiendo la circulación del agua por sus poros o grietas, hace que el hombre pueda aprovecharla en cantidades económicamente apreciables para subvenir a sus necesidades (11).

D) Manantiales

Zona en la superficie del terreno en la cual brota agua en cantidades apreciables, procedente de un acuífero o embalse subterráneo; los manantiales son los desagües naturales por los cuales sale la infiltración o recarga que reciben los embalses subterráneos.

E) Cuenca

Es un área delimitada por una línea divisoria de aguas, en la cual el agua que cae por precipitación se une para formar un curso de agua principal. En forma más general, es el área drenada por un río (3).

3.1.2 Factores que Afectan la Cantidad de Agua que puede Recargar un Acuífero

La oportunidad que tiene un acuífero de infiltrar depende de las interacciones que se pueden suscitar entre el tipo de suelo, la formación geológica existente, el tipo de vegetación presente, la topografía y el régimen de lluvias, principalmente. De esa cuenta, se pueden presentar interacciones que favorezcan o perjudiquen en gran medida la recarga de un acuífero determinado.

No toda la infiltración alcanza la zona saturada (agua subterránea), pues en mayor o menor proporción, una parte queda en la zona superior (agua edáfica) y vuelve a la atmósfera por los fenómenos de evapotranspiración. El volumen de agua que alcanza la zona saturada, a veces se denomina lluvia eficaz, infiltración eficaz, recarga natural o recarga profunda (2).

Los factores que afectan la recarga se describen a continuación:

A) Clima

Entre los principales factores del clima que influyen en la recarga natural de los acuíferos están: la precipitación y la evapotranspiración.

a) Precipitación

La precipitación es uno de los componentes más importantes en el ciclo hidrológico, su distribución tanto en el espacio como en el tiempo, es variable e influenciado en gran medida por la elevación del terreno.

Como precipitación se conocen todas las formas de humedad que caen a la tierra, provenientes de las nubes, como agua, nieve y hielo. La precipitación constituye la entrada primordial del sistema hidrológico y es el factor principal que controla la hidrología en una región (11).

Durante un evento de lluvia, dos aspectos condicionan la infiltración: la duración y la intensidad; de esa cuenta Johnson, (7), dice que, una lluvia moderada de larga duración favorece la infiltración, las lluvias intensas saturan muy rápidamente el suelo, perdiéndose en escorrentía superficial. Estas lluvias también compactan el suelo reduciendo su habilidad para absorber el agua. Por lo que para fines de infiltración, es mejor que llueva constantemente y no unos pocos eventos lluviosos muy intensos.

b) Precipitación Efectiva

Se entiende como precipitación efectiva la porción de la precipitación que puede infiltrarse en el suelo y está disponible para las raíces de las plantas, o bien, infiltrar profundamente y llegar a un acuífero (8). La precipitación efectiva está afectada principalmente por cuatro factores: i) Intensidad de la precipitación, ii) Velocidad de infiltración en el suelo, iii) Cobertura Vegetal y iv) La topografía. Todos los factores están relacionados; por ejemplo, si la intensidad de la precipitación es más baja que la capacidad de infiltración del suelo no habrá escorrentía superficial; mientras que, con una topografía plana y abundante cobertura vegetal, se puede reducir considerablemente la velocidad de la escorrentía superficial, por lo que va a existir más tiempo para que el agua infiltre en el suelo.

Para calcular la precipitación efectiva, existen varios métodos, entre los cuales se encuentra el propuesto por la Universidad Autónoma de Chapingo, el método de Palacios Vélez (4); el método calcula la precipitación efectiva de forma diaria y está sujeta a la precipitación observada. Para ello hacen uso de las siguientes fórmulas:

$$\begin{array}{ll} \mathbf{Pe = P - 0.05 P^2} & \mathbf{si P < 2.5 cm} \\ \mathbf{Pe = 1.27 P^{0.75} - 0.0806 P^{1.5}} & \mathbf{si P > 2.5 cm} \end{array}$$

Donde:

Pe: Precipitación efectiva.

P: Precipitación Observada.

Taracena, (18); describe la metodología propuesta por la FAO, la cual fue desarrollada en suelos de texturas medias de donde desarrollaron la siguiente ecuación para el cálculo de la precipitación efectiva mensual:

$$P_e = P'_e * k$$

Donde:

Pe: Precipitación efectiva.

P'e: Precipitación media mensual

k: Constante derivada de tablas.

La metodología propuesta por Schosinsky y Losilla (13), fue desarrollada en Costa Rica, mediante el análisis de datos de bandas de pluviógrafos, incluyendo aspectos relacionados con la precipitación efectiva, como la cobertura vegetal, la pendiente y la velocidad de infiltración. Considerando que Costa Rica y Guatemala pertenecen al istmo centroamericano y están sometidos a características climáticas similares, este método será el empleado para el cálculo de la precipitación efectiva y se describe con mayor detalle en la metodología general del trabajo.

c) Evapotranspiración

La evapotranspiración, también llamado “uso consuntivo” del cultivo, es la suma de los fenómenos de la evaporación del suelo y la transpiración de las plantas (5).

Una gran parte del agua que llega a la tierra, vuelve a la atmósfera en forma de vapor, directamente por evaporación, o a través de las plantas por transpiración (8).

i) Evaporación Es el resultado del proceso físico, por el cual el agua cambia de estado líquido a gaseoso, retornando directamente, a la atmósfera en forma de vapor. Todo tipo de agua en la superficie está expuesta a la evaporación.

ii) Transpiración Es el resultado del proceso físico - biológico, por el cual el agua cambia de estado líquido a gaseoso, a través del metabolismo de las plantas, y pasa a la atmósfera. En sentido amplio en el concepto, se incluirá, también, el agua perdida por la planta en forma de goteo o exudación, que puede alcanzar valores relativamente importantes, especialmente cuando las condiciones ambientales para que se produzca la transpiración no son favorables. Asimismo debe de incluirse el agua que la planta incorpora a su estructura en el período de crecimiento (2).

iii) Evapotranspiración No es fenómeno distinto a los descritos anteriormente, sino la suma de la evaporación y la transpiración, el término solo es aplicado correctamente a una determinada área de terreno cubierta por vegetación.

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 (1).

La cantidad de agua que así escapa al posible uso por el hombre, dada la dificultad de medir por separado ambos términos, se reúne frecuentemente bajo el nombre de evapotranspiración.

Existen varias metodologías para el cálculo de la evapotranspiración como el método del tanque tipo "A" el cual consiste en determinar la evaporación de una superficie de agua de un tanque llamado tanque tipo "A" y multiplicarlo por un coeficiente, que para Guatemala generalmente varia entre 0.75 y 0.8.

Otro método es el propuesto por Thornthwaite, el cual propone una ecuación que permite calcular la evapotranspiración potencial, tomando en cuenta únicamente valores de temperatura media, sin considerar características como suelo o la planta. La ecuación que propone para el cálculo de la evapotranspiración potencial es la siguiente:

$$E = C \times t^a$$

Donde:

t: Temperatura media en grados centígrados.

C y a: Coeficientes que dependen del índice térmico anual.

Existen otros métodos como el de Blanney & Criddle, Turc y Hargreaves, siendo este último el que se utilizó en este estudio.

d) Factores que Influyen en la Evapotranspiración

Son tres los factores que influyen directamente en la evapotranspiración:

- i) El clima. principalmente el factor que más influye en la evapotranspiración es la temperatura, pero también afecta la humedad relativa, la velocidad del viento, el número de horas luz y la radiación solar.
- ii) El suelo afecta respecto a la cantidad de agua que puede almacenar, cuando el suelo se encuentra a capacidad de campo, el agua es cedida fácilmente tanto a la atmósfera como a la planta, no así cuando se acerca al punto de marchitez permanente, el agua es retenida con mucha fuerza por las partículas del suelo, dificultando su salida y por ende la evapotranspiración.
- iii) La planta en la planta hay que tomar en cuenta: el número de estomas por unidad de superficie que se presentan entre las especies, el período vegetativo en que se encuentre y la profundidad radicular.

B) Suelo

El suelo influye en la recarga mediante las características de: textura, densidad aparente, el contenido de humedad del suelo y la capacidad de infiltración.

a) Textura

En el estudio físico de un suelo interesan dos aspectos: La textura o proporción relativa en que se presentan los distintos materiales sólidos que lo componen. Esta proporción se expresa en porcentaje del peso de materiales comprendidos en un intervalo de tamaños, respecto al peso de la muestra seca. Por otro lado, la estructura, es la disposición relativa de estos materiales en las condiciones naturales de un determinado suelo (12).

Normalmente, el área en estudio tiene suelos de características variables, las cuales influyen el balance hídrico de los suelos. Para determinar este aspecto, se deben tomar muestras de suelo de los lugares donde se realizan las pruebas de infiltración, de esta manera se obtiene una muestra por cada unidad de suelo analizada.

A las muestras se les efectúan un análisis de partículas primarias de suelos (arenas, limos y arcillas), determinando su composición porcentual y clase textural.

b) Densidad Aparente

El material sólido que compone un suelo tiene una densidad real del orden de 2.5 pero el volumen que ocupa realmente en el terreno es mucho mayor y surge el concepto de densidad aparente, pues el volumen aumenta debido a la cantidad de poros del suelo, los cuales están llenos de aire o agua (12).

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

c) El Agua en el Suelo (Contenido de humedad)

El componente líquido en el suelo es generalmente, el agua, que al atravesar la superficie del terreno se distribuye por él, quedando sometida a diferentes fuerzas, de cuya intensidad depende el menor o mayor grado de fijación al material sólido. También existe agua formando parte de la composición química de las rocas y agua en forma de vapor (7).

Existen diferentes formas en las cuales se encuentra el agua en el suelo, debido a esto se establecen los siguientes tipos; agua retenida por fuerzas no capilares, agua retenida por fuerzas capilares y agua no retenida en el suelo (2).

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

- Capacidad de Campo.
- Punto de Marchitez Permanente.
- Agua utilizable por las plantas.

Así pues, puede considerarse únicamente agua utilizable por las plantas, la diferencia entre la humedad correspondiente a la capacidad de campo y el punto de marchitez permanente (2).

d) Capacidad de Infiltración

La infiltración se define como el proceso por el cual el agua penetra por la superficie del suelo en un determinado tiempo, atraviesa la superficie del terreno y ocupa total o parcialmente los poros del suelo o las formaciones geológicas subyacentes, llegando hasta sus capas inferiores saturadas. Es decir alcanzando el nivel freático e incrementando el volumen acumulado anteriormente (2).

La capacidad de infiltración de un suelo puede ser influenciada por la condición y las características físicas del suelo, además está la vegetación, las características de la lluvia, la topografía del terreno, la estratificación, la temperatura del agua y el suelo y el estado físico-químico del mismo.

C) Topografía

La inclinación del terreno tiene que ver en la capacidad de recarga de un acuífero principalmente porque determina el tiempo de contacto del agua con la superficie del suelo. En condiciones de poca pendiente, el agua tiene más oportunidad de infiltrar, ya que se disminuye la escorrentía y se aumenta el tiempo de contacto, por el contrario en condiciones de elevada pendiente, el agua adquiere velocidad, provocando mucha escorrentía y disminuyendo significativamente el tiempo de contacto con la superficie del terreno y con ello la oportunidad de infiltrar. En algunas áreas, parecieran que las pendientes moderadas ofrecen condiciones mejores para infiltración que las enteramente planas. Estas últimas desarrollan a menudo suelos herméticos.

D) Estratigrafía Geológica

Es de gran importancia realizar un estudio de la geología y estratigrafía de la zona, es decir conocer la disposición de los diferentes materiales geológicos, ya que estos pueden afectar grandemente la cantidad de recarga hídrica, por ejemplo, puede existir una cuenca cuyas características climáticas, de suelo y de cobertura forestal favorezcan la infiltración de agua en el suelo, pero si existe una capa de material impermeable, no permitirá el paso del agua

a mayor profundidad, y se generará un flujo sub superficial que alimentará un río o cauce cercano y no recargará un acuífero (11).

E) Cobertura Vegetal

La cobertura de la vegetación participa en la recarga de un acuífero principalmente en dos aspectos, los cuales son la profundidad radicular y la intercepción del agua en el dosel.

a) Profundidad Radicular

La profundidad de la zona radicular determina en gran parte la lámina de agua aprovechable por los cultivos. Depende del tipo de cultivo, condiciones de suelo y clima.

Para la mayoría de plantas, las raíces que absorben agua se encuentran dentro de los primeros 30cm. de suelo y pueden alcanzar más de un metro en bosques y cultivos permanentes de frutales.

b) Intercepción Vegetal

Gran cantidad de lluvia que cae durante la primera parte de una tormenta es depositada en la cobertura vegetal como intercepción. Aún cuando el efecto de la cobertura no tiene mayor importancia en las avenidas más grandes, la intercepción debida a algunos tipos de vegetación puede presentar una porción considerable de la lluvia anual.

La capacidad de almacenamiento por intercepción es generalmente satisfecha en las primeras horas de una tormenta, de manera que un alto porcentaje de la lluvia durante las tormentas de corta duración es interceptada. Después de que la vegetación esté saturada, la intercepción cesará a no ser porque una cantidad de agua puede evaporarse a partir de la superficie mojada de la vegetación (11).

La capacidad de intercepción se reduce a mayor velocidad del viento, pero la tasa de evaporación aumenta. Se ha encontrado que un bosque de árboles maderables de gran tamaño intercepta hasta un 20% de lluvia, en cultivos anuales, la intercepción para una lluvia de 25 mm, va desde 3.2% en maíz, 11.2% en tabaco, 16% en cereales, hasta 33% en alfalfa; en promedio se calcula 12% de intercepción debido a cultivos agrícolas (8).

3.2 MARCO REFERENCIAL

3.2.1 Características Biofísicas

A) Ubicación

La microcuenca del río Sibacá se encuentra ubicada en la cabecera noroeste de la cuenca del río Motagua, la cual se localiza mayoritariamente en el municipio de Chinique y en menor porcentaje en los municipios de Santa Cruz del Quiché y San Andrés Sajcabajá en el departamento de El Quiché. Colinda con la aldea La Cumbre de San Andrés Sajcabajá al Norte, con La Aldea Tapesquillo del municipio de Chinique al Este, con las comunidades de Paquinac y Sucac de Santa Cruz del Quiché al Oeste, y al Sur con Aldea Choaxán del municipio de Chinique. Sus coordenadas UTM están entre 712000 metros y 716000 metros de longitud y 1664000 metros y 1670000 metros de latitud (Figuras 1 y 2).

B) Superficie

El área de la cuenca en estudio comprende 2472.12 hectáreas o sea 24.72 Kilómetros cuadrados.

C) Altimetría

La máxima altura de la cuenca está a 2,418 msnm en la comunidad de Sibacá II de Santa Cruz del Quiché y la parte baja es representada por una altura de 1,800 msnm, en la comunidad de Choaxán Chinique.

D) Hidrografía

El río Sibacá se forma de las aguas que drenan dos riachuelos principales, el riachuelo Pachoj y el riachuelo Sibacá, estos dos riachuelos reciben estos nombres por originarse en las comunidades con los mismos nombres, además el nombre de este último, es el que toma el río en su parte baja.

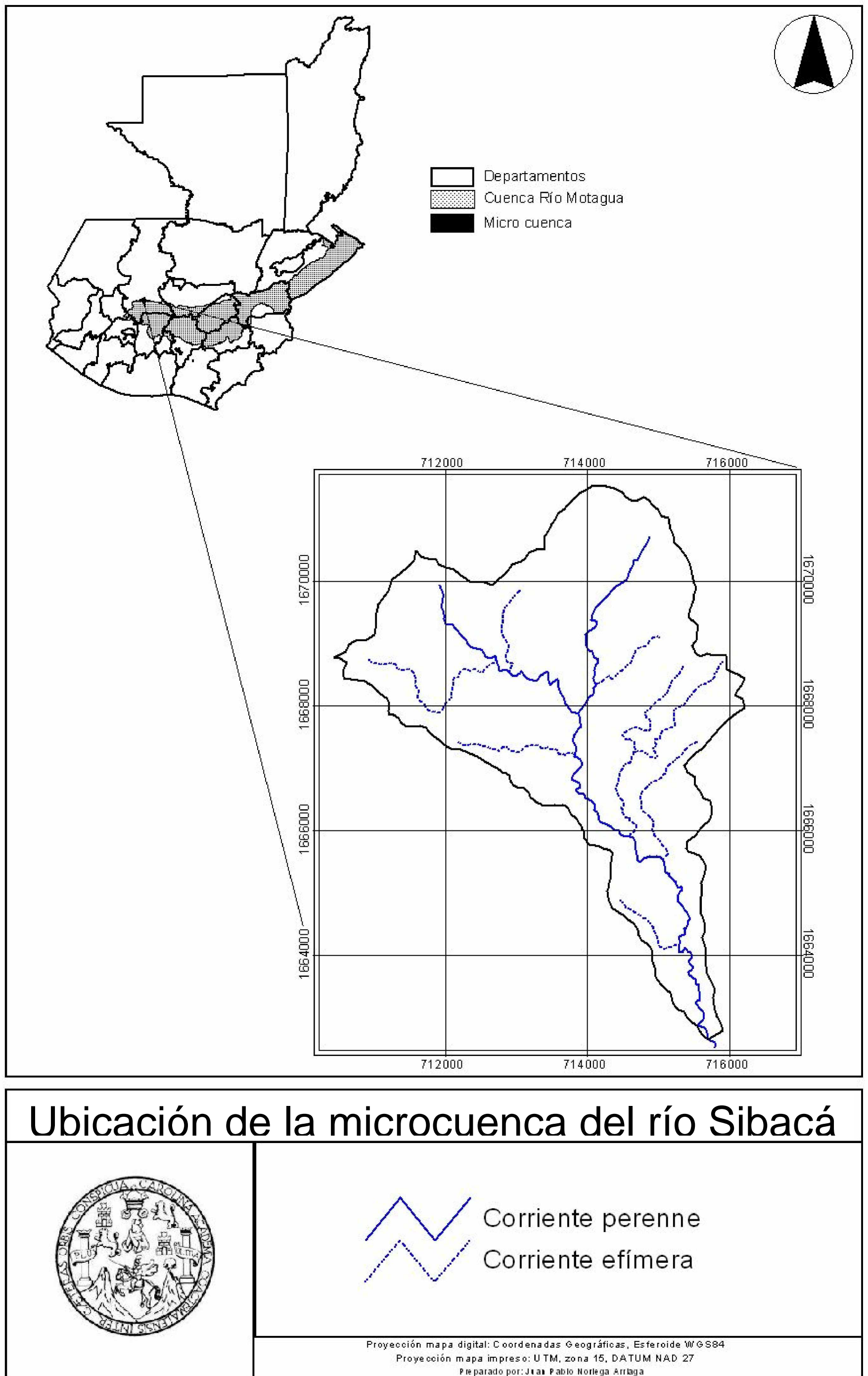
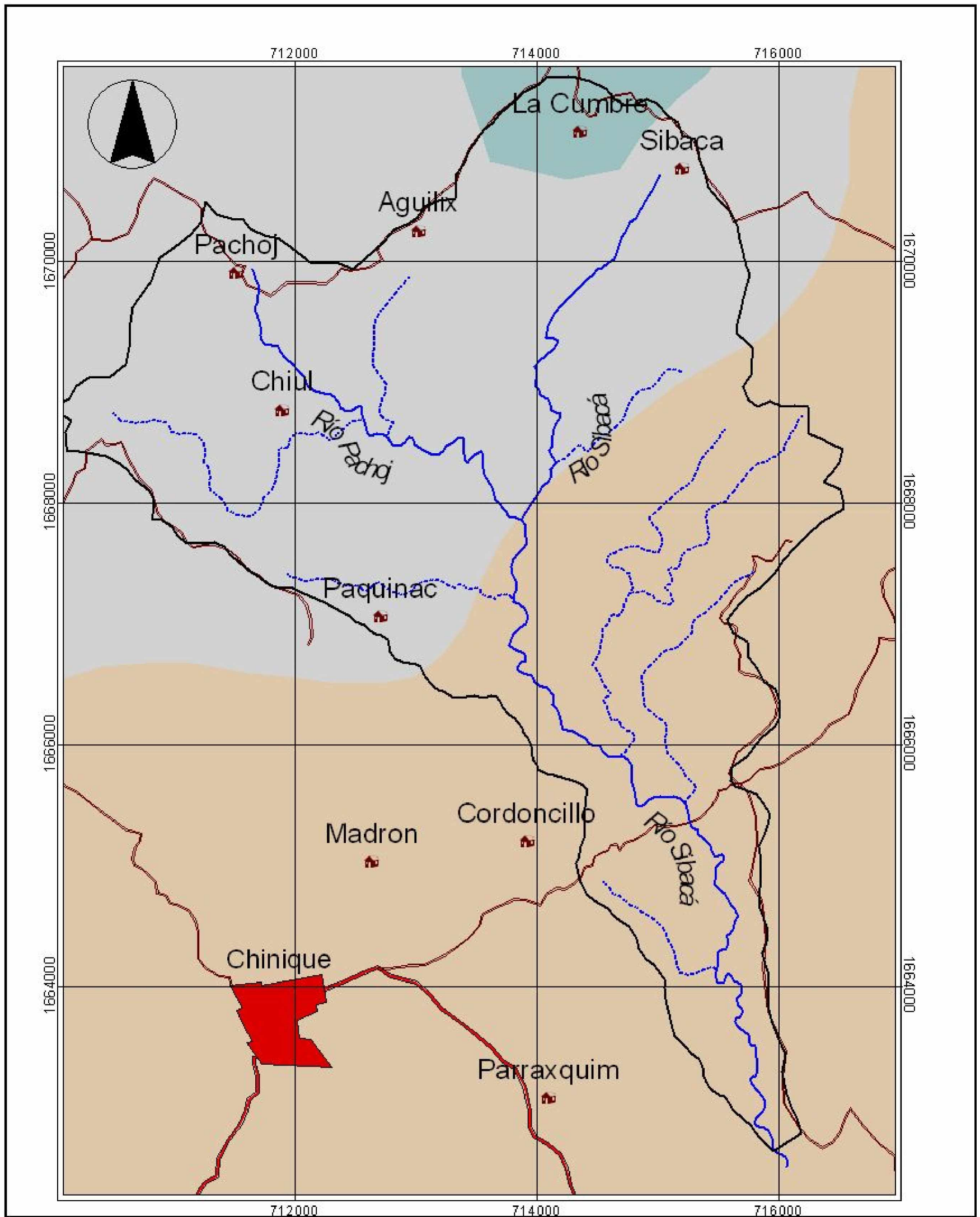


FIGURA 1. Mapa de ubicación de la microcuenca del río Sibacá.



Centros poblados y vías de acceso de la microcuenca del río Sibacá

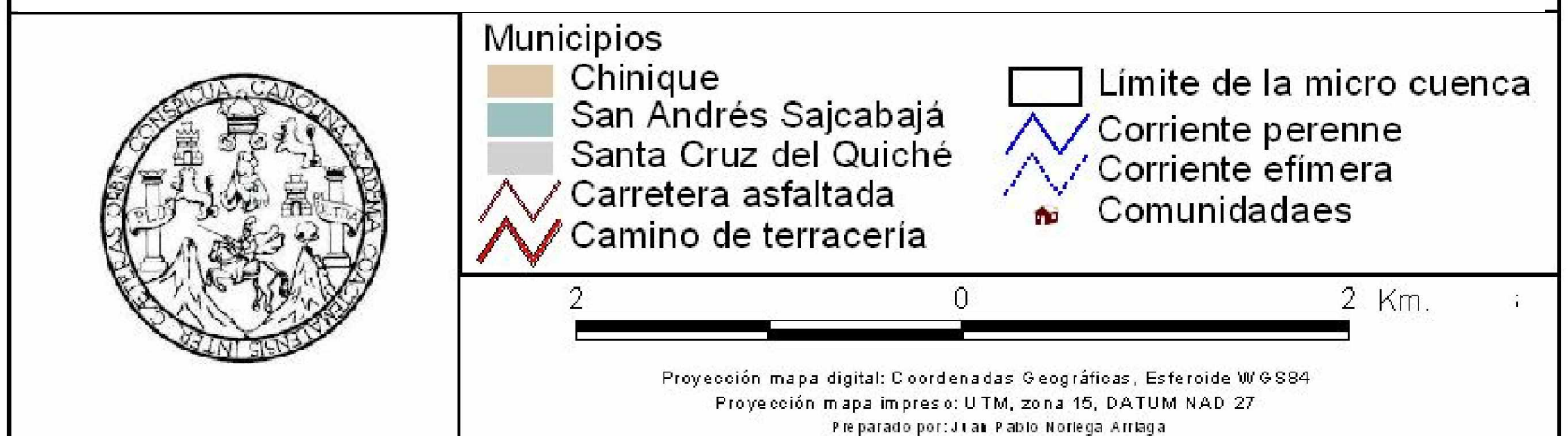


FIGURA 2. Mapa de centros poblados y vías de acceso de la microcuenca del río Sibacá.

