



Universidad de San Carlos de Guatemala
Facultad de Ingeniería
Escuela de Ingeniería Química

**COMPARACIÓN DE METODOLOGÍAS PARA IDENTIFICACIÓN DE ZONAS POTENCIALES
DE RECARGA HÍDRICA EN LA MICROCUENCA DEL RÍO AGUA TIBIA, ZONA 24,
GUATEMALA**

Indira Ixquic Barreno Colindres

Asesorado por el Ing. Manuel Alfredo Arrivillaga Ochaeta

Guatemala, noviembre de 2016

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**COMPARACIÓN DE METODOLOGÍAS PARA IDENTIFICACIÓN DE ZONAS POTENCIALES
DE RECARGA HÍDRICA EN LA MICROCUENCA DEL RÍO AGUA TIBIA, ZONA 24,
GUATEMALA**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA
POR

INDIRA IXQUIC BARRENO COLINDRES

ASESORADO POR EL ING. MANUEL ALFREDO ARRIVILLAGA OCHAETA

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

INGENIERA AMBIENTAL

GUATEMALA, NOVIEMBRE DE 2016

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA



NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

DECANO	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
VOCAL I	Ing. Angel Roberto Sic García
VOCAL II	Ing. Pablo Christian de León Rodríguez
VOCAL III	Inga. Elvia Miriam Ruballos Samayoa
VOCAL IV	Br. Raúl Eduardo Ticún Córdova
VOCAL V	Br. Henry Fernando Duarte García
SECRETARIA	Inga. Lesbia Magalí Herrera López

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

DECANO	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
EXAMINADORA	Inga. Casta Petrona Zeceña Zeceña
EXAMINADOR	Ing. Walter Arnoldo Bardales Espinoza
EXAMINADOR	Ing. Carlos Vinicio Godínez Miranda
SECRETARIA	Inga. Lesbia Magalí Herrera López

HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

En cumplimiento con los preceptos que establece la ley de la Universidad de San Carlos de Guatemala, presento a su consideración mi trabajo de graduación titulado:

**COMPARACIÓN DE METODOLOGÍAS PARA IDENTIFICACIÓN DE ZONAS
POTENCIALES DE RECARGA HÍDRICA EN LA MICROCUENCA DEL RÍO AGUA TIBIA,
ZONA 24, GUATEMALA**

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Química, con fecha 6 de mayo de 2015.



Indira Ixquic Barreno Colindres

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS
DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERIA
UNIDAD DE EPS

Guatemala, 19 de julio de 2016

Ing. Carlos Salvador Wong Davi
Director de Escuela de Ingeniería Química
Facultad de Ingeniería
Universidad de San Carlos de Guatemala

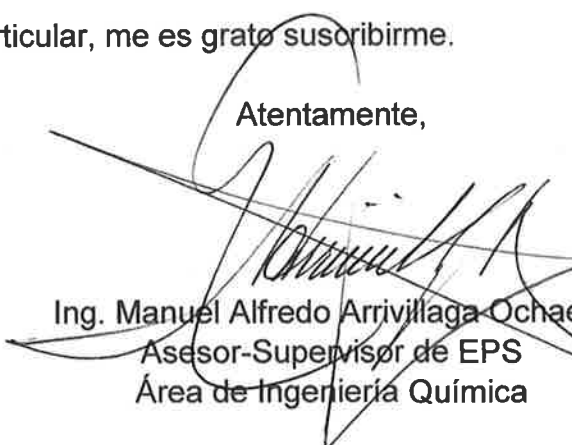
Ing. Carlos Wong

Por este medio atentamente le informo que como Asesor – Supervisor de la Práctica Profesional Supervisado (EPS), de la estudiante universitaria **Indira Ixquic Barreno Colindres** de la carrera de Ingeniería Ambiental, con carné **200915021**, procedí a revisar el informe final cuyo título es **COMPARACIÓN DE METODOLOGÍAS PARA IDENTIFICACIÓN DE ZONAS POTENCIALES DE RECARGA HÍDRICA EN LA MICROCUENA DEL RÍO AGUA TIBIA, ZONA 24, GUATEMALA.**

En tal virtud, **LO DOY POR APROBADO**, solicitándole dale el trámite respectivo.

Sin otro particular, me es grato suscribirme.

Atentamente,


Ing. Manuel Alfredo Arrivillaga Ochaeta
Asesor-Supervisor de EPS
Área de Ingeniería Química





Guatemala, 20 de julio de 2016.
Ref.EPS.D.269.07.16.

Ing. Carlos Wong
Director Escuela de Ingeniería Química
Facultad de Ingeniería
Presente


Estimado Ingeniero Wong:

Por este medio atentamente le envío el informe final correspondiente a la práctica del Ejercicio Profesional Supervisado, (E.P.S) titulado **"COMPARACIÓN DE METODOLOGÍAS PARA IDENTIFICACIÓN DE ZONAS POTENCIALES DE RECARGA HÍDRICA EN LA MICROCUENCA DEL RÍO AGUA TIBIA, ZONA 24, GUATEMALA"** que fue desarrollado por la estudiante universitaria **Indira Ixquic Barreno Colindres**, quien fue debidamente asesorada y supervisada por el Ingeniero Ing. Manuel Alfredo Arrivillaga Ochaeta.

Por lo que habiendo cumplido con los objetivos y requisitos de ley del referido trabajo y existiendo la aprobación del mismo por parte del Asesor-Supervisor de EPS, en mi calidad de Directora apruebo su contenido solicitándole darle el trámite respectivo.

Sin otro particular, me es grato suscribirme.

Atentamente,
"Id y Enseñad a Todos"


Inga. Christa Classon de Pinto
Directora Unidad de EPS



CCdP/ra



Guatemala, 27 de septiembre de 2016.
Ref. EIQ.TG-IF.054.2016.

Ingeniero
Carlos Salvador Wong Davi
DIRECTOR
Escuela de Ingeniería Química
Facultad de Ingeniería

Estimado Ingeniero Wong:

Como consta en el registro de evaluación del informe final EIQ-PRO-REG-007 correlativo **010-2015** le informo que reunidos los Miembros de la Terna nombrada por la Escuela de Ingeniería Química, se practicó la revisión del:

**INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADUACIÓN
-Modalidad Ejercicio Profesional Supervisado-**

Solicitado por la estudiante universitaria: **Indira Ixquic Barreno Colindres**.
Identificada con número de carné: **2009-15021**.
Previo a optar al título de **INGENIERA AMBIENTAL**.

Siguiendo los procedimientos de revisión interna de la Escuela de Ingeniería Química, los Miembros de la Terna han procedido a **APROBARLO** con el siguiente título:

**COMPARACIÓN DE METODOLOGÍAS PARA IDENTIFICACIÓN DE ZONAS
POTENCIALES DE RECARGA HIDRÍCA EN LA MICROCUENCA DEL RÍO AGUA
TIBIA, ZONA 24, GUATEMALA**

El Trabajo de Graduación ha sido asesorado por el Ingeniero Civil: **Manuel Alfredo Arrivillaga Ochaeta**

Habiendo encontrado el referido informe final del trabajo de graduación **SATISFACTORIO**, se autoriza al estudiante, proceder con los trámites requeridos de acuerdo a las normas y procedimientos establecidos por la Facultad para su autorización e impresión.

"ID Y ENSEÑAD A TODOS"



M.Sc. Ing. Walter Arnoldo Bardales Espinoza
Maestro en Recursos Hidráulicos Opción Hidrología

Ingeniero Agrónomo Mga. Walter Arnoldo Bardales Espinoza
Colegiado 4279

COORDINADORA DE TERNA
Tribunal de Revisión
Trabajo de Graduación



C.c.: archivo



Ref.EIQ.TG.067.2016

El Director de la Escuela de Ingeniería Química de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer el dictamen del Asesor y de los Miembros del Tribunal nombrado por la Escuela de Ingeniería Química para revisar el Informe del **Trabajo de Graduación de (EPS)** de la carrera de **Ingeniería Ambiental** de la estudiante, **INDIRA IXQUIC BARRENO COLINDRES** titulado: "**COMPARACIÓN DE METODOLOGÍAS PARA IDENTIFICACIÓN DE ZONAS POTENCIALES DE RECARGA HÍDRICA EN LA MICROCUENCA DEL RÍO AGUA TIBIA, ZONA 24, GUATEMALA**". Procede a la autorización del mismo, ya que reúne el rigor, la secuencia, la pertinencia y la coherencia metodológica requerida.

"Id y Enseñad a Todos"

Ing. Carlos Salvador Wang Davila
DIRECTOR
Escuela de Ingeniería Química



Guatemala, noviembre 2016

Cc: Archivo
CSWD/ale

Universidad de San Carlos
de Guatemala



Facultad de Ingeniería
Decanato

DTG. 586.2016

El Decano de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Química, al Trabajo de Graduación titulado: **COMPARACIÓN DE METODOLOGÍAS PARA IDENTIFICACIÓN DE ZONAS POTENCIALES DE RECARGA HÍDRICA EN LA MICROCUENCA DEL RÍO AGUA TIBIA, ZONA 24, GUATEMALA**, presentado por la estudiante universitaria: **Indira Ixquic Barreno Colindres**, y después de haber culminado las revisiones previas bajo la responsabilidad de las instancias correspondientes, autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE:


Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
Decano

Guatemala, noviembre de 2016

/gdech



ACTO QUE DEDICO A:

- Dios** Por enseñarme a superar las adversidades presentadas.
- Mis padres** Gerardo Barreno y Aracely Colindres, por ser mi ejemplo a seguir y apoyarme en cada uno de mis sueños y metas.
- Mis hermanas** Geraldina, Ixchel y Aracely, por su apoyo incondicional en cada etapa de mi vida.
- Mi sobrino** José Rodrigo, por ser el pequeño milagro de la familia que nos inspira a hacer un mundo mejor para él.
- Mis amigos** Por todas las experiencias vividas al lado de ustedes; aquellas que nos hicieron reír, llorar y, en ocasiones, las dos al mismo tiempo.

AGRADECIMIENTOS A:

Universidad de San Carlos de Guatemala	Por ser mi casa de estudios, por ser el ejemplo histórico de mis sueños.
Facultad de Ingeniería	Por las tantas enseñanzas aprendidas en sus aulas.
Mis amigos	Por todas las aventuras compartidas y permitirme crecer con ellos.
Mis catedráticos	Por compartir su sabiduría y conocimientos y guiarme a ser una mejor profesional.
Municipalidad de Guatemala	Por permitir ser parte de su equipo de trabajo durante mi Ejercicio Profesional Supervisado, en especial a la Ingeniera Beatriz Ramírez.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	V
LISTA DE SÍMBOLOS	VII
GLOSARIO	IX
RESUMEN.....	XI
OBJETIVOS.....	XIII
HIPÓTESIS.....	XV
INTRODUCCIÓN	XVII
1. ANTECEDENTES	1
2. MARCO TEÓRICO.....	3
2.1. Cuenca	3
2.2. Ciclo hidrológico	4
2.2.1. La evaporación	5
2.2.2. Evapotranspiración	5
2.2.3. La precipitación.....	5
2.2.4. La retención	6
2.2.5. La infiltración.....	6
2.2.6. La escorrentía superficial.....	6
2.3. Recarga hídrica	7
2.4. Clasificación de zonas de recarga hídrica	8
2.4.1. Zonas de recarga hídrica superficial.....	8
2.4.2. Zonas de recarga hídrica subsuperficial	8
2.4.3. Zonas de recarga hídrica subterránea.....	8
2.5. Factores que afectan la recarga hídrica	9
2.5.1. El clima	9

2.5.2.	El suelo.....	9
2.5.3.	Topografía.....	10
2.5.4.	Estratigrafía geológica.....	10
2.6.	Balance hídrico	10
2.7.	Textura del suelo.....	11
3.	DISEÑO METODOLÓGICO.....	13
3.1.	Variables	13
3.2.	Delimitación de campo de estudio	13
3.3.	Recursos humanos disponibles	15
3.4.	Recursos materiales disponibles.....	15
3.5.	Técnica cuantitativa.....	15
3.6.	Recolección y ordenamiento de la información.....	15
3.6.1.	Determinación de puntos de muestreo para estudio de suelos	15
3.6.2.	Determinación de la textura del suelo	17
3.6.3.	Pruebas de infiltración.....	17
3.6.4.	Información climática.....	17
3.7.	Tabulación, ordenamiento y procesamiento de la información.....	19
3.7.1.	Método de Gunther Schosinsky	20
3.7.1.1.	Precipitación efectiva	20
3.7.1.2.	Escorrentía superficial.....	22
3.7.1.3.	Evapotranspiración.....	22
3.7.2.	Método de Matus Silva.....	25
3.7.2.1.	Mapa de pendientes.....	25
3.7.2.2.	Mapa de tipo de suelo	25
3.7.2.3.	Mapa geológico	27
3.7.2.4.	Mapa de cobertura vegetal.....	27
3.7.2.5.	Mapa de uso de suelo	28

3.7.3.	Métodos y modelos de los datos según tipo de variables	29
3.7.3.1.	Método de Gunther Schosinsky.....	29
3.7.3.2.	Método de Matus Silva	30
3.8.	Análisis estadístico	31
3.8.1.	Media aritmética	31
4.	RESULTADOS	33
4.1.	Clases texturales del suelo recolectado	33
4.2.	Pruebas de infiltración	34
4.3.	Información climática.....	34
4.4.	Recarga hídrica con metodología de Gunther Schosinsky	36
4.5.	Mapa de pendientes	39
4.6.	Mapa de tipo de suelo	40
4.7.	Mapa geológico	41
4.8.	Mapa de cobertura vegetal.....	42
4.9.	Mapa de uso de suelo	43
4.10.	Recarga hídrica con método de Matus Silva	44
5.	INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS.....	45
5.1.	Análisis de la metodología de Gunther Schosinsky.....	46
5.2.	Análisis de la metodología de Matus Silva	47
5.3.	Comparación de metodologías para reconocimiento de zonas potenciales de recarga hídrica	49
6.	LOGROS OBTENIDOS	51
	CONCLUSIONES	53
	RECOMENDACIONES	55
	BIBLIOGRAFÍA.....	57
	APÉNDICES	59
	ANEXOS.....	83

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1.	Divisiones de una cuenca hidrográfica.....	3
2.	Ubicación de Microcuenca del río Agua Tibia	14
3.	Puntos de muestreo	16
4.	Ubicación de estaciones meteorológicas	19
5.	Mapa de recarga hídrica según metodología de Gunther Schosinsky	38
6.	Mapa de pendientes.....	39
7.	Mapa de tipo de suelo	40
8.	Mapa de geología	41
9.	Mapa cobertura vegetal.....	42
10.	Mapa de uso de suelo	43
11.	Recarga hídrica según metodología de Matus Silva	44

TABLAS

I.	Variables involucradas en el proyecto.....	13
II.	Ubicación de las estaciones meteorológicas.....	18
III.	Valores de infiltración por efecto de pendiente (Kp).....	21
IV.	Valores de infiltración por efecto de la vegetación (Kv).....	22
V.	Clasificación y ponderación de pendientes	25
VI.	Clasificación y ponderación de texturas de suelo	26
VII.	Clasificación y ponderación de velocidad de infiltración.....	26
VIII.	Clasificación y ponderación de la geología de suelos	27

IX.	Clasificación y ponderación para cobertura vegetal.....	28
X.	Clasificación y ponderación del uso de suelo	29
XI.	Determinación del potencial de recarga hídrica	30
XII.	Clasificación de texturas de suelo en la microcuenca del río Agua Tibia	33
XIII.	Velocidad de infiltración en puntos de muestreo de la microcuenca del río Agua Tibia	34
XIV.	Precipitación pluvial mensual (mm) de la microcuenca del río Agua Tibia.....	35
XV.	Temperatura media mensual (°C) de la microcuenca del río de Agua Tibia.....	36
XVI.	Recarga hídrica mensual y total.....	36

LISTA DE SÍMBOLOS

Símbolo	Significado
m	Metro
mm	Milímetro
mm/día	Milímetros por día
°C	Grados centígrados
°F	Grados Fahrenheit

GLOSARIO

ArcGIS	Es un completo sistema que permite recopilar, organizar, administrar, analizar, compartir y distribuir información geográfica.
Parámetro	Dato que se considera como imprescindible y orientativo para lograr evaluar o valorar una determinada situación.

RESUMEN

Las zonas de recarga hídrica son de vital importancia para el ciclo hidrológico, debido a que en ellas se da la infiltración del agua de la precipitación al suelo y a su vez, el reabastecimiento de las aguas subterráneas, los llamado acuíferos. La ciudad de Guatemala cada día crece más debido al aumento de población demandante de servicios públicos, entre ellos el agua potable. La mayor cantidad de este recurso se extrae de pozos ubicados estratégicamente a lo largo del país.

En el estudio de las zonas de recarga hídrica se tomaron en cuenta las variables climáticas y los parámetros del terreno o suelo, para conocer el desempeño que tiene el área en consideración en la tarea de infiltrar agua. Por ello, se consideró la metodología Cálculo de la recarga potencial mediante un balance hídrico de suelos de Gunther Schosinsky y, posteriormente la metodología Identificación de zonas potenciales de recarga hídrica desarrollada por Matus Silva, utilizando el software ArcGIS para la ilustración de los resultados.