E) Clima

El clima es característico de la zona de vida del Bosque Húmedo Montano Bajo Subtropical (bh – BM) según Holdridge. Presenta las características siguientes: precipitación pluvial entre los 1000 y 2000 mm anuales, temperatura media entre los 12 y 18°C, las especies indicadoras que se pueden encontrar en la cuenca son *Pinus montezumae Lambert*, *Quercus sp. L.*, y *Arbutus xalapensis*.

F) Geología

La geología de la cuenca del río Sibacá, según el mapa geológico contenido en la base de datos del Ministerio de Agricultura Ganadería y Alimentación (10), se compone principalmente de Rocas Metamórficas sin dividir y Rocas Volcánicas sin dividir, los cuales contienen materiales como tobas, coladas de lava, material lahárico, sedimentos volcánicos y materiales piroclásticos de pómez y ceniza volcánica (Figura 3).

a) Rocas volcánicas sin dividir del terciario

Son las rocas ígneas que forman la mayor parte del cinturón volcánico, estando comprendidas las lavas basálticas, andesíticas, riolitas, dacitas, tobas, ignimbritas y lahares. Estas rocas se extienden de occidente a oriente, encontrándose en los departamentos de San Marcos, Quetzaltenango, Totonicapán, Sololá, Quiché, Chimaltenango, Sacatepéquez, Santa Rosa, Jutiapa, Jalapa, Chiquimula y Guatemala. Son producto del vulcanismo mundial que tuvo lugar en el período terciario superior, agrupándose todas ellas en una sola unidad (4).

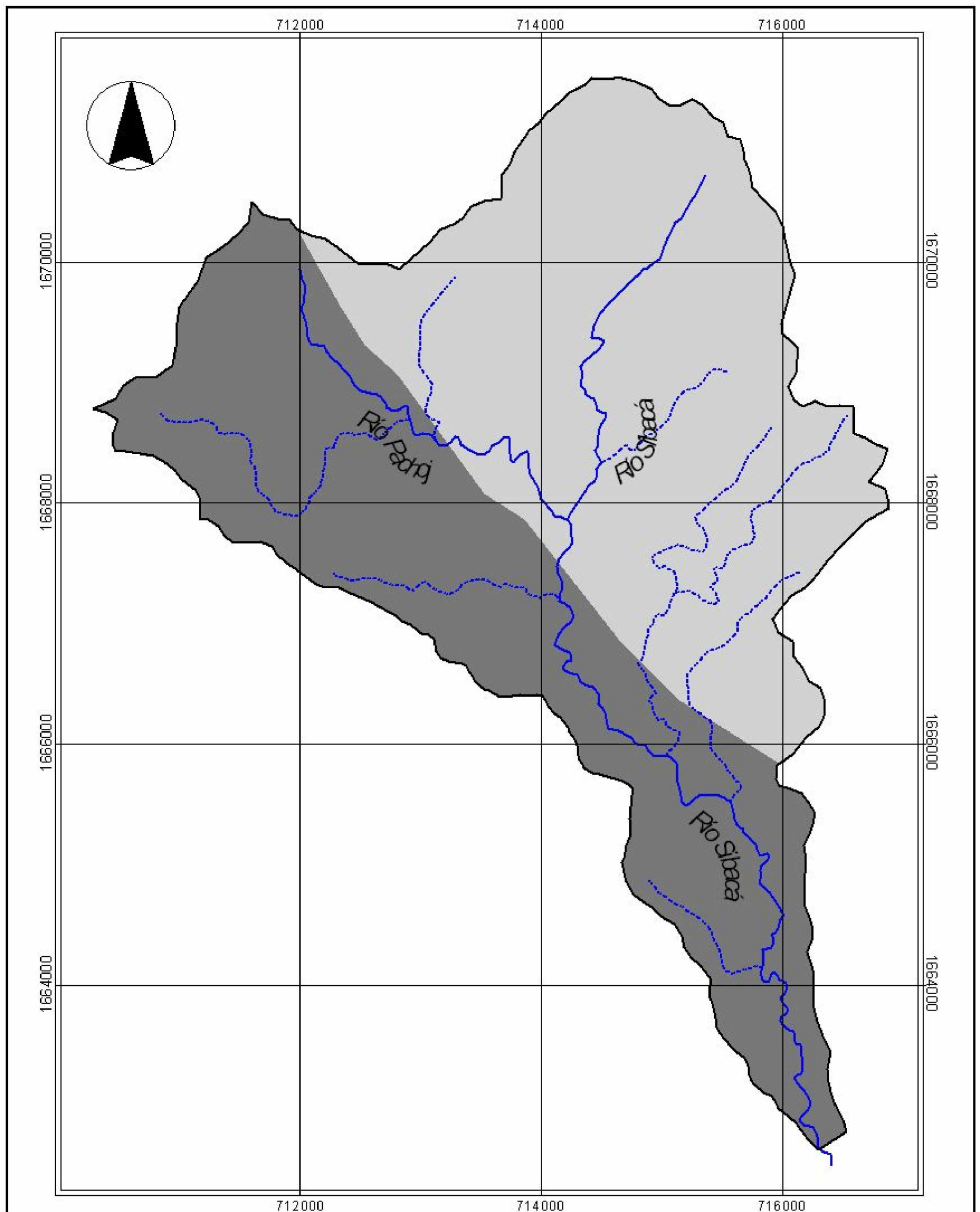
Las rocas volcánicas incluyen materiales con un alto rango de propiedades hidrogeológicas. Algunas andesitas y basaltos tienen transmisividades elevadas, mientras que ciertas tobas tienen alta porosidad, pero muy bajas permeabilidades. La porosidad de las rocas volcánicas no fracturadas varía de menos de 1% en basalto denso a más de 35% en pómez. Aunque la porosidad puede ser alta, la permeabilidad es principalmente función de otras estructuras primarias y secundarias dentro de la roca (4).

b) Rocas metamórficas sin dividir del paleozoico

Son las rocas que forman el Grupo Chuacús, definidas en la Sierra de Chuacús (de aquí su nombre), las cuales se extienden a todo lo largo (de oriente a occidente) de la parte central de país, y están constituidas principalmente por filitas, esquistos, gneisses, mármoles y migmatitas, que se encuentran en una franja que va de este a oeste, aflorando en el oeste y norte de San Marcos, en el sur y este de Huehuetenango, en el sur de Quiché, Alta Verapaz, Izabal, Jutiapa, Jalapa, cubriendo casi totalmente los departamentos de Baja Verapaz, El Progreso y Zacapa, pudiendo encontrarseles también en Belice. Todas estas rocas son del paleozoico y se supone que el grupo Chuacús, podría tener una edad de 1075 millones de años y es probable que el primer metamorfismo haya sido en el devónico superior simultáneo a procesos del granito de Rabinal (4).

G) Capacidad de Uso de la Tierra

Según la metodología del INAB, dentro de la cuenca las clases de uso de la tierra predominantes son: Fp (Tierras forestales para protección) y Ap/F (Agroforestería con cultivos permanentes / Tierras Forestales para producción), y en algunos sitios hay limitantes por pedregosidad.



Unidades geológicas de la microcuenca del río Sibacá



Unidades geológicas

- Rocas metamórficas sin dividir del paleozoico
- Rocas volcánicas sin dividir del terciario

- Límite de la micro cuenca
- Corriente perenne
- - - Corriente efimera

2 0 2 Km.

Proyección mapa digital: Coordenadas Geográficas, Esferoide WGS84

Proyección mapa impreso: UTM, zona 15, DATUM NAD 27

Preparado por: Jta. Pablo Noriega Arriga

FIGURA 3. Mapa de unidades geológicas de la microcuenca del río Sibacá.

H) Suelos

Según Simmons, Tarano y Pinto (17), los suelos dentro de la cuenca abarcan las siguientes series (Figura 4):

a) Suelos Civijá

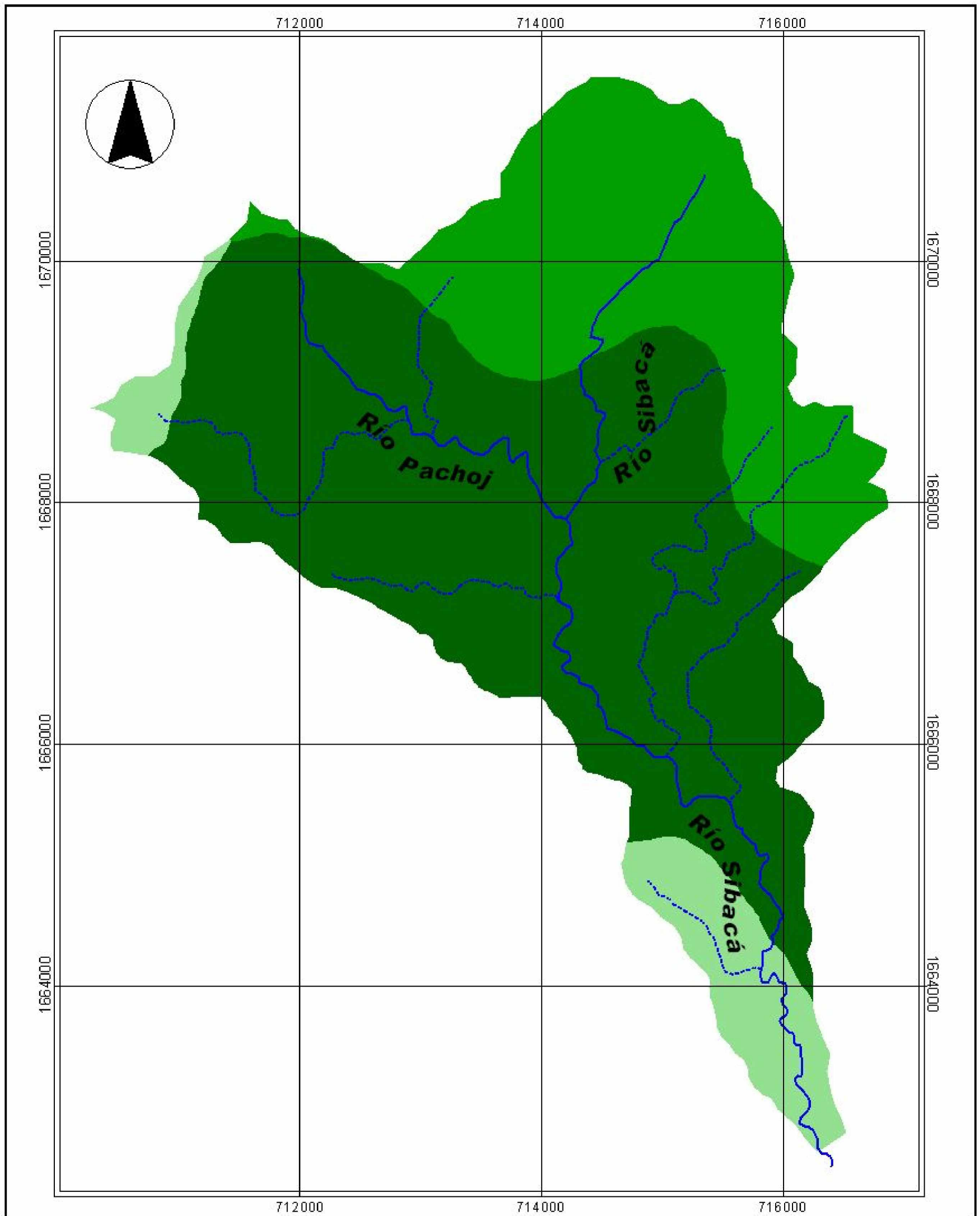
Estos suelos se caracterizan por ser profundos, bien drenados, logrando encontrárseles en relieves de ondulados hasta fuertemente quebrados de un color café a café oscuro y rojizo; compuestos por esquistos, con un drenaje interno rápido, un espesor aproximado de 30 cm. (17).

b) Suelos Sacapulas

Caracterizados por ser poco profundos, con un drenaje interno bueno, encontrándolos en relieves de ondulados hasta fuertemente quebrados, de un color café grisáceo, está generalmente limitado por un lecho rocoso, su composición es de gneiss y granito con un espesor aproximado de 5 cm. (17).

c) Suelos Sinaché

Estos suelos se caracterizan por ser profundos, con un drenaje interno bueno, encontrándolo en relieves de planos a ondulados, de coloración café a café oscuro; compuesto por materiales de ceniza volcánica, con un espesor aproximado de 30 cm. (17).



Series de suelos de la microcuenca del río Sibacá

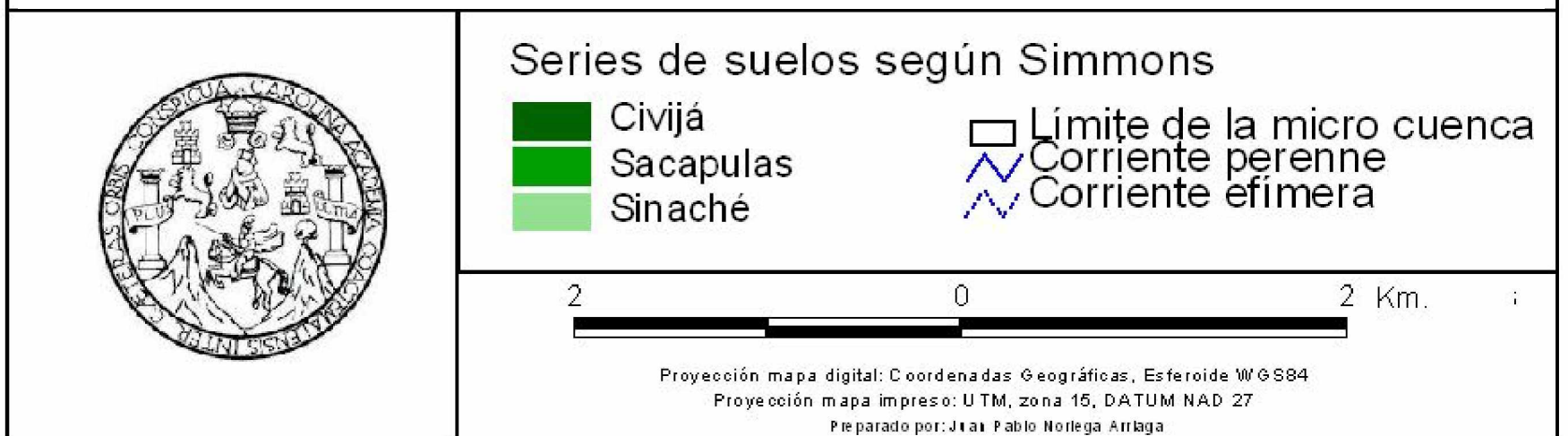


FIGURA 4. Mapa de series de suelos de la microcuenca del río Sibacá.

3.2.2 Características Socioeconómicas

A) Población

La población total de la cuenca, según el XI censo de población y habitación realizado por el Instituto Nacional de Estadística (6), ascendía a 3,679 personas. En la microcuenca del río Sibacá, se ubican las comunidades de: Chiul, Aguilix, Sibacá, Paquinac y Pachoj de Santa Cruz del Quiché; también, Choaxán, Cordoncillo, Tapesquillo y Madrón de Chinique; y, La Cumbre de San Andrés Sajcabajá, las que se encuentran clasificadas como caseríos. En todas estas comunidades, la totalidad de sus habitantes pertenecen a la etnia maya Quiché (14)(15)(16).

B) Accesibilidad

A la parte baja del área de estudio, se puede ingresar por un camino de terracería que conduce de la cabecera municipal de Chinique (a 175 Km. de la Capital de Guatemala), hacia la comunidad del Tapesquillo (a 11 Km. de la cabecera municipal); para la parte media y alta, se ingresa por la carretera departamental No 5 (terracería) que conduce de la cabecera departamental de Santa Cruz del Quiché hacia el municipio de San Andrés Sajcabajá, ingresando por los desvíos hacia las comunidades de Paquinac y Aguilix respectivamente (14)(15)(16).

4. OBJETIVOS

4.1 OBJETIVO GENERAL

- § Determinar las principales zonas de recarga hídrica natural de la microcuenca del río Sibacá.

4.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- § Estimar la recarga hídrica natural de la microcuenca del río Sibacá.
- § Realizar el balance hídrico de los suelos de la microcuenca del río Sibacá para determinar la recarga natural.
- § Determinar las zonas de mayor recarga de la microcuenca del río Sibacá.
- § Realizar un mapa de recarga hídrica natural de la microcuenca del río Sibacá.

5. METODOLOGÍA

5.1 CUANTIFICACIÓN DE LA RECARGA HÍDRICA NATURAL DE LA MICROCUENCA DEL RÍO SIBACÁ

5.1.1 Fase de Gabinete Inicial

A) Recopilación de Información Básica

Se recopiló información, principalmente en tesis, estudios y caracterizaciones realizadas por organizaciones no gubernamentales presentes en el departamento de Quiché y por entrevistas realizadas dentro del área de estudio.

Se adquirieron las hojas cartográficas Quiché y Zacualpa, escala 1:50,000 dentro de las cuales se encuentra la microcuenca del río Sibacá.

Se adquirieron 4 fotografías aéreas a escala 1:30,000 del año 2,003 para la realización del mapa de cobertura vegetal (Figura 5).

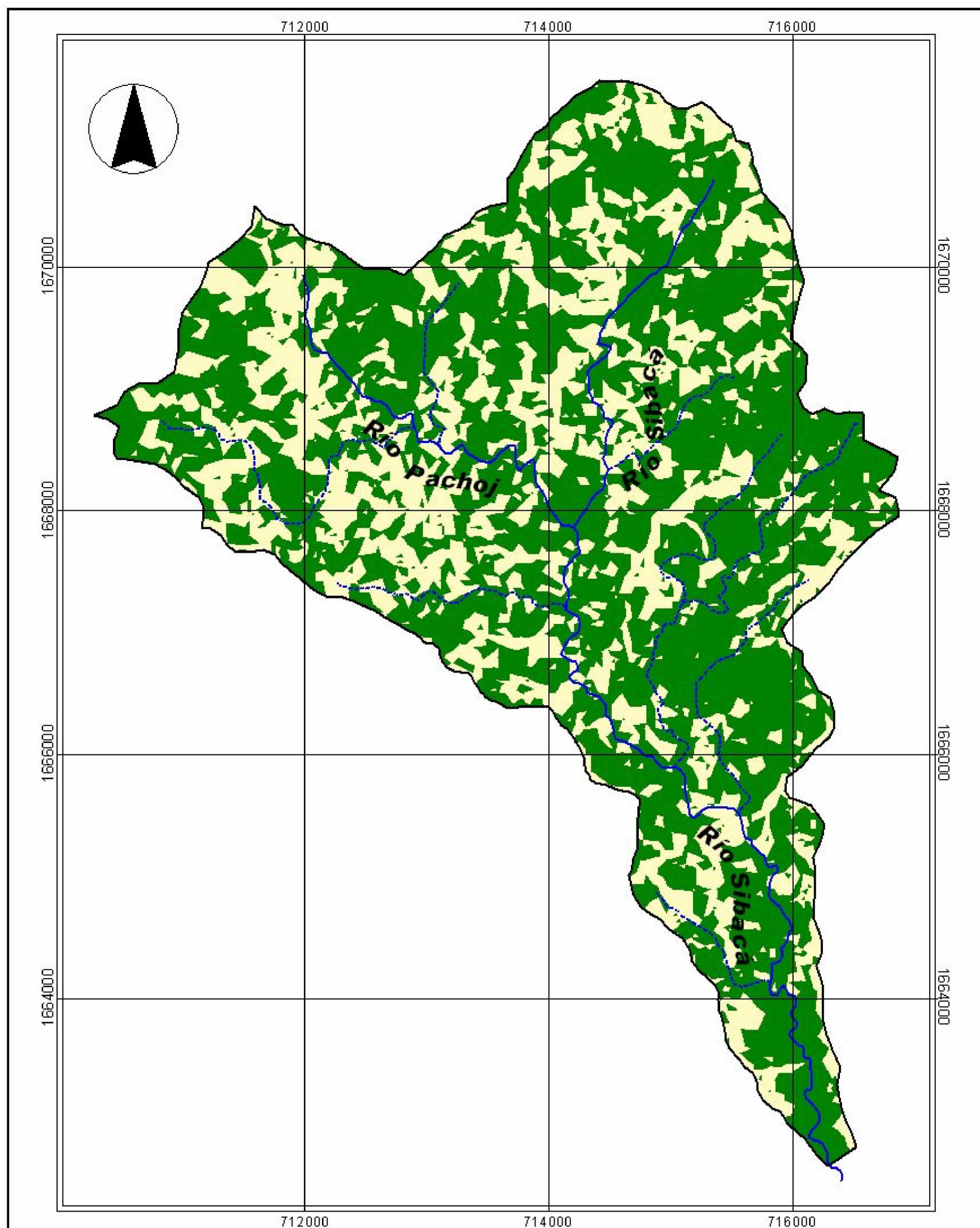
Además se consultaron los mapas de series de suelos, geología, zonas de vida y cuencas hidrográficas, realizados por el Ministerio de Agricultura Ganadería y Alimentación escala 1:250,000 (10).

B) Recopilación de Información Climática

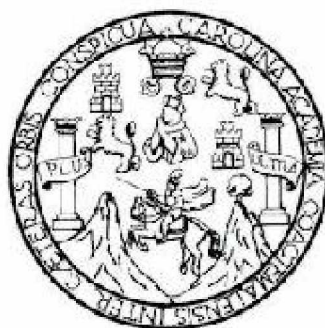
Se instaló una estación meteorológica tipo “C” en la aldea Tapesquillo del municipio de Chinique. En esta estación se registraron datos diarios de precipitación pluvial y temperaturas máximas y mínimas, los cuales fueron tabulados mensualmente hasta completar un año de registros. Además se adquirieron los datos de la estación meteorológica del INSIVUMEH en la cabecera municipal de Chinique con 10 años de registros.

CUADRO 1. Ubicación de las estaciones meteorológicas de la microcuenca del río Sibacá.

Estación	Coordenadas UTM		Altitud m.s.n.m.
	“X”	“Y”	
Chinique	711806	1664048	1,940
Tapesquillo	717282	1668035	2,260



Cobertura vegetal de la microcuenca del río Sibacá



Cobertura vegetal
 Bosque
 Cultivos anuales

Límite de la micro cuenca río Sibacá
 Corriente perenne
 Corriente efimera

2 0 2 Km. :

Proyección mapa digital: Coordenadas Geográficas, Esferoide WGS84

Proyección mapa impreso: UTM, zona 15, DATUM NAD 27

Preparado por: Jta. Pablo Noriega Arriga

FIGURA 5. Mapa de cobertura vegetal de la microcuenca del río Sibacá.

C) Identificación y Mapeo de Áreas de Recarga Hídrica

Esta fase, se realizó mediante la superposición de mapas mediante el software Arc View 3.3. Se utilizaron los mapas de series de suelos, de geología y cobertura vegetal, este último hecho mediante la fotointerpretación.

Al final del proceso se obtuvieron un total de ocho unidades de muestreo las que se numeran en el siguiente cuadro:

Cuadro 2. Unidades de muestreo de la microcuenca del río Sibacá.

Número	Geología	Serie de Suelos	Cobertura
1	Metamórfico	Sacapulas	Bosque
2	Metamórfico	Sacapulas	Cultivo
3	Metamórfico	Civijá	Bosque
4	Metamórfico	Civijá	Cultivo
5	Volcánico	Civijá	Bosque
6	Volcánico	Civijá	Cultivo
7	Volcánico	Sinaché	Cultivo
8	Volcánico	Sinaché	Bosque

5.1.2 Fase de Campo

La fase de campo consistió en la generación de información necesaria para realizar el balance hídrico de suelos.

A) Pruebas de Infiltración

Las pruebas de infiltración se realizaron en cada una de las unidades definidas, y se utilizó el método de Porchet o de cilindro invertido el cual según Custodio y Llamas (2), se considera preciso y versátil en el campo; y consiste en excavar un agujero cilíndrico en el suelo de radio "R", el cual se llena de agua hasta una altura conocida "h", y medir un cambio en el tiempo (dt) para suponer la capacidad de infiltración "f" en ese intervalo constante.

La superficie por la cual infiltra el agua es:

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

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

$$\pi R(2h + R)f = R^2 \left(\frac{dh}{dt} \right)$$

Separando variables se obtiene la ecuación diferencial:

$$f dt = -R \left(\frac{dh}{2h + R} \right)$$

Al integrar se obtiene:

$$f = \left(\frac{R}{2(t_2 - t_1)} \right) \times \text{Ln} \left(\frac{2h_1 + R}{2h_2 + R} \right)$$

Por lo que para determinar f , basta con medir los pares de valores (h_1, t_1) , (h_2, t_2) , de forma que t_2 y t_1 no difieran demasiado y entrar con ellos a la expresión dada.