La Dirección de Medio Ambiente de la Municipalidad de Guatemala llevó a cabo el proyecto para conocer las áreas potenciales de recarga hídrica en las diferente microcuencas que componen la ciudad y posteriormente darles el cuidado y mantenimiento que requieran.

Como resultado se dio que la microcuenca tuvo una tendencia de mayor recarga en la parte media de su área, en un 67,38 % del área, combinando las dos metodologías dichas.

OBJETIVOS

General

Evaluar metodologías para identificar las zonas de recarga hídrica de la microcuenca del río Agua Tibia mediante parámetros ambientales y sistemas de información geográfica.

Específicos

1. Caracterizar las propiedades físicas de los suelos de la microcuenca del río Agua Tibia.
2. Caracterizar los parámetros climáticos de temperatura, evapotranspiración y precipitación necesarios para la estimación de la recarga hídrica de la microcuenca del río Agua Tibia.
3. Determinar las zonas potenciales de recarga hídrica para su clasificación en alta, media y baja recarga hídrica en la microcuenca del río Agua Tibia.

HIPÓTESIS

Hipótesis nula

Es posible identificar las zonas potenciales de recarga hídrica por medio de estudios de suelo y parámetros climáticos utilizando los Sistemas de Información Geográfica para su visualización.

Hipótesis alternativa

No es posible identificar las zonas potenciales de recarga hídrica por medio de estudios de suelo y parámetros climáticos utilizando los Sistemas de Información Geográfica para su visualización.

INTRODUCCIÓN

Debido al creciente número de habitantes en la capital guatemalteca, se ha observado un aumento en la urbanización del área. Como consecuencia, los terrenos donde se construyeron obras de vivienda o comercio, en su mayoría, se impermeabilizaron y se perdieron las zonas de recarga hídrica. En estas zonas, la filtración de agua de lluvia al acuífero a través del suelo, se manifiesta mediante un proceso natural. De esta manera, se garantiza el incremento de agua hasta la zona de saturación, que es donde se encuentra el nivel del agua subterránea. Las zonas de recarga hídrica son importantes ya que forman parte del ciclo hidrológico del planeta y con ella se garantiza el equilibrio ecológico.

La identificación de las zonas de recarga hídrica son esenciales para el equilibrio ecológico del área, ya que las consecuencias de la alteración del ciclo hidrológico se manifiestan en el ámbito local y mundial. La ausencia de filtración de agua al acuífero impide que se recarguen los depósitos de agua. Asimismo, la inexistencia de la zona de saturación imposibilita el proceso de escorrentía y la evaporación del agua del suelo, lo cual modifica la cantidad de agua que lloverá.

1. ANTECEDENTES

En Guatemala, el estudio de recarga hídrica se ha aplicado hace pocos años, para ello se han utilizado múltiples técnicas cuantitativas y cualitativas. La más aceptada es la metodología desarrollada por el Instituto Nacional de Boques (INAB) en el año 2005, en la cual define a la recarga hídrica como “la capacidad que tiene una zona territorial para capturar el agua proveniente de la precipitación” y describe un modelo para dicha estimación con base en variables como la capacidad de suelo y pendientes, para posteriormente adaptarla a la metodología de Matus Silva (2007) que propone la utilización una expresión matemática para delimitar la zona de recarga hídrica.

La relevancia de la recarga hídrica se manifiesta a partir de la aprobación del decreto 101-96. En él, se describe la Ley Forestal, en cuyo artículo 47 menciona la importancia de las zonas de recarga hídrica. Después de la creación de esta ley, se han realizado varios estudios para identificar las zonas en mención, utilizando la metodología del INAB y otras propuestas por diversas universidades. Entre ellas, está la metodología de Schosinsky y Losilla (2006) de la Escuela de Geología de la Universidad de San José, Costa Rica, la cual consiste en el “desarrollo de una metodología y un modelo, con propósito de determinar la recarga potencial mediante un balance de suelos.” El Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONCYT) del gobierno de Guatemala, con ayuda de instituciones como la Fundación Defensores de la Naturaleza ha utilizado la técnica en el proyecto para estimar la recarga hídrica de cuencas de interés.

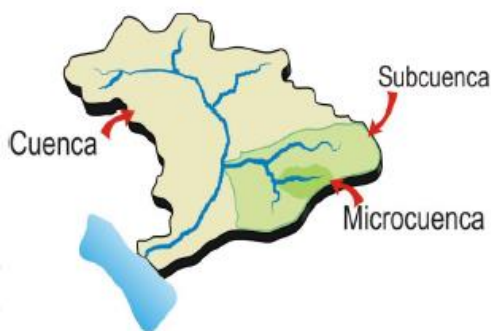
2. MARCO TEÓRICO

2.1. Cuenca

Es una zona de superficie terrestre donde el agua que llega a ella drena por el sistema de corrientes hacia un mismo punto de salida. Una cuenca hidrográfica está definida como un espacio geográfico cuyos límites inician en las partes altas de las montañas, llamados parteaguas y termina en el punto donde las aguas drenan en un río principal hasta llegar al mar, lago o embalse artificial. ¹

Una cuenca incluye ecosistemas terrestres, como selvas, bosques, matorrales, pastizales, manglares, entre otros; y ecosistemas acuáticos, como son ríos, lagos y humedales. Las cuencas hidrográficas se utilizan como unidades de planificación territorial y se subdividen en áreas menores, según sea las divisiones de los ríos y el orden que las conforman; sean estas subcuencas y microcuencas.

Figura 1. **Divisiones de una cuenca hidrográfica**



Fuente: adaptado del Foro peruano para el agua, Sociedad Geográfica de Lima

¹ JIMÉNEZ, F. *Gestión integral de cuencas hidrográficas. Enfoques y estrategias actuales*. Guatemala: CATIE, 2005. 4p.

Todas las cuencas hidrográficas tienen tres áreas o zonas donde el impacto del agua es distinto, aunque se mantiene una estrecha interacción e interconexión entre ellas.

La primera, es la parte alta conocida como cabecera de la cuenca hidrográfica. En esta región se capta la mayor cantidad del agua de lluvias y ayuda con la regulación y suministro de agua durante el resto del año a las otras partes de la cuenca. Todas las acciones que se hagan en esta parte de la cuenca, sean positivas o negativas, tendrá consecuencias en el resto de la cuenca.²

La segunda, es la parte media de la cuenca hidrográfica. Es una zona de amortiguamiento entre las acciones de la parte alta de la cuenca y los efectos que se evidencian en la parte baja de la cuenca.

Y la tercera, es la parte baja de la cuenca hidrográfica que, generalmente, está cercana a las costas. En esta zona se evidencian los impactos positivos o negativos de las acciones realizadas en la parte alta de la cuenca.

2.2. Ciclo hidrológico

El ciclo hidrológico se refiere al movimiento y circulación natural que el agua tiene en toda la tierra y su atmósfera. Este movimiento se genera por medio de distintos fenómenos que hacen circular el agua, subiéndola desde el mar hasta la atmósfera y regresándola por las lluvias hacia la tierra y a los océanos. Por ser un ciclo tiene distintas fases.

² JIMÉNEZ, F. *Gestión integral de cuencas hidrográficas. Enfoques y estrategias actuales*. Guatemala: CATIE, 2005.

2.2.1. La evaporación

Es un fenómeno de la naturaleza que ocurre cuando la radiación solar hace subir el agua en forma de vapor o humedad hasta la atmósfera. Aunque la mayor cantidad de evaporación sale del mar, también se da en toda la superficie de la tierra donde hay agua estancada, por ejemplo, los lagos, lagunas, ríos y embalses. Toda el agua que es evaporada y llevada hacia arriba en forma de humedad se aglomera y forma las nubes.

2.2.2. Evapotranspiración

Es un fenómeno que explica la evaporación del agua contenida en las plantas de la tierra. Se inicia cuando las raíces de la planta absorben el agua del suelo, luego la transportan por el tronco hasta llegar por las ramas a las hojas, donde se evapora hacia la atmósfera.

2.2.3. La precipitación

Es la caída del agua desde la atmósfera hacia la superficie de la tierra. Este fenómeno se inicia cuando se dan ciertas condiciones de temperatura en la atmósfera (básicamente enfriamiento). Entonces, la humedad contenida en las nubes se condensa, se forman las gotas y por gravedad se precipitan hacia la tierra en forma de lluvia o granizo, la cual puede caer sobre los océanos o sobre la tierra.

2.2.4. La retención

Este fenómeno surge cuando parte del agua que viene de la atmósfera en forma de lluvia no llega a la superficie de la tierra, sino que es interceptada por la vegetación, edificios, u otros objetos, y vuelve a evaporarse.

2.2.5. La infiltración

Se le llama así al paso del agua que cae de las lluvias y penetra entre la superficie y las capas del suelo, a través de los poros y aberturas que se encuentran entre las rocas del suelo. El agua que se infiltra en el suelo se denomina agua subsuperficial. Esta puede seguir tres caminos: puede ser devuelta a la superficie y evaporada hacia la atmósfera, puede ser absorbida por las raíces de las plantas y regresada por la evapotranspiración y, por último, puede infiltrarse profundamente en el suelo, formando corrientes subterráneas. Las corrientes subterráneas son las aguas que se han infiltrado en el suelo que, en algunos casos, fluyen subterráneamente y se unen a ríos o lagos, y en otros casos, contribuyen a mantener los mantos de aguas subterráneas llamados “mantos acuíferos”.

2.2.6. La escorrentía superficial

Es el movimiento del agua de lluvia que llega a la superficie de la tierra, y se concentra en pequeños recorridos de agua, que luego forman arroyos o riachuelos y, posteriormente, desembocan en los ríos que se dirigen hacia un lago o al mar. Una parte del agua que circula sobre la superficie se evaporará y otra se infiltrará en el terreno.³

³ CHOW, V. T. *Handbook of applied hydrology: a compendio of water resources technology*. McGraw. 1964. 1418p.

2.3. Recarga hídrica

Es el proceso que implica un incremento de agua en el nivel de las aguas subterráneas. Es decir que es la cantidad de agua adicionada o absorbida a un acuífero. El acuífero se refiere a una unidad geológica saturada capaz de suministrar agua a pozos o manantiales, los que a su vez sirven de fuentes de abastecimiento de agua.

“La recarga natural es el volumen de agua que entra en un embalse subterráneo durante un periodo de tiempo, a causa de la infiltración de las precipitaciones o de un curso de agua.”⁴

El área o zona donde ocurre la recarga se llama zona de recarga hídrica. Los acuíferos se recargan principalmente a través de la precipitación en “suelos de alta capacidad de infiltración” o rocas superficialmente permeables. Las áreas de recarga de los acuíferos pueden o no estar a grandes distancias de donde son explotados.

Así mismo, la infiltración es mayor cuando en la zona de recarga o entrada se da, además de la precipitación local, el escurrimiento superficial de alguna área tributaria. Esto sucede, principalmente, en pendientes aluviales que reciben aguas superficiales provenientes de áreas montañosas con fuerte precipitación.

Interesa conservar las características físicas de permeabilidad, que afectan la magnitud de la recarga y las actividades que produzcan contaminación, que fácilmente se puedan infiltrar al acuífero y afectar la calidad de sus aguas. Debido a que gran parte de la precipitación es de origen orogénico, las montañas y zonas

⁴ CUSTODIO, E; LLAMAS, MR. *Hidrología subterránea*. 2 ed. Barcelona, España, Omega. 2001. 2450p.

altas, principalmente si su suelo y subsuelo son permeables y debido a su mayor constancia de precipitación, son por lo general áreas de recarga importantes.

2.4. Clasificación de zonas de recarga hídrica

Las zonas de recarga hídrica se pueden clasificar de acuerdo con el movimiento de agua en el suelo, subsuelo y el manto rocoso.

2.4.1. Zonas de recarga hídrica superficial

Corresponden a casi toda la cuenca hidrográfica, excepto las zonas totalmente permeables. Después de cada lluvia, la zona de recarga hídrica superficial se humedece y origina escorrentía superficial, dependiendo de las condiciones de drenaje.

2.4.2. Zonas de recarga hídrica subsuperficial

Corresponden a las zonas de la cuenca donde los suelos tienen capacidad de retener el agua o almacenarla superficialmente sobre una capa impermeable que hace que el flujo horizontal en el subsuelo se concentre aguas abajo en el sistema de drenaje.

2.4.3. Zonas de recarga hídrica subterránea

Corresponden a las zonas de la cuenca, como sitios planos o cóncavos y rocas permeables, donde el flujo vertical de la infiltración es significativo; esta es la forma como el agua llega a los acuíferos. Esta es la conexión entre acuíferos y la recarga externa que viene de cuencas colindantes. ⁵

⁵ CUSTODIO, E; LLAMAS, MR. *Hidrología subterránea*. 2 ed. Barcelona, España, Omega. 2001. 2450p.

2.5. Factores que afectan la recarga hídrica

La infiltración de agua en un suelo depende de la condición del suelo, como su textura, estructura y porosidad; el contenido de agua, la duración de la precipitación, el patrón de drenaje en la cuenca, la geología, las capas impermeables y la profundidad de los mantos acuíferos.

No toda la infiltración alcanza la zona saturada, conocida como agua subterránea, pues en mayor o menor proporción, una parte queda en la zona superior y vuelve a la atmosfera por la evapotranspiración. El volumen que alcanza la zona saturada, a veces se denomina lluvia eficaz, infiltración eficaz, recarga natural o recarga profunda (Custodio)⁶.

2.5.1. El clima

Los factores que afectan la recarga hídrica son, la evapotranspiración, debido a las pérdidas de agua por la transpiración de las plantas y la evaporación del agua y la precipitación pluvial.

2.5.2. El suelo

Los suelos impermeables o compactos impiden o dificultan la infiltración o recarga hídrica, mientras que los suelos permeables facilitan la recarga en los acuíferos. Las características del suelo que influyen en la recarga son la textura, la densidad aparente, grado de saturación del suelo (contenido de humedad) y la capacidad de infiltración.

⁶ CUSTODIO, E; LLAMAS, MR. *Hidrología subterránea*. 2 ed. Barcelona, España, Omega. 2001. 2450p.

2.5.3. Topografía

Su influencia se evidencia en el tiempo de contacto que permite entre el agua con la superficie. Las pendientes fuertes favorecen la escorrentía superficial, disminuyen el tiempo de contacto del agua con la superficie y reducen la infiltración del agua o recarga de los acuíferos.

2.5.4. Estratigrafía geológica

Es muy importante estudiar la estratigrafía de la zona; es decir, conocer la disposición de los materiales geológicos en los distintos estratos.

2.6. Balance hídrico

El concepto de balance hídrico se refiere a al equilibrio entre todos los recursos hídricos que ingresan al sistema y los que salen del mismo, en un intervalo temporal determinado.

La ecuación de continuidad, o de balance hidrológico es muy importante y, aunque su expresión es simple, la cuantificación de sus términos es normalmente complicada, principalmente por la falta de medidas directas y por la variación espacial de la evapotranspiración, de las pérdidas profundas (a acuíferos) y de las variaciones del agua almacenada en una cuenca. En respuesta a estas dificultades, generalmente se admiten dos suposiciones, la primera supone que las pérdidas profundas son despreciables (se considera, por tanto, que la cuenca es impermeable), y la segunda admite que las variaciones del agua almacenada en la cuenca son despreciables para un período suficientemente largo (normalmente un año).

El balance hídrico es una representación teórica de los intercambios de agua entre las plantas, el suelo y la atmósfera, este nos permite cuantificar los recursos hídricos a diferente escala.

La ecuación general para la determinación del balance hídrico superficial directo, es la siguiente:

$$\text{Balance hídrico} = \text{Total de entradas} - \text{Total de salidas}$$

Donde la entrada principal de agua en una cuenca hidrográfica es la precipitación, y las salidas están dados por la escorrentía y el drenaje natural de los afluentes de la cuenca, junto con la evapotranspiración potencial y real del área en cuestión.

2.7. Textura del suelo

Es la proporción de cada elemento en el suelo; está representada por el porcentaje de arena, arcilla y limo.

La textura de un suelo depende de la naturaleza de la roca madre y de los procesos de evolución del suelo. Es el resultado de la acción e intensidad de los factores de la formación del suelo.

La variedad de tamaños de los granos en el suelo varía infinitamente, por lo que se realizan análisis visuales y análisis mecánicos, como granulometrías y pruebas de plasticidad.

3. DISEÑO METODOLÓGICO

3.1. Variables

Tabla I. Variables involucradas en el proyecto

Variable	Unidad
Infiltración	mm/mes
Precipitación efectiva	mm/mes
Escorrentía superficial	mm/mes
Evapotranspiración	mm/mes
Recarga hídrica	mm/mes

Fuente: elaboración propia

3.2. Delimitación de campo de estudio

Campo: Proyectos para mejoramiento de medio ambiente en la Ciudad de Guatemala.

Área: Dirección de Medio Ambiente, Municipalidad de Guatemala.

Proyecto: Determinación de zonas potenciales de recarga hídrica en la microcuenca del río Agua Tibia.

Ubicación: la parte experimental se llevó a cabo en la zona 24 de la Ciudad de Guatemala.