B) Determinación de Densidad Aparente, Textura y Constantes de Humedad del Suelo

Para la determinación de la textura, densidad aparente, capacidad de campo y punto de marchitez permanente, se tomo una muestra de suelos característica de cada una de las unidades de mapeo y se envió al laboratorio de Suelo-Agua-Planta de la FAUSAC en donde se establecieron los valores de los distintos grados de humedad y características físicas mencionadas.

C) Localización y Aforo de Manantiales

Por medio del uso de un sistema de geo posicionamiento global (GPS), se registró la ubicación exacta de los principales manantiales (Figura 6), los cuales se aforaron utilizando el método de sección velocidad, ya que se trataba de manantiales no captados esto para determinar la descarga de los mismos, esto con el objeto de conocer el potencial del agua subterránea que drena de la microcuenca.

El aforo de los manantiales se realizó durante la época seca (marzo) y a finales de la época lluviosa (septiembre).

D) Aforos Diferenciales

Se realizaron aforos diferenciales en algunos tramos de la corriente principal del río (Figura 6), durante la época de estiaje (marzo) y a finales de la época de lluviosa (septiembre), para detectar los sectores en los cuales el río se comporta como influente o efluente.

La actividad se realizó utilizando el método de sección velocidad, el cual consiste en seleccionar un tramo uniforme del cauce del río, libre de obstáculos y de una longitud no menor de seis veces el ancho del río.

La velocidad del agua del cauce del río (V), se obtuvo con el promedio de tiempos que tardó el flotador en recorrer la longitud del río, para ello se utilizó la fórmula siguiente.

$$V = 0.90 \left(\frac{\text{Longitud}}{\text{Tiempo}} \right) \quad (m/s)$$

Para la medición del área de la sección del río donde se realizó el aforo se siguió los criterios de Herrera (4), por medio de la siguiente fórmula.

$$A_i = \left(\frac{a+b}{2} \right) \times L \quad (m^2)$$

Donde:

A_i: Área parcial de cualquier tramo del río.

a: Profundidad al inicio del tramo.

b: Profundidad al final del tramo.

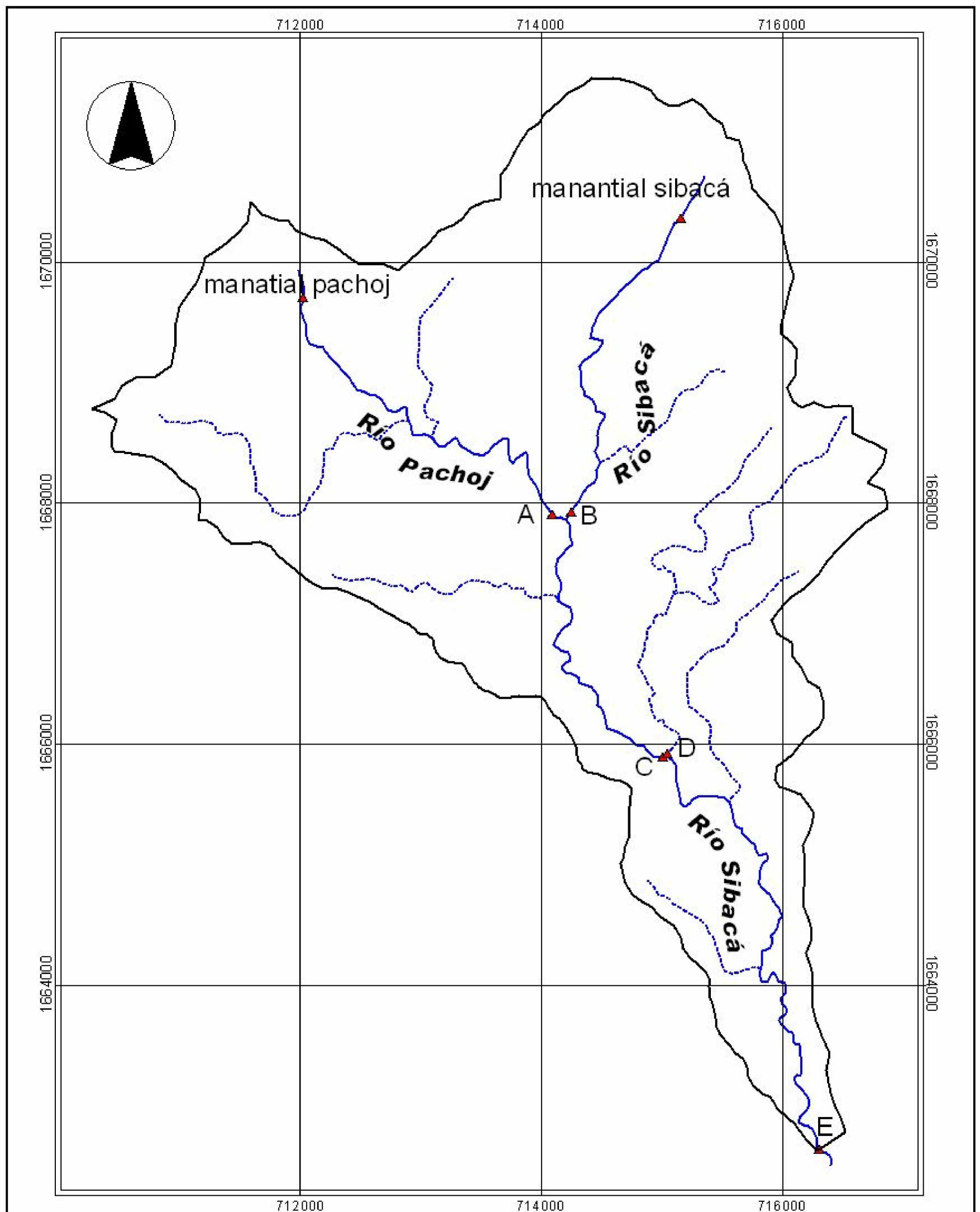
L: Ancho del tramo.

El área de la sección del río (A), se obtiene de acuerdo a:

$$A = \sum A_i \quad (m^2)$$

El caudal del río (Q) se obtiene mediante la siguiente con la siguiente fórmula:

$$Q = A \times V \quad (m^3/s)$$



Ubicación de aforos en la microcuenca del río Sibacá

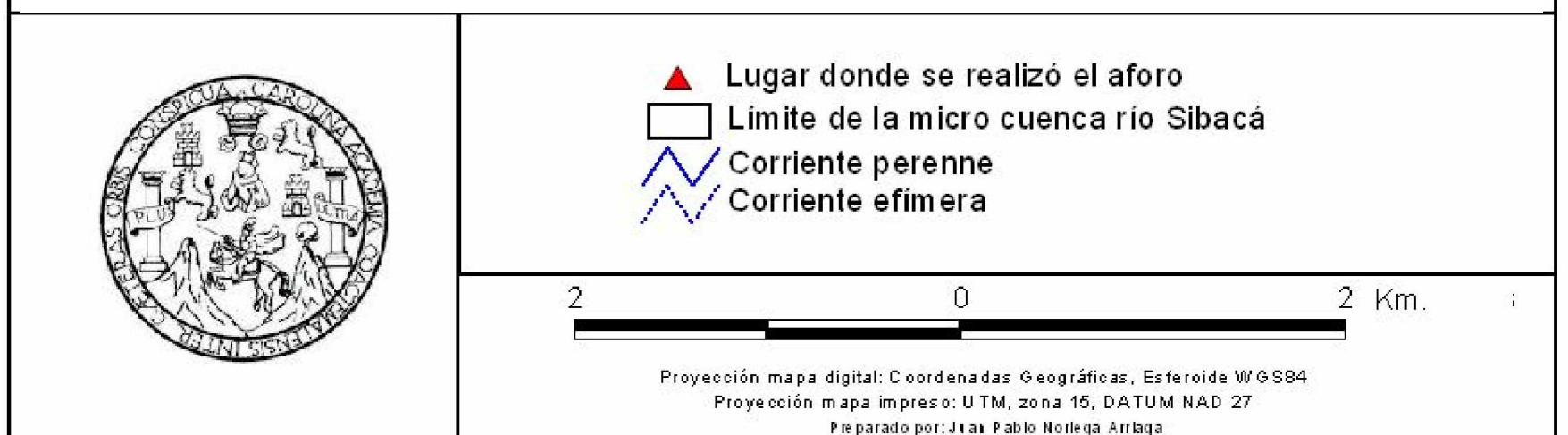


FIGURA 6. Mapa de ubicación de aforos en la microcuenca del río Sibacá.

5.1.3 Fase de Gabinete Final

A) Determinación de la Evapotranspiración Potencial y Real

Dado que la evapotranspiración depende entre otros, de dos factores muy variables y relativamente difíciles de medir, como el contenido de humedad del suelo y el desarrollo vegetal de la planta. Thornthwaite, introduce el concepto de evapotranspiración potencial, en donde se optimizan ambos en el doble supuesto de un desarrollo vegetal óptimo y una capacidad de campo constante; por lo que la evapotranspiración potencial será el máximo de agua que puedan transpirar las plantas y el máximo que se pueda evaporar.

Para el cálculo de la evapotranspiración potencial, se utilizó el método diseñado por Hargreaves, el cual es uno de los más prácticos y confiables recomendado a su vez por el INSIVUMEH. Además, el investigador diseñó una ecuación específica para la región Centroamericana se describe a continuación:

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

Donde:

ETP: Evapotranspiración en mm/mes

TMF: Temperatura media mensual en grados Fahrenheit

RSM: Radiación solar incidente mensual

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

Donde:

RMM: Radiación mensual extraterrestre en mm/mes

S: Brillo medio mensual en (%)

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

Donde:

RS: Radiación solar (Cuadro 1A)

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

Donde:

Ks: Constante para Centroamérica igual a 12.5

HR: Humedad relativa media en %

Debido a que en las estaciones utilizadas en este estudio no se cuenta con el dato de humedad media, el brillo medio mensual se calculó por medio de tablas, determinando la duración media de horas de insolación y posteriormente aplicando la siguiente fórmula:

$$S = \left(\frac{N}{24} \right) \times 100$$

Donde:

N: Número de horas de brillo solar (Cuadro 2A)

Existen dos opciones para estimar la cantidad de agua que toman las plantas, o sea la evaporación real:

a) Variación constante, que supone que las plantas siempre tienen la misma habilidad para extraer agua independientemente de la cantidad de humedad presente en el suelo. Se asume que la evaporación real (ETR) es igual a la evaporación potencial (ETP) o sea $ETR = ETP$.

b) Variación lineal, cuyo criterio es que cuando más se acerque el punto de humedad al punto de marchites, mayor es la dificultad para que las raíces tomen agua del suelo. Los poros pequeños son los que tienen agua y la fuerza capilar el mayor para sacar agua para la planta, además las plantas cierran sus estomas para retener humedad en su organismo. Esta es una situación más real y se utilizará en el balance hídrico de suelos, ya que a mayor déficit de humedad más le cuesta a la planta transpirar. Se asume que la evaporación real es igual a la evaporación potencial, conjuntamente con los factores del suelo. Schosinsky y Losilla (13), propone las siguientes fórmulas para la estimación de la evapotranspiración real.

$$ETR = ETP \times \left(\frac{C_1 + C_2}{2} \right)$$

Donde:

ETR: Evapotranspiración real.

ETP: Evapotranspiración potencial.

C1 y C2 se calculan de la siguiente forma:

$$C_1 = \frac{Hi - PMP + PI}{CC - PMP}$$

$$C_2 = \frac{Hi - PMP + PI - C_1 \times ETP}{CC - PMP}$$

Donde:

Hi: Humedad inicial del suelo.

PMP: Punto de marchites permanente.

CC: Capacidad de campo.

PI: Precipitación Infiltrada.

ETP: Evapotranspiración potencial.

Es de mucha importancia tomar en cuenta lo siguiente:

Si $C_1 > 1$ entonces $C_1 = 1$

Si $C_1 < 0$ entonces $C_1 = 0$

Si $C_2 > 1$ entonces $C_2 = 1$

Si $C_2 < 0$ entonces $C_2 = 0$

B) Determinación de la Precipitación Media

Para la determinación de la precipitación media en el área de estudio, se utilizó el método de las isoyetas, las cuales son líneas que unen puntos con precipitaciones iguales; el método consiste en dibujar la cuenca a escala, ubicar las estaciones dentro de ella y colocar sus valores de precipitación, con esta información se trazan las isoyetas igual que se trazan las curvas de nivel. Se utilizó la siguiente ecuación:

$$P_m = \frac{\sum (P_i \times A_i)}{A_t}$$

Donde:

P_m: Precipitación media

P_i: Precipitación media entre dos isoyetas.

A_i: Área entre dos isoyetas y el parte aguas de la cuenca.

A_t: Área total.

C) Determinación de la Precipitación Efectiva

Se entiende como precipitación efectiva la porción de la precipitación que puede infiltrarse en el suelo y está disponible para las raíces de las plantas, o bien, infiltrar profundamente y llegar a un acuífero (8).

Para determinar la precipitación efectiva, se utilizó el método de Schosinsky & Losilla (13), el cual se basa en la utilización de una ecuación resultante de correlación estadística en análisis de bandas de pluviógrafo. Considera la velocidad de infiltración del suelo como el factor principal que condiciona la cantidad de precipitación pluvial que puede infiltrarse.

La fórmula general generada por Schosinsky y Losilla (13), para la determinación de la precipitación efectiva es la siguiente:

$$P_{ef} = (1 - Ki) \times Ci \times P$$

Donde:

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

P: Precipitación mensual

C_i : Coeficiente de infiltración.

K_i : Valor de retención vegetal (para bosque la retención es de 0.20; para cultivos en general 0.12 y para techos de casas, caminos y áreas construidas, es de 0.1 a 0.05).

Además el método considera tres aspectos:

- La relación existente entre la infiltración y la precipitación (K_{fc}) o la fracción que infiltra por efecto del suelo.
- La relación que existe entre la infiltración y la pendiente del terreno (K_p) o la fracción que infiltra por efecto de la pendiente.
- La relación que existe entre la infiltración y la cobertura vegetal (K_v) o la fracción que infiltra por efecto de la vegetación.

La sumatoria de estos tres aspectos proporciona el coeficiente de infiltración para un determinado suelo e indica la capacidad de infiltración del mismo.

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

Donde:

C_i: Coeficiente de infiltración

K_{fc}: Factor de infiltración por efecto del suelo

K_p: Factor de infiltración por efecto de la pendiente

K_v: Factor de infiltración por efecto de la cobertura vegetal.

Schosinsky & Losilla (13), obtuvieron una ecuación que relaciona la capacidad de infiltración de agua en el suelo (infiltración básica) con la intensidad de la lluvia, y es la siguiente:

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

Donde:

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

Ln: Logaritmo neperiano (natural)

fc: Valor de infiltración básica en mm/día

Los valores del factor de infiltración por efecto de la pendiente (K_p) y el factor de infiltración por efecto de la cobertura vegetal (K_v) propuestos por Schosinsky y Losilla (13), se presentan a continuación:

CUADRO 3. Valores de Infiltración básica por Efecto de la Pendiente (K_p).

Pendiente	(%)	Coeficiente propuesto
Muy plana	0.02 – 0.06	0.30
Plana	0.3 – 0.4	0.20
Algo plana	1 – 2	0.15
Promedio	2 – 7	0.10
Fuerte	> 7	0.06

Fuente: Schosinsky y Losilla (2000)

En todas la unidades de mapeo, la pendiente media que se midió fue mayor del 7%, por lo que se utilizo el coeficiente K_p = 0.06

CUADRO 4. Valores de Infiltración básica por Efecto de la Cobertura Vegetal (Kv).

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

Fuente: Schosinsky y Losilla (2000)

El factor Kv, fue basado en el mapa de cobertura vegetal de la microcuenca, generado en base a la fotointerpretación y al reconocimiento de campo.

D) Cálculo de la Recarga Hídrica Natural

Para el cálculo de la recarga hídrica natural se utilizó la siguiente ecuación:

$$Rh = P_{ef} + HIS - HFS - ETR$$

Donde:

Rh: Recarga hídrica.

P_{ef} : Precipitación efectiva.

HIS: Humedad inicial del suelo.

HFS: Humedad final del suelo.

ETR: Evapotranspiración real.

5.2 DETERMINACIÓN DE LAS ZONAS DE MAYOR RECARGA HÍDRICA NATURAL DE LA MICROCUENCA DEL RÍO SIBACÁ

Después de haber realizado todos los cálculos de recarga hídrica natural en cada una de las unidades de muestreo definidas en la microcuenca del río Sibacá, se alcanzó identificar las unidades de mapeo que más lámina de agua aportan. Para clasificar cada una de las unidades de mapeo, se utilizó un criterio cuantitativo tomando en cuenta el propuesto por Herrera (4), y modificada a la lámina que aporta cada unidad, dividiendo la recarga en cuatro clases como se presenta en el siguiente cuadro:

CUADRO 5. Clasificación de las zonas de mayor recarga hídrica natural por medio de la lámina de recarga anual.

Rango (m ³ /año)	Criterio
> 862.5	Muy Alta
575 – 862.5	Alta
287.5 – 575	Media
< 287.5	Baja

5.3 REALIZACIÓN DEL BALANCE HÍDRICO DE SUELOS DE LA MICROCUENCA DEL RÍO SIBACÁ

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

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

Donde:

Pp: Precipitación pluvial

ETR: Evapotranspiración real.

Esc: Escorrentía superficial.

Ret: Retención vegetal.

Rec: Recarga hídrica

La escorrentía superficial se calcula utilizando la ecuación siguiente:

$$Escorrentía = precipitación - retención - precipitación efectiva.$$

5.4 ELABORACIÓN DEL MAPA DE RECARGA HÍDRICA DE LA MICROCUENCA DEL RÍO SIBACÁ

Después de haber realizado el análisis de recarga hídrica y balance hídrico de suelos de la microcuenca del río Sibacá, se elaboró el mapa de las principales áreas de recarga hídrica de la microcuenca del río sibacá, utilizando el software Arc View 3.3.

6. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

6.1 CUANTIFICACIÓN DE LA RECARGA HÍDRICA NATURAL DE LA MICROCUENCA DEL RÍO SIBACÁ

6.1.1 Información Climática

Después de un año de recopilación de datos climáticos en la estación Tapesquillo y la recopilación de los datos de la estación Chinique, los resultados se presentan a continuación:

CUADRO 6. Precipitación pluvial mensual (mm) de las estaciones de la microcuenca del río Sibacá.

Estación	2,003									2,004			Total
	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	
Chinique	55.5	139.9	303.1	257.5	251.5	328.1	199.0	57.6	19.0	2.5	5.3	12.0	1,633.7
Tapesquillo	26.4	194.6	377.9	415.3	150.3	695.2	254.7	78.0	9.5	21.5	0.0	9.8	2,155.3

Fuente: INSIVUMEH e INAB

CUADRO 7. Temperatura máxima, media y mínima (°C) promedio mensual de las estaciones de la microcuenca del río Sibacá.

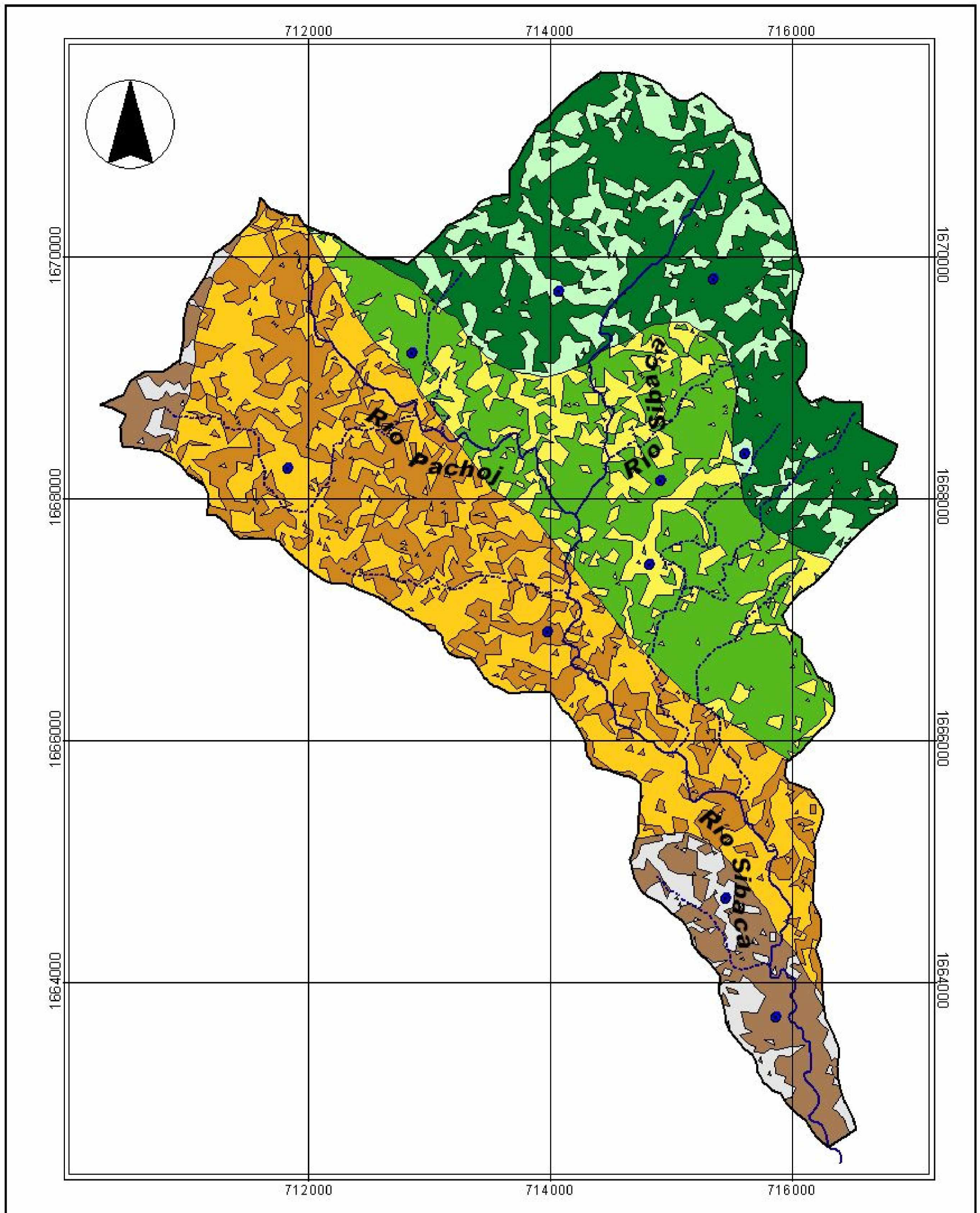
Estación		2,003									2,004			Total
		Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	
Chinique	T°max	24.5	24.4	23.4	22.7	22.7	22.6	22.6	22.5	21.8	23.0	21.7	22.8	23.9
	T°med	18.0	17.7	17.2	16.5	16.5	16.4	16.2	15.6	14.8	16.4	16.4	15.2	16.4
	T°min	11.4	11.0	11.0	10.2	10.3	10.2	9.7	8.7	7.8	9.8	11.2	7.7	8.9
Tapesquillo	T°max	23.8	23.5	21.7	20.9	21.3	21.6	21.8	21.3	21.1	20.8	22.0	22.3	21.8
	T°med	19.0	19.1	18.5	17.4	17.5	17.6	17.2	17.4	17.6	17.3	17.7	17.1	17.8
	T°min	14.2	14.6	15.2	13.9	13.7	13.7	12.7	13.4	14.0	13.8	13.3	11.9	13.7

Fuente: INSIVUMEH e INAB

La falta de información climática a nivel nacional y en especial dentro del área de estudio, representa una limitante para este tipo de investigaciones, ya que no se cuenta con registros históricos, por los que los resultados que se obtendrán en la estación Tapesquillo serán únicamente de un año de registro, recomendando el seguimiento del registro de esta estación y la implementación de nuevas estaciones meteorológicas.

6.1.2 Unidades de Mapeo

Las unidades de mapeo fueron definidas como presentan en la figura 7.