Figura 2. Ubicación de Microcuenca del río Agua Tibia



Fuente: elaboración propia.

3.3. Recursos humanos disponibles

Investigador: Indira Ixquic Barreno Colindres

Asesor: Ing. Manuel Alfredo Arrivallaga Ochaeta

Co-asesor: Inga. Jeanny Beatriz Ramírez Sosa

Revisor: Ing. Walter Arnoldo Bardales Espinoza

3.4. Recursos materiales disponibles

- Palas para recolección de suelo
- Bolsas contenedoras para el suelo
- Agua
- Cronómetro
- Regla medidora
- Tabla de apuntes

3.5. Técnica cuantitativa

A partir del análisis cuantitativo de las variables involucradas en el cálculo de la recarga hídrica, se obtuvo como resultado el reconocimiento de las zonas potenciales de recarga hídrica en la microcuenca del río Agua Tibia, zona 24.

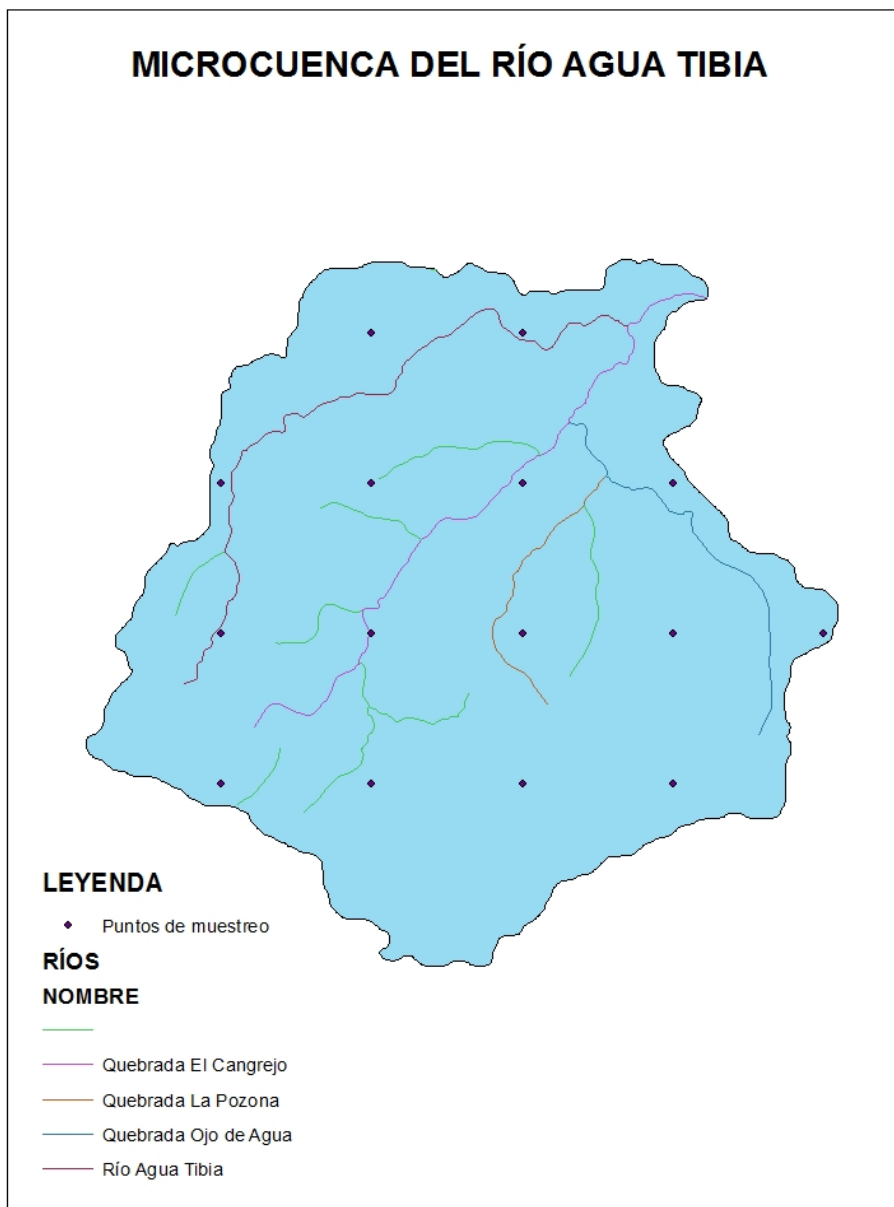
3.6. Recolección y ordenamiento de la información

3.6.1. Determinación de puntos de muestreo para estudio de suelos

Se determinaron puntos de muestreo para recolectar la información necesaria para el estudio. Para ello, se utilizó un mapa del área de la

microcuenca, en él se colocaron puntos a 750 metros de distancia entre sí para realizar un análisis de datos semidetallado.

Figura 3. Puntos de muestreo



Fuente: elaboración propia.

3.6.2. Determinación de la textura del suelo

Se recolectaron muestras de suelo para determinar la textura por medio de análisis de laboratorio. Dicho procedimiento se repitió en cada punto de muestreo.

3.6.3. Pruebas de infiltración

Se utilizó el método de Porchet, el cual consiste en la excavación de un agujero de radio "R" a una altura conocida "h", y medir un cambio en el tiempo muy pequeño (dt) para suponer la capacidad de infiltración (Fc) como constante. Para determinar Fc, se mide los pares de valores (h₁, t₁) (h₂, t₂), tomando en cuenta que t₂ y t₁ no difieran demasiado, utilizando la siguiente ecuación:

$$Fc = \frac{R}{2(t_2 - t_1)} * \ln \frac{(2h_1 + R)}{(2h_2 + R)}$$

[Ec. 1]

3.6.4. Información climática

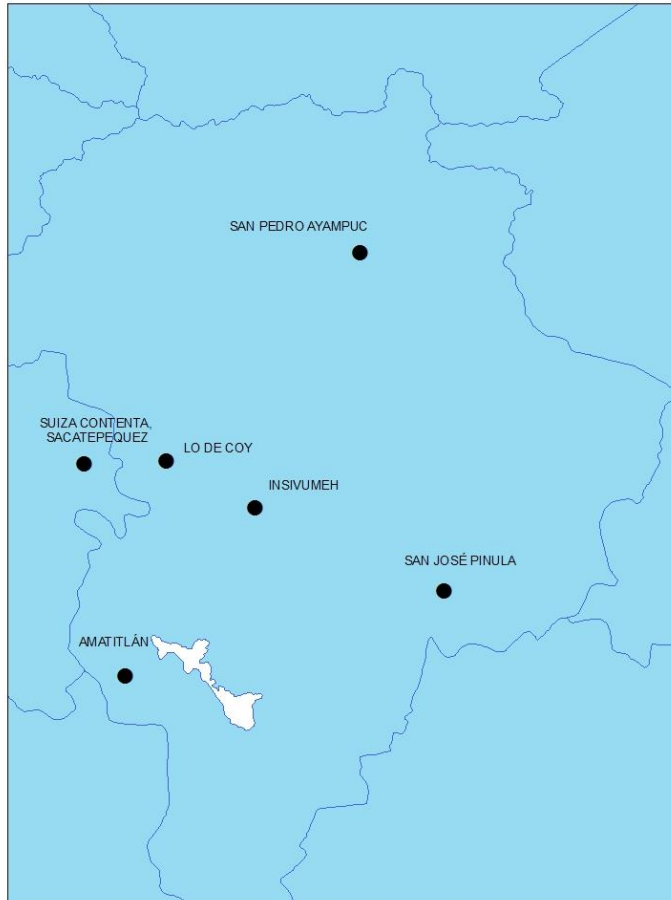
Se utilizó la información de estaciones meteorológicas del INSIVUMEH tomando en cuenta la precipitación pluvial y la temperatura.

Tabla II. **Ubicación de las estaciones meteorológicas**

Estación	Coordenadas geográficas	
	Longitud	Latitud
INSIVUMEH	-90,53277	14,58638
San Pedro Ayampuc, Guatemala	-90,45472	14,77638
Suiza Contenta, San Lucas Sacatepéquez	-90,66111	14,61889
Amatitlán, Guatemala	-90,63039	14,46039
San José Pinula, Guatemala	-90,39191	14,52392
Lo de Coy, Mixco, Guatemala	-90,59922	14,62109

Fuente: INSIVUMEH. *Informe de estaciones climáticas de Guatemala*. 2014. 14p.

Figura 4. **Ubicación de estaciones meteorológicas**



Fuente: elaboración propia.

3.7. Tabulación, ordenamiento y procesamiento de la información

Se consultó la metodología Cálculo de la recarga potencial mediante un balance hídrico de suelos de Gunther Schosinsky. Esta metodología combina la información climática con el estudio de suelos para la determinación de las zonas de recarga hídrica. Posteriormente, se consideró la metodología Identificación de zonas potenciales de recarga hídrica desarrollada por Matus Silva en el año 2007,

la cual dispone de cinco variables y las ponderaciones respectivas para determinar las zonas de recarga en un área específica.

3.7.1. Método de Gunther Schosinsky

3.7.1.1. Precipitación efectiva

Es la precipitación que se infiltra en el suelo desde el punto de vista de recarga hídrica.

$$P_i = C_i(P - Ret)$$

[Ec. 2]

Donde:

Pi es la precipitación efectiva que se infiltra [mm/mes]

Ci es el coeficiente de infiltración [adimensional]

P es la precipitación mensual [mm/mes] (dato meteorológico)

Ret es la retención de lluvia mensual por follaje [mm/mes]

El coeficiente de infiltración se basa en tres aspectos:

- Kfc: es la fracción que infiltra por efecto del suelo.

$$K_{fc} = 0,267 \ln(fc) - 0,000154fc - 0,723$$

[Ec. 3]

Donde fc de la infiltración básica del suelo.

- Si fc se encuentra entre 16 y 1 568 mm/día, se utiliza la ecuación 3
- Si fc es menor a 16 mm/día, $K_{fc} = 0,0148(fc) / 16$
- Si fc es mayor de 1 568 mm/día, $K_{fc} = 1$
- Kp: es la fracción que infiltra por efecto de la pendiente. (ver tabla V)
- Kv: es la fracción que infiltra por efecto de la vegetación. (ver tabla VI)

Si $K_p+K_v+K_{fc}$ es mayor de 1, $C_i = 1$

Si $K_p+K_v+K_{fc}$ es menor o igual a 1, entonces $C_i = K_p+K_v+K_{fc}$

En la retención de lluvia mensual se toman en cuenta los aspectos de precipitación y el coeficiente del follaje de 12 % y de 20 % para bosques densos.

Si la precipitación mensual es menor o igual a 5mm/mes, $Ret = P$.

Si el producto $(P)(C_{fo})$ es mayor o igual de 5mm/mes, $Ret = P(C_{fo})$.

Si la precipitación mensual es mayor a 5mm/mes y el producto $(P)(C_{fo})$ menor, $Ret=5$.

Tabla III. **Valores de infiltración por efecto de pendiente (K_p)**

Pendiente	Porcentaje (%)	Coeficiente
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. *Cálculo de la recarga potencial de acuíferos
Mediante un balance hídrico de suelos.* 2000. 4p.

Tabla IV. **Valores de infiltración por efecto de la vegetación (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. *Cálculo de la recarga potencial de acuíferos Mediante un balance hídrico de suelos*. 2000. 4p.

3.7.1.2. **Escorrentía superficial**

$$ESC = P - Ret - Pi$$

[Ec. 4]

Donde:

ESC es la escorrentía superficial

P es la precipitación [mm/mes] (dato meteorológico)

Ret es la retención de lluvia mensual por follaje [mm/mes] (calculada en Ec. 2)

Pi es la precipitación que se infiltra mensualmente al suelo [mm/mes] [Ec. 2]

3.7.1.3. **Evapotranspiración**

Para el cálculo de la evapotranspiración potencial se tomó en cuenta el método de Hargreaves, el cual incluye valores para Centroamérica.

$$ETP = 0,0075 \times TMF \times RSM \quad [\text{Ec. 5}]$$

Donde:

ETP es la evapotranspiración potencial [mm/mes]

TMF es la temperatura media mensual [°F]

RSM es la radiación solar incidente mensual

$$RSM = 0,075 * RMM * S^{1/2} \quad [\text{Ec. 6}]$$

Donde:

RMM es la radiación mensual extraterrestre [mm/mes]

S es el brillo medio mensual [%]

$$RMM = RS * \text{No. de dias del mes} \quad [\text{Ec. 7}]$$

Donde

RS es la radiación solar (Tabla IV, Anexo 1)

$$S = \left(\frac{N}{24} \right) * 100 \quad [\text{Ec. 8}]$$

Donde

N es el número de horas de brillo solar (Tabla II, Anexo 1)

La metodología propone la siguiente fórmula para el cálculo de la evapotranspiración real.

$$ETR = ETP \left(\frac{C_1 + C_2}{2} \right) \quad [\text{Ec. 9}]$$

Donde

ETR es la evapotranspiración real

ETP es la evapotranspiración potencial (ecuación 5)

C_1 y C_2 se calculan de la siguiente manera

$$C_1 = \frac{H_i - PMP + P_i}{CC - PMP}$$

[Ec. 10]

$$C_2 = \frac{H_i - PMP + P_i - (C_1 * ETP)}{CC - PMP}$$

[Ec. 11]

Donde

H_i es la humedad inicial del suelo

PMP es el punto de marchitez permanente

P_i es la precipitación que se infiltra en el suelo (ecuación 2)

CC es la capacidad de campo

ETP es la evapotranspiración potencial

Para los valores resultantes se debe de tomar en cuenta:

- 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 $C_2 = 0$.

3.7.2. Método de Matus Silva

3.7.2.1. Mapa de pendientes

Se utilizó un modelo digital del terreno a una escala de 1:50 000, con el cual los resultados se clasificaron y ponderaron según la tabla III.

Tabla V. Clasificación y ponderación de pendientes

% de pendiente	Posibilidad de recarga	Ponderación
0 – 6	Muy alta	5
6 – 15	Alta	4
15 – 45	Moderada	3
45 – 65	Baja	2
>65	Muy baja	1

Fuente: MATUS SILVA. *Elaboración participativa de una metodología para la identificación de zonas potenciales de recarga hídrica en subcuencas hidrográficas, aplicada a la subcuenca del río Jucuapa, Matagalpa, Nicaragua. 2007. 48p.*

3.7.2.2. Mapa de tipo de suelo

Para la realización de dicho mapa se hizo referencia a dos aspectos del estudio de suelos: la textura del suelo y la velocidad de infiltración. Para ello, se realizaron los ensayos correspondientes con el fin de conocer la textura. La velocidad de infiltración se obtendrá por medio del método de Porchet, descrito en la metodología anterior.

Tabla VI. **Clasificación y ponderación de texturas de suelo**

Clase textural	Posibilidad de recarga	Ponderación
Franco arenoso – arenoso	Muy alta	5
Franco	Alta	4
Franco – limoso	Moderada	3
Franco arcilloso arenoso – franco arcilloso	Baja	2
Arcillo arenoso – arcilloso	Muy baja	1

Fuente: MATUS SILVA. *Elaboración participativa de una metodología para la identificación de zonas potenciales de recarga hídrica en subcuencas hidrográficas, aplicada a la subcuenca del río Jucuapa, Matagalpa, Nicaragua.* 2007. 48p.

Tabla VII. **Clasificación y ponderación de velocidad de infiltración**

Infiltración básica [cm/h]	Posibilidad de recarga	Ponderación
>25	Muy alta	5
12.7 – 25.5	Alta	4
2.0 – 12.7	Moderada	3
0.13 – 2.0	Baja	2
<0.13	Muy baja	1

Fuente: MATUS SILVA. *Elaboración participativa de una metodología para la identificación de zonas potenciales de recarga hídrica en subcuencas hidrográficas, aplicada a la subcuenca del río Jucuapa, Matagalpa, Nicaragua.* 2007. 48p.

Los valores obtenidos en cada una de las variables se relacionan en la siguiente ecuación:

$$TS = \frac{\textit{Textura} + \textit{Velocidad de infiltración}}{2}$$

[Ec. 12]

3.7.2.3. Mapa geológico

El mapa de la geología se obtuvo en el Instituto Geográfico Nacional (IGN) del departamento de Guatemala, para poder ponderarlo según la siguiente tabla.

Tabla VIII. **Clasificación y ponderación de la geología de suelos**

Tipo de roca	Posibilidad de recarga	Ponderación
Muy permeables, muy suaves	Muy alta	5
Permeables, suaves	Alta	4
Moderadamente permeables	Moderada	3
Poco permeables	Baja	2
Impermeables	Muy baja	1

Fuente: MATUS SILVA. *Elaboración participativa de una metodología para la identificación de zonas potenciales de recarga hídrica en subcuencas hidrográficas, aplicada a la subcuenca del río Jucuapa, Matagalpa, Nicaragua*. 2007. 47p.

3.7.2.4. Mapa de cobertura vegetal

La cobertura vegetal está dada por el área de suelo cubierta por vegetación permanente. Para su ponderación se consideró el porcentaje de cobertura existente en el área de estudio.

$$\%Cobertura = \frac{\text{Área de cobertura permanente}}{\text{Área de unidad provisional de mapeo}} * 100$$

[Ec. 13]

Tabla IX. **Clasificación y ponderación para cobertura vegetal**

% de cobertura	Posibilidad de recarga	Ponderación
>80	Muy alta	5
70 – 80	Alta	4
50 – 70	Moderada	3
30 – 50	Baja	2
<30	Muy baja	1

Fuente: MATUS SILVA. *Elaboración participativa de una metodología para la identificación de zonas potenciales de recarga hídrica en subcuencas hidrográficas, aplicada a la subcuenca del río Jucuapa, Matagalpa, Nicaragua*. 2007. 47p.

3.7.2.5. Mapa de uso de suelo

Se utilizó el mapa de cobertura y uso de tierra para obtener la ponderación respectiva del uso de suelo.

Tabla X. **Clasificación y ponderación del uso de suelo**

Uso de suelo	Posibilidad de recarga	Ponderación
Bosques con 3 estratos: árboles, arbustos y hierbas o zacate denso	Muy alta	5
Sistemas agroforestales o silvopastoriles	Alta	4
Terreno cultivados con obras de conservación	Moderada	3
Terrenos cultivados sin obras de conservación	Baja	2
Terrenos agropecuarios con manejo intensivo	Muy baja	1

Fuente: MATUS SILVA. *Elaboración participativa de una metodología para la identificación de zonas potenciales de recarga hídrica en subcuencas hidrográficas, aplicada a la subcuenca del río Jucuapa, Matagalpa, Nicaragua. 2007. 49p.*

3.7.3. Métodos y modelos de los datos según tipo de variables

3.7.3.1. Método de Gunther Schosinsky

Para la determinación de la recarga hídrica se considera la siguiente ecuación:

$$R_p = P_i + H_{si} - H_{sf} - ETR$$

[Ec. 15]

Donde:

R_p es la recarga hídrica potencial

H_{si} es la humedad del suelo inicial

H_{sf} es la humedad del suelo final

P_i es la precipitación efectiva [Ec. 2]

3.7.3.2. Método de Matus Silva

La fórmula que se utilizó con dicha metodología es la siguiente:

$$ZR = 0,27(\text{pendiente}) \pm 0,23(\text{tipo de suelo}) \pm 0,12(\text{tipos de roca}) \\ \pm 0,25(\text{cobertura vegetal}) \pm 0,13(\text{uso de suelo})$$

[Ec. 16]

Donde:

ZR es zona de recarga

Pendiente: se determina en base al mapa de pendientes

Cobertura: porcentaje de suelo cubierto de vegetación

Uso de suelo: combinación de mapas de uso de suelo y cobertura vegetal

Los resultados de cada mapeo se clasificaron para la identificación de las zonas potenciales de recarga hídrica.

Tabla XI. **Determinación del potencial de recarga hídrica**

Posibilidad de recarga	Valor resultante
Muy alta	4.10 – 5
Alta	3.50 – 4.09
Moderada	2.60 – 3.49
Baja	2.00 – 2.59
Muy baja	1 – 1.99

Fuente: MATUS SILVA. *Elaboración participativa de una metodología para la identificación de zonas potenciales de recarga hídrica en subcuencas hidrográficas, aplicada a la subcuenca del río Jucuapa, Matagalpa, Nicaragua.* 2007. 49p.

3.8. Análisis estadístico

3.8.1. Media aritmética

La media aritmética se utiliza para encontrar el valor promedio entre las mediciones, que es la suma de todas las medidas, dividida por el número de medidas.

$$\bar{X} = \frac{\sum X_i}{n}$$

[Ec. 14]

4. RESULTADOS

4.1. Clases texturales del suelo recolectado

Tabla XII. Clasificación de texturas de suelo en la microcuenca del río Agua Tibia

Muestra	Ubicación		Clase textural
	X	Y	
1	775 526,583275	1 618 928,9414	Impermeable
2	776 276,583275	1 618 928,9414	Arena limosa
3	774 776,583275	1 618 178,9414	Arena arcillosa
4	775 526,583275	1 618 178,9414	Arena arcillosa
5	776 276,583275	1 618 178,9414	Arena arcillosa
6	777 026,583275	1 618 178,9414	Arena limosa
7	774 776,583275	1 617 428,9414	Arcilla arenosa
8	775 526,583275	1 617 428,9414	Arena limosa
9	776 276,583275	1 617 428,9414	Limo arenoso
10	777 026,583275	1 617 428,9414	Arena limosa
11	777 776,583275	1 617 428,9414	Arena limosa
12	774 776,583275	1 616 678,9414	Arena limosa

Continuación de Tabla XII.

13	775 526,583275	1 616 678,9414	Arena limosa
14	776 276,583275	1 616 678.9414	Arena limosa
15	777 026,583275	1 616 678,9414	Arcilla arenosa

Fuente: elaboración propia.

4.2. Pruebas de infiltración

Tabla XIII. **Velocidad de infiltración en puntos de muestreo de la microcuenca del río Agua Tibia**

Muestra	Velocidad de infiltración (mm/día)
Arcilla arenosa	180,63
Arena limosa	771,64
Limo arenoso	475,46
Arena arcillosa	488,55

Fuente: elaboración propia.

4.3. Información climática

Se presenta la información climática recolectada en las estaciones cercanas a la microcuenca de estudio. Con ella se determinó la precipitación en el área utilizando el método de isoyetas.

Tabla XIV. **Precipitación pluvial mensual (mm) de la microcuenca del río Agua Tibia**

Mes	Precipitación pluvial mensual (mm)
Enero	0,441
Febrero	1,871
Marzo	18,814
Abril	73,486
Mayo	276,234
Junio	372,507
Julio	47,856
Agosto	123,790
Septiembre	278,172
Octubre	206,013
Noviembre	16,754
Diciembre	0,613

Fuente: elaboración propia.

Tabla XV. **Temperatura media mensual (°C) de la microcuenca del río de Agua Tibia**

Mes	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sept	Oct	Nov	Dic
Temperatura	18,8	20,4	21,4	22	21,4	20,9	21,6	21,5	20,3	20	19,1	18,6

Fuente: INSIVUMEH. *Boletín climático año 2014*. Guatemala, 2014. 1p.

4.4. Recarga hídrica con metodología de Gunther Schosinsky

Con la información climática recolectada, se realizó el balance hídrico de suelos con lo cual se obtuvo la recarga hídrica mensual y total de cada mes.

Tabla XVI. **Recarga hídrica mensual y total**

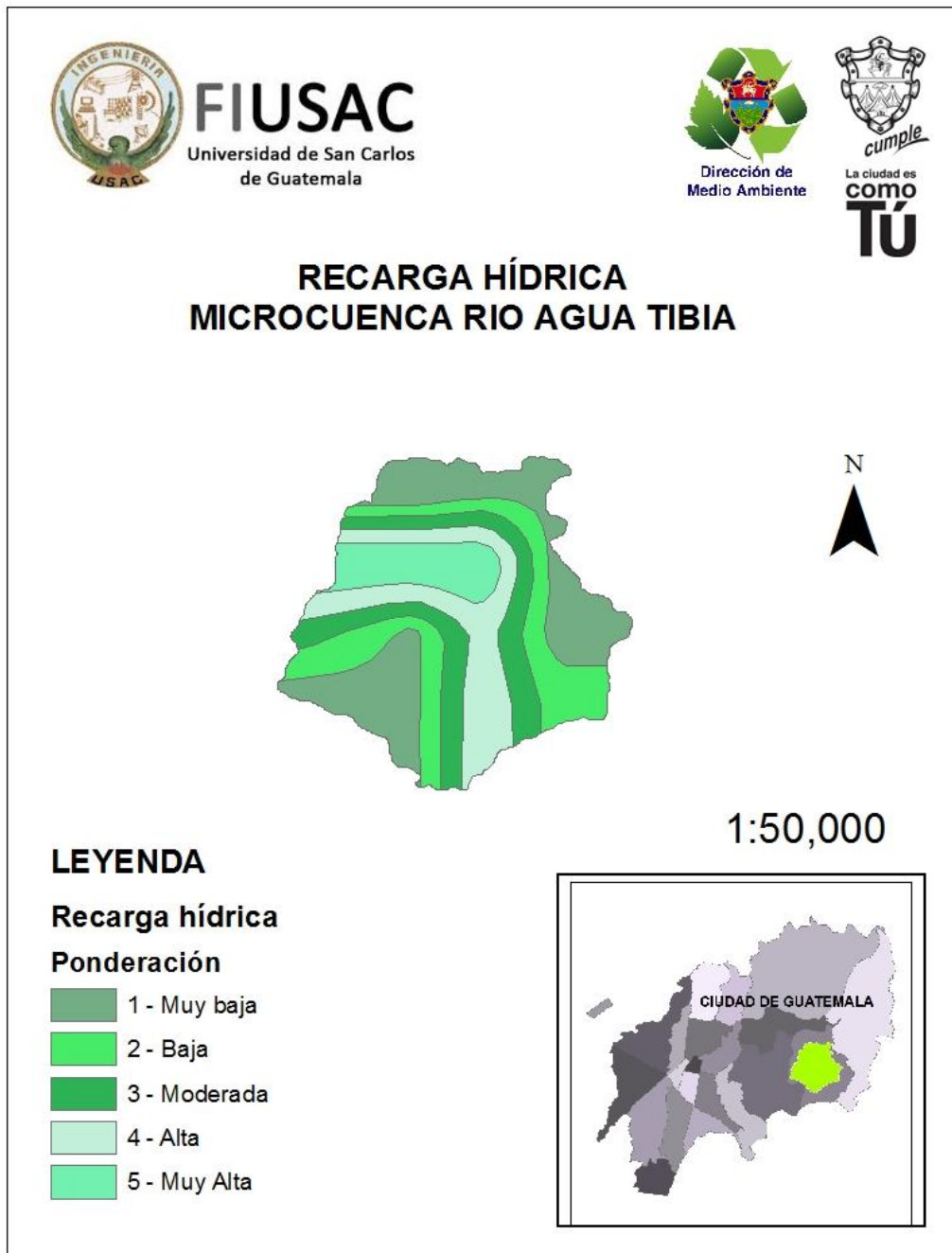
Mes	Recarga hídrica (mm)
Enero	3,98948E-14
Febrero	1,58492E-15
Marzo	4,66695E-15
Abril	1,83062E-14
Mayo	1,31378E-14
Junio	33,43254076
Julio	1,23284E-14
Agosto	3,03257E-14

Continuación de Tabla XVI.

Septiembre	12,73773859
Octubre	45,587885
Noviembre	2,7194E-14
Diciembre	7,9603E-14
TOTAL	91,75816436

Fuente: elaboración propia.

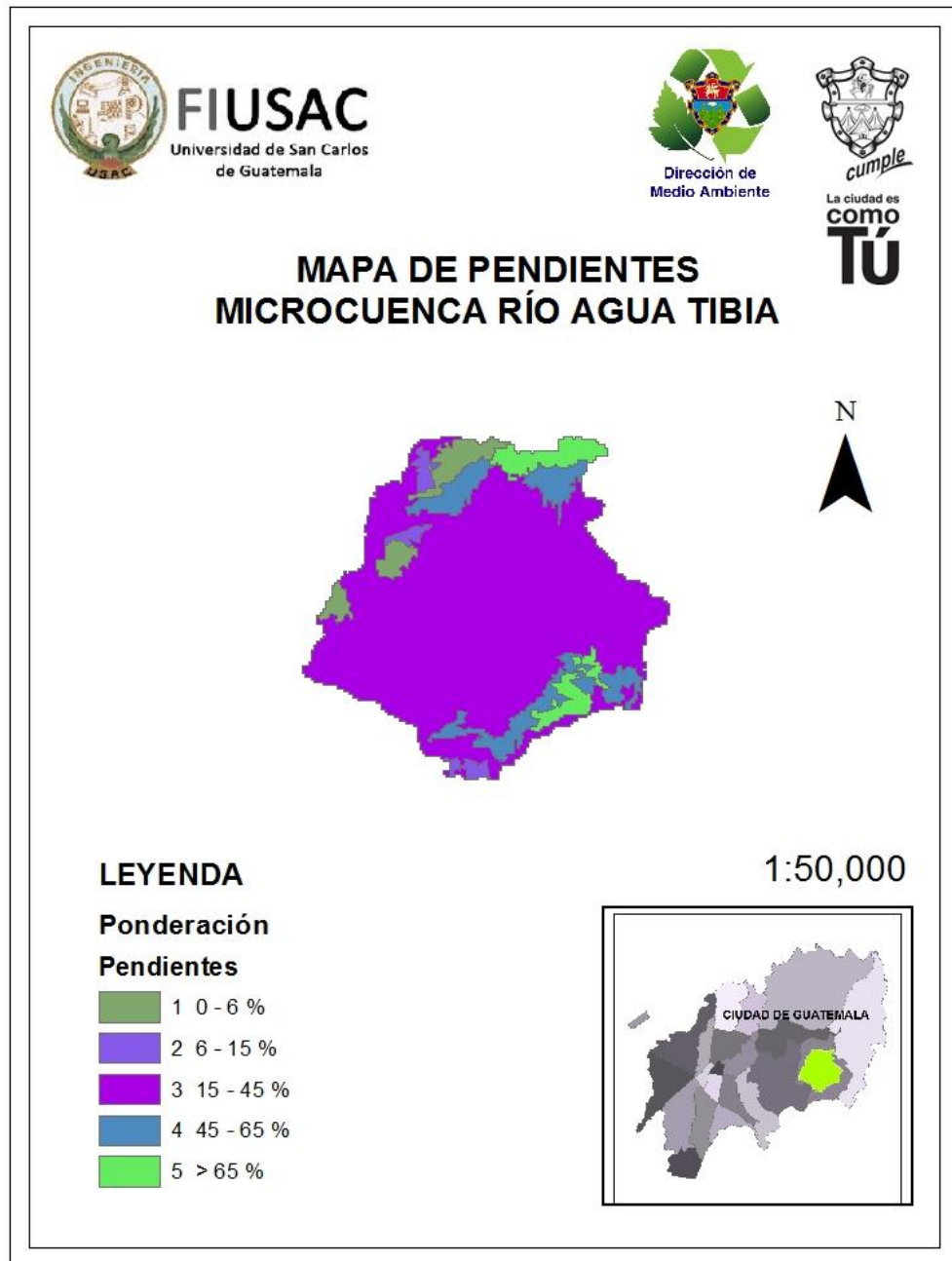
Figura 5. Mapa de recarga hídrica según metodología de Gunther Schosinsky



Fuente: elaboración propia.

4.5. Mapa de pendientes

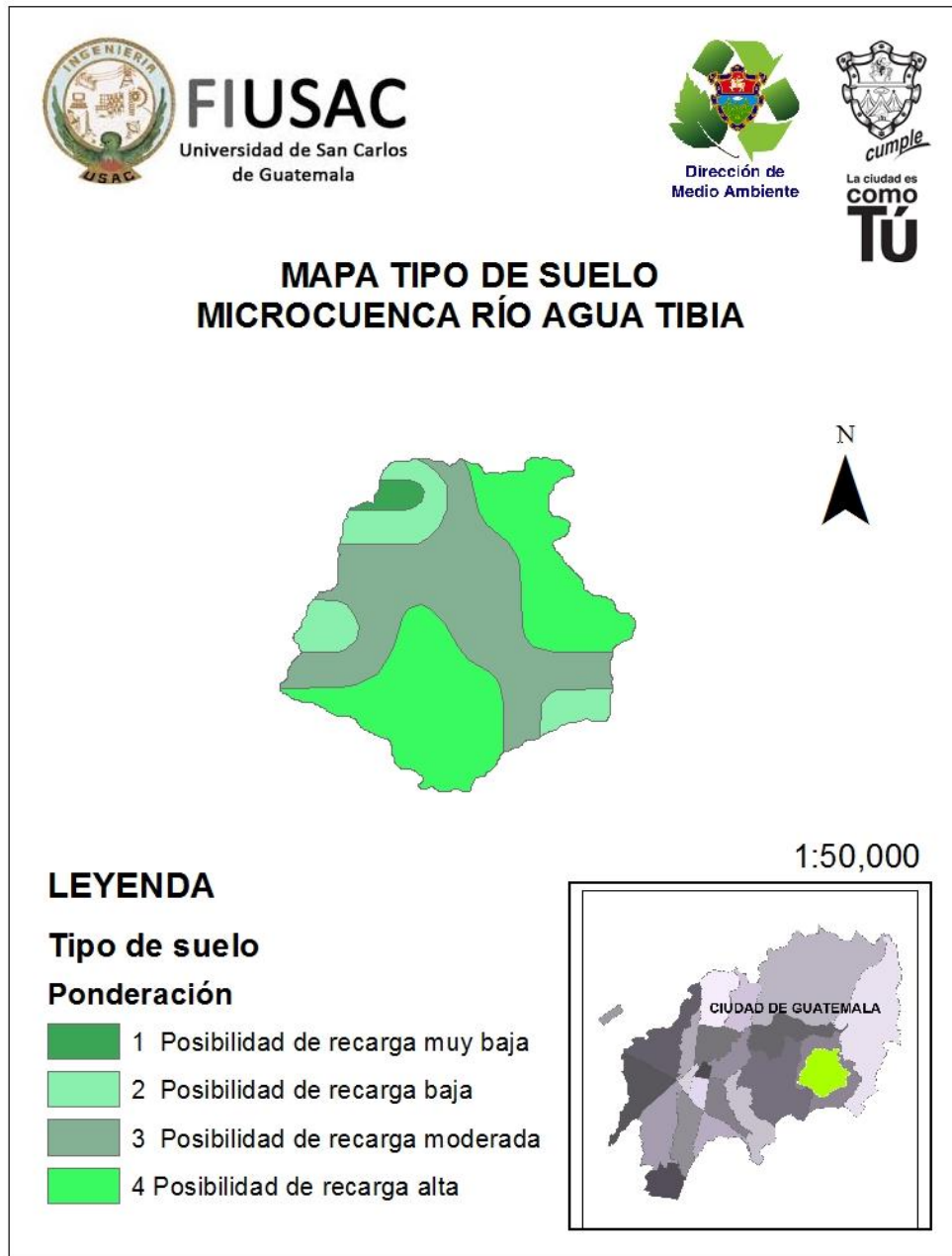
Figura 6. Mapa de pendientes



Fuente: elaboración propia.