Unidades de mapeo y pruebas de infiltración de la microcuenca del río Sibacá

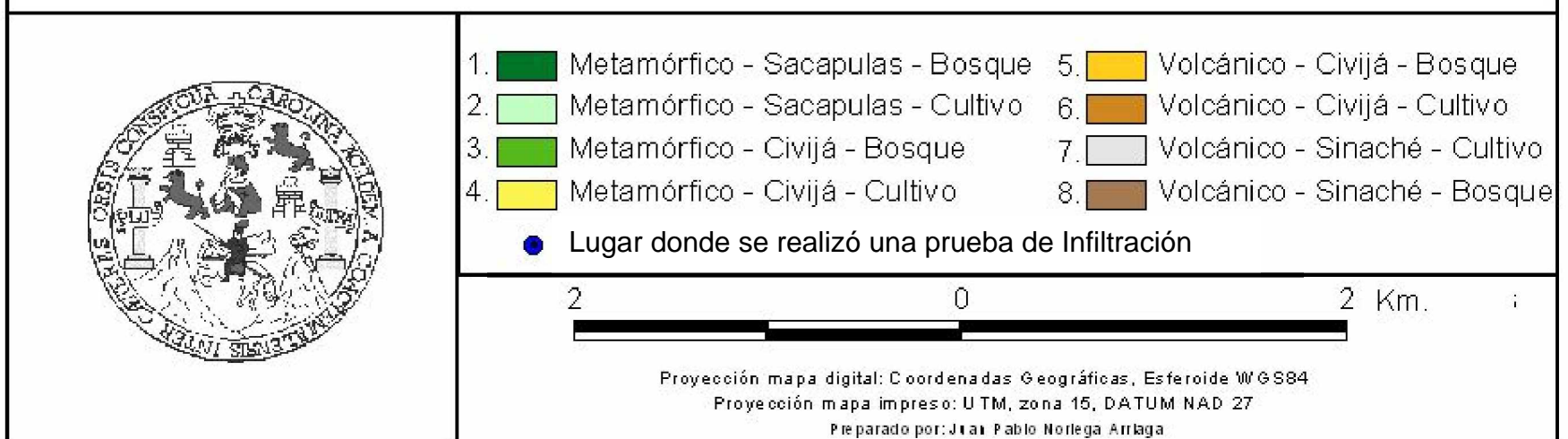


FIGURA 7. Mapa de unidades de mapeo y pruebas de infiltración de la microcuenca del río Sibacá.

6.1.3 Cálculo de la Infiltración Básica

Se realizaron un total de diez pruebas de infiltración distribuidas en las distintas unidades de mapeo definidas, las velocidades de infiltración básica se presentan en el siguiente cuadro.

CUADRO 8. Infiltración básica de las unidades de muestreo de la microcuenca del río Sibacá.

Unidad de mapeo	Pruebas de infiltración	Coordenadas UTM		Infiltración básica	
		X	Y	mm/día	m/día
1	1	715352	1669816	481.10	0.4811
2	2	714078	1669718	355.97	0.3560
		715610	1668373	354.01	0.3540
3	2	715460	1664690	889.34	0.8893
		714922	1668145	843.84	0.8438
4	1	714828	1667457	263.23	0.2632
5	1	711835	1668252	266.69	0.2667
6	1	713981	1666896	202.44	0.2024
7	1	712863	1669209	657.69	0.6577
8	1	715875	1663714	200.02	0.2000

La mayoría de las unidades mapeo reportan valores de infiltración básica considerables, que oscilan entre los 0.20 y 0.89 m/día, alcanzándose las mayores velocidades en las unidades de mapeo de la parte alta de la microcuenca y las menores en la parte media de la misma.

6.1.4 Densidad Aparente, Textura y Constantes de Humedad

Las características físicas del suelo son de gran importancia para la recarga hídrica de los suelos, principalmente las constantes de humedad, la densidad aparente y la textura, ya que influyen directamente sobre la velocidad de infiltración, es decir facilitan o dificultan el paso del agua a través del suelo hacia los estratos inferiores.

En el cuadro 9 se presentan los resultados obtenidos de los parámetros mencionados

CUADRO 9. Constantes de humedad, densidad aparente y textura de las unidades de mapeo de la microcuenca del río Sibacá.

Unidad de mapeo	Humedad (%)		Densidad aparente	Granulometría (%)			Textura
	CC	PMP		Arcilla	Limo	Arena	
1	48.90	34.16	0.80	24.61	25.20	50.19	Franco Arcilloso
2	51.26	28.22	0.80	35.11	27.30	37.59	Franco Arcilloso
3	47.62	25.74	0.77	16.21	25.20	58.59	Franco Arenoso
4	29.45	13.73	1.00	20.41	25.20	54.30	Franco Arcilloso
5	22.80	11.47	1.05	16.21	21.00	62.79	Franco Arenoso
6	19.91	9.80	1.11	09.91	18.90	71.19	Franco Arenoso
7	32.91	15.57	0.82	12.01	25.20	62.79	Franco Arenoso
8	16.72	7.84	0.81	12.01	14.70	73.29	Franco Arenoso

Fuente: Laboratorio Suelo, Agua Planta FAUSAC

La textura en la parte baja de la microcuenca es predominantemente franco-arenosa y en la parte alta franco-arcillosa, hallándose una combinación de ambas en la parte media; la densidad aparente oscila entre los 0.77 y 1.11 gr/cc.

6.1.5 Aforo de Manantiales y Aforos Diferenciales

Los manantiales son la principal fuente de agua para consumo que utilizan las comunidades que se encuentran dentro de la microcuenca del río Sibacá, por lo que se aforaron los que le dan origen al río Pachoj y al río Sibacá. Ambos manantiales fueron aforados durante la época de estiaje y la época lluviosa utilizando el método de sección velocidad descrito en la metodología.

Así mismo fue aforado el río en varios lugares a lo largo de la corriente principal, (Figura 6) al igual que los manantiales el procedimiento se llevo a cabo durante la época de estiaje y la época lluviosa y el método utilizado fue el de sección velocidad; el principal objetivo de estos aforos fue determinar el comportamiento del caudal del río, es decir si el río se comporta como efluente o influente. Los resultados de los aforos realizados a los manantiales y al cause del río Sibacá se muestran en el cuadro 10.

CUADRO 10. Ubicación y caudal de manantiales aforados en la microcuenca del río Sibacá.

Lugar	Lugar aforo	Coordenadas		Altitud m.s.n.m.	Caudal estiaje		Caudal invierno		Clase	Aumento (%)
		X	Y		l/s	m ³ /día	l/s	m ³ /día		
Pachoj	Manantial	71203	166970	1,238	18.50	1,598.4	22.87	1,976	---	23.62
Sibacá	Manantial	71516	167036	2,265	32.62	2,818.3	48.30	4,173	---	48.06
Aforo A	Cauce río	71410	166790	1,982	68.65	5,931.3	140.54	12,143	Efluente	104.72
Aforo B	Cauce río	71425	166792	1,993	96.37	8,326.3	180.99	15,638	Efluente	87.81
Aforo C	Cauce río	71501	166589	1,863	186.2	1,6092	374.69	32,373	Efluente	101.18
Aforo D	Cauce río	71505	166592	1,872	92.83	8,020.5	178.53	15,425	---	92.32
Aforo E	Cauce río	71631	166264	1,787	262.8	22,711	630.20	54,449	Efluente	139.74

La totalidad de las corrientes aforadas de la microcuenca del río Sibacá, incrementan su caudal a lo largo de su recorrido, lo que indica que en su recorrido el río es fluente. Cabe mencionar que los materiales geológicos presentes dentro de la cuenca no están fracturados, por lo que el agua que capta la cuenca se convierte en flujo subsuperficial, adicionalmente también hay captación en sitios adyacentes a la microcuenca los cuales drenan sus aguas a la microcuenca del río Sibacá esto se refleja en el volumen en el caudal de estiaje.

6.1.6 Evapotranspiración Potencial

La evapotranspiración potencial calculada por medio del método de Hargraves y sus resultados se presentan en los cuadros 11 y 12.

CUADRO 11. Evapotranspiración potencial (mm) de la estación Chinique, para la parte baja de la microcuenca del río Sibacá.

Mes	Temperatura		Radiación Extraterrestre		Brillo solar (horas/día)	Brillo medio mensual (%)	ETP mm/mes
	°C	°F	mm/día	mm/mes			
Enero	17.10	62.78	12.20	378.32	11.30	47.08	91.67
Febrero	17.40	63.32	13.45	376.68	11.60	48.33	93.27
Marzo	18.40	65.12	14.80	458.86	12.00	50.00	118.85
Abril	19.70	67.46	15.65	469.53	12.50	52.08	128.58
Mayo	19.20	66.56	15.95	494.42	12.80	53.33	135.19
Junio	18.60	65.48	15.80	473.94	13.00	54.17	128.48
Julio	18.20	64.76	15.80	489.74	12.90	53.75	130.79
Agosto	18.10	64.58	15.70	486.70	12.60	52.50	128.10
Septiembre	18.40	65.12	15.05	451.53	12.20	50.83	117.92
Octubre	18.40	65.12	14.00	434.06	11.80	49.17	111.49
Noviembre	17.90	64.22	12.60	378.12	11.40	47.50	94.14
Diciembre	17.30	63.14	11.80	365.92	11.20	46.67	88.78

CUADRO 12. Evapotranspiración potencial (mm) de la estación Tapesquillo, para la parte alta y media de la microcuenca del río Sibacá.

Mes	Temperatura		Radiación Extraterrestre		Brillo solar horas/día	Brillo medio mensual (%)	ETP mm/mes
	°C	°F	mm/día	mm/mes			
Enero	15.70	60.26	12.20	378.32	11.30	47.08	87.99
Febrero	14.80	58.64	13.45	376.68	11.60	48.33	86.38
Marzo	16.32	61.38	14.80	458.86	12.00	50.00	112.02
Abril	18.03	64.45	15.65	469.53	12.50	52.08	122.85
Mayo	17.55	63.59	15.95	494.42	12.80	53.33	129.15
Junio	16.23	61.21	15.80	473.94	13.00	54.17	120.11
Julio	15.94	60.69	15.80	489.74	12.90	53.75	122.58
Agosto	15.81	60.46	15.70	486.70	12.60	52.50	119.93
Septiembre	16.35	61.43	15.05	451.53	12.20	50.83	111.24
Octubre	16.32	61.38	14.00	434.06	11.80	49.17	105.08
Noviembre	15.22	59.40	12.60	378.12	11.40	47.50	87.07
Diciembre	14.60	58.28	11.80	365.92	11.20	46.67	81.95

La evapotranspiración anual en las estaciones de Chinique y Tapesquillo es de 1,367 y 1,286mm respectivamente, siendo mayor en Chinique, debido a la diferencia de altitud.

6.1.7 Precipitación Media

El cálculo de la precipitación media se llevó a cabo por medio del método de las isoyetas. Los datos de precipitación que se usaron para la parte media y alta de la cuenca fueron de la estación Tapesquillo y para la parte baja los de la estación Chinique.

6.1.8 Cálculo de la Recarga Hídrica Natural

Para el cálculo de la recarga de cada unidad de mapeo se utilizó una hoja electrónica de Excel, elaborada por Schosinsky & Losilla (13). El cálculo se inicio en el mes de octubre por suponer que los suelos se encuentran saturados, cercanos a la capacidad de campo debido a la finalización de la época lluviosa.

Los resultados de área, precipitación, evapotranspiración real, escorrentía superficial, retención vegetal y recarga hídrica natural para cada una de las unidades de muestreo se presentan en el cuadro 13.

CUADRO 13. Recarga hídrica natural de las unidades de mapeo de la microcuenca del río Sibacá.

Unidad de Mapeo	Área (m ²)	Pp (m ³ /año)	ETR (m ³ /año)	Esc (m ³ /año)	Ret (m ³ /año)	Rec (m ³ /año)
1	4,648,940	10,382,245.26	4,449,314.52	0.00	2,108,247.80	4,103,619.34
2	2,299,490	5,135,336.04	1,946,012.40	228,753.27	544,082.33	2,360,679.43
3	4,567,940	10,201,352.01	4,591,008.10	0.00	2,071,515.11	3,538,828.80
4	1,992,070	4,448,790.33	1,745,690.78	0.00	471,343.68	2,231,775.78
5	5,205,490	8,504,209.01	5,188,988.60	83,704.28	1,761,746.04	1,718,852.80
6	3,939,120	6,435,340.34	3,317,132.95	1,010,029.76	705,969.09	1,402,208.55
7	719,530	1,175,496.15	628,660.56	0.00	128,954.17	417,881.44
8	1,531,380	2,501,815.51	1,480,568.81	156,951.14	518,280.25	421,098.87
Total	24,903,960	48,784,584.65	23,347,376.72	1,479,438.45	8,310,138.46	16,194,945.01

Como se observa, en toda la microcuenca se produce recarga hídrica, siendo mayor el volumen de recarga anual en las unidades de muestreo de la parte alta y media de la microcuenca, sin embargo de esta recarga (16,194,945.01 m³/año), gran parte pasa a formar parte del flujo subsuperficial debido al tipo de materiales geológicos impermeables presentes dentro de la microcuenca, al final este flujo alimenta el caudal del río.

6.2 DETERMINACIÓN DE LAS ZONAS DE MAYOR RECARGA HÍDRICA NATURAL DE LA MICROCUENCA DEL RÍO SIBACÁ

Después de cuantificar la recarga hídrica en cada una de las unidades de mapeo definidas, se realizó una clasificación en base a la lámina de agua que cada unidad aporta a la recarga, utilizando un criterio cuantitativo, tomando en cuenta la clasificación realizada por Herrera (4), y adaptándola a los valores de recarga reportados en este estudio. Las áreas de mayor recarga se presentan en la siguiente cuadro.

CUADRO 14. Clasificación de las unidades de mapeo de recarga hídrica natural de la microcuenca del río Sibacá.

Unidad de Mapeo	Área Km ²	Recarga hídrica natural (anual)		Aporte (%)	Clase
		mm	m ³ /Km ²		
1	4.65	882.70	882,700	17	Muy alta
2	2.30	1026.61	1,026,610	19	Muy alta
3	4.57	774.71	774,710	14	Alta
4	2.00	1120.33	1,120,330	21	Muy alta
5	5.20	330.20	330,200	6	Media
6	3.92	355.97	355,970	7	Media
7	1.53	580.77	580,770	11	Alta
8	0.72	289.56	289,560	5	Media

Las unidades 1, 2 y 4 se clasifican como muy alta recarga hídrica, aportando el 57% de la recarga de la microcuenca. Estas unidades se ubican en la parte alta y en ciertas áreas de la parte media, las unidades 3 y 7 se clasificaron como recarga hídrica alta, aportando 25% del total de la recarga, ubicando estas unidades en áreas de la parte media y baja, y el restante 18% los aportan las unidades 5,6 y 8 que se ubican en un área considerable de la parte media y baja de la microcuenca, estas unidades se clasificaron como recarga media.

6.3 BALANCE HIDRICO DE SUELOS

En el siguiente cuadro se presenta el resumen del balance hídrico de suelos realizado a la microcuenca del río Sibacá, en él se aprecia que el volumen de los factores de salida del sistema, es ligeramente mayor que el volumen de entrada expresado por la precipitación pluvial, habiendo un exceso de 547,314.01 m³/año, lo que refleja un error de balance hídrico de 1.12%, considerándose aceptable.

CUADRO 15. Balance hídrico de suelos de la microcuenca del río Sibacá.

Entrada		Salidas		%
Factor	m ³ /año	Factor	m ³ /año	
Precipitación pluvial	48,784,584.65	Evapotranspiración real	23,347,376.72	47.86
		Escorrentía superficial	1,479,438.45	3.03
		Retención Vegetal	8,310,138.46	17.03
		Recarga hídrica potencial	16,194,945.14	33.20
Sumatoria	48,784,584.65	Sumatoria	49,331,898.65	101.12

Del cuadro anterior es de notar el poco aporte que hace la escorrentía superficial en el balance hídrico (3.03% del total de la precipitación), esta cantidad comparada con el caudal del río en la época de estiaje, refleja que la cuenca recibe agua no solo de la lluvia, sino también del flujo subsuperficial y de áreas adyacentes a la microcuenca que alimentan y mantienen este caudal a lo largo del año.

La evapotranspiración es el factor responsable del 47.86% de las salidas del sistema, principalmente en unidades con cobertura boscosa, sin embargo en estas mismas unidades es en donde menos escorrentía ocurre llegando a 0% en las unidades 1, 3

6.4 MAPA DE RECARGA HÍDRICA DE LA MICROCUENCA DEL RÍO SIBACÁ

Posteriormente a la determinación de las zonas de mayor recarga hídrica natural de la microcuenca del río Sibacá y de asignar una clase a cada unidad de mapeo, se derivó el mapa de clasificación de la recarga hídrica natural que se presenta en la figura 8.

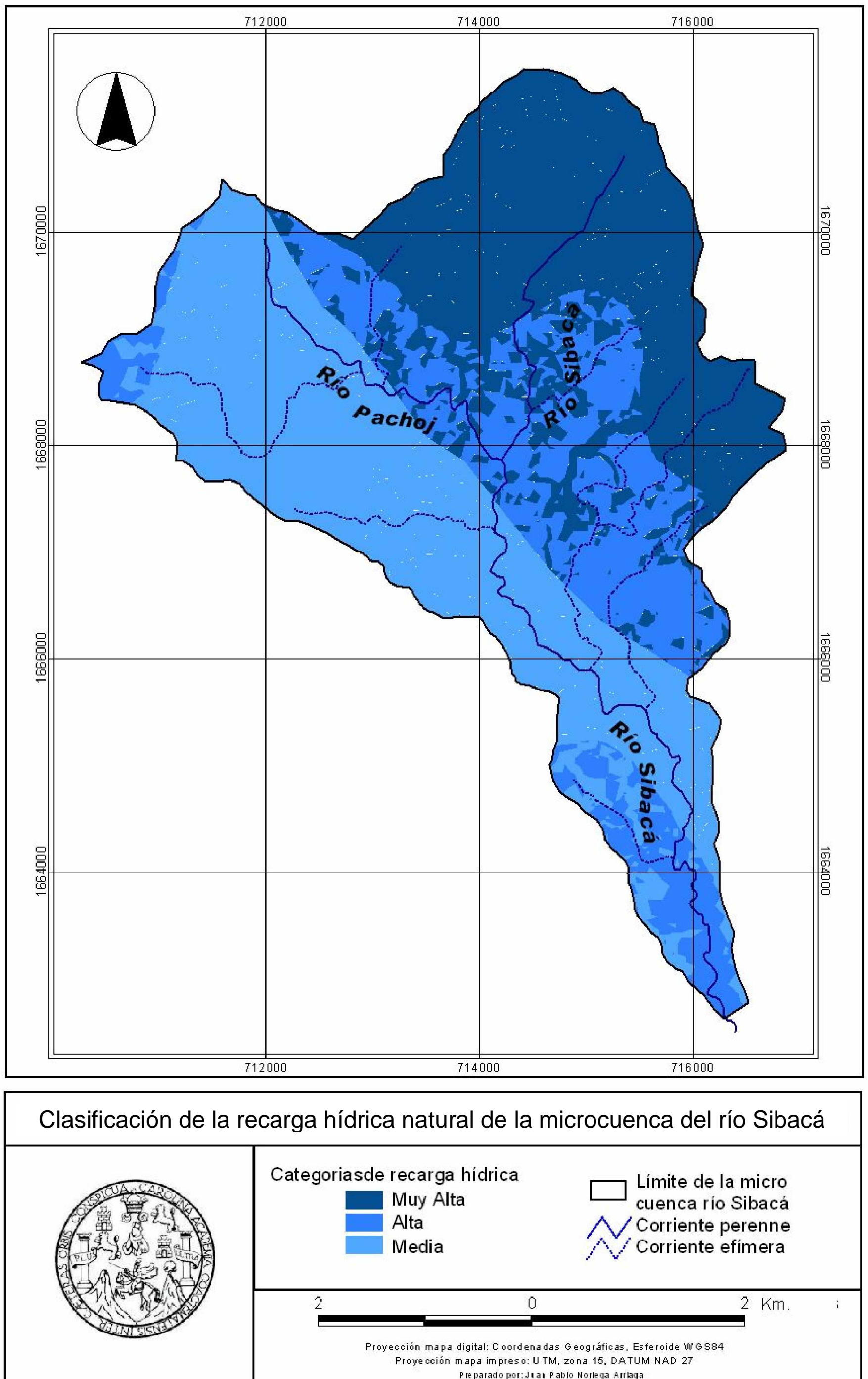


FIGURA 8. Mapa de clasificación de la recarga hídrica natural de la microcuenca del río Sibacá.

7. CONCLUSIONES

- 7.1 De acuerdo a los análisis realizados en la microcuenca del río Sibacá, se estima que la recarga hídrica natural es de 16.2 millones de m³/año.
- 7.2 Las zonas clasificadas como de muy alta recarga hídrica, se encuentran ubicadas en la parte alta de la microcuenca, entre las comunidades de Aguilix, Sibacá y Tapesquillo, aportando un 56% del total de la recarga, (3 millones de m³/año).
- 7.3 Las zonas clasificadas como de alta recarga hídrica se ubican mayoritariamente en la parte media de la microcuenca, en las comunidades de Chiul y Cacabal. En menor proporción en la comunidad de Cordoncillo, estas zonas aportan el 31% del total de la recarga hídrica (1.35 millones de m³/año).
- 7.4 Las zonas de media recarga hídrica, se encuentran distribuidas entre la parte media y baja de la microcuenca, en las comunidades de Pachoj, Paquinac y Cordoncillo, aportando el 13% del total de la recarga hídrica estimada, que son 1,065,610 m³/año.
- 7.5 De acuerdo al balance hídrico realizado, se estima que la recarga hídrica natural total de la microcuenca es del 33% de la precipitación total de la microcuenca.
- 7.6 El cauce principal del río Sibacá, así como sus tributarios son efluentes, reciben agua del flujo sub superficial de la microcuenca y áreas adyacentes, lo que hace que persista el caudal del río a lo largo del año.

8. RECOMENDACIONES

- 8.1** La microcuenca del río Sibacá y principalmente las áreas de muy alta recarga hídrica definidas en este estudio, deben ser objeto de manejo especial, para conservar o mejorar su capacidad de captación de agua, es decir, las áreas cubiertas con bosque deben ser manejadas concientemente y en las áreas de cultivos se debe de promover técnicas de conservación de suelos.
- 8.2** Recopilar datos climáticos que generen series más consistentes para realizar futuras investigaciones y así poder comparar con los resultados obtenidos en el presente estudio.
- 8.3** Prolongar el apoyo en la toma de datos climáticos de la estación meteorológica ubicada en la aldea Tapesquillo, Chinique e implementar mayor cantidad de estaciones en las partes altas de cuencas aledañas.
- 8.4** Realizar en la zona estudios detallados sobre geología y suelos, para darle mayor detalle a la información.
- 8.5** Establecer áreas de protección de los manantiales, principalmente los utilizados para consumo humano.
- 8.6** Llevar a cabo muestreos de agua para determinar su calidad físico-química y bacteriológica.
- 8.7** Implementar un programa de información y concientización sobre el manejo racional de los recursos naturales, enfocado principalmente al manejo del agua.
- 8.8** Implementar programas de capacitación sobre prácticas agrícolas y forestales, enfocadas al manejo racional del recurso hídrico

9. BIBLIOGRAFÍA

1. 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.
2. Custodio, E; Llamas, MR. 2001. Hidrología subterránea. 2 ed. Barcelona, España, Omega. v. 1-2, 2350p.
3. Granados, EO. 1983. Diagnóstico físico de la cuenca de los ríos Xayá Pixcayá. Tesis Ing. Agr. Guatemala, USAC. 133 p.
4. Herrera Ibáñez, I. 2002. Hidrogeología práctica. Guatemala, USAC, Facultad de Agronomía / Red Centroamericana de Manejo de Recursos Hídricos. 190 p.
5. Herrera Ibáñez, I. 1995. Manual de hidrología. Guatemala, USAC, Facultad de Agronomía. 223 p.
6. INE. (Instituto Nacional de Estadística, GT). 2003. Cifras definitivas del XI censo de población y VI de habitación. Guatemala. 38 p.
7. Johnson, EE. 1975. El agua subterránea y los pozos. Minnesota, US, Jonson. 513 p.
8. Linsley, A. 1988. Hidrología para ingenieros. 2 ed. México. McGraw – Hill. 386 p.
9. Motta Franco, E. 2001. Modelo matemático del acuífero de la parte alta de la cuenca del río Guacalate, Chimaltenango y Sacatepéquez, Guatemala. Tesis MSc. Costa Rica, Universidad de Costa Rica, Escuela Centroamericana de Geología. 125 p.
10. MAGA (Ministerio de Agricultura, Ganadería y Alimentación, GT). 2000. Mapas temáticos digitales de la República de Guatemala. Guatemala. Esc. 1:250,000. 1 CD.
11. Orozco, E; Padilla, T; Salguero, M. 2003. Metodología para la determinación de áreas de recarga hídrica natural (capacitación técnica). Guatemala, USAC, Facultad de Agronomía, / Instituto Nacional de Bosques, Proyecto de Conservación de Ecosistemas Forestales Estratégicos. 62 p.
12. Sandoval Illescas, JE. 1989. Principios de riego y drenaje. Guatemala, USAC, Facultad de Agronomía. 345 p.
13. Schosinsky, G; Losilla, M. 2000. Balance hídrico. *In* Curso de hidrología con énfasis en balance hídrico (2003, Guatemala). Guatemala, USAC, Facultad de Agronomía. p62 - p120

14. SEGEPLAN (Secretaría de Planificación y Programación, GT). 2001. Caracterización del municipio de Chinique. Guatemala. 13 p.
15. SEGEPLAN (Secretaría de Planificación y Programación, GT). 2001. Caracterización del municipio de San Andrés Sajcabajá. Guatemala. 11 p
16. SEGEPLAN (Secretaría de Planificación y Programación, GT). 2001. Caracterización del municipio de Santa Cruz del Quiché. Guatemala. 12 p.
17. Simons, C; Tarano, JM; Pinto, JH. 1959. Clasificación a nivel de reconocimiento de los suelos de la república de Guatemala. Trad. por Pedro Tirado Sulsona. Guatemala, José Pineda Ibarra. 100 p.
18. Taracena, J; 1999. Determinación de la disponibilidad del curso hídrico subterráneo y propuestas de políticas y estrategias de uso en la cuenca del río Itzapa del departamento de Chimaltenango. Tesis Ing. Agr. Guatemala, USAC. 81 p.
19. Velasco, I. 1981. Aspectos generales de la hidráulica de pozos. Chapingo, México, Universidad Autónoma de Chapingo. 51 p.