4.6. Mapa de tipo de suelo

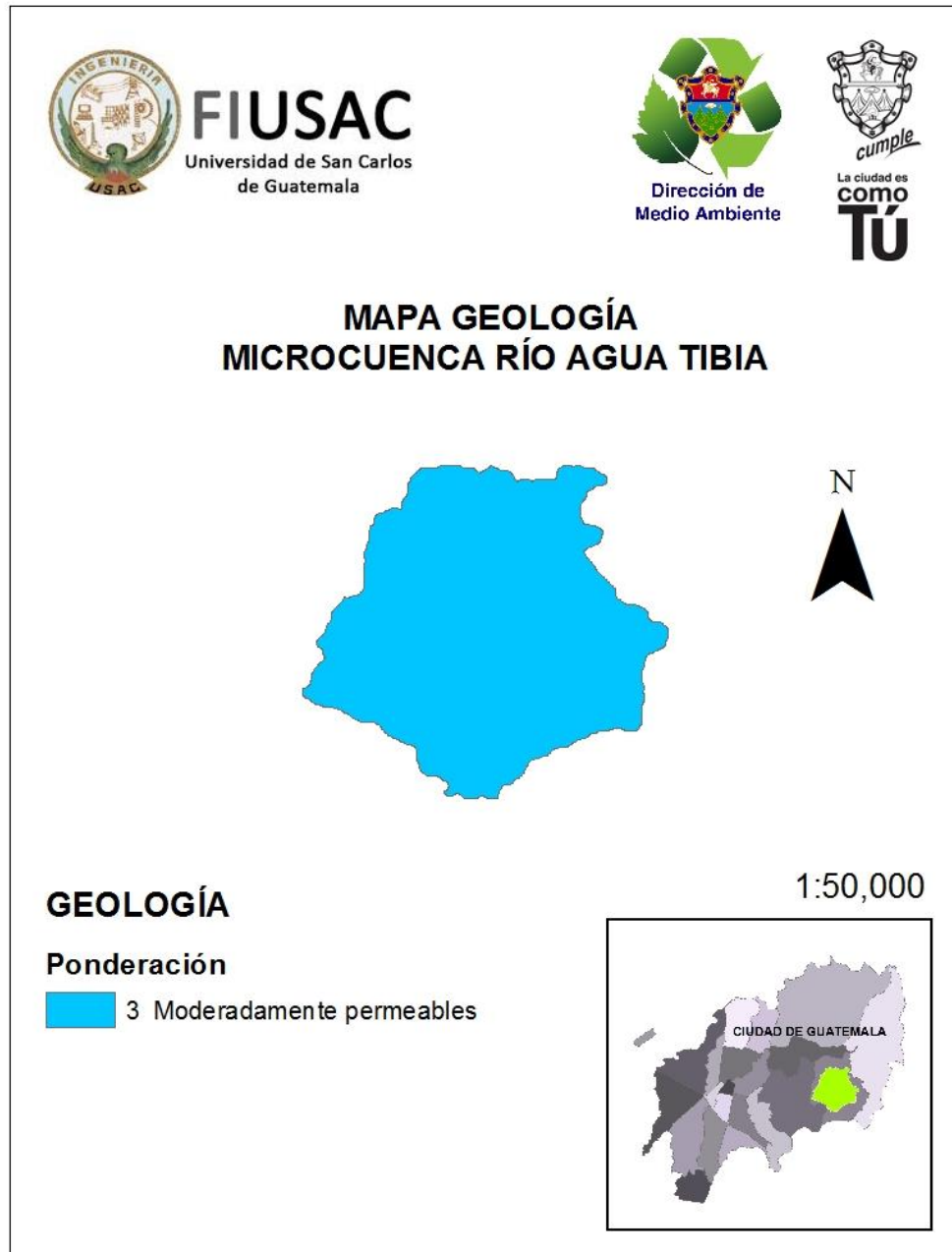
Figura 7. Mapa de tipo de suelo



Fuente: elaboración propia.

4.7. Mapa geológico

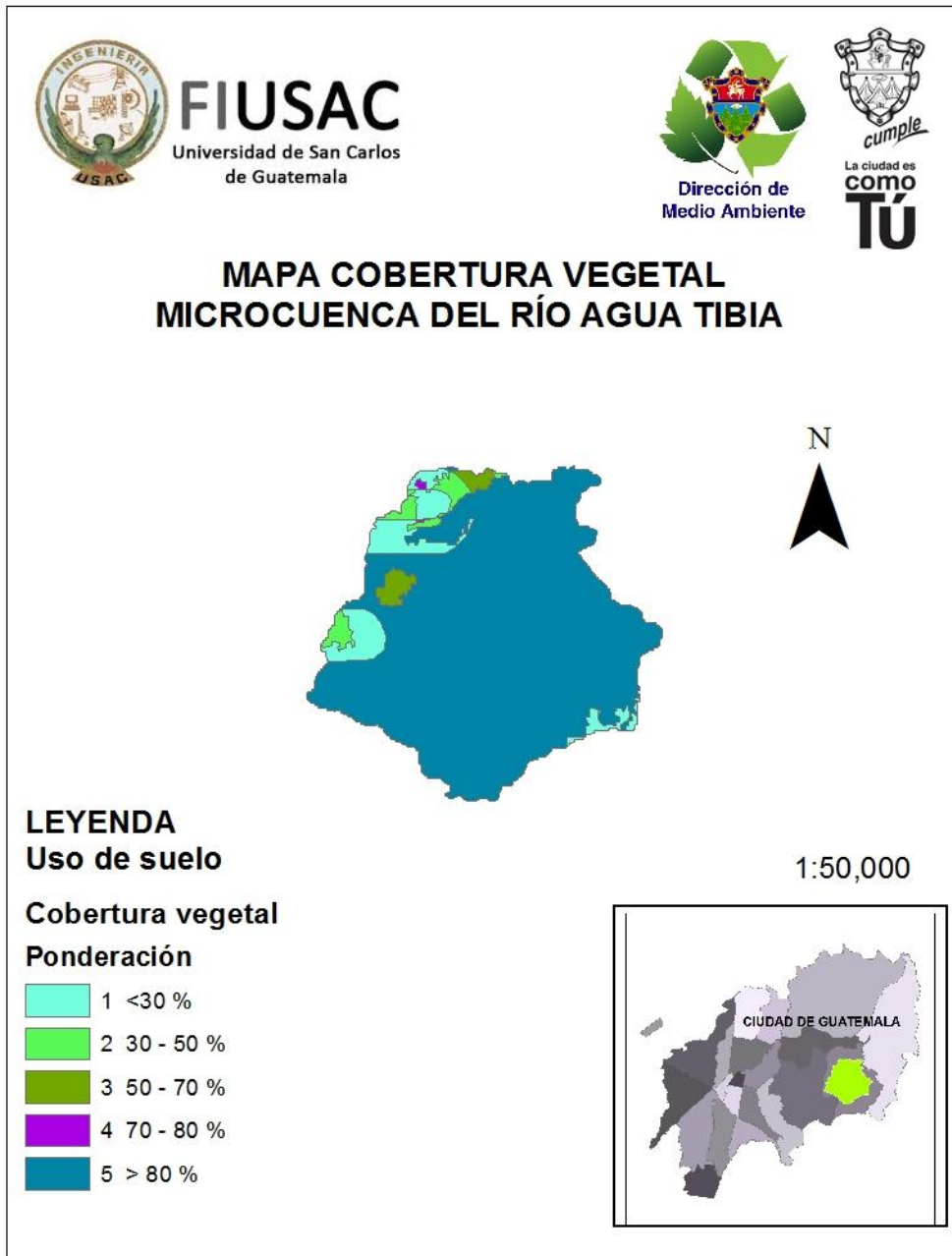
Figura 8. Mapa de geología



Fuente: Instituto de Geográfico Nacional (IGN).

4.8. Mapa de cobertura vegetal

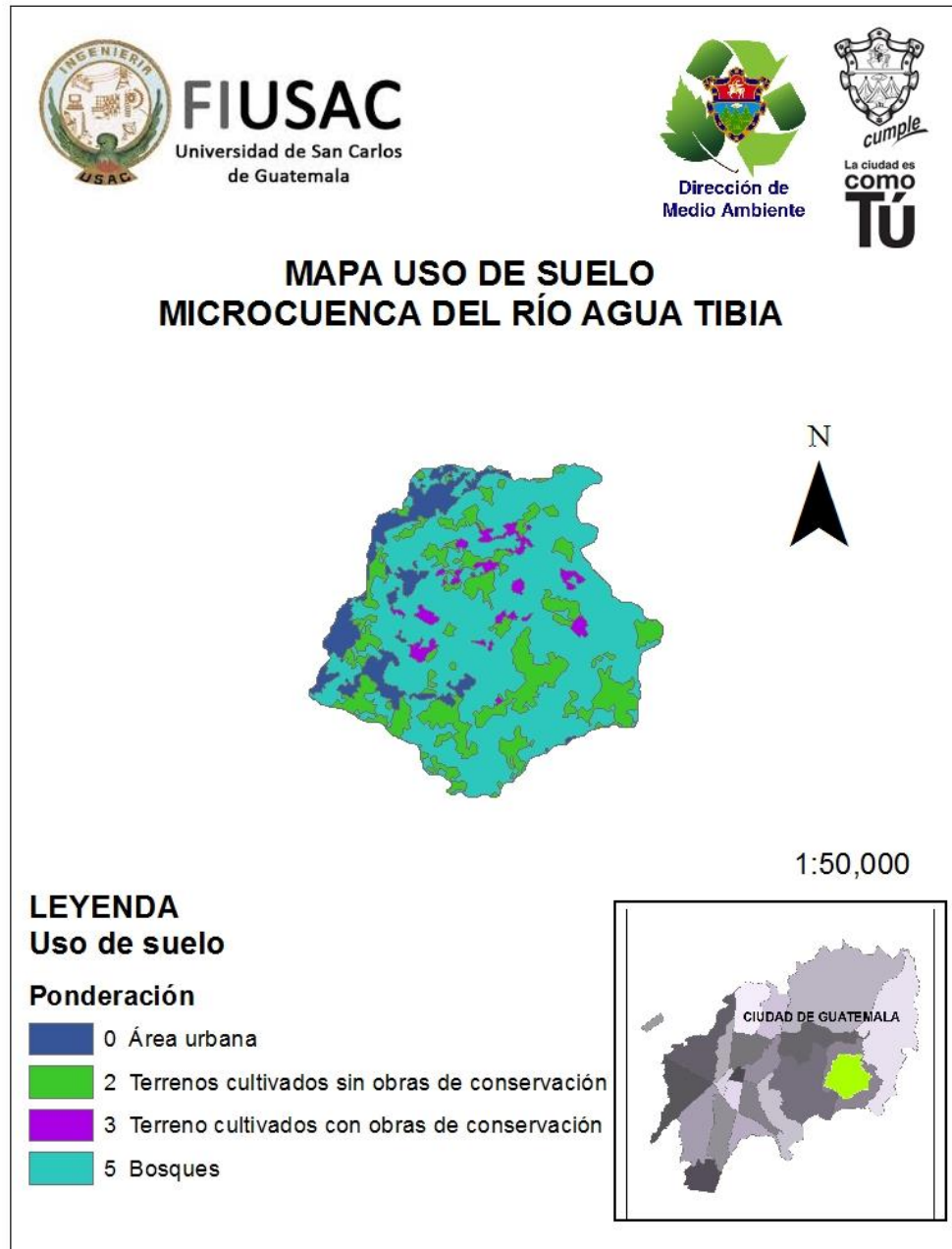
Figura 9. Mapa cobertura vegetal



Fuente: elaboración propia.

4.9. Mapa de uso de suelo

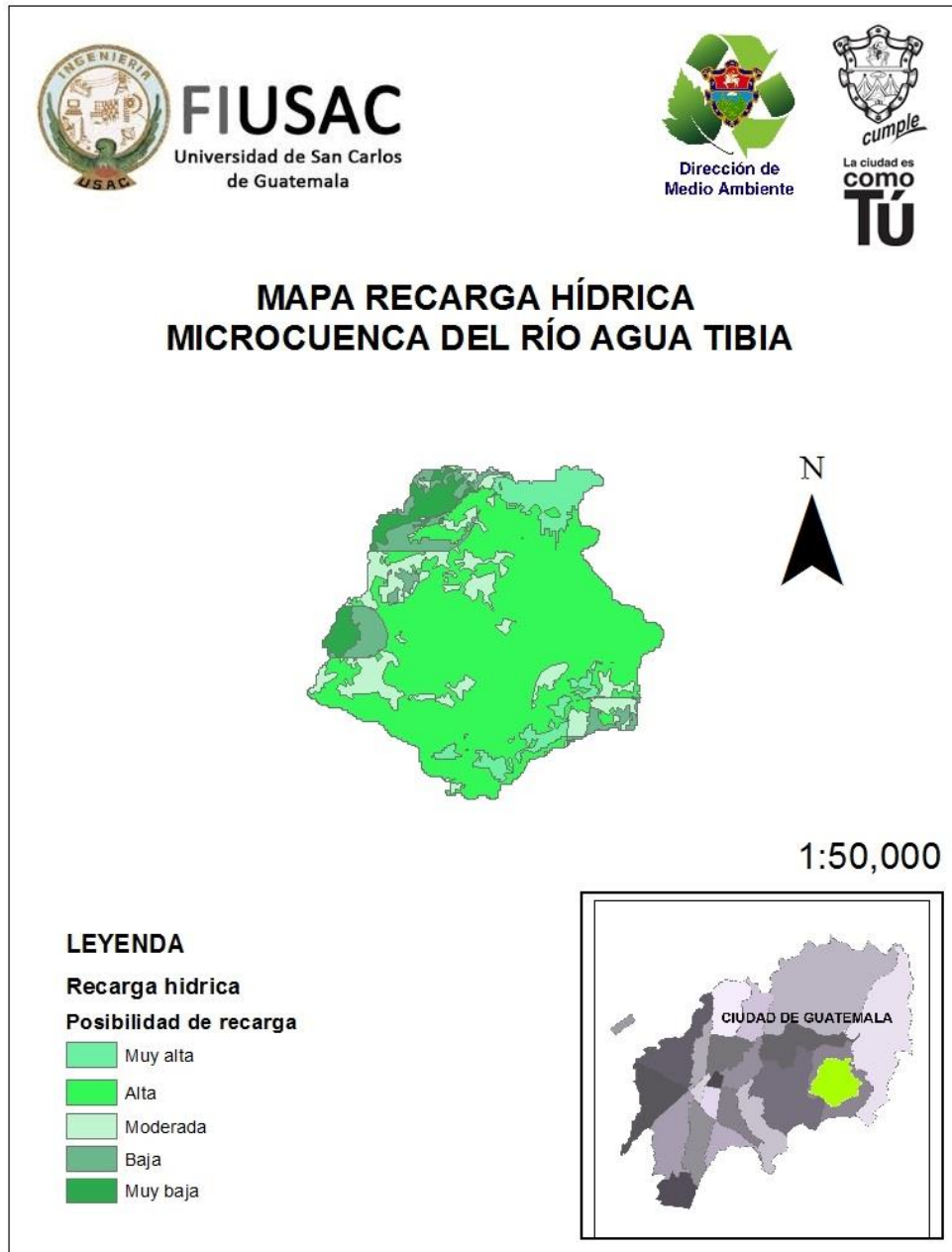
Figura 10. Mapa de uso de suelo



Fuente: Dirección de Medio Ambiente, Municipalidad de Guatemala.

4.10. Recarga hídrica con método de Matus Silva

Figura 11. Recarga hídrica según metodología de Matus Silva



Fuente: elaboración propia.

5. INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

Durante las visitas realizadas a la microcuenca del río Agua Tibia en la zona 24 capitalina, se recolectó una muestra de suelo en cada uno de los puntos señalados antes, para determinar la clase textural a la que pertenecen. En la tabla XII se observa que en su mayoría son arenas limosas. Asimismo, se encontraron áreas donde predominaban suelos arcillosos. Posteriormente, se realizó una homogenización del área, tomando regiones de las cuatro clases texturales sobresalientes y se realizaron pruebas de infiltración, considerando que los puntos resultantes con la misma clase textural tienen la misma velocidad de infiltración, basándose en el criterio de Matus Silva, según resultados mostrados en la tabla XIII. Se encontró que la clase textural con mayor velocidad de infiltración fue la de arena limosa, con un resultado de 771,64 mm/día y la de menor velocidad es la arcilla arenosa, con 180,63 mm/día. Este resultado obedece a que la arena y el limo tienden a presentar mayor permeabilidad. La arena por el grueso de sus granos y el limo, a pesar de ser un fino, no tiende a ser muy plástico, por lo cual pueden transmitir el agua a través de ellos y lograr una mayor infiltración. En el caso contrario, las arcillas tienden a tener una baja permeabilidad, ya que son finas y muy plásticas.

La textura del suelo es un factor que afecta a la recarga hídrica en la microcuenca del río Agua Tibia. En esta cuenca se encuentran, principalmente, suelos areno limosos, por lo cual la infiltración del agua abarca un área mayor.

5.1. Análisis de la metodología de Gunther Schosinsky

Con la información recabada de infiltración y textura del suelo del área de estudio, se obtuvo la información climática necesaria para calcular la recarga hídrica mediante un balance hídrico de suelos.

La precipitación que se presenta en la microcuenca se calculó por medio de la realización de isoyetas utilizando la información de las estaciones climáticas colindantes al área. Los meses que presentan más precipitación son mayo, junio, septiembre y octubre, coincidiendo con la época húmeda de la región guatemalteca. Es muy importante tomar en cuenta este factor, debido a que serán los meses que mayor recarga hídrica se dará en la región, ya que la precipitación excede el agua que se evapora o la que queda retenida en árboles u objetos que impiden que llegue al suelo. Por ello, se toman en cuenta la temperatura del área, datos proporcionados por el INSIVUMEH.

Con la recolección de información, se realizó el balance hídrico de suelos, el cual se ejecutó por cada punto de muestreo en la zona. Se tomó en cuenta que, las regiones con construcción o asfalto son impermeables. Siguiendo la línea de ecuaciones presentadas, se obtuvo la recarga hídrica de cada punto (tabla XVI), así como la de cada mes (Apéndice 2).

Al analizar el mapa representativo de la recarga hídrica de la microcuenca del río Agua Tibia con la metodología de Gunther Schosinsky, se observa una tendencia de mayor recarga en la parte media de la microcuenca y disminuye en la parte alta y en la parte de baja. Esta tendencia obedece a que los bancos de suelo arenoso se encuentran en ésta zona. Asimismo, la pendiente no es muy pronunciada y la existencia de bosques cercanos, favorece a que se dé una mayor recarga hídrica.

5.2. Análisis de la metodología de Matus Silva

Esta metodología consiste en la realización de cinco mapas representativos de los factores que afectan a la recarga hídrica. Estos son: el tipo de suelo (una combinación de la textura del suelo y la infiltración que se da), la pendiente del área, el uso del suelo, la cobertura vegetal y la geología.

A cada mapa se le asigna una ponderación en los puntos de muestreo, con valores entre 1 a 5, según favorezcan la recarga hídrica. En la figura 5 se observa el mapa de pendientes de la microcuenca. El área presenta una pendiente entre 15 % a 45 % en el 78,08 %. Esta tiene una ponderación con valor de 3, favoreciendo moderadamente la recarga hídrica. Solamente un 0,12 % del área tiene una posibilidad alta de recarga hídrica, en las regiones donde la pendiente es entre 0 a 6 %.

La pendiente es un factor directo que afecta la recarga hídrica debido a que entre más pronunciada sea la pendiente, menos contacto tiene el agua con el suelo, ya que se genera mayor escorrentía, impidiendo que el agua se filtre a los mantos acuíferos.

En la figura 6 se representa el tipo de suelo, combinando la textura del suelo con la infiltración que tiene. Como se había mencionado anteriormente, predominan las arenas limosas con una infiltración moderada. Por ello, en la región media de la cuenca existe una moderada probabilidad de recarga, mientras que en la parte alta la posibilidad de que se genere este fenómeno es más alta.

Los resultados obtenidos se deben a la textura del suelo los cuales son permeables y poco plásticos. Esta característica favorece la recarga hídrica ya que son propensos a la infiltración.

El mapa de geología de la microcuenca del río Agua Tibia (figura 7) representa rocas ígneas y metamórficas. La mayoría son rocas volcánicas sin dividir, incluyendo tobas, coladas de lava, material lahárico y sedimentos volcánicos⁷, sobre toda el área de estudio. Por eso, se le asignó una ponderación de moderada posibilidad de recarga hídrica, ya que las rocas volcánicas tienen propiedades hidrogeológicas, con alta porosidad, pero la permeabilidad depende de la estructura; asimismo las tobas tienen alta porosidad pero muy baja permeabilidad.⁸

La cobertura vegetal se representó por medio de una operación matemática en la cual se obtiene el porcentaje de cobertura vegetal o boscosa que tienen las unidades de mapeo de la microcuenca. Con un área de 7,25 km², que representa el 86,65 % de la misma, se considera de posibilidad muy alta de recarga hídrica debido a que tiene más de un 80 % de cobertura vegetal.

Por último, se analiza el mapa de uso de suelo, el cual contiene la información de cómo se está utilizando el suelo dentro del área de estudio. Se consideró la existencia de bosques, cultivos, arbustos, áreas deforestadas y las que contienen infraestructura, ponderándolas según la posibilidad de recarga hídrica. El 52,75 % del área de la microcuenca tiene muy alta posibilidad de recarga, ya que en su mayoría son bosques; mientras que tiene un 11,06 % de área urbana, donde la recarga hídrica es muy poco probable.

⁷ Mapa geológico de Guatemala. Escala 1:50,000. IGN.

⁸ HERRERA IBÁÑEZ, I. *Hidrogeología práctica*. Guatemala, USAC, Facultad de Agronomía. Red Centroamericana de Manejo de Recursos Hídricos, 2002. 190 p.

Para poder un mapa representativo de la recarga hídrica total de la microcuenca del río Agua Tibia, se combinan los cinco mapas por medio de la ecuación 16, la cual incluye los factores que afectan la recarga hídrica, según la metodología de Matus Silva.

Como resultado, se obtiene el mapa de recarga hídrica, según la metodología de Matus Silva (figura 9). En él se observa que un 67,38 % del área de la microcuenca tiene una alta posibilidad de recarga hídrica, debido a la combinación de factores que la afectan. De ello se obtuvo una representación gráfica.

5.3. Comparación de metodologías para reconocimiento de zonas potenciales de recarga hídrica

En las figuras 4 y 10 se presentan los resultados de los cálculos de la recarga hídrica con la metodología de Gunther Schosinsky y la metodología de Matus Silva, respectivamente. Se observa que las zonas de recarga se ubican en la parte media de la cuenca hidrográfica, debido a los factores que se consideraron.

En el mapa de análisis de la metodología de Gunther Schosinsky (figura 4) se conocen las zonas de recarga hídrica de los años 2014 - 2015, ya que se analizó la información climática de ese período. Dicha metodología es una medida cuantitativa, por todas las operaciones matemáticas y de análisis que se aplican a los factores que afectan la recarga hídrica del área, los cuales se recopilaban y ordenaban.

Por otro lado, en el mapa de resultante de la metodología de Matus Silva (figura 10) se tiene un criterio cualitativo, mostrando las resultantes de valores

constantes en su mayoría, que representan a las zonas potenciales de recarga hídrica por las cualidades del área en estudio.

6. LOGROS OBTENIDOS

1. Se recolectó información climática del año 2014 - 2015 del área de la microcuenca del río Agua Tibia.
2. Se calculó la recarga hídrica del año 2014 - 2015 del área del río Agua Tibia.
3. Se graficaron las zonas potenciales de recarga hídrica de la microcuenca del río Agua Tibia, clasificándolas en muy alta, alta, moderada, baja y muy baja.

CONCLUSIONES

1. La microcuenca tuvo una tendencia de mayor recarga en la parte media de su área, en un 67,38 % del área, evaluando la combinación de resultados de ambas metodologías.
2. La textura de arena limosa predomina en la microcuenca del río Agua Tibia ya que abarca un 53,33 % del área. Luego, está la arena arcillosa, que abarca un, 20 %. El resto, presenta limo arenoso y arcilla arenosa. Por esta razón, la infiltración promedio es de 479,58 mm/día y se le considera de moderada a baja. Asimismo, el 78,08 % del área de la microcuenca presenta una pendiente entre 15 – 45 % por lo cual genera una moderada posibilidad de recarga hídrica.
3. La precipitación media anual, calculada por medio de isoyetas, reportó 1 416,56mm de lluvia en el área de la microcuenca del río Agua Tibia y una temperatura media anual de 20,48 °C en el año 2014 - 2015.
4. La recarga hídrica anual de la microcuenca del río Agua Tibia se calculó mediante la metodología de Gunther Schosinsky. La medida cuantitativa fue de 91,76 mm en el año 2014 - 2015. Según la metodología de Matus Silva, es de un 7,76 % y un 67,38 % del área tiene una muy alta tendencia y una alta tendencia de recarga hídrica, respectivamente. Esta es una medida cualitativa.

RECOMENDACIONES

1. Realizar actualizaciones de los mapas propuestos, que sean modificables, para comparar la mejora o deterioro de la microcuenca en estudio.
2. Integrar el proyecto de reconocimiento de zonas potenciales de recarga hídrica dentro del Plan de Ordenamiento Territorial, de esta manera se dará prioridad a las zonas donde la recarga hídrica es alta.
3. Las autoridades competentes deben incentivar el cuidado y manejo de las áreas de recarga hídrica en los propietarios y población en general de la región analizada.
4. Llevar a cabo estudios de calidad de agua para conocer la situación físico-química y bacteriológica del agua subterránea de la región.

BIBLIOGRAFÍA

1. Congreso de la República de Guatemala. *Ley Forestal. Decreto número 101-96*. Guatemala. 1996.
2. FDN (Fundación Defensores de la Naturaleza, GT). *Proyecto FODECYT No. 77-20007: Estimación de la recarga hídrica potencial en tres subcuencas ubicadas en el sistema Motagua –Polochic, Ríos: Hato, Pacajoc y Zarco*. Guatemala, CONCYT, SENACYT, FONACYT, FDN. 2010.116p.
3. HERRERA IBÁÑEZ, I. *Hidrogeología práctica*. Guatemala: Red Centroamericana de Manejo de Recursos Hídricos, Facultad de Agronomía, USAC. 2002. 190 p.
4. INAB (Instituto Nacional de Bosques). *Metodología para la determinación de áreas críticas de recarga natural*. Manual técnico. Guatemala. 2003. 62p.
5. JIMÉNEZ, F. *Gestión integral de cuencas hidrográficas. Enfoques y estrategias actuales*. Guatemala: CATIE, 2005.
6. MATUS, S. *Elaboración participativa de una metodología para la identificación de zonas potenciales de recarga hídrica en subcuencas hidrográficas, aplicada a la subcuenca del río Jucuapa, Matagalpa, Nicaragua*. Tesis Mag. Sc. Turrialba. 2007. 186p.

7. Sociedad Geográfica de Lima. *Foro Peruano para el Agua: Contribuyendo al desarrollo de una cultura del agua y gestión integral del recurso hídrico*. Lima, Perú. 2011.

APÉNDICES

Apéndice 1. Pruebas de infiltración

Tipo de suelo: Arcilla – arenosa

Radio: 14,5 cm

Tabla I. Prueba de infiltración I

Tiempo	Altura (cm)	$R/2*(t_2-t_1)$	$\ln((2h_1+R)/(2h_2+R))$	f (cm/min)	f (mm/día)
0	30				
1	28,1	7,1	0,05253454	0,37430859	5 390,04374
2	27	7,1	0,0317258	0,22604636	3 255,06752
3	25,6	7,1	0,04189094	0,29847296	4 298,01062
4	24,8	7,1	0,02474991	0,17634311	2 539,34075
5	23	7,1	0,05803401	0,41349232	5 954,28944
6	21,7	7,1	0,04411233	0,31430032	4 525,92461
7	20,3	7,1	0,04978806	0,35473993	5 108,25496
8	19	7,1	0,0485623	0,34600636	4 982,49156
9	17,6	7,1	0,05507783	0,39242956	5 650,98564
10	16,1	7,1	0,06258559	0,44592235	6 421,28182
12	14,9	3,6	0,05305111	0,18899459	2 721,52209
14	13,2	3,6	0,08032652	0,28616321	4 120,75029
16	11,7	3,6	0,07666588	0,2731222	3 932,95973
18	10	3,6	0,09464639	0,33717776	4 855,35978
20	8,1	3,6	0,11760057	0,41895203	6 032,90927
22	6,4	3,6	0,11839899	0,4217964	6 073,86813
24	4,5	3,6	0,15138187	0,53929792	7 765,8901
26	3	3,6	0,13815034	0,49216058	7 087,11236
26	28				
31	27	1,4	0,02888287	0,0411581	592,676578
36	26,1	1,4	0,02672765	0,0380869	548,451356
41	24,9	1,4	0,03678576	0,0524197	754,84373
46	23,7	1,4	0,0381908	0,05442189	783,67519
51	22,3	1,4	0,0464814	0,06623599	953,798244

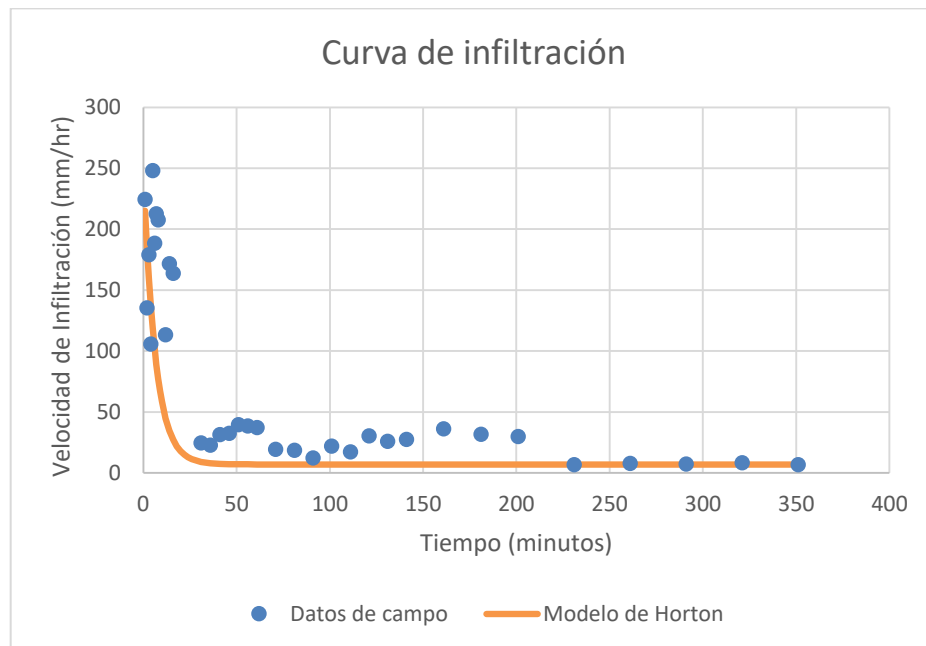
Continuación de Apéndice 1, Tabla I.

56	21	1,4	0,04518579	0,06438975	927,212465
61	19,8	1,4	0,04360364	0,06213518	894,746641
71	18,6	0,7	0,04559194	0,03248426	467,773318
81	17,5	0,7	0,04370109	0,03113703	448,373231
91	16,8	0,7	0,02883825	0,02054725	295,880442
101	15,6	0,7	0,0514583	0,03666404	527,96213
111	14,7	0,7	0,04040954	0,0287918	414,601863
121	13,2	0,7	0,07120445	0,05073317	730,557619
131	12	0,7	0,06085528	0,04335938	624,375129
141	10,8	0,7	0,06479999	0,04617	664,847931
161	8	0,4	0,16984738	0,06050813	871,317073
181	5,9	0,4	0,14947842	0,05325169	766,824276
201	4,2	0,4	0,13985792	0,04982438	717,47111
201	29,5				
231	27,8	0,2	0,04752816	0,01128794	162,546315
261	25,9	0,2	0,05593805	0,01328529	191,308147
291	24,2	0,2	0,05284835	0,01255148	180,741356
321	22,4	0,2	0,05917914	0,01405505	202,392654
351	21	0,2	0,0485785	0,01153739	166,138475

Fuente: elaboración propia.

Continuación de Apéndice 1.

Figura 1. **Curva de infiltración del suelo arcilla – arenosa**



Fuente: elaboración propia.

Continuación de Apéndice 1.