10. ANEXOS

Cuadro 1A. Duración máxima media diaria de horas de brillo solar para diferentes meses y latitudes.

LATITUD	NORTE	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
	0	12.1	12.1	12.1	12.1	12.1	12.1	12.1	12.1	12.1	12.1	12.1	12.1
	5	11.8	11.9	12.0	12.2	12.3	12.4	12.3	12.3	12.1	12.0	11.9	11.8
	10	11.6	11.8	12.0	12.3	12.6	12.7	12.6	12.4	12.1	11.8	11.6	11.5
	15	11.3	11.6	12.0	12.5	12.8	13.0	12.9	12.6	12.2	11.8	11.4	11.2
	20	11.0	11.5	12.0	12.6	13.1	13.3	13.2	12.8	12.3	11.7	11.2	10.9
	25	10.7	11.3	12.0	12.7	13.3	13.7	13.5	13.0	12.3	11.6	10.9	10.6

Fuente: Orozco, Padilla y Salguero, 2003

Cuadro 2A. Radiación solar extraterrestre, RMM, expresada en evaporación equivalente en mm/día.

LATITUD	NORTE	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
	0	13.0	15.5	15.7	15.3	14.4	13.9	14.1	14.8	15.3	15.4	15.1	14.8
	2	14.7	15.3	15.6	15.3	14.6	14.2	14.3	14.9	15.3	15.3	14.8	14.4
	4	14.3	15.0	15.5	15.5	14.9	14.4	14.6	15.1	15.3	15.1	14.5	14.1
	6	13.9	14.8	15.4	15.4	15.1	14.7	14.9	15.2	15.3	15.0	14.2	13.7
	8	13.6	14.5	15.3	15.6	15.2	15.0	15.1	15.4	15.3	14.8	13.9	13.3
	10	13.2	14.2	15.3	15.7	15.5	15.3	15.3	15.5	15.3	14.7	13.9	12.9
	12	12.8	13.9	15.1	15.7	15.7	15.5	15.5	15.6	15.2	14.4	13.3	12.5
	14	12.4	13.6	14.9	15.7	15.0	15.7	15.7	15.7	15.1	14.1	12.8	12.0
	16	12.0	13.3	14.7	15.6	16.0	15.9	15.9	15.7	15.0	13.9	12.4	11.6
	18	11.6	13.0	14.6	15.6	16.1	16.1	16.1	15.8	14.9	13.6	12.0	11.1
20	11.2	12.7	14.4	15.6	16.3	16.4	16.3	15.9	14.8	13.3	11.6	10.7	

Fuente: Orozco, Padilla y Salguero, 2003

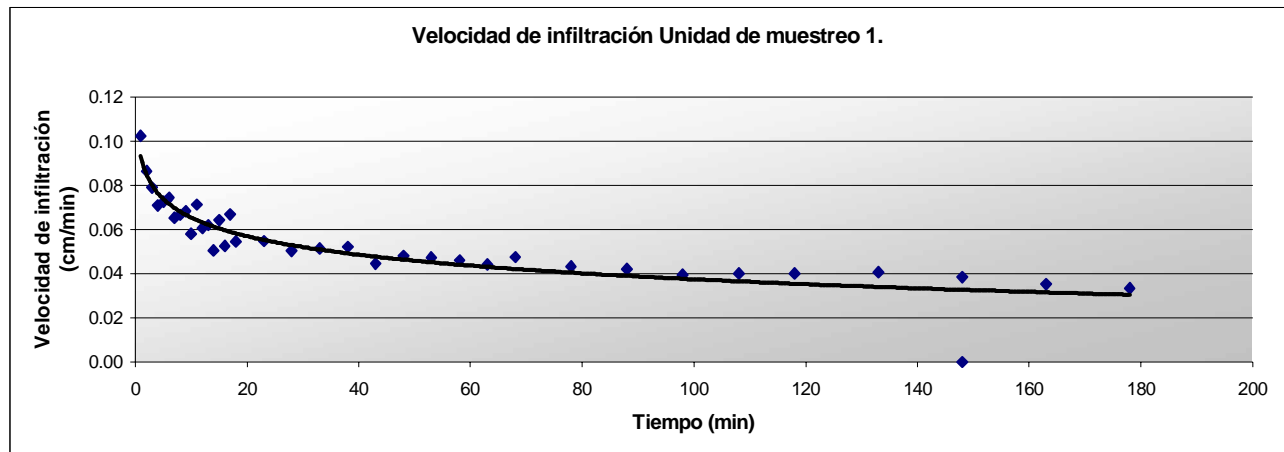
ANEXO 1. PRUEBAS DE INFILTRACIÓN

Unidad de mapeo: 1

Uso: Bosque

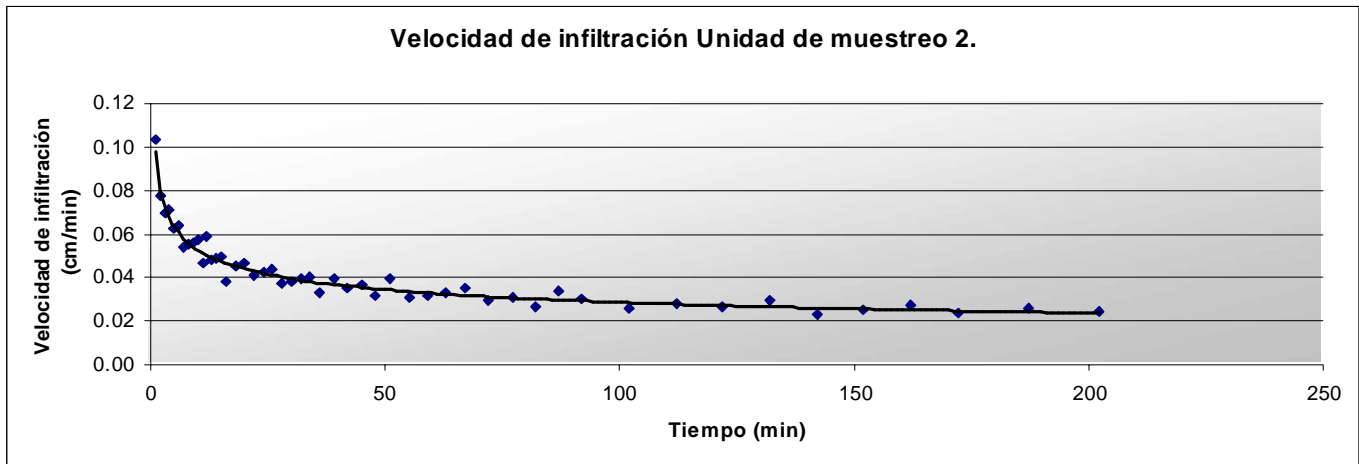
Fecha: 11-Nov-2004

Intervalo (min)	Acumulado (min)	Lectura (cm)	Diferencia (cm)	R		Ln	Velocidad de Infiltración				
				2(t2-t1)	(2h1 + R)		(2h2 + R)	(cm/min)	(cm/hr)	(mm/hr)	(mm/día)
0		29.8									
1	1	28.7	1.1	3.00	1.03	0.03	0.10	6.14	61.40	1473.63	
1	2	27.8	0.9	3.00	1.03	0.03	0.09	5.18	51.84	1244.25	
1	3	27.0	0.8	3.00	1.03	0.03	0.08	4.74	47.37	1136.91	
1	4	26.3	0.7	3.00	1.02	0.02	0.07	4.25	42.50	1019.95	
1	5	25.6	0.7	3.00	1.02	0.02	0.07	4.35	43.53	1044.61	
1	6	24.9	0.7	3.00	1.03	0.02	0.07	4.46	44.60	1070.50	
1	7	24.3	0.6	3.00	1.02	0.02	0.07	3.91	39.13	939.17	
1	8	23.7	0.6	3.00	1.02	0.02	0.07	4.00	40.00	960.04	
1	9	23.1	0.6	3.00	1.02	0.02	0.07	4.09	40.91	981.86	
1	10	22.6	0.5	3.00	1.02	0.02	0.06	3.48	34.82	835.62	
1	11	22.0	0.6	3.00	1.02	0.02	0.07	4.27	42.69	1024.55	
1	12	21.5	0.5	3.00	1.02	0.02	0.06	3.64	36.36	872.76	
1	13	21.0	0.5	3.00	1.02	0.02	0.06	3.71	37.11	890.75	
1	14	20.6	0.4	3.00	1.02	0.02	0.05	3.03	30.25	726.07	
1	15	20.1	0.5	3.00	1.02	0.02	0.06	3.85	38.55	925.09	
1	16	19.7	0.4	3.00	1.02	0.02	0.05	3.14	31.44	754.60	
1	17	19.2	0.5	3.00	1.02	0.02	0.07	4.01	40.09	962.18	
1	18	18.8	0.4	3.00	1.02	0.02	0.05	3.27	32.73	785.48	
5	23	16.9	1.9	0.60	1.10	0.09	0.05	3.28	32.83	787.88	
5	28	15.3	1.6	0.60	1.09	0.08	0.05	3.02	30.17	724.19	
5	33	13.8	1.5	0.60	1.09	0.09	0.05	3.08	30.79	738.91	
5	38	12.4	1.4	0.60	1.09	0.09	0.05	3.13	31.32	751.78	
5	43	11.3	1.1	0.60	1.08	0.07	0.04	2.67	26.68	640.29	
5	48	10.2	1.1	0.60	1.08	0.08	0.05	2.88	28.82	691.57	
5	53	9.2	1	0.60	1.08	0.08	0.05	2.84	28.36	680.67	
5	58	8.3	0.9	0.60	1.08	0.08	0.05	2.76	27.59	662.11	
5	63	7.5	0.8	0.60	1.08	0.07	0.04	2.64	26.43	634.41	
5	68	6.7	0.8	0.60	1.08	0.08	0.05	2.85	28.53	684.71	
10	78	5.4	1.3	0.30	1.15	0.14	0.04	2.59	25.90	621.62	
10	88	4.3	1.1	0.30	1.15	0.14	0.04	2.53	25.26	606.34	
10	98	3.4	0.9	0.30	1.14	0.13	0.04	2.37	23.68	568.41	
10	108	2.6	0.8	0.30	1.14	0.13	0.04	2.40	24.04	576.86	
10	118	1.9	0.7	0.30	1.14	0.13	0.04	2.40	24.04	576.86	
15	133	1.0	0.9	0.20	1.23	0.20	0.04	2.44	24.35	584.47	
15	148	0.3	0.7	0.20	1.21	0.19	0.04	2.31	23.08	554.03	
mt	148	28.0		0.20	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
15	163	23.0	5	0.20	1.19	0.18	0.04	2.11	21.11	506.57	
15	178	19.0	4	0.20	1.18	0.17	0.03	2.00	20.05	481.12	



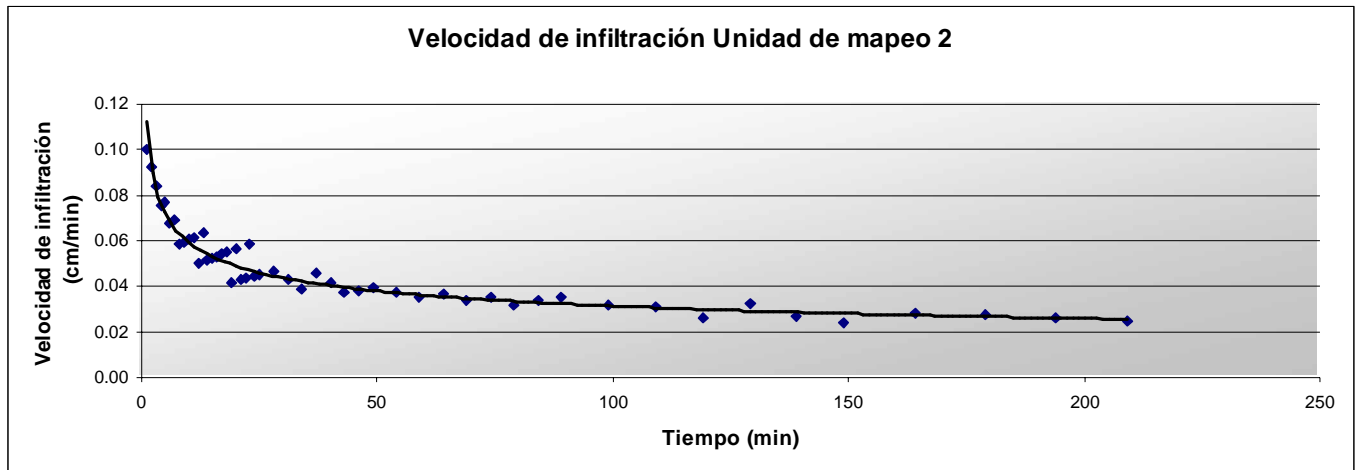
Unidad de mapeo: 2
 Prueba: 1
 Uso: Cultivos
 Fecha: 12-Nov-2004

Intervalo (min)	Acumulado (min)	Lectura (cm)	Diferencia (cm)	R		Ln	Velocidad de Infiltración				
				2(t2-t1)	(2h1 + R)		(cm/min)	(cm/hr)	(mm/hr)	(mm/día)	
0	0	29.5									
1	1	28.4	1.1	3.00	1.04	0.03	0.10	6.20	61.98	1487.47	
1	2	27.6	0.8	3.00	1.03	0.03	0.08	4.65	46.45	1114.90	
1	3	26.9	0.7	3.00	1.02	0.02	0.07	4.17	41.65	999.71	
1	4	26.2	0.7	3.00	1.02	0.02	0.07	4.26	42.64	1023.40	
1	5	25.6	0.6	3.00	1.02	0.02	0.06	3.74	37.37	896.92	
1	6	25	0.6	3.00	1.02	0.02	0.06	3.82	38.16	915.94	
1	7	24.5	0.5	3.00	1.02	0.02	0.05	3.24	32.43	778.40	
1	8	24	0.5	3.00	1.02	0.02	0.06	3.30	33.03	792.68	
1	9	23.5	0.5	3.00	1.02	0.02	0.06	3.36	33.65	807.50	
1	10	23	0.5	3.00	1.02	0.02	0.06	3.43	34.29	822.88	
1	11	22.6	0.4	3.00	1.02	0.02	0.05	2.79	27.91	669.78	
1	12	22.1	0.5	3.00	1.02	0.02	0.06	3.55	35.50	852.10	
1	13	21.7	0.4	3.00	1.02	0.02	0.05	2.89	28.92	693.99	
1	14	21.3	0.4	3.00	1.02	0.02	0.05	2.94	29.39	705.32	
1	15	20.9	0.4	3.00	1.02	0.02	0.05	2.99	29.88	717.03	
1	16	20.6	0.3	3.00	1.01	0.01	0.04	2.27	22.74	545.69	
2	18	19.9	0.7	1.50	1.03	0.03	0.05	2.71	27.10	650.37	
2	20	19.2	0.7	1.50	1.03	0.03	0.05	2.79	27.94	670.56	
2	22	18.6	0.6	1.50	1.03	0.03	0.04	2.47	24.66	591.82	
2	24	18	0.6	1.50	1.03	0.03	0.04	2.54	25.35	608.49	
2	26	17.4	0.6	1.50	1.03	0.03	0.04	2.61	26.09	626.13	
2	28	16.9	0.5	1.50	1.03	0.02	0.04	2.23	22.33	536.01	
2	30	16.4	0.5	1.50	1.03	0.03	0.04	2.29	22.90	549.65	
2	32	15.9	0.5	1.50	1.03	0.03	0.04	2.35	23.50	564.00	
2	34	15.4	0.5	1.50	1.03	0.03	0.04	2.41	24.13	579.12	
2	36	15	0.4	1.50	1.02	0.02	0.03	1.98	19.78	474.74	
3	39	14.3	0.7	1.00	1.04	0.04	0.04	2.38	23.80	571.18	
3	42	13.7	0.6	1.00	1.04	0.04	0.04	2.12	21.18	508.29	
3	45	13.1	0.6	1.00	1.04	0.04	0.04	2.20	21.95	526.89	
3	48	12.6	0.5	1.00	1.03	0.03	0.03	1.89	18.93	454.30	
3	51	12	0.6	1.00	1.04	0.04	0.04	2.35	23.53	564.78	
4	55	11.4	0.6	0.75	1.04	0.04	0.03	1.84	18.37	440.88	
4	59	10.8	0.6	0.75	1.04	0.04	0.03	1.92	19.15	459.64	
4	63	10.2	0.6	0.75	1.05	0.04	0.03	2.00	20.00	480.08	
4	67	9.6	0.6	0.75	1.05	0.05	0.03	2.09	20.93	502.42	
5	72	9.0	0.6	0.60	1.05	0.05	0.03	1.76	17.56	421.55	
5	77	8.4	0.6	0.60	1.05	0.05	0.03	1.85	18.47	443.17	
5	82	7.9	0.5	0.60	1.05	0.04	0.03	1.61	16.15	387.51	
5	87	7.3	0.6	0.60	1.06	0.06	0.03	2.04	20.38	489.19	
5	92	6.8	0.5	0.60	1.05	0.05	0.03	1.79	17.91	429.94	
10	102	6.0	0.8	0.30	1.09	0.09	0.03	1.53	15.33	367.88	
10	112	5.2	0.8	0.30	1.10	0.09	0.03	1.68	16.76	402.15	
10	122	4.5	0.7	0.30	1.09	0.09	0.03	1.61	16.06	385.48	
10	132	3.8	0.7	0.30	1.10	0.10	0.03	1.76	17.64	423.28	
10	142	3.3	0.5	0.30	1.08	0.08	0.02	1.37	13.75	329.93	
10	152	2.8	0.5	0.30	1.09	0.08	0.02	1.49	14.88	357.23	
10	162	2.3	0.5	0.30	1.09	0.09	0.03	1.62	16.23	389.45	
10	172	1.9	0.4	0.30	1.08	0.08	0.02	1.41	14.12	339.00	
15	187	1.3	0.6	0.20	1.14	0.13	0.03	1.57	15.67	376.19	
15	202	0.8	0.5	0.20	1.13	0.12	0.02	1.48	14.83	356.01	



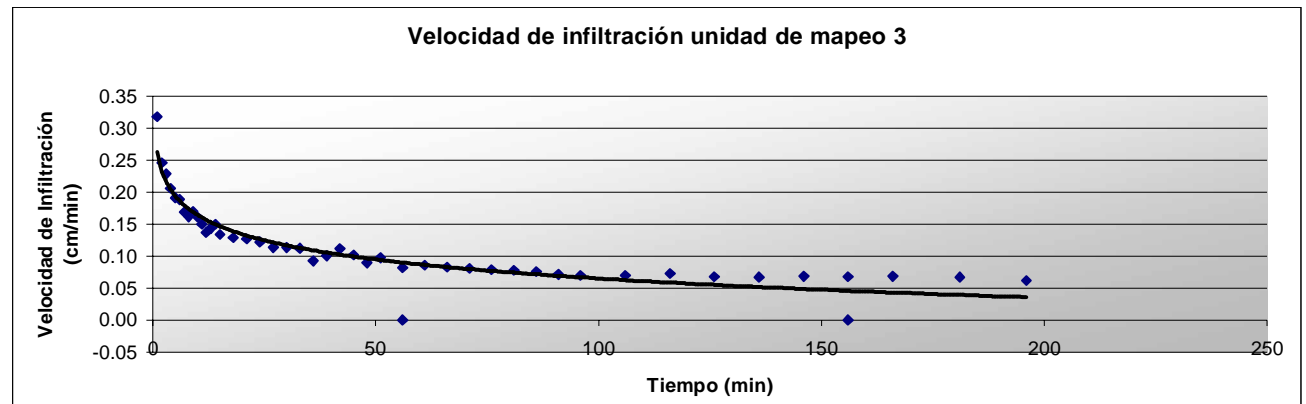
Unidad de mapeo: 2
 Prueba: 2
 Uso: Cultivos
 Fecha: 13-Nov-2004

Intervalo (min)	Acumulado (min)	Lectura (cm)	Diferencia (cm)	R		Ln	Velocidad de Infiltración					
				2(t2-t1)	(2h1 + R)		(2h2 + R)	(cm/min)	(cm/hr)	(mm/hr)	(mm/día)	
0	0	32										
1	1	31	1	3.50	1.03	0.03	0.10	6.00	60.00	1440.10		
1	2	30.1	0.9	3.50	1.03	0.03	0.09	5.55	55.51	1332.24		
1	3	29.3	0.8	3.50	1.02	0.02	0.08	5.06	50.60	1214.52		
1	4	28.6	0.7	3.50	1.02	0.02	0.08	4.53	45.30	1087.25		
1	5	27.9	0.7	3.50	1.02	0.02	0.08	4.63	46.30	1111.23		
1	6	27.3	0.6	3.50	1.02	0.02	0.07	4.05	40.52	972.38		
1	7	26.7	0.6	3.50	1.02	0.02	0.07	4.13	41.31	991.51		
1	8	26.2	0.5	3.50	1.02	0.02	0.06	3.51	35.06	841.42		
1	9	25.7	0.5	3.50	1.02	0.02	0.06	3.57	35.65	855.71		
1	10	25.2	0.5	3.50	1.02	0.02	0.06	3.63	36.27	870.49		
1	11	24.7	0.5	3.50	1.02	0.02	0.06	3.69	36.91	885.79		
1	12	24.3	0.4	3.50	1.01	0.01	0.05	3.00	30.00	720.01		
1	13	23.8	0.5	3.50	1.02	0.02	0.06	3.81	38.11	914.73		
1	14	23.4	0.4	3.50	1.01	0.01	0.05	3.10	31.00	743.92		
1	15	23	0.4	3.50	1.02	0.01	0.05	3.15	31.46	755.07		
1	16	22.6	0.4	3.50	1.02	0.02	0.05	3.19	31.94	766.55		
1	17	22.2	0.4	3.50	1.02	0.02	0.05	3.24	32.43	778.39		
1	18	21.8	0.4	3.50	1.02	0.02	0.05	3.29	32.94	790.60		
1	19	21.5	0.3	3.50	1.01	0.01	0.04	2.50	25.05	601.20		
1	20	21.1	0.4	3.50	1.02	0.02	0.06	3.39	33.87	812.92		
1	21	20.8	0.3	3.50	1.01	0.01	0.04	2.58	25.77	618.41		
1	22	20.5	0.3	3.50	1.01	0.01	0.04	2.61	26.09	626.10		
1	23	20.1	0.4	3.50	1.02	0.02	0.06	3.53	35.29	847.08		
1	24	19.8	0.3	3.50	1.01	0.01	0.04	2.69	26.87	644.78		
1	25	19.5	0.3	3.50	1.01	0.01	0.05	2.72	27.21	653.14		
3	28	18.6	0.9	1.17	1.04	0.04	0.05	2.79	27.94	670.60		
3	31	17.8	0.8	1.17	1.04	0.04	0.04	2.58	25.81	619.43		
3	34	17.1	0.7	1.17	1.03	0.03	0.04	2.34	23.39	561.39		
3	37	16.3	0.8	1.17	1.04	0.04	0.05	2.77	27.73	665.43		
3	40	15.6	0.7	1.17	1.04	0.04	0.04	2.52	25.20	604.69		
3	43	15	0.6	1.17	1.03	0.03	0.04	2.23	22.34	536.22		
3	46	14.4	0.6	1.17	1.03	0.03	0.04	2.31	23.08	553.90		
3	49	13.8	0.6	1.17	1.03	0.03	0.04	2.39	23.87	572.78		
5	54	12.9	0.9	0.70	1.05	0.05	0.04	2.24	22.44	538.53		
5	59	12.1	0.8	0.70	1.05	0.05	0.04	2.10	21.00	504.11		
5	64	11.3	0.8	0.70	1.05	0.05	0.04	2.21	22.11	530.65		
5	69	10.6	0.7	0.70	1.05	0.05	0.03	2.04	20.35	488.40		
5	74	9.9	0.7	0.70	1.05	0.05	0.04	2.14	21.39	513.27		
5	79	9.3	0.6	0.70	1.05	0.05	0.03	1.92	19.24	461.76		
5	84	8.7	0.6	0.70	1.05	0.05	0.03	2.02	20.16	483.93		
5	89	8.1	0.6	0.70	1.05	0.05	0.04	2.12	21.18	508.34		
10	99	7.1	1	0.35	1.09	0.09	0.03	1.89	18.93	454.36		
10	109	6.2	0.9	0.35	1.09	0.09	0.03	1.86	18.63	447.19		
10	119	5.5	0.7	0.35	1.08	0.07	0.03	1.57	15.73	377.50		
10	129	4.7	0.8	0.35	1.10	0.09	0.03	1.95	19.55	469.18		
10	139	4.1	0.6	0.35	1.08	0.08	0.03	1.60	15.96	382.97		
10	149	3.6	0.5	0.35	1.07	0.07	0.02	1.43	14.29	342.99		
15	164	2.8	0.8	0.23	1.13	0.12	0.03	1.67	16.74	401.67		
15	179	2.1	0.7	0.23	1.13	0.12	0.03	1.65	16.49	395.75		
15	194	1.5	0.6	0.23	1.12	0.11	0.03	1.59	15.87	380.78		
15	209	1	0.5	0.23	1.11	0.11	0.02	1.48	14.75	354.01		