Tipo de suelo: Arena – arcillosa

Radio: 14 cm

Tabla II. Prueba de infiltración II

Tiempo	Altura (cm)	$R/2*(t_2-t_1)$	$\ln((2h_1+R)/(2h_2+R))$	f (cm/min)	f (mm/día)
0	30				
1	29,1	7,0	0,02462505	0,17237533	2 482,20477
2	28,5	7,0	0,01676017	0,11732118	1 689,42502
3	28	7,0	0,01418463	0,09929244	1 429,81121
4	27,5	7,0	0,01438874	0,10072116	1 450,38474
5	27,1	7,0	0,01166194	0,08163358	1 175,52353
6	26,7	7,0	0,01179955	0,08259683	1 189,39433
7	26,3	7,0	0,01194044	0,08358308	1 203,59639
8	26	7,0	0,00904984	0,06334885	912,22342
9	25,7	7,0	0,00913248	0,06392738	920,554343
10	25,4	7,0	0,00921666	0,06451659	929,038835
11	25	7,0	0,01242252	0,08695764	1 252,19002
12	24,6	7,0	0,01257878	0,08805148	1 267,94125
13	24,2	7,0	0,01273903	0,08917318	1 284,0938
14	23,8	7,0	0,0129034	0,09032383	1 300,66321
15	23,5	7,0	0,00978801	0,06851604	986,631042
16	23,1	7,0	0,01320151	0,09241058	1 330,7124
17	22,8	7,0	0,01001678	0,07011745	1 009,69125
18	22,5	7,0	0,01011813	0,07082691	1 019,90752
19	22,1	7,0	0,01365209	0,09556462	1 376,13059
20	21,8	7,0	0,01036279	0,07253951	1 044,56893
21	21,4	7,0	0,01398624	0,09790369	1 409,81319
22	21	7,0	0,01418463	0,09929244	1 429,81121
23	20,7	7,0	0,0107721	0,07540468	1 085,82738
24	20,5	7,0	0,00724641	0,05072486	730,437979
26	19,9	3,5	0,02205972	0,07720901	1 111,80979
28	19,3	3,5	0,02255735	0,07895072	1 136,89031
30	18,7	3,5	0,02307795	0,08077282	1 163,12854

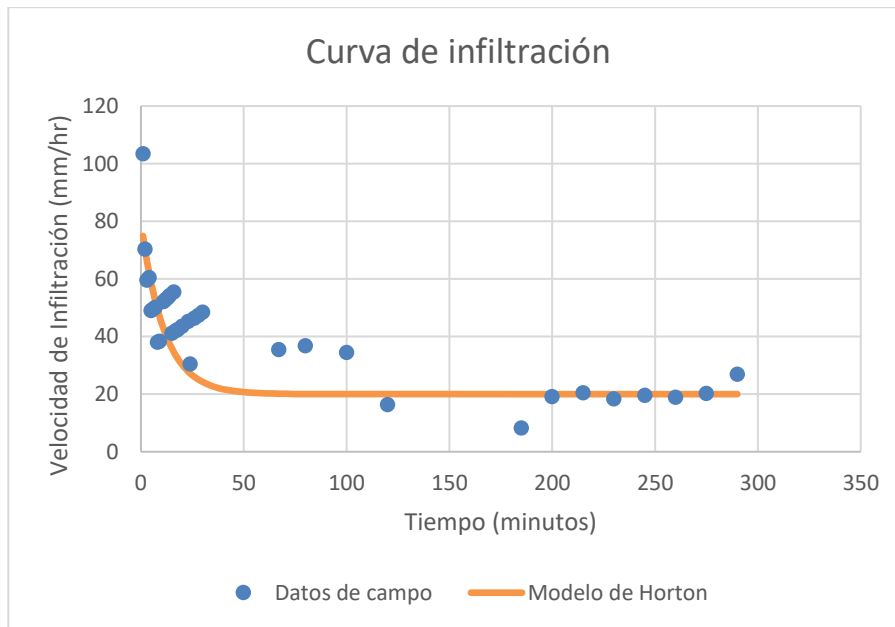
Continuación de Apéndice 1, Tabla II.

32	18	3,5	0,02761517	0,09665308	1 391,80442
34	17,4	3,5	0,02429269	0,08502442	1 224,35171
36	16,8	3,5	0,02489755	0,08714143	1 254,8366
38	16,2	3,5	0,0255333	0,08936656	1 286,87842
40	15,6	3,5	0,02620237	0,0917083	1 320,59957
43	14,7	2,3	0,04063765	0,09482117	1 365,4249
46	13,9	2,3	0,0375631	0,08764724	1 262,12021
49	13	2,3	0,04401689	0,10270607	1 478,96735
52	12,2	2,3	0,04082199	0,09525132	1 371,61902
55	11,4	2,3	0,04255961	0,09930577	1 430,00304
58	10,6	2,3	0,04445176	0,10372078	1 493,57922
61	9,9	2,3	0,04058528	0,09469899	1 363,66541
64	9	2,3	0,0547249	0,12769143	1 838,75663
67	8,6	2,3	0,02531781	0,05907489	850,678348
70	7,9	2,3	0,0459097	0,10712264	1 542,56596
75	7	1,4	0,06230388	0,08722544	1 256,04629
80	6,4	1,4	0,04380262	0,06132367	883,060873
85	5,5	1,4	0,06952606	0,09733649	1 401,64542
85	29,5				
90	23,5	1,4	0,17958558	0,25141981	3 620,44523
100	21,1	0,7	0,08195711	0,05736998	826,127641
120	19	0,4	0,07767304	0,02718556	391,472113
130	16,7	0,7	0,09262149	0,06483504	933,624618
140	14,4	0,7	0,10208413	0,07145889	1 029,00799
150	12,5	0,7	0,09297646	0,06508352	937,202681
185	11,2	0,2	0,06899287	0,01379857	198,69947
200	10	0,5	0,06820825	0,03183052	458,35944
215	8,8	0,5	0,0732034	0,03416159	491,926875
230	7,8	0,5	0,06538276	0,03051195	439,372142
245	6,8	0,5	0,06995859	0,03264734	470,121715
260	5,9	0,5	0,06744128	0,0314726	453,205407
275	5	0,5	0,07232066	0,03374964	485,994846
290	3,9	0,5	0,09614386	0,04486713	646,086743

Fuente: elaboración propia.

Continuación de Apéndice 1.

Figura 2. **Curva de infiltración del suelo arena - arcillosa**



Fuente: elaboración propia.

Continuación de Apéndice 1.

Tipo de suelo: arena – limosa

Radio: 13

Tabla III. Prueba de infiltración III

Tiempo	Altura (cm)	$R/2*(t_2-t_1)$	$\ln((2h_1+R)/(2h_2+R))$	f (cm/min)	f (mm/dia)
0	28,1				
1	27,6	6,5	0,0145563	0,09461594	1 362,46947
2	27	6,5	0,01775195	0,11538765	1 661,58209
3	26,2	6,5	0,02233718	0,14519167	2 090,76003
4	26,1	6,5	0,00489597	0,03182381	458,262849
5	25,7	6,5	0,01234584	0,08024793	1 155,57023
6	25,2	6,5	0,01564977	0,10172352	1 464,81863
7	24,8	6,5	0,01269858	0,08254079	1 188,5874
8	24,5	6,5	0,00963089	0,0626008	901,451591
9	23,9	6,5	0,0195446	0,12703987	1 829,37419
10	23,5	6,5	0,01324523	0,08609397	1 239,75322
12	22,8	3,3	0,02360987	0,07673206	1 104,94171
14	21,9	3,3	0,03119837	0,10139471	1 460,08376
16	21	3,3	0,03220314	0,10466021	1 507,10698
18	19,9	3,3	0,04082199	0,13267148	1 910,46934
20	19	3,3	0,03468556	0,11272806	1 623,28411
22	18	3,3	0,04000533	0,13001734	1 872,24966
24	16,8	3,3	0,05021976	0,16321421	2 350,28463
26	15,5	3,3	0,05741091	0,18658545	2 686,83046
28	14,2	3,3	0,06090875	0,19795345	2 850,52964
30	13	3,3	0,05971923	0,19408751	2 794,86018
35	10,5	1,3	0,13720112	0,17836146	2 568,40499
40	7,5	1,3	0,19415601	0,25240282	3 634,60059
45	5	1,3	0,19671029	0,25572338	3 682,41671
45	27,9				
50	26,5	1,3	0,041549	0,0540137	777,797335
55	25	1,3	0,04652002	0,06047602	870,854693
60	23,5	1,3	0,04879016	0,06342721	913,351873
70	21,3	0,7	0,07616136	0,04950488	712,870339
80	19,5	0,7	0,06693948	0,04351066	626,553558

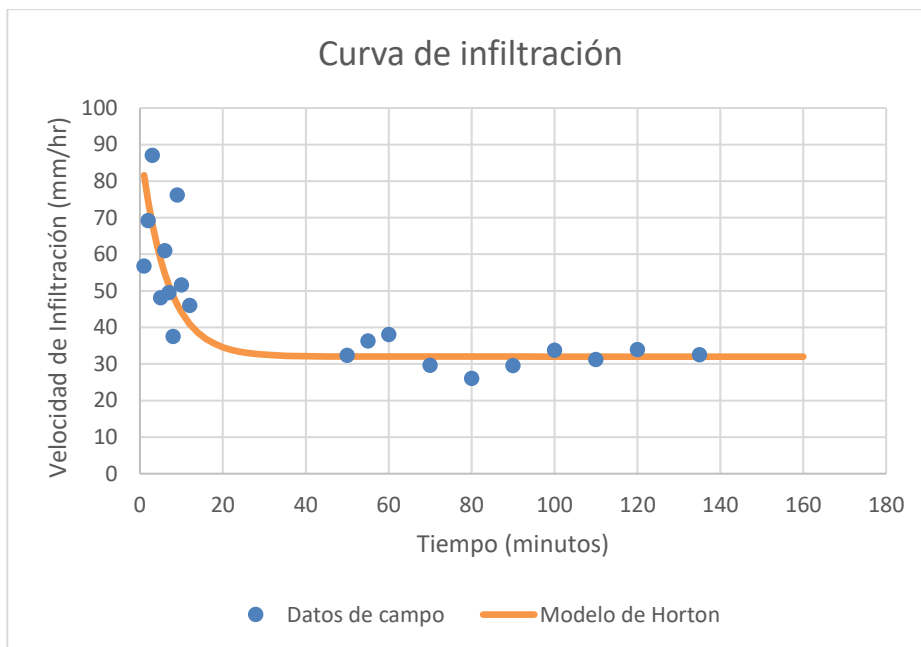
Continuación Apéndice 1, Tabla III.

90	17,6	0,7	0,0758847	0,04932505	710,280769
100	15,6	0,7	0,08663423	0,05631225	810,896411
110	13,9	0,7	0,08004271	0,05202776	749,199744
120	12,2	0,7	0,08701138	0,0565574	814,426489
135	10	0,4	0,12516314	0,05423736	781,018012
160	8,2	0,3	0,11551289	0,03003335	432,480249

Fuente: elaboración propia.

Continuación de Apéndice 1.

Figura 3. **Curva de infiltración de suelo arena - limosa**



Fuente: elaboración propia.

Continuación de Apéndice 1.

Tipo de suelo: limo – arenoso

Radio: 13,5 cm

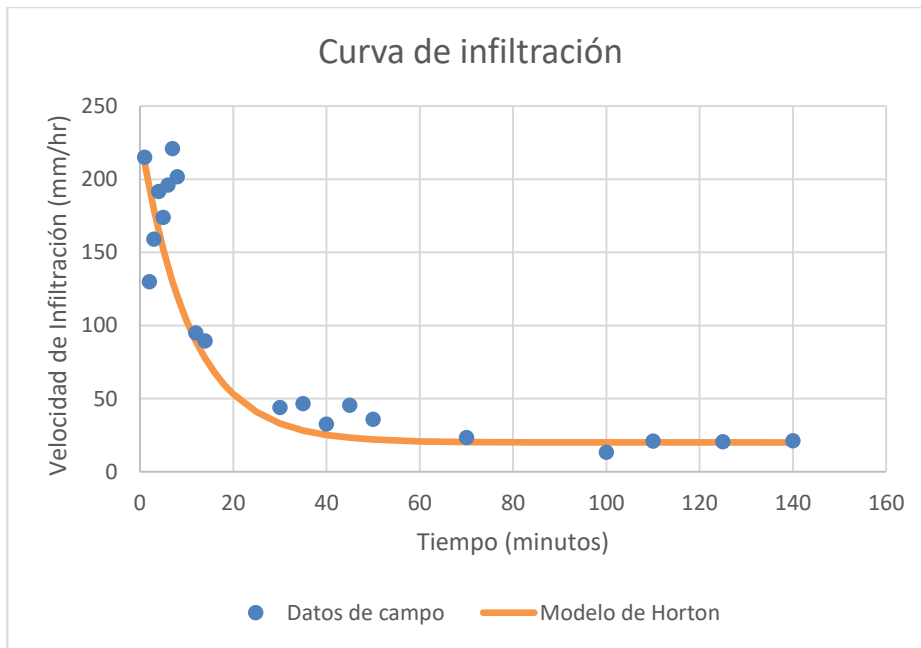
Tabla IV. Prueba de infiltración IV

Tiempo	Altura (cm)	$R/2*(t_2-t_1)$	$\ln((2h_1+R)/(2h_2+R))$	f (cm/min)	f (mm/día)
0	30				
1	28,1	6,8	0,05308509	0,35832435	5 159,8706
2	27	6,8	0,03207272	0,21649086	3 117,46837
3	25,7	6,8	0,03927997	0,26513983	3 818,01349
4	24,2	6,8	0,04732744	0,31946025	4 600,22756
5	22,9	6,8	0,04291087	0,2896484	4 170,93692
6	21,5	6,8	0,04836867	0,32648851	4 701,43452
7	20	6,8	0,05455898	0,36827314	5 303,13327
8	18,7	6,8	0,04981873	0,33627643	4 842,38059
9	16,9	6,8	0,07335263	0,49513024	7 129,87545
10	15,1	6,8	0,07916219	0,53434481	7 694,5652
12	14,1	3,4	0,04684697	0,15810853	2 276,7629
14	13,2	3,4	0,0441248	0,14892122	2 144,46552
16	12,5	3,4	0,03571808	0,12054853	1 735,89881
18	11,8	3,4	0,03704127	0,12501429	1 800,2058
20	11,2	3,4	0,03287967	0,1109689	1 597,95216
25	10,3	1,4	0,05143991	0,06944388	999,991874
30	9,4	1,4	0,05423015	0,07321071	1 054,23419
35	8,5	1,4	0,05734055	0,07740974	1 114,70023
40	7,9	1,4	0,04013917	0,05418788	780,305418
45	7,1	1,4	0,0561551	0,07580939	1 091,6552
50	6,5	1,4	0,04428768	0,05978837	860,952503
60	5,7	0,7	0,06227693	0,04203693	605,331755
70	5	0,7	0,05786738	0,03906048	562,470956
70	28				
85	26,6	0,5	0,0411218	0,01850481	266,469262
100	25	0,5	0,04916505	0,02212427	318,589505
110	23,4	0,7	0,0517078	0,03490277	502,599837
125	21,2	0,5	0,07576772	0,03409548	490,974849
140	19,1	0,5	0,0781066	0,03514797	506,130759

Fuente: elaboración propia.

Continuación de Apéndice 1.

Figura 4. **Curva de infiltración para suelo limo – arenoso**



Fuente: elaboración propia.

Apéndice 2: Balance hídrico de suelos

Muestra de suelo:	2
Clase textural:	Arena limosa
Kp (pendiente):	0,06
Kv (cobertura vegetal):	0,21
Kfc:	0,9333
Infiltración (fc):	771,64
Coeficiente de infiltración:	1
Punto de marchitez permanente (PMP):	470,013
Capacidad de campo (CC):	1 101,27
Densidad aparente (g/cm ³):	1,3723
Profundidad de raíz:	2 500
Humedad inicial:	785,643

	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
Precipitación mensual	0.44	1.87	18.81	73.49	276.23	372.51	47.86	123.79	278.17	206.01	16.75	0.61
Retención de lluvia	0.44	1.87	5.00	8.82	33.15	44.70	5.74	14.85	33.38	24.72	5.00	0.61
Precipitación efectiva (Pi)	0.00	0.00	13.81	64.67	243.09	327.81	42.11	108.94	244.79	181.29	11.75	0.00
Escorrentía superficial	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Evapotranspiración potencial (ETP)	96.20	101.37	128.83	136.58	139.35	136.80	143.44	140.68	124.38	115.44	97.36	92.28
Temperatura media mensual (°C)	18.75	20.38	21.36	21.95	21.36	20.87	21.59	21.54	20.30	20.01	19.05	18.61
Temperatura media mensual (°F)	65.90	68.83	70.60	71.66	70.60	69.72	71.01	70.92	68.69	68.17	66.44	65.65
Radiación solar incidente (RSM)	194.63	196.37	243.32	254.12	263.18	261.64	269.32	264.49	241.43	225.79	195.39	187.42
Radiación solar extraterrestre (RMM)	378.20	376.60	458.80	469.50	480.50	474.00	489.80	486.70	451.50	429.35	378.00	365.80
Radiación solar (RS)	12.20	13.45	14.80	15.65	15.50	15.80	15.80	15.70	15.05	13.85	12.60	11.80
Brillo solar (S) %	47.08	48.33	50.00	52.08	53.33	54.17	53.75	52.50	50.83	49.17	47.50	46.67
Número de horas de brillo (N)	11.30	11.60	12.00	12.50	12.80	13.00	12.90	12.60	12.20	11.80	11.40	11.20
C1	0.50	0.43	0.39	0.42	0.72	1.00	0.96	0.94	1.00	1.00	1.00	0.87
C2	0.42	0.36	0.31	0.33	0.56	0.88	0.74	0.73	0.95	1.00	0.86	0.75
Humedad inicial	785.64	741.21	701.15	670.08	683.66	837.05	1035.99	955.63	946.83	1070.59	1101.27	1022.27
Humedad disponible	315.63	271.20	244.95	264.73	456.74	694.85	608.09	594.55	721.60	781.87	643.01	552.25
Humedad final	741.21	701.15	670.08	683.66	837.05	1035.99	955.63	946.83	1070.59	1101.27	1022.27	947.44
Evapotranspiración real (ETR)	44.43	40.05	44.89	51.08	89.70	128.87	122.47	117.74	121.03	115.44	90.76	74.83
Recarga hídrica potencial	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	35.17	0.00	0.00

Continuación de Apéndice 2.