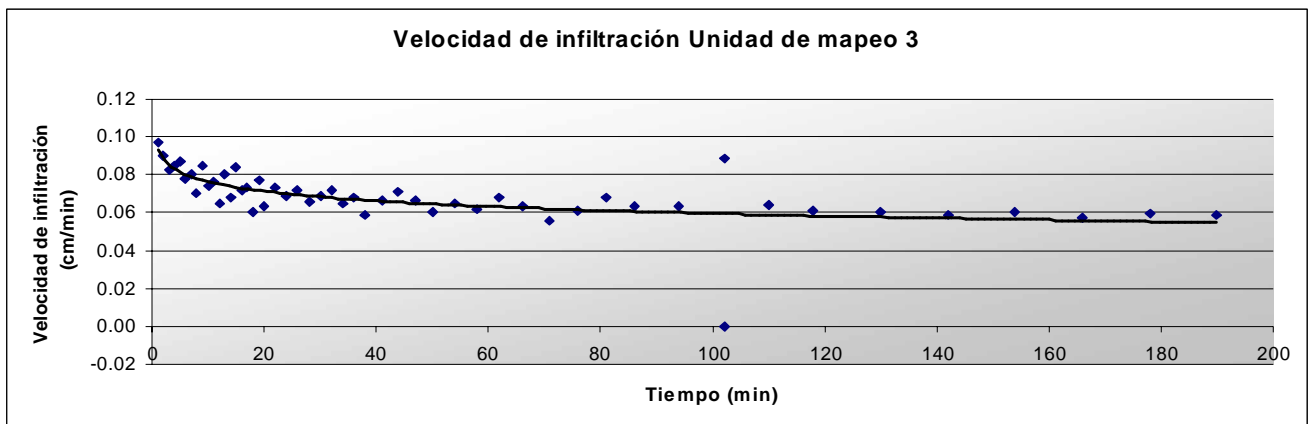
Unidad de mapeo: 3
 Prueba: 1
 Uso: Bosque
 Fecha: 14-Nov-2004

Intervalo (min)	Acumulado (min)	Lectura (cm)	Diferencia (cm)	R		Ln	Velocidad de Infiltración				
				2(t2-t1)	(2h1 + R)		(cm/min)	(cm/hr)	(mm/hr)	(mm/día)	
0	0	30									
1	1	26.9	3.1	3.25	1.10	0.10	0.32	19.08	190.85	4580.31	
1	2	24.7	2.2	3.25	1.08	0.08	0.25	14.77	147.75	3545.93	
1	3	22.8	1.9	3.25	1.07	0.07	0.23	13.73	137.28	3294.69	
1	4	21.2	1.6	3.25	1.07	0.06	0.21	12.36	123.61	2966.54	
1	5	19.8	1.4	3.25	1.06	0.06	0.19	11.50	114.98	2759.54	
1	6	18.5	1.3	3.25	1.06	0.06	0.19	11.32	113.20	2716.83	
1	7	17.4	1.1	3.25	1.05	0.05	0.17	10.12	101.20	2428.85	
1	8	16.4	1	3.25	1.05	0.05	0.16	9.68	96.79	2323.06	
1	9	15.4	1	3.25	1.05	0.05	0.17	10.19	101.85	2444.42	
1	10	14.5	0.9	3.25	1.05	0.05	0.16	9.64	96.45	2314.76	
1	11	13.7	0.8	3.25	1.05	0.05	0.15	8.99	89.93	2158.31	
1	12	13	0.7	3.25	1.04	0.04	0.14	8.22	82.24	1973.79	
1	13	12.3	0.7	3.25	1.05	0.04	0.14	8.59	85.86	2060.71	
1	14	11.6	0.7	3.25	1.05	0.05	0.15	8.98	89.82	2155.64	
1	15	11	0.6	3.25	1.04	0.04	0.13	8.04	80.42	1930.17	
3	18	9.4	1.6	1.08	1.13	0.12	0.13	7.74	77.41	1857.96	
3	21	8.0	1.4	1.08	1.12	0.12	0.13	7.62	76.24	1829.71	
3	24	6.8	1.2	1.08	1.12	0.11	0.12	7.33	73.32	1759.61	
3	27	5.8	1	1.08	1.11	0.10	0.11	6.81	68.13	1635.00	
3	30	4.9	0.9	1.08	1.11	0.10	0.11	6.81	68.09	1634.05	
3	33	4.1	0.8	1.08	1.11	0.10	0.11	6.72	67.16	1611.75	
3	36	3.5	0.6	1.08	1.09	0.09	0.09	5.54	55.35	1328.46	
3	39	2.9	0.6	1.08	1.10	0.09	0.10	6.05	60.51	1452.21	
3	42	2.3	0.6	1.08	1.11	0.10	0.11	6.67	66.73	1601.40	
3	45	1.8	0.5	1.08	1.10	0.09	0.10	6.14	61.37	1472.79	
3	48	1.4	0.4	1.08	1.09	0.08	0.09	5.36	53.64	1287.33	
3	51	1.0	0.4	1.08	1.09	0.09	0.10	5.85	58.47	1403.19	
5	56	0.5	0.5	0.65	1.13	0.13	0.08	4.88	48.81	1171.53	
mt	56	29		0.65	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
5	61	25	4	0.65	1.14	0.13	0.09	5.16	51.65	1239.49	
5	66	21.6	3.4	0.65	1.14	0.13	0.08	5.00	50.01	1200.29	
5	71	18.7	2.9	0.65	1.13	0.12	0.08	4.84	48.40	1161.49	
5	76	16.2	2.5	0.65	1.13	0.12	0.08	4.72	47.16	1131.81	
5	81	14	2.2	0.65	1.13	0.12	0.08	4.68	46.81	1123.53	
5	86	12.1	1.9	0.65	1.12	0.12	0.08	4.55	45.51	1092.28	
5	91	10.5	1.6	0.65	1.12	0.11	0.07	4.29	42.93	1030.32	
5	96	9.1	1.4	0.65	1.11	0.11	0.07	4.19	41.88	1005.10	
10	106	6.7	2.4	0.33	1.24	0.22	0.07	4.21	42.14	1011.27	
10	116	4.7	2	0.33	1.25	0.22	0.07	4.38	43.76	1050.19	
10	126	3.2	1.5	0.33	1.23	0.21	0.07	4.08	40.77	978.55	
10	136	2	1.2	0.33	1.23	0.21	0.07	4.01	40.14	963.39	
10	146	1	1	0.33	1.24	0.21	0.07	4.12	41.21	988.93	
10	156	0.2	0.8	0.33	1.23	0.21	0.07	4.07	40.67	975.99	
mt	156	28.7		0.33	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
10	166	22.6	6.1	0.33	1.24	0.21	0.07	4.13	41.31	991.51	
15	181	15.7	6.9	0.22	1.36	0.31	0.07	4.04	40.37	968.78	
15	196	11	4.7	0.22	1.33	0.29	0.06	3.71	37.06	889.35	



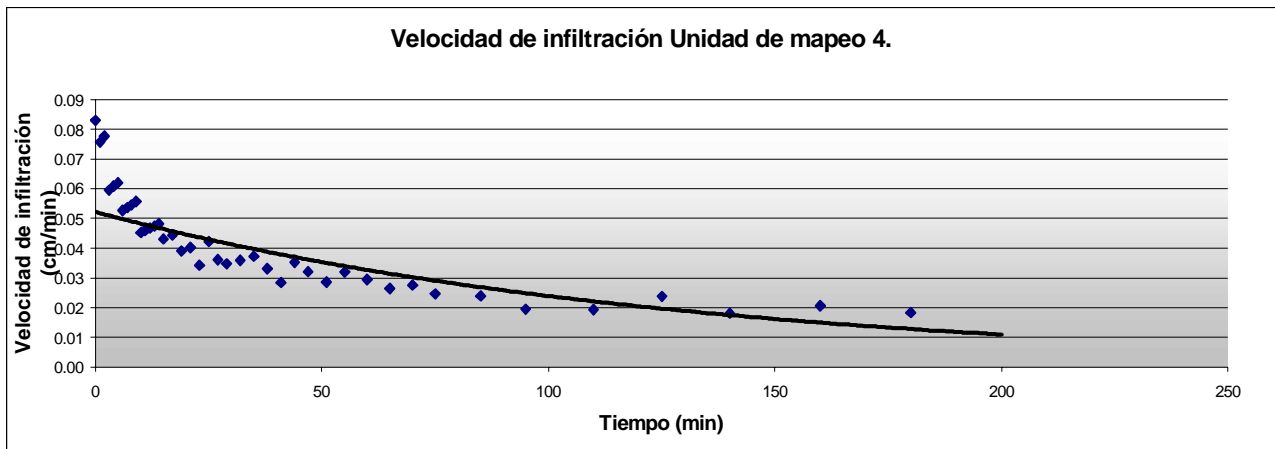
Unidad de mapeo: 3
 Prueba: 2
 Uso: Bosque
 Fecha: 15-Nov-2004

Intervalo (min)	Acumulado (min)	Lectura (cm)	Diferencia (cm)	R		Ln	Velocidad de Infiltración					
				2(t2-t1)	(2h1 + R)		(2h2 + R)	(cm/min)	(cm/hr)	(mm/hr)	(mm/día)	
0	0	28.5										
1	1	27.5	1	3.00	1.03	0.03	0.10	5.81	58.07	1393.67		
1	2	26.6	0.9	3.00	1.03	0.03	0.09	5.39	53.91	1293.94		
1	3	25.8	0.8	3.00	1.03	0.03	0.08	4.93	49.32	1183.64		
1	4	25	0.8	3.00	1.03	0.03	0.08	5.07	50.71	1216.98		
1	5	24.2	0.8	3.00	1.03	0.03	0.09	5.22	52.18	1252.26		
1	6	23.5	0.7	3.00	1.03	0.03	0.08	4.69	46.93	1126.32		
1	7	22.8	0.7	3.00	1.03	0.03	0.08	4.82	48.19	1156.47		
1	8	22.2	0.6	3.00	1.02	0.02	0.07	4.24	42.35	1016.52		
1	9	21.5	0.7	3.00	1.03	0.03	0.08	5.07	50.71	1216.98		
1	10	20.9	0.6	3.00	1.03	0.02	0.07	4.46	44.63	1071.13		
1	11	20.3	0.6	3.00	1.03	0.03	0.08	4.58	45.77	1098.36		
1	12	19.8	0.5	3.00	1.02	0.02	0.07	3.90	39.05	937.13		
1	13	19.2	0.6	3.00	1.03	0.03	0.08	4.80	48.00	1152.07		
1	14	18.7	0.5	3.00	1.02	0.02	0.07	4.10	41.00	984.10		
1	15	18.1	0.6	3.00	1.03	0.03	0.08	5.05	50.47	1211.29		
1	16	17.6	0.5	3.00	1.02	0.02	0.07	4.32	43.17	1036.02		
1	17	17.1	0.5	3.00	1.02	0.02	0.07	4.42	44.23	1061.48		
1	18	16.7	0.4	3.00	1.02	0.02	0.06	3.62	36.18	868.37		
1	19	16.2	0.5	3.00	1.03	0.03	0.08	4.63	46.28	1110.60		
1	20	15.8	0.4	3.00	1.02	0.02	0.06	3.79	37.90	909.51		
2	22	14.9	0.9	1.50	1.05	0.05	0.07	4.42	44.15	1059.61		
2	24	14.1	0.8	1.50	1.05	0.05	0.07	4.12	41.15	987.60		
2	26	13.3	0.8	1.50	1.05	0.05	0.07	4.31	43.12	1034.93		
2	28	12.6	0.7	1.50	1.04	0.04	0.07	3.95	39.50	948.11		
2	30	11.9	0.7	1.50	1.05	0.05	0.07	4.13	41.32	991.65		
2	32	11.2	0.7	1.50	1.05	0.05	0.07	4.33	43.31	1039.38		
2	34	10.6	0.6	1.50	1.04	0.04	0.06	3.89	38.85	932.52		
2	36	10	0.6	1.50	1.05	0.05	0.07	4.06	40.61	974.60		
2	38	9.5	0.5	1.50	1.04	0.04	0.06	3.53	35.30	847.17		
3	41	8.7	0.8	1.00	1.07	0.07	0.07	3.97	39.68	952.41		
3	44	7.9	0.8	1.00	1.07	0.07	0.07	4.25	42.50	1019.90		
3	47	7.2	0.7	1.00	1.07	0.07	0.07	3.98	39.83	955.80		
3	50	6.6	0.6	1.00	1.06	0.06	0.06	3.64	36.37	872.99		
4	54	5.8	0.8	0.75	1.09	0.09	0.07	3.92	39.16	939.72		
4	58	5.1	0.7	0.75	1.09	0.08	0.06	3.73	37.30	895.19		
4	62	4.4	0.7	0.75	1.09	0.09	0.07	4.07	40.67	976.15		
4	66	3.8	0.6	0.75	1.09	0.08	0.06	3.81	38.05	913.22		
5	71	3.2	0.6	0.60	1.10	0.09	0.06	3.33	33.25	798.11		
5	76	2.6	0.6	0.60	1.11	0.10	0.06	3.66	36.64	879.40		
5	81	2	0.6	0.60	1.12	0.11	0.07	4.08	40.80	979.16		
5	86	1.5	0.5	0.60	1.11	0.11	0.06	3.79	37.93	910.31		
8	94	0.8	0.7	0.38	1.18	0.17	0.06	3.80	38.04	913.01		
8	102	0	0.8	0.38	1.27	0.24	0.09	5.32	53.19	1276.50		
mt	102	27.6		0.38	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00		
8	110	22.8	4.8	0.38	1.19	0.17	0.06	3.84	38.39	921.38		
8	118	18.9	3.9	0.38	1.18	0.16	0.06	3.69	36.87	884.99		
12	130	14.2	4.7	0.25	1.27	0.24	0.06	3.62	36.24	869.68		
12	142	10.6	3.6	0.25	1.26	0.23	0.06	3.52	35.23	845.42		
12	154	7.7	2.9	0.25	1.27	0.24	0.06	3.60	35.97	863.37		
12	166	5.5	2.2	0.25	1.26	0.23	0.06	3.45	34.53	828.64		
12	178	3.7	1.8	0.25	1.27	0.24	0.06	3.57	35.69	856.65		
12	190	2.3	1.4	0.25	1.26	0.23	0.06	3.52	35.16	843.84		



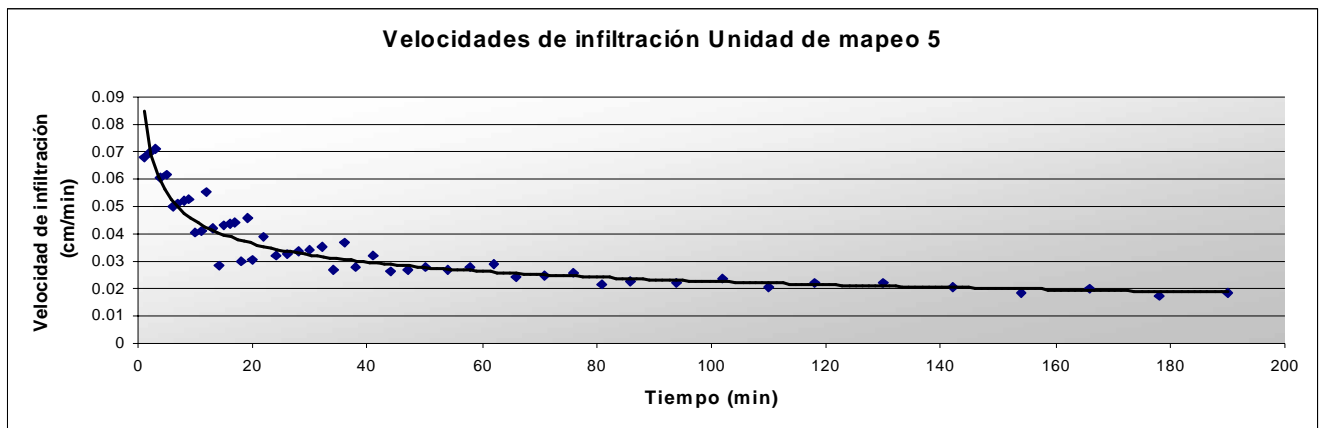
Unidad de mapeo: 4
 Uso: Cultivos
 Fecha: 16-Nov-2004

Intervalo (min)	Acumulado (min)	Lectura (cm)	Diferencia (cm)	R		Ln	Velocidad de Infiltración				
				2(t2-t1)	(2h1 + R)		(cm/min)	(cm/hr)	(mm/hr)	(mm/día)	
0	0	30									
1	1	29.1	0.9	3.00	1.03	0.03	0.08	4.98	49.77	1194.55	
1	2	28.3	0.8	3.00	1.03	0.03	0.08	4.54	45.43	1090.28	
1	3	27.5	0.8	3.00	1.03	0.03	0.08	4.66	46.60	1118.51	
1	4	26.9	0.6	3.00	1.02	0.02	0.06	3.58	35.76	858.31	
1	5	26.3	0.6	3.00	1.02	0.02	0.06	3.65	36.49	875.71	
1	6	25.7	0.6	3.00	1.02	0.02	0.06	3.72	37.24	893.82	
1	7	25.2	0.5	3.00	1.02	0.02	0.05	3.16	31.64	759.25	
1	8	24.7	0.5	3.00	1.02	0.02	0.05	3.22	32.20	772.83	
1	9	24.2	0.5	3.00	1.02	0.02	0.05	3.28	32.79	786.91	
1	10	23.7	0.5	3.00	1.02	0.02	0.06	3.34	33.40	801.51	
1	11	23.3	0.4	3.00	1.02	0.02	0.05	2.72	27.17	652.09	
1	12	22.9	0.4	3.00	1.02	0.02	0.05	2.76	27.59	662.08	
1	13	22.5	0.4	3.00	1.02	0.02	0.05	2.80	28.02	672.39	
1	14	22.1	0.4	3.00	1.02	0.02	0.05	2.85	28.46	683.02	
1	15	21.7	0.4	3.00	1.02	0.02	0.05	2.89	28.92	693.99	
2	17	21	0.7	1.50	1.03	0.03	0.04	2.59	25.87	620.99	
2	19	20.3	0.7	1.50	1.03	0.03	0.04	2.66	26.64	639.37	
2	21	19.7	0.6	1.50	1.03	0.03	0.04	2.35	23.48	563.51	
2	23	19.1	0.6	1.50	1.03	0.03	0.04	2.41	24.11	578.61	
2	25	18.6	0.5	1.50	1.02	0.02	0.03	2.06	20.60	494.30	
2	27	18	0.6	1.50	1.03	0.03	0.04	2.54	25.35	608.49	
2	29	17.5	0.5	1.50	1.02	0.02	0.04	2.17	21.69	520.51	
3	32	16.8	0.7	1.00	1.04	0.03	0.03	2.08	20.85	500.30	
3	35	16.1	0.7	1.00	1.04	0.04	0.04	2.16	21.60	518.31	
3	38	15.4	0.7	1.00	1.04	0.04	0.04	2.24	22.40	537.66	
3	41	14.8	0.6	1.00	1.03	0.03	0.03	1.99	19.89	477.39	
3	44	14.3	0.5	1.00	1.03	0.03	0.03	1.71	17.10	410.28	
3	47	13.7	0.6	1.00	1.04	0.04	0.04	2.12	21.18	508.29	
4	51	13	0.7	0.75	1.04	0.04	0.03	1.93	19.27	462.46	
4	55	12.4	0.6	0.75	1.04	0.04	0.03	1.72	17.20	412.79	
5	60	11.6	0.8	0.60	1.05	0.05	0.03	1.92	19.20	460.91	
5	65	10.9	0.7	0.60	1.05	0.05	0.03	1.77	17.69	424.51	
5	70	10.3	0.6	0.60	1.05	0.04	0.03	1.59	15.88	381.24	
5	75	9.7	0.6	0.60	1.05	0.05	0.03	1.66	16.62	398.84	
10	85	8.7	1	0.30	1.09	0.08	0.02	1.48	14.76	354.30	
10	95	7.8	0.9	0.30	1.08	0.08	0.02	1.44	14.41	345.78	
15	110	6.8	1	0.20	1.10	0.10	0.02	1.17	11.66	279.83	
15	125	5.9	0.9	0.20	1.10	0.10	0.02	1.16	11.56	277.43	
15	140	4.9	1	0.20	1.13	0.12	0.02	1.43	14.30	343.26	
20	160	4	0.9	0.15	1.13	0.12	0.02	1.09	10.89	261.26	
20	180	3.1	0.9	0.15	1.15	0.14	0.02	1.24	12.39	297.26	
20	200	2.4	0.7	0.15	1.13	0.12	0.02	1.10	10.97	263.28	



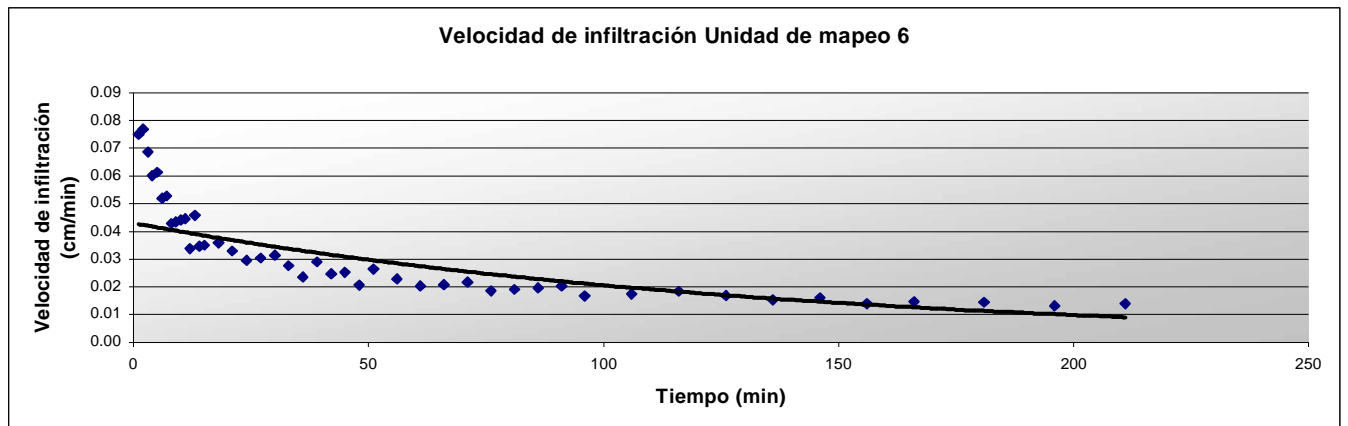
Unidad de mapeo: 5
 Uso: Bosque
 Fecha: 20-Nov-2004

Intervalo (min)	Acumulado (min)	Lectura (cm)	Diferencia (cm)	R		Ln	Velocidad de Infiltración				
				2(t2-t1)	(2h1 + R) (2h2 + R)		(cm/min)	(cm/hr)	(mm/hr)	(mm/día)	
0	0	23.9									
1	1	23.3	0.6	3.00	1.02	0.02	0.07	4.06	40.60	974.48	
1	2	22.7	0.6	3.00	1.02	0.02	0.07	4.15	41.54	996.97	
1	3	22.1	0.6	3.00	1.02	0.02	0.07	4.25	42.52	1020.52	
1	4	21.6	0.5	3.00	1.02	0.02	0.06	3.62	36.22	869.24	
1	5	21.1	0.5	3.00	1.02	0.02	0.06	3.70	36.96	887.09	
1	6	20.7	0.4	3.00	1.02	0.02	0.05	3.01	30.13	723.03	
1	7	20.3	0.4	3.00	1.02	0.02	0.05	3.06	30.64	735.34	
1	8	19.9	0.4	3.00	1.02	0.02	0.05	3.12	31.17	748.07	
1	9	19.5	0.4	3.00	1.02	0.02	0.05	3.17	31.72	761.25	
1	10	19.2	0.3	3.00	1.01	0.01	0.04	2.42	24.16	579.87	
1	11	18.9	0.3	3.00	1.01	0.01	0.04	2.45	24.49	587.76	
1	12	18.5	0.4	3.00	1.02	0.02	0.06	3.32	33.18	796.34	
1	13	18.2	0.3	3.00	1.01	0.01	0.04	2.53	25.29	607.04	
1	14	18	0.2	3.00	1.01	0.01	0.03	1.71	17.06	409.48	
1	15	17.7	0.3	3.00	1.01	0.01	0.04	2.59	25.90	621.59	
1	16	17.4	0.3	3.00	1.01	0.01	0.04	2.63	26.28	630.67	
1	17	17.1	0.3	3.00	1.01	0.01	0.04	2.67	26.67	640.01	
1	18	16.9	0.2	3.00	1.01	0.01	0.03	1.80	18.00	432.00	
1	19	16.6	0.3	3.00	1.02	0.02	0.05	2.73	27.34	656.22	
1	20	16.4	0.2	3.00	1.01	0.01	0.03	1.85	18.46	443.08	
2	22	15.9	0.5	1.50	1.03	0.03	0.04	2.35	23.50	564.00	
2	24	15.5	0.4	1.50	1.02	0.02	0.03	1.93	19.25	462.05	
2	26	15.1	0.4	1.50	1.02	0.02	0.03	1.97	19.67	472.15	
2	28	14.7	0.4	1.50	1.02	0.02	0.03	2.01	20.11	482.70	
2	30	14.3	0.4	1.50	1.02	0.02	0.03	2.06	20.57	493.74	
2	32	13.9	0.4	1.50	1.02	0.02	0.04	2.11	21.05	505.29	
2	34	13.6	0.3	1.50	1.02	0.02	0.03	1.61	16.12	386.88	
2	36	13.2	0.4	1.50	1.02	0.02	0.04	2.20	21.95	526.86	
2	38	12.9	0.3	1.50	1.02	0.02	0.03	1.68	16.82	403.75	
3	41	12.4	0.5	1.00	1.03	0.03	0.03	1.92	19.17	460.10	
3	44	12	0.4	1.00	1.03	0.03	0.03	1.58	15.79	378.97	
3	47	11.6	0.4	1.00	1.03	0.03	0.03	1.62	16.22	389.21	
3	50	11.2	0.4	1.00	1.03	0.03	0.03	1.67	16.67	400.03	
4	54	10.7	0.5	0.75	1.04	0.04	0.03	1.61	16.13	387.14	
4	58	10.2	0.5	0.75	1.04	0.04	0.03	1.67	16.73	401.53	
4	62	9.7	0.5	0.75	1.04	0.04	0.03	1.74	17.38	417.04	
4	66	9.3	0.4	0.75	1.03	0.03	0.02	1.44	14.40	345.63	
5	71	8.8	0.5	0.60	1.04	0.04	0.02	1.49	14.94	358.56	
5	76	8.3	0.5	0.60	1.04	0.04	0.03	1.56	15.59	374.08	
5	81	7.9	0.4	0.60	1.04	0.04	0.02	1.30	12.97	311.39	
5	86	7.5	0.4	0.60	1.04	0.04	0.02	1.35	13.46	323.03	
8	94	6.9	0.6	0.38	1.06	0.06	0.02	1.32	13.24	317.74	
8	102	6.3	0.6	0.38	1.06	0.06	0.02	1.41	14.07	337.61	
8	110	5.8	0.5	0.38	1.06	0.06	0.02	1.24	12.43	298.42	
8	118	5.3	0.5	0.38	1.06	0.06	0.02	1.32	13.16	315.88	
12	130	4.6	0.7	0.25	1.09	0.09	0.02	1.32	13.22	317.19	
12	142	4	0.6	0.25	1.09	0.08	0.02	1.23	12.34	296.06	
12	154	3.5	0.5	0.25	1.08	0.07	0.02	1.11	11.12	266.79	
12	166	3	0.5	0.25	1.08	0.08	0.02	1.20	12.01	288.15	
12	178	2.6	0.4	0.25	1.07	0.07	0.02	1.03	10.35	248.37	
12	190	2.2	0.4	0.25	1.08	0.07	0.02	1.11	11.12	266.79	



Unidad de mapeo: 6
 Uso: Cultivos
 Fecha: 18-Nov-2004

Intervalo (min)	Acumulado (min)	Lectura (cm)	Diferencia (cm)	R		Ln	Velocidad de Infiltración				
				2(t2-t1)	(2h1 + R) (2h2 + R)		(cm/min)	(cm/hr)	(mm/hr)	(mm/día)	
0	0	31.8									
1	1	31	0.8	3.25	1.02	0.02	0.08	4.50	45.02	1080.57	
1	2	30.2	0.8	3.25	1.02	0.02	0.08	4.61	46.09	1106.11	
1	3	29.5	0.7	3.25	1.02	0.02	0.07	4.12	41.24	989.76	
1	4	28.9	0.6	3.25	1.02	0.02	0.06	3.61	36.06	865.36	
1	5	28.3	0.6	3.25	1.02	0.02	0.06	3.67	36.74	881.66	
1	6	27.8	0.5	3.25	1.02	0.02	0.05	3.12	31.15	747.62	
1	7	27.3	0.5	3.25	1.02	0.02	0.05	3.17	31.66	759.76	
1	8	26.9	0.4	3.25	1.01	0.01	0.04	2.57	25.70	616.81	
1	9	26.5	0.4	3.25	1.01	0.01	0.04	2.60	26.04	625.05	
1	10	26.1	0.4	3.25	1.01	0.01	0.04	2.64	26.40	633.51	
1	11	25.7	0.4	3.25	1.01	0.01	0.04	2.68	26.76	642.21	
1	12	25.4	0.3	3.25	1.01	0.01	0.03	2.03	20.31	487.50	
1	13	25	0.4	3.25	1.01	0.01	0.05	2.74	27.42	658.01	
1	14	24.7	0.3	3.25	1.01	0.01	0.03	2.08	20.82	499.65	
1	15	24.4	0.3	3.25	1.01	0.01	0.04	2.10	21.04	505.04	
3	18	23.5	0.9	1.08	1.03	0.03	0.04	2.15	21.51	516.22	
3	21	22.7	0.8	1.08	1.03	0.03	0.03	1.97	19.74	473.66	
3	24	22	0.7	1.08	1.03	0.03	0.03	1.78	17.77	426.59	
3	27	21.3	0.7	1.08	1.03	0.03	0.03	1.83	18.27	438.58	
3	30	20.6	0.7	1.08	1.03	0.03	0.03	1.88	18.80	451.27	
3	33	20	0.6	1.08	1.03	0.03	0.03	1.66	16.56	397.47	
3	36	19.5	0.5	1.08	1.02	0.02	0.02	1.41	14.13	339.14	
3	39	18.9	0.6	1.08	1.03	0.03	0.03	1.74	17.37	416.95	
3	42	18.4	0.5	1.08	1.02	0.02	0.02	1.48	14.84	356.18	
3	45	17.9	0.5	1.08	1.02	0.02	0.03	1.52	15.19	364.50	
3	48	17.5	0.4	1.08	1.02	0.02	0.02	1.24	12.41	297.86	
3	51	17	0.5	1.08	1.02	0.02	0.03	1.59	15.85	380.51	
5	56	16.3	0.7	0.65	1.04	0.04	0.02	1.37	13.72	329.28	
5	61	15.7	0.6	0.65	1.03	0.03	0.02	1.22	12.16	291.76	
5	66	15.1	0.6	0.65	1.03	0.03	0.02	1.25	12.55	301.15	
5	71	14.5	0.6	0.65	1.03	0.03	0.02	1.30	12.97	311.16	
5	76	14	0.5	0.65	1.03	0.03	0.02	1.11	11.14	267.45	
5	81	13.5	0.5	0.65	1.03	0.03	0.02	1.15	11.47	275.31	
5	86	13	0.5	0.65	1.03	0.03	0.02	1.18	11.82	283.66	
5	91	12.5	0.5	0.65	1.03	0.03	0.02	1.22	12.19	292.52	
5	96	12.1	0.4	0.65	1.03	0.03	0.02	1.00	10.03	240.78	
10	106	11.3	0.8	0.33	1.05	0.05	0.02	1.04	10.44	250.49	
10	116	10.5	0.8	0.33	1.06	0.06	0.02	1.10	11.03	264.66	
10	126	9.8	0.7	0.33	1.05	0.05	0.02	1.02	10.19	244.53	
10	136	9.2	0.6	0.33	1.05	0.05	0.02	0.92	9.18	220.28	
10	146	8.6	0.6	0.33	1.05	0.05	0.02	0.96	9.63	231.16	
10	156	8.1	0.5	0.33	1.04	0.04	0.01	0.84	8.41	201.76	
10	166	7.6	0.5	0.33	1.05	0.05	0.01	0.88	8.79	210.85	
15	181	6.9	0.7	0.22	1.07	0.07	0.01	0.87	8.67	208.08	
15	196	6.3	0.6	0.22	1.06	0.06	0.01	0.79	7.92	190.11	
15	211	5.7	0.6	0.22	1.07	0.06	0.01	0.84	8.44	202.45	

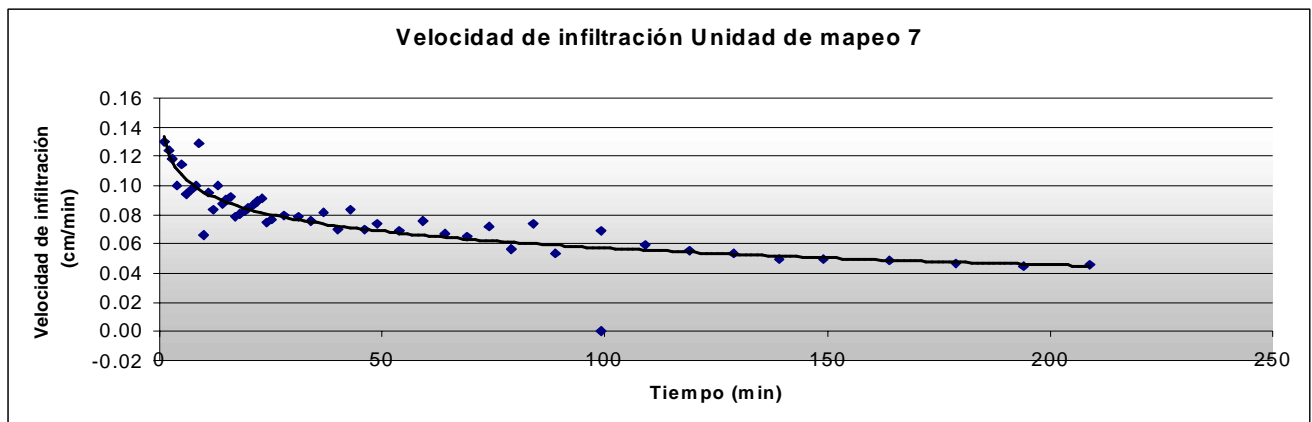


Unidad de mapeo: 7

Uso: Cultivos

Fecha: 19-Nov-2004

Intervalo (min)	Acumulado (min)	Lectura (cm)	Diferencia (cm)	R	(2h1 + R)	Ln	Velocidad de Infiltración				
				2(t2-t1)	(2h2 + R)		(cm/min)	(cm/hr)	(mm/hr)	(mm/día)	
0	0	32.1									
1	1	30.8	1.30	3.50	1.04	0.04	0.13	7.81	78.12	1874.89	
1	2	29.6	1.20	3.50	1.04	0.04	0.12	7.48	74.79	1794.85	
1	3	28.5	1.10	3.50	1.03	0.03	0.12	7.10	70.97	1703.39	
1	4	27.6	0.90	3.50	1.03	0.03	0.10	5.99	59.91	1437.82	
1	5	26.6	1.00	3.50	1.03	0.03	0.11	6.86	68.63	1647.21	
1	6	25.8	0.80	3.50	1.03	0.03	0.09	5.66	56.57	1357.66	
1	7	25.0	0.80	3.50	1.03	0.03	0.10	5.81	58.14	1395.24	
1	8	24.2	0.80	3.50	1.03	0.03	0.10	5.98	59.79	1434.97	
1	9	23.2	1.00	3.50	1.04	0.04	0.13	7.72	77.21	1853.15	
1	10	22.7	0.50	3.50	1.02	0.02	0.07	3.97	39.70	952.77	
1	11	22.0	0.70	3.50	1.03	0.03	0.09	5.69	56.87	1364.88	
1	12	21.4	0.60	3.50	1.02	0.02	0.08	5.00	50.00	1200.06	
1	13	20.7	0.70	3.50	1.03	0.03	0.10	5.99	59.88	1437.16	
1	14	20.1	0.60	3.50	1.03	0.03	0.09	5.27	52.72	1265.34	
1	15	19.5	0.60	3.50	1.03	0.03	0.09	5.41	54.08	1297.93	
1	16	18.9	0.60	3.50	1.03	0.03	0.09	5.55	55.51	1332.24	
1	17	18.4	0.50	3.50	1.02	0.02	0.08	4.74	47.41	1137.75	
1	18	17.9	0.50	3.50	1.02	0.02	0.08	4.85	48.50	1164.02	
1	19	17.4	0.50	3.50	1.02	0.02	0.08	4.96	49.65	1191.54	
1	20	16.9	0.50	3.50	1.02	0.02	0.08	5.08	50.85	1220.40	
1	21	16.4	0.50	3.50	1.03	0.02	0.09	5.21	52.11	1250.68	
1	22	15.9	0.50	3.50	1.03	0.03	0.09	5.34	53.44	1282.51	
1	23	15.4	0.50	3.50	1.03	0.03	0.09	5.48	54.83	1316.00	
1	24	15.0	0.40	3.50	1.02	0.02	0.07	4.49	44.92	1078.12	
1	25	14.6	0.40	3.50	1.02	0.02	0.08	4.59	45.90	1101.68	
3	28	13.4	1.20	1.17	1.07	0.07	0.08	4.80	48.02	1152.45	
3	31	12.3	1.10	1.17	1.07	0.07	0.08	4.71	47.11	1130.70	
3	34	11.3	1.00	1.17	1.07	0.07	0.08	4.58	45.77	1098.43	
3	37	10.3	1.00	1.17	1.07	0.07	0.08	4.90	48.97	1175.30	
3	40	9.5	0.80	1.17	1.06	0.06	0.07	4.18	41.80	1003.28	
3	43	8.6	0.90	1.17	1.07	0.07	0.08	5.02	50.22	1205.30	
3	46	7.9	0.70	1.17	1.06	0.06	0.07	4.17	41.71	1001.15	
3	49	7.2	0.70	1.17	1.07	0.06	0.07	4.44	44.36	1064.61	
5	54	6.2	1.00	0.70	1.10	0.10	0.07	4.12	41.21	989.03	
5	59	5.2	1.00	0.70	1.11	0.11	0.08	4.57	45.70	1096.73	
5	64	4.4	0.80	0.70	1.10	0.10	0.07	4.05	40.51	972.32	
5	69	3.7	0.70	0.70	1.10	0.09	0.06	3.90	38.97	935.24	
5	74	3.0	0.70	0.70	1.11	0.10	0.07	4.30	42.96	1030.97	
5	79	2.5	0.50	0.70	1.08	0.08	0.06	3.36	33.62	806.83	
5	84	1.9	0.60	0.70	1.11	0.11	0.07	4.43	44.25	1062.03	
5	89	1.5	0.40	0.70	1.08	0.08	0.05	3.23	32.32	775.77	
10	99	0.6	0.90	0.35	1.22	0.20	0.07	4.17	41.67	1000.19	
mt	99	31.8		0.35	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
10	109	26.3	5.50	0.35	1.18	0.17	0.06	3.56	35.57	853.65	
10	119	21.9	4.40	0.35	1.17	0.16	0.06	3.35	33.55	805.19	
10	129	18.3	3.60	0.35	1.17	0.15	0.05	3.21	32.10	770.31	
10	139	15.4	2.90	0.35	1.15	0.14	0.05	3.00	29.98	719.45	
10	149	12.9	2.50	0.35	1.15	0.14	0.05	2.98	29.79	715.08	
15	164	9.8	3.10	0.23	1.23	0.21	0.05	2.93	29.33	703.98	
15	179	7.4	2.40	0.23	1.22	0.20	0.05	2.79	27.86	668.64	
15	194	5.5	1.90	0.23	1.21	0.19	0.04	2.68	26.82	643.57	
15	209	3.9	1.60	0.23	1.22	0.20	0.05	2.74	27.40	657.70	

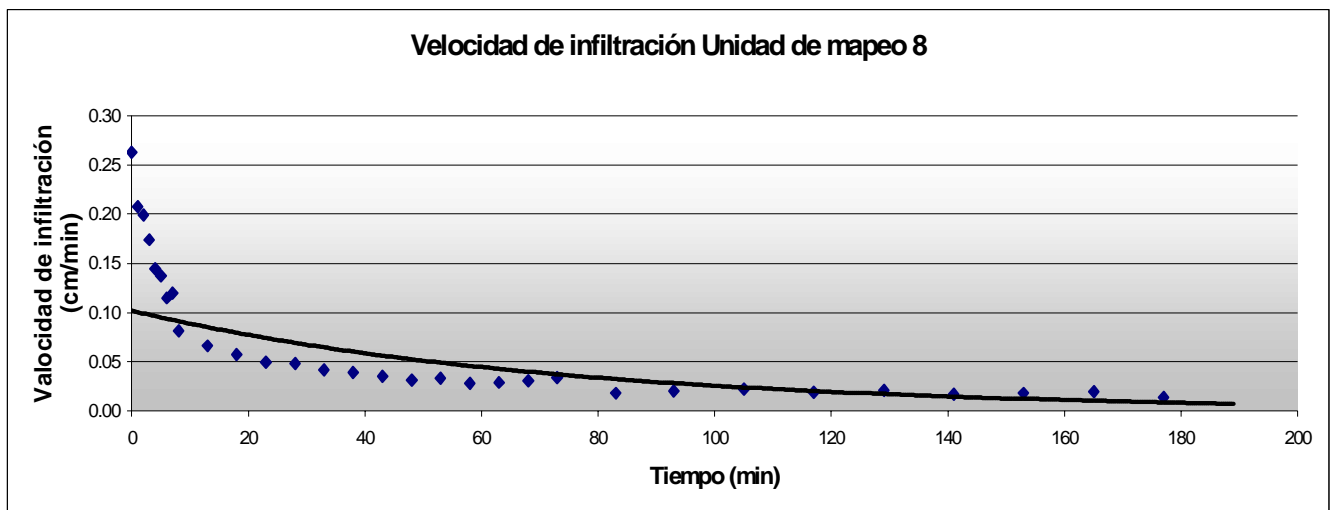


Unidad de mapeo: 8

Uso: Bosque

Fecha: 22-Nov-2004

Intervalo (min)	Acumulado (min)	Lectura (cm)	Diferencia (cm)	R		Ln	Velocidad de Infiltración				
				2(t2-t1)	(2h1 + R)		(cm/min)	(cm/hr)	(mm/hr)	(mm/día)	
0	0	28									
1	1	25.4	2.6	3.00	1.09	0.09	0.26	15.77	157.68	3784.24	
1	2	23.5	1.9	3.00	1.07	0.07	0.21	12.46	124.64	2991.36	
1	3	21.8	1.7	3.00	1.07	0.07	0.20	11.93	119.34	2864.21	
1	4	20.4	1.4	3.00	1.06	0.06	0.17	10.46	104.59	2510.25	
1	5	19.3	1.1	3.00	1.05	0.05	0.14	8.67	86.67	2080.05	
1	6	18.3	1	3.00	1.05	0.05	0.14	8.26	82.58	1982.00	
1	7	17.5	0.8	3.00	1.04	0.04	0.11	6.89	68.91	1653.79	
1	8	16.7	0.8	3.00	1.04	0.04	0.12	7.17	71.65	1719.63	
5	13	14.2	2.5	0.60	1.15	0.14	0.08	4.89	48.86	1172.53	
5	18	12.4	1.8	0.60	1.12	0.11	0.07	3.98	39.80	955.08	
5	23	11	1.4	0.60	1.10	0.10	0.06	3.43	34.31	823.48	
5	28	9.9	1.1	0.60	1.09	0.08	0.05	2.95	29.46	707.01	
5	33	8.9	1	0.60	1.08	0.08	0.05	2.90	29.05	697.15	
5	38	8.1	0.8	0.60	1.07	0.07	0.04	2.51	25.05	601.29	
5	43	7.4	0.7	0.60	1.07	0.07	0.04	2.35	23.45	562.80	
5	48	6.8	0.6	0.60	1.06	0.06	0.04	2.14	21.39	513.42	
5	53	6.3	0.5	0.60	1.05	0.05	0.03	1.89	18.85	452.46	
5	58	5.8	0.5	0.60	1.06	0.06	0.03	1.99	19.89	477.47	
5	63	5.4	0.4	0.60	1.05	0.05	0.03	1.67	16.75	401.93	
5	68	5	0.4	0.60	1.05	0.05	0.03	1.76	17.56	421.55	
5	73	4.6	0.4	0.60	1.05	0.05	0.03	1.85	18.47	443.17	
10	83	3.8	0.8	0.30	1.12	0.11	0.03	2.00	20.02	480.49	
10	93	3.4	0.4	0.30	1.06	0.06	0.02	1.09	10.91	261.90	
12	105	2.9	0.5	0.25	1.08	0.08	0.02	1.22	12.20	292.84	
12	117	2.4	0.5	0.25	1.09	0.09	0.02	1.33	13.28	318.79	
12	129	2	0.4	0.25	1.08	0.08	0.02	1.15	11.54	277.06	
12	141	1.6	0.4	0.25	1.09	0.08	0.02	1.25	12.51	300.17	
12	153	1.3	0.3	0.25	1.07	0.07	0.02	1.01	10.12	242.79	
12	165	1	0.3	0.25	1.08	0.07	0.02	1.08	10.85	260.35	
12	177	0.7	0.3	0.25	1.08	0.08	0.02	1.17	11.69	280.66	
12	189	0.5	0.2	0.25	1.06	0.06	0.01	0.83	8.34	200.05	



ANEXO 2. BALANCE HÍDRICO DE SUELOS

BALANCE HÍDRICO DE SUELOS

Zona de Estudio: Unidad de mapeo 1
Serie de suelo: Sacapulas
Unidad geológica: Rocas metamórficas sin dividir del paleozoico
Cobertura Vegetal: Bosque

Estación climática: Tapesquillo

Textura de Suelo: Franco Arcillo Arenoso

Simbología

fc: Capacidad de Infiltración.

I: Infiltración.

CC: Capacidad de Campo.

PM: Punto de Marchitez.

PR: Profundidad de Raíces.

(CC-PM): Rango de Agua Disponible.

DS: Densidad de Suelo.

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

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

Kp: Factor por pendiente (ver léame)

Kv: Factor por vegetación (ver léame)

Kfc: Factor estimado con base a la prueba de infiltración

P: Precipitación Media Mensual.

Pi: Precipitación que infiltra.

ESC: Escorrentía Superficial

ETP: Evapotranspiración Potencial.

ETR: Evapotranspiración Real.

HSi: Humedad de Suelo Inicial.

HD: Humedad Disponible

HSf: Humedad de Suelo Final.

DCC: Déficit de Capacidad de Campo.

Rp: Recarga Potencial

NR: Necesidad de Riego.

Ret: Retención de lluvia

fc [mm/d] 481.10

Kp [0.01%] 0.06

Kv [0.01%] 0.20

Kfc [0.01%] 0.85192

I [0.01%] 1

DS (g/cm³): 0.80

PR (mm) 2000.00

HSi (mm) 782.40

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

Lluvia retenida [0.01%] : Bosques=0.2, otros=0.12 0.20

Por peso

(%) (mm)

CC 48.90 782.40

PM 34.16 546.56

(CC-PM) 14.74 235.84

Concepto	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Total
P (mm)	254.70	78.00	9.50	21.50	0.00	9.80	26.40	194.65	377.90	415.30	150.30	695.20	2233.25
Ret [mm]	50.94	15.60	5.00	5.00	0.00	5.00	5.28	38.93	75.58	83.06	30.06	139.04	453.49
Pi (mm)	203.76	62.40	4.50	16.50	0.00	4.80	21.12	155.72	302.32	332.24	120.24	556.16	1779.76
ESC (mm)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
ETP (mm)	105.08	87.07	81.95	87.99	86.38	112.02	122.85	129.15	120.11	122.58	119.93	111.24	1286.34
HSi (mm)	782.40	782.40	762.29	703.56	667.40	631.25	603.64	594.63	669.31	782.40	782.40	782.40	
HD (mm)	439.60	298.24	220.23	173.50	120.84	89.49	78.20	203.79	425.07	568.08	356.08	792.00	
ETR (mm)	105.08	82.51	63.23	52.66	36.15	32.41	30.12	81.04	120.11	122.58	119.93	111.24	957.06
HSf (mm)	782.40	762.29	703.56	667.40	631.25	603.64	594.63	669.31	782.40	782.40	782.40	782.40	
DCC (mm)	0.00	20.11	78.84	115.00	151.15	178.76	187.77	113.09	0.00	0.00	0.00	0.00	
Rp (mm)	98.68	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	69.12	209.66	0.31	444.92	822.70
NR (mm)	0.00	24.67	97.56	150.33	201.38	258.37	280.50	161.20	0.00	0.00	0.00	0.00	1174.01

BALANCE HÍDRICO DE SUELOS

Zona de Estudio: Unidad de mapeo 2
 Serie de suelo: Sacapulas
 Unidad geológica: Rocas metamórficas sin dividir del paleozoico
 Cobertura Vegetal: Cultivos

Estación climática: Tapesquillo

Textura de Suelo: Franco Arcillo Arenoso

Simbología

fc: Capacidad de Infiltración.

I: Infiltración.

CC: Capacidad de Campo.

PM: Punto de Marchitez.

PR: Profundidad de Raíces.

(CC-PM): Rango de Agua Disponible.

DS: Densidad de Suelo.

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

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

Kp: Factor por pendiente (ver léame)

Kv: Factor por vegetación (ver léame)

Kfc: Factor estimado con base a la prueba de infiltración

P: Precipitación Media Mensual.

Pi: Precipitación que infiltra.

ESC: Escorrentía Superficial

ETP: Evapotranspiración Potencial.

ETR: Evapotranspiración Real.

HSi: Humedad de Suelo Inicial.

HD: Humedad Disponible

HSf: Humedad de Suelo Final.

DCC: Déficit de Capacidad de Campo.

Rp: Recarga Potencial

NR: Necesidad de Riego.

Ret: Retención de Iluvia

fc [mm/d] 354.99

Kp [0.01%] 0.06

Kv [0.01%] 0.10

Kfc [0.01%] 0.79018

I [0.01%] 0.95018

DS (g/cm³): 0.80

PR (mm) 500.00

HSi (mm) 205.04

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

Lluvia retenida [0.01%] : Bosques=0.2, otros=0.12 0.10

Por peso

(%) (mm)

CC 51.26 205.04

PM 28.22 112.88

(CC-PM) 23.04 92.16

Concepto	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Total
P (mm)	254.70	78.00	9.50	21.50	0.00	9.80	26.40	194.65	377.90	415.30	150.30	695.20	2233.25
Ret [mm]	25.47	7.80	5.00	5.00	0.00	5.00	5.00	19.47	37.79	41.53	15.03	69.52	236.61
Pi (mm)	217.81	66.70	4.28	15.68	0.00	4.56	20.33	166.46	323.17	355.15	128.53	594.51	1897.17
ESC (mm)	11.42	3.50	0.22	0.82	0.00	0.24	1.07	8.73	16.94	18.62	6.74	31.17	99.48
ETP (mm)	105.08	87.07	81.95	87.99	86.38	112.02	122.85	129.15	120.11	122.58	119.93	111.24	1286.34
HSi (mm)	205.04	205.04	194.29	156.25	142.47	127.73	120.49	122.20	191.41	205.04	205.04	205.04	
HD (mm)	309.97	158.86	85.69	59.05	29.59	19.41	27.95	175.78	401.70	447.31	220.69	686.67	
ETR (mm)	105.08	77.45	42.32	29.46	14.73	11.80	18.63	97.25	120.11	122.58	119.93	111.24	870.56
HSf (mm)	205.04	194.29	156.25	142.47	127.73	120.49	122.20	191.41	205.04	205.04	205.04	205.04	
DCC (mm)	0.00	10.75	48.79	62.57	77.31	84.55	82.84	13.63	0.00	0.00	0.00	0.00	
Rp (mm)	112.73	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	189.43	232.57	8.60	483.27	1026.61
NR (mm)	0.00	20.36	88.42	121.10	148.95	184.77	187.06	45.54	0.00	0.00	0.00	0.00	796.21

BALANCE HÍDRICO DE SUELOS

Zona de Estudio: Unidad de mapeo 3
 Serie de suelo: Civijá
 Unidad geológica: Rocas metamórficas sin dividir del paleozoico
 Cobertura Vegetal: Bosque

Estación climática: Tapesquillo

Textura de Suelo: Franco Arenoso

Simbología

fc: Capacidad de Infiltración.

I: Infiltración.

CC: Capacidad de Campo.

PM: Punto de Marchitez.

PR: Profundidad de Raíces.

(CC-PM): Rango de Agua Disponible.

DS: Densidad de Suelo.

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

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

Kp: Factor por pendiente (ver léame)

Kv: Factor por vegetación (ver léame)

Kfc: Factor estimado con base a la prueba de infiltración

P: Precipitación Media Mensual.

Pi: Precipitación que infiltra.

ESC: Escorrentía Superficial

ETP: Evapotranspiración Potencial.

ETR: Evapotranspiración Real.

HSi: Humedad de Suelo Inicial.

HD: Humedad Disponible

HSf: Humedad de Suelo Final.

DCC: Déficit de Capacidad de Campo.

Rp: Recarga Potencial

NR: Necesidad de Riego.

Ret: Retención de Lluvia

fc [mm/d] 866.59

Kp [0.01%] 0.06

Kv [0.01%] 0.20

Kfc [0.01%] 0.94968

I [0.01%] 1

DS (g/cm³): 0.77

PR (mm) 2000.00

HSi (mm) 732.58

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

Lluvia retenida [0.01%] : Bosques=0.2, otros=0.12 0.20

Por peso

(%) (mm)

CC 47.62 732.59

PM 25.74 395.98

(CC-PM) 21.88 336.60

Concepto	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Total
P (mm)	254.70	78.00	9.50	21.50	0.00	9.80	26.40	194.65	377.90	415.30	150.30	695.20	2233.25
Ret [mm]	50.94	15.60	5.00	5.00	0.00	5.00	5.28	38.93	75.58	83.06	30.06	139.04	453.49
Pi (mm)	203.76	62.40	4.50	16.50	0.00	4.80	21.12	155.72	302.32	332.24	120.24	556.16	1779.76
ESC (mm)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
ETP (mm)	105.08	87.07	81.95	87.99	86.38	112.02	122.85	129.15	120.11	122.58	119.93	111.24	1286.34
HSi (mm)	732.59	732.59	711.11	647.27	602.91	556.63	515.53	494.68	571.51	732.58	732.59	732.59	
HD (mm)	540.36	399.00	319.62	267.78	206.93	165.44	140.67	254.41	477.84	668.84	456.84	892.76	
ETR (mm)	105.08	83.88	68.34	60.85	46.29	45.90	41.97	78.89	120.11	122.58	119.93	111.24	1005.05
HSf (mm)	732.59	711.11	647.27	602.91	556.63	515.53	494.68	571.51	732.59	732.59	732.59	732.59	
DCC (mm)	0.00	21.48	85.32	129.67	175.96	217.06	237.91	161.08	0.00	0.00	0.00	0.00	
Rp (mm)	98.68	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	21.14	209.66	0.31	444.92	774.71
NR (mm)	0.00	24.67	98.92	156.81	216.05	283.18	318.79	211.34	0.00	0.00	0.00	0.00	1309.76

BALANCE HÍDRICO DE SUELOS

Zona de Estudio: Unidad de mapeo 4
 Serie de suelo: Sacapulas
 Unidad geológica: Rocas metamórficas sin dividir del paleozoico
 Cobertura Vegetal: Cultivo

Estación climática: Tapesquillo

Textura de Suelo: Franco Arcillo Arenoso

Simbología

fc: Capacidad de Infiltración.

I: Infiltración.

CC: Capacidad de Campo.

PM: Punto de Marchitez.

PR: Profundidad de Raíces.

(CC-PM): Rango de Agua Disponible.

DS: Densidad de Suelo.

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

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

Kp: Factor por pendiente (ver léame)

Kv: Factor por vegetación (ver léame)

Kfc: Factor estimado con base a la prueba de infiltración

P: Precipitación Media Mensual.

Pi: Precipitación que infiltra.

ESC: Escorrentía Superficial

ETP: Evapotranspiración Potencial.

ETR: Evapotranspiración Real.

HSi: Humedad de Suelo Inicial.

HD: Humedad Disponible

HSf: Humedad de Suelo Final.

DCC: Déficit de Capacidad de Campo.

Rp: Recarga Potencial

NR: Necesidad de Riego.

Ret: Retención de Lluvia

fc [mm/d] 481.10

Kp [0.01%] 0.06

Kv [0.01%] 0.10

Kfc [0.01%] 0.85192

I [0.01%] 1

DS (g/cm³): 1.00

PR (mm) 500.00

HSi (mm) 147.25

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

Lluvia retenida [0.01%] : Bosques=0.2, otros=0.12 0.10

Por peso

(%) (mm)

CC 29.45 147.25

PM 13.73 68.65

(CC-PM) 15.72 78.60

Concepto	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Total
P (mm)	254.70	78.00	9.50	21.50	0.00	9.80	26.40	194.65	377.90	415.30	150.30	695.20	2233.25
Ret [mm]	25.47	7.80	5.00	5.00	0.00	5.00	5.00	19.47	37.79	41.53	15.03	69.52	236.61
Pi (mm)	229.23	70.20	4.50	16.50	0.00	4.80	21.40	175.19	340.11	373.77	135.27	625.68	1996.65
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)	105.08	87.07	81.95	87.99	86.38	112.02	122.85	129.15	120.11	122.58	119.93	111.24	1286.34
HSi (mm)	147.25	147.25	139.72	104.83	91.84	79.10	73.03	74.28	142.44	147.25	147.25	147.25	147.25
HD (mm)	307.83	148.80	75.57	52.68	23.19	15.25	25.78	180.82	413.90	452.37	213.87	704.28	
ETR (mm)	105.08	77.73	39.40	29.49	12.74	10.87	20.15	107.02	120.11	122.58	119.93	111.24	876.32
HSf (mm)	147.25	139.72	104.83	91.84	79.10	73.03	74.28	142.44	147.25	147.25	147.25	147.25	147.25
DCC (mm)	0.00	7.53	42.42	55.41	68.15	74.22	72.97	4.81	0.00	0.00	0.00	0.00	
Rp (mm)	124.15	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	215.20	251.19	15.34	514.44	1120.33
NR (mm)	0.00	16.87	84.97	113.91	141.79	175.37	175.67	26.94	0.00	0.00	0.00	0.00	735.52

BALANCE HÍDRICO DE SUELOS

Zona de Estudio: Unidad de mapeo 5
 Serie de suelo: Civijá
 Unidad geológica: Rocas volcánicas sin dividir del terciario
 Cobertura Vegetal: Bosque

Estación climática: Chinique

Textura de Suelo: Franco arenoso

Simbología

fc: Capacidad de Infiltración.

I: Infiltración.

CC: Capacidad de Campo.

PM: Punto de Marchitez.

PR: Profundidad de Raíces.

(CC-PM): Rango de Agua Disponible.

DS: Densidad de Suelo.

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

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

Kp: Factor por pendiente (ver léame)

Kv: Factor por vegetación (ver léame)

Kfc: Factor estimado con base a la prueba de infiltración

P: Precipitación Media Mensual.

Pi: Precipitación que infiltra.

ESC: Escorrentía Superficial

ETP: Evapotranspiración Potencial.

ETR: Evapotranspiración Real.

HSi: Humedad de Suelo Inicial.

HD: Humedad Disponible

HSf: Humedad de Suelo Final.

DCC: Déficit de Capacidad de Campo.

Rp: Recarga Potencial

NR: Necesidad de Riego.

Ret: Retención de Lluvia

fc [mm/d] 266.89

Kp [0.01%] 0.06

Kv [0.01%] 0.20

Kfc [0.01%] 0.72758

I [0.01%] 0.98758

DS (g/cm³): 1.05

PR (mm) 2000.00

HSi (mm) 479.90

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

Lluvia retenida [0.01%] : Bosques=0.2, otros=0.12 0.20

Por peso

(%) (mm)

CC 22.80 479.99

PM 11.47 241.47

(CC-PM) 11.33 238.52

Concepto	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Total
P (mm)	199.00	57.60	19.00	5.20	5.30	12.00	55.50	139.90	303.10	257.50	251.50	328.10	1633.70
Ret [mm]	39.80	11.52	5.00	5.00	5.00	5.00	11.10	27.98	60.62	51.50	50.30	65.62	338.44
Pi (mm)	157.22	45.51	13.83	0.20	0.30	6.91	43.85	110.53	239.47	203.44	198.70	259.22	1279.18
ESC (mm)	1.98	0.57	0.17	0.00	0.00	0.09	0.55	1.39	3.01	2.56	2.50	3.26	16.08
ETP (mm)	111.486	94.1389	88.7803	91.672	93.2737	118.851	128.582	135.186	128.476	130.793	128.104	117.923	1367.27
HSi (mm)	479.99	479.99	440.95	390.16	344.13	312.03	289.96	297.45	340.35	479.90	479.99	479.99	
HD (mm)	395.74	284.03	213.31	148.89	102.96	77.48	92.34	166.51	338.35	441.88	437.22	497.74	
ETR (mm)	111.49	84.54	64.62	46.23	32.39	28.99	36.36	67.63	120.76	130.79	128.10	117.92	969.83
HSf (mm)	479.99	440.95	390.16	344.13	312.03	289.96	297.45	340.35	459.05	479.99	479.99	479.99	
DCC (mm)	0.00	39.03	89.83	135.86	167.95	190.03	182.54	139.64	20.93	0.00	0.00	0.00	
Rp (mm)	45.74	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	72.56	70.60	141.30	330.20
NR (mm)	0.00	48.63	113.99	181.30	228.84	279.89	274.76	207.20	28.65	0.00	0.00	0.00	1363.25

BALANCE HÍDRICO DE SUELOS

Zona de Estudio: Unidad de mapeo 6
 Serie de suelo: Civijá
 Unidad geológica: Rocas volcánicas sin dividir del terciario
 Cobertura Vegetal: Cultivo

Estación climática: Chinique

Textura de Suelo: Franco Arenoso

Simbología

fc: Capacidad de Infiltración.

I: Infiltración.

CC: Capacidad de Campo.

PM: Punto de Marchitez.

PR: Profundidad de Raíces.

(CC-PM): Rango de Agua Disponible.

DS: Densidad de Suelo.

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

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

Kp: Factor por pendiente (ver léame)

Kv: Factor por vegetación (ver léame)

Kfc: Factor estimado con base a la prueba de infiltración

P: Precipitación Media Mensual.

Pi: Precipitación que infiltra.

ESC: Escorrentía Superficial

ETP: Evapotranspiración Potencial.

ETR: Evapotranspiración Real.

HSi: Humedad de Suelo Inicial.

HD: Humedad Disponible

HSf: Humedad de Suelo Final.

DCC: Déficit de Capacidad de Campo.

Rp: Recarga Potencial

NR: Necesidad de Riego.

Ret: Retención de Lluvia

fc [mm/d] 202.44

Kp [0.01%] 0.06

Kv [0.01%] 0.10

Kfc [0.01%] 0.66371

I [0.01%] 0.82371

DS (g/cm³): 1.11

PR (mm) 500.00

HSi (mm) 110.61

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

Lluvia retenida [0.01%] : Bosques=0.2, otros=0.12 0.10

Por peso

(%) (mm)

CC 19.91 110.61

PM 9.80 54.44

(CC-PM) 10.11 56.17

Concepto	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Total
P (mm)	199.00	57.60	19.00	5.20	5.30	12.00	55.50	139.90	303.10	257.50	251.50	328.10	1633.70
Ret [mm]	19.90	5.76	5.00	5.00	5.00	5.00	5.55	13.99	30.31	25.75	25.15	32.81	179.22
Pi (mm)	147.53	42.70	11.53	0.16	0.25	5.77	41.14	103.71	224.70	190.89	186.45	243.23	1198.07
ESC (mm)	31.57	9.14	2.47	0.04	0.05	1.23	8.81	22.20	48.09	40.86	39.90	52.06	256.41
ETP (mm)	111.486	94.1389	88.7803	91.672	93.2737	118.851	128.582	135.186	128.476	130.793	128.104	117.923	1367.27
HSi (mm)	110.61	110.61	102.28	69.42	57.23	54.96	54.44	54.44	90.56	110.61	110.61	110.61	
HD (mm)	203.69	98.87	59.37	15.14	3.03	6.28	41.14	103.71	260.82	247.06	242.61	299.40	
ETR (mm)	111.49	51.03	44.39	12.36	2.52	6.28	41.14	67.59	128.48	130.79	128.10	117.92	842.10
HSf (mm)	110.61	102.28	69.42	57.23	54.96	54.44	54.44	90.56	110.61	110.61	110.61	110.61	
DCC (mm)	0.00	8.33	41.19	53.38	55.65	56.17	56.17	20.05	0.00	0.00	0.00	0.00	
Rp (mm)	36.04	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	76.18	60.10	58.34	125.31	355.97
NR (mm)	0.00	51.44	85.58	132.70	146.41	168.74	143.60	87.64	0.00	0.00	0.00	0.00	816.10

BALANCE HÍDRICO DE SUELOS

Zona de Estudio: Unidad de mapeo 7
 Serie de suelo: Sinaché
 Unidad geológica: Rocas volcánicas sin dividir del terciario
 Cobertura Vegetal: Cultivo

Estación climática: Chinique

Textura de Suelo: Franco Arenoso

Simbología

fc: Capacidad de Infiltración.

I: Infiltración.

CC: Capacidad de Campo.

PM: Punto de Marchitez.

PR: Profundidad de Raíces.

(CC-PM): Rango de Agua Disponible.

DS: Densidad de Suelo.

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

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

Kp: Factor por pendiente (ver léame)

Kv: Factor por vegetación (ver léame)

Kfc: Factor estimado con base a la prueba de infiltración

P: Precipitación Media Mensual.

Pi: Precipitación que infiltra.

ESC: Escorrentía Superficial

ETP: Evapotranspiración Potencial.

ETR: Evapotranspiración Real.

HSi: Humedad de Suelo Inicial.

HD: Humedad Disponible

HSf: Humedad de Suelo Final.

DCC: Déficit de Capacidad de Campo.

Rp: Recarga Potencial

NR: Necesidad de Riego.

Ret: Retención de Lluvia

fc [mm/d] 657.69
 Kp [0.01%] 0.06
 Kv [0.01%] 0.10
 Kfc [0.01%] 0.90821
 I [0.01%] 1
 DS (g/cm³): 0.82
 PR (mm) 500.00
 HSi (mm) 134.32
 Nº de mes con que inicia HSi;1,2,3...12? 10
 Lluvia retenida [0.01%] : Bosques=0.2, otros=0.12 0.10

Por peso
(%) (mm)

CC	32.91	134.32
PM	15.57	63.55
(CC-PM)	17.34	70.77

Concepto	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Total
P (mm)	199.00	57.60	19.00	5.20	5.30	12.00	55.50	139.90	303.10	257.50	251.50	328.10	1633.70
Ret [mm]	19.90	5.76	5.00	5.00	5.00	5.00	5.55	13.99	30.31	25.75	25.15	32.81	179.22
Pi (mm)	179.10	51.84	14.00	0.20	0.30	7.00	49.95	125.91	272.79	231.75	226.35	295.29	1454.48
ESC (mm)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
ETP (mm)	111.486	94.1389	88.7803	91.672	93.2737	118.851	128.582	135.186	128.476	130.793	128.104	117.923	1367.27
HSi (mm)	134.32	134.32	120.16	89.87	72.89	66.84	65.20	68.27	126.59	134.32	134.32	134.32	
HD (mm)	249.87	122.61	70.61	26.52	9.64	10.29	51.60	130.64	335.83	302.52	297.12	366.06	
ETR (mm)	111.49	66.01	44.29	17.18	6.36	8.64	46.87	67.59	128.48	130.79	128.10	117.92	873.71
HSf (mm)	134.32	120.16	89.87	72.89	66.84	65.20	68.27	126.59	134.32	134.32	134.32	134.32	
DCC (mm)	0.00	14.17	44.45	61.43	67.48	69.12	66.05	7.73	0.00	0.00	0.00	0.00	
Rp (mm)	67.61	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	136.58	100.95	98.25	177.37	580.77
NR (mm)	0.00	42.30	88.95	135.92	154.40	179.33	147.76	75.32	0.00	0.00	0.00	0.00	823.99

BALANCE HÍDRICO DE SUELOS

Zona de Estudio: Unidad de mapeo 8
Serie de suelo: Sinaché
Unidad geológica: Rocas volcánicas sin dividir del terciario
Cobertura Vegetal: Bosque

Estación climática: Chinique

Textura de Suelo: Franco Arenoso

Simbología

fc: Capacidad de Infiltración.

I: Infiltración.

CC: Capacidad de Campo.

PM: Punto de Marchitez.

PR: Profundidad de Raíces.

(CC-PM): Rango de Agua Disponible.

DS: Densidad de Suelo.

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

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

Kp: Factor por pendiente (ver léame)

Kv: Factor por vegetación (ver léame)

Kfc: Factor estimado con base a la prueba de infiltración

P: Precipitación Media Mensual.

Pi: Precipitación que infiltra.

ESC: Escorrentía Superficial

ETP: Evapotranspiración Potencial.

ETR: Evapotranspiración Real.

HSi: Humedad de Suelo Inicial.

HD: Humedad Disponible

HSf: Humedad de Suelo Final.

DCC: Déficit de Capacidad de Campo.

Rp: Recarga Potencial

NR: Necesidad de Riego.

Ret: Retención de lluvia

fc [mm/d] 200.02

Kp [0.01%] 0.06

Kv [0.01%] 0.20

Kfc [0.01%] 0.66087

I [0.01%] 0.92087

DS (g/cm³): 0.81

PR (mm) 2000.00

HSi (mm) 533.14

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

Lluvia retenida [0.01%] : Bosques=0.2, otros=0.12 0.20

Por peso

(%) (mm)

CC 32.91 533.14

PM 16.72 270.86

(CC-PM) 7.84 262.28

Concepto	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Total
P (mm)	199.00	57.60	19.00	5.20	5.30	12.00	55.50	139.90	303.10	257.50	251.50	328.10	1633.70
Ret [mm]	39.80	11.52	5.00	5.00	5.00	5.00	11.10	27.98	60.62	51.50	50.30	65.62	338.44
Pi (mm)	146.60	42.43	12.89	0.18	0.28	6.45	40.89	103.06	223.29	189.70	185.28	241.71	1192.77
ESC (mm)	12.60	3.65	1.11	0.02	0.02	0.55	3.51	8.86	19.19	16.30	15.92	20.77	102.49
ETP (mm)	111.486	94.1389	88.7803	91.672	93.2737	118.851	128.582	135.186	128.476	130.793	128.104	117.923	1367.27
HSi (mm)	533.14	533.14	490.72	438.16	390.04	355.39	329.95	333.84	373.38	533.14	533.14	533.14	
HD (mm)	408.88	304.71	232.74	167.48	119.45	90.97	99.97	166.04	325.81	451.98	447.56	503.99	
ETR (mm)	111.49	84.86	65.45	48.31	34.93	31.88	37.00	63.53	112.57	130.79	128.10	117.92	966.82
HSf (mm)	533.14	490.72	438.16	390.04	355.39	329.95	333.84	373.38	484.10	533.14	533.14	533.14	
DCC (mm)	0.00	42.43	94.98	143.11	177.76	203.19	199.30	159.77	49.04	0.00	0.00	0.00	
Rp (mm)	35.12	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	58.90	57.18	123.79	289.56
NR (mm)	0.00	51.71	118.31	186.47	236.10	290.16	290.89	231.43	64.95	0.00	0.00	0.00	1470.02