Muestra de suelo	3
Clase textural	Arena arcillosa
Kp (pendiente)	0,15
Kv (cobertura vegetal)	0,21
Kfc (fracción que se infiltra)	0,85489
Infiltración (fc)	488,59
Coeficiente de infiltración (Ci)	1
Punto de marchitez permanente (PMP)	204,9345708
Capacidad de campo (CC)	435,036545
Densidad aparente (g/cm ³)	1,4381
Profundidad de raíz	2 500
Humedad inicial	319,9855579

	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
Precipitación mensual	0.44	1.87	18.81	73.49	276.23	372.51	47.86	123.79	278.17	206.01	16.75	0.61
Retención de lluvia	0.44	1.87	5.00	8.82	33.15	44.70	5.74	14.85	33.38	24.72	5.00	0.61
Precipitación efectiva (Pi)	0.00	0.00	13.81	64.67	243.09	327.81	42.11	108.94	244.79	181.29	11.75	0.00
Esorrentía superficial	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Evapotranspiración potencial (ETP)	96.20	101.37	128.83	136.58	139.35	136.80	143.44	140.68	124.38	115.44	97.36	92.28
Temperatura media mensual (°C)	18.75	20.38	21.36	21.95	21.36	20.87	21.59	21.54	20.30	20.01	19.05	18.61
Temperatura media mensual (°F)	65.90	68.83	70.60	71.66	70.60	69.72	71.01	70.92	68.69	68.17	66.44	65.65
Radiación solar incidente (RSM)	194.63	196.37	243.32	254.12	263.18	261.64	269.32	264.49	241.43	225.79	195.39	187.42
Radiación solar extraterrestre (RMM)	378.20	376.60	458.80	469.50	480.50	474.00	489.80	486.70	451.50	429.35	378.00	365.80
Radiación solar (RS)	12.20	13.45	14.80	15.65	15.50	15.80	15.80	15.70	15.05	13.85	12.60	11.80
Brillo solar (S) %	47.08	48.33	50.00	52.08	53.33	54.17	53.75	52.50	50.83	49.17	47.50	46.67
Número de horas de brillo (N)	11.30	11.60	12.00	12.50	12.80	13.00	12.90	12.60	12.20	11.80	11.40	11.20
C1	0.50	0.33	0.28	0.45	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.71
C2	0.29	0.19	0.12	0.18	0.71	1.00	0.56	0.56	1.00	1.00	0.63	0.42
Humedad inicial	319.99	281.94	255.49	243.35	264.99	388.81	435.04	365.29	364.57	435.04	435.04	367.54
Humedad disponible	115.05	77.01	64.37	103.09	303.14	511.68	272.22	269.29	404.43	411.39	241.86	162.61
Humedad final	281.94	255.49	243.35	264.99	388.81	435.04	365.29	364.57	435.04	435.04	367.54	315.41
Evapotranspiración real (ETR)	38.04	26.45	25.95	43.03	119.27	136.80	111.86	109.66	124.38	115.44	79.25	52.13
Recarga hídrica potencial	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	144.77	0.00	0.00	49.95	65.85	0.00	0.00

Continuación de Apéndice 2.

Muestra	4
Clase textural	Arena arcillosa
Kp (pendiente)	0,15
Kv (cobertura vegetal)	0,18
Kfc (fracción que se infiltra)	0,85489
Infiltración (fc)	488,59
Coefficiente de infiltración (Ci)	1
Punto de marchitez permanente (PMP)	204,9345708
Capacidad de campo (CC)	435,036545
Densidad aparente (g/cm ³)	1,438137339
Profundidad de raíz	2 500
Humedad inicial	319,9855579

	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
Precipitación mensual	0.44115	1.8716	18.814	73.4865	276.235	372.507	47.8564	123.79	278.172	206.014	16.7542	0.61358
Retención de lluvia	0.44115	1.8716	5	8.81838	33.1482	44.7009	5.74277	14.8548	33.3807	24.7216	5	0.61358
Precipitación efectiva (Pi)	0	0	13.814	64.6681	243.087	327.806	42.1137	108.935	244.792	181.292	11.7542	0
Escorrentía superficial	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Evapotranspiración potencial (ETP)	96.1973	101.375	128.832	136.579	139.35	136.804	143.437	140.684	124.379	115.438	97.3623	92.2765
Temperatura media mensual (°C)	18.75	20.38	21.36	21.95	21.36	20.87	21.59	21.54	20.3	20.01	19.05	18.61
Temperatura media mensual (°F)	65.9	68.834	70.598	71.66	70.598	69.716	71.012	70.922	68.69	68.168	66.44	65.648
Radiación solar incidente (RSM)	194.633	196.365	243.315	254.124	263.181	261.641	269.32	264.486	241.431	225.792	195.389	187.417
Radiación solar extraterrestre (RMM)	378.2	376.6	458.8	469.5	480.5	474	489.8	486.7	451.5	429.35	378	365.8
Radiación solar (RS)	12.2	13.45	14.8	15.65	15.5	15.8	15.8	15.7	15.05	13.85	12.6	11.8
Brillo solar (S) %	47.0833	48.3333	50	52.0833	53.3333	54.1667	53.75	52.5	50.8333	49.1667	47.5	46.6667
Número de horas de brillo (N)	11.3	11.6	12	12.5	12.8	13	12.9	12.6	12.2	11.8	11.4	11.2
C1	0.5	0.33466	0.27973	0.448	1	1	1	1	1	1	1	0.70667
C2	0.29097	0.18722	0.12311	0.18209	0.71183	1	0.55966	0.55893	1	1	0.62796	0.42328
Humedad inicial	319.986	281.941	255.488	243.352	264.992	388.807	435.037	365.294	364.571	435.037	435.037	367.54
Humedad disponible	115.051	77.0065	64.3676	103.086	303.144	511.678	272.216	269.294	404.428	411.394	241.856	162.605
Humedad final	281.941	255.488	243.352	264.992	388.807	435.037	365.294	364.571	435.037	435.037	367.54	315.406
Evapotranspiración real (ETR)	38.0445	26.4529	25.9499	43.0283	119.272	136.804	111.857	109.658	124.379	115.438	79.2508	52.1336
Recarga hídrica potencial	0	1.1E-14	0	1.4E-14	1.4E-14	144.772	0	0	49.9467	65.8537	1.4E-14	0

Continuación de Apéndice 2.

Muestra	5
Clase textural	Arena arcillosa
Kp (pendiente)	0,15
Kv (cobertura vegetal)	0,21
Kfc (fracción que se infiltra)	0,8548
Infiltración (fc)	488,59
Coefficiente de infiltración (Ci)	1
Punto de marchitez permanente (PMP)	204,9345708
Capacidad de campo (CC)	435,036545
Densidad aparente (g/cm ³)	1,438137339
Profundidad de raíz	2 500
Humedad inicial	319,9855579

	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
Precipitación mensual	0.44	1.87	18.81	73.49	276.23	372.51	47.86	123.79	278.17	206.01	16.75	0.61
Retención de lluvia	0.44	1.87	5.00	8.82	33.15	44.70	5.74	14.85	33.38	24.72	5.00	0.61
Precipitación efectiva (Pi)	0.00	0.00	13.81	64.67	243.09	327.81	42.11	108.94	244.79	181.29	11.75	0.00
Esorrentía superficial	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Evapotranspiración potencial (ETP)	96.20	101.37	128.83	136.58	139.35	136.80	143.44	140.68	124.38	115.44	97.36	92.28
Temperatura media mensual (°C)	18.75	20.38	21.36	21.95	21.36	20.87	21.59	21.54	20.30	20.01	19.05	18.61
Temperatura media mensual (°F)	65.90	68.83	70.60	71.66	70.60	69.72	71.01	70.92	68.69	68.17	66.44	65.65
Radiación solar incidente (RSM)	194.63	196.37	243.32	254.12	263.18	261.64	269.32	264.49	241.43	225.79	195.39	187.42
Radiación solar extraterrestre (RMM)	378.20	376.60	458.80	469.50	480.50	474.00	489.80	486.70	451.50	429.35	378.00	365.80
Radiación solar (RS)	12.20	13.45	14.80	15.65	15.50	15.80	15.80	15.70	15.05	13.85	12.60	11.80
Brillo solar (S) %	47.08	48.33	50.00	52.08	53.33	54.17	53.75	52.50	50.83	49.17	47.50	46.67
Número de horas de brillo (N)	11.30	11.60	12.00	12.50	12.80	13.00	12.90	12.60	12.20	11.80	11.40	11.20
C1	0.50	0.33	0.28	0.45	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.71
C2	0.29	0.19	0.12	0.18	0.71	1.00	0.56	0.56	1.00	1.00	0.63	0.42
Humedad inicial	319.99	281.94	255.49	243.35	264.99	388.81	435.04	365.29	364.57	435.04	435.04	367.54
Humedad disponible	115.05	77.01	64.37	103.09	303.14	511.68	272.22	269.29	404.43	411.39	241.86	162.61
Humedad final	281.94	255.49	243.35	264.99	388.81	435.04	365.29	364.57	435.04	435.04	367.54	315.41
Evapotranspiración real (ETR)	38.04	26.45	25.95	43.03	119.27	136.80	111.86	109.66	124.38	115.44	79.25	52.13
Recarga hídrica potencial	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	144.77	0.00	0.00	49.95	65.85	0.00	0.00

Continuación de Apéndice 2.

Muestra	6
Clase textural	Arena limosa
Kp (pendiente)	0,15
Kv (cobertura vegetal)	0,2
Kfc (fracción que se infiltra)	0,9333
Infiltración (fc)	771,64
Coefficiente de infiltración (Ci)	1
Punto de marchitez permanente (PMP)	470,0132529
Capacidad de campo (CC)	1 101,271928
Densidad aparente (g/cm ³)	85,67
Profundidad de raíz	2 500
Humedad inicial	785,6425905

	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
Precipitación mensual	0.44	1.87	18.81	73.49	276.23	372.51	47.86	123.79	278.17	206.01	16.75	0.61
Retención de lluvia	0.44	1.87	5.00	8.82	33.15	44.70	5.74	14.85	33.38	24.72	5.00	0.61
Precipitación efectiva (Pi)	0.00	0.00	13.81	64.67	243.09	327.81	42.11	108.94	244.79	181.29	11.75	0.00
Escurrentía superficial	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Evapotranspiración potencial (ETP)	96.20	101.37	128.83	136.58	139.35	136.80	143.44	140.68	124.38	115.44	97.36	92.28
Temperatura media mensual (°C)	18.75	20.38	21.36	21.95	21.36	20.87	21.59	21.54	20.30	20.01	19.05	18.61
Temperatura media mensual (°F)	65.90	68.83	70.60	71.66	70.60	69.72	71.01	70.92	68.69	68.17	66.44	65.65
Radiación solar incidente (RSM)	194.63	196.37	243.32	254.12	263.18	261.64	269.32	264.49	241.43	225.79	195.39	187.42
Radiación solar extraterrestre (RMM)	378.20	376.60	458.80	469.50	480.50	474.00	489.80	486.70	451.50	429.35	378.00	365.80
Radiación solar (RS)	12.20	13.45	14.80	15.65	15.50	15.80	15.80	15.70	15.05	13.85	12.60	11.80
Brillo solar (S) %	47.08	48.33	50.00	52.08	53.33	54.17	53.75	52.50	50.83	49.17	47.50	46.67
Número de horas de brillo (N)	11.30	11.60	12.00	12.50	12.80	13.00	12.90	12.60	12.20	11.80	11.40	11.20
C1	0.50	0.43	0.39	0.42	0.72	1.00	0.96	0.94	1.00	1.00	1.00	0.87
C2	0.42	0.36	0.31	0.33	0.56	0.88	0.74	0.73	0.95	1.00	0.86	0.75
Humedad inicial	785.64	741.21	701.15	670.08	683.66	837.05	1035.99	955.63	946.83	1070.59	1101.27	1022.27
Humedad disponible	315.63	271.20	244.95	264.73	456.74	694.85	608.09	594.55	721.60	781.87	643.01	552.25
Humedad final	741.21	701.15	670.08	683.66	837.05	1035.99	955.63	946.83	1070.59	1101.27	1022.27	947.44
Evapotranspiración real (ETR)	44.43	40.05	44.89	51.08	89.70	128.87	122.47	117.74	121.03	115.44	90.76	74.83
Recarga hídrica potencial	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	35.17	0.00	0.00

Continuación de Apéndice 2.

Muestra	7
Clase textural	Arcilla arenosa
Kp (pendiente)	0,15
Kv (cobertura vegetal)	0,18
Kfc (fracción que se infiltra)	0,6366
Infiltración (fc)	180,63
Coefficiente de infiltración (Ci)	1
Punto de marchitez permanente (PMP)	964,2552274
Capacidad de campo (CC)	1 375,918036
Densidad aparente (g/cm ³)	92,61
Profundidad de raíz	2 500
Humedad inicial	1 170,086632

	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
Precipitación mensual	0.44	1.87	18.81	73.49	276.23	372.51	47.86	123.79	278.17	206.01	16.75	0.61
Retención de lluvia	0.44	1.87	5.00	8.82	33.15	44.70	5.74	14.85	33.38	24.72	5.00	0.61
Precipitación efectiva (Pi)	0.00	0.00	13.35	62.51	234.98	316.87	40.71	105.30	236.62	175.24	11.36	0.00
Escorrentía superficial	0.00	0.00	0.46	2.16	8.11	10.94	1.41	3.63	8.17	6.05	0.39	0.00
Evapotranspiración potencial (ETP)	96.20	101.37	128.83	136.58	139.35	136.80	143.44	140.68	124.38	115.44	97.36	92.28
Temperatura media mensual (°C)	18.75	20.38	21.36	21.95	21.36	20.87	21.59	21.54	20.30	20.01	19.05	18.61
Temperatura media mensual (°F)	65.90	68.83	70.60	71.66	70.60	69.72	71.01	70.92	68.69	68.17	66.44	65.65
Radiación solar incidente (RSM)	194.63	196.37	243.32	254.12	263.18	261.64	269.32	264.49	241.43	225.79	195.39	187.42
Radiación solar extraterrestre (RMM)	378.20	376.60	458.80	469.50	480.50	474.00	489.80	486.70	451.50	429.35	378.00	365.80
Radiación solar (RS)	12.20	13.45	14.80	15.65	15.50	15.80	15.80	15.70	15.05	13.85	12.60	11.80
Brillo solar (S) %	47.08	48.33	50.00	52.08	53.33	54.17	53.75	52.50	50.83	49.17	47.50	46.67
Número de horas de brillo (N)	11.30	11.60	12.00	12.50	12.80	13.00	12.90	12.60	12.20	11.80	11.40	11.20
C1	0.50	0.40	0.34	0.40	0.86	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.82
C2	0.38	0.30	0.24	0.27	0.57	1.00	0.75	0.71	1.00	1.00	0.79	0.63
Humedad inicial	1170.09	1127.61	1092.33	1068.35	1084.76	1219.77	1375.92	1291.09	1276.24	1375.92	1375.92	1300.09
Humedad disponible	205.83	163.35	141.43	166.61	355.48	572.38	452.37	432.13	548.61	586.91	423.02	335.83
Humedad final	1127.61	1092.33	1068.35	1084.76	1219.77	1375.92	1291.09	1276.24	1375.92	1375.92	1300.09	1233.25
Evapotranspiración real (ETR)	42.48	35.27	37.34	46.11	99.96	136.80	125.54	120.14	124.38	115.44	87.19	66.84
Recarga hídrica potencial	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	23.91	0.00	0.00	12.57	59.80	0.00	0.00

Continuación de Apéndice 2.

Muestra	8
Clase textural	Arena limosa
Kp (pendiente)	0,15
Kv (cobertura vegetal)	0,21
Kfc (fracción que se infiltra)	0,9333
Infiltración (fc)	771,64
Coefficiente de infiltración (Ci)	1
Punto de marchitez permanente (PMP)	470,0132529
Capacidad de campo (CC)	1 101,271928
Densidad aparente (g/cm ³)	85,67
Profundidad de raíz	2 500
Humedad inicial	785,6425905

	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
Precipitación mensual	0.44	1.87	18.81	73.49	276.23	372.51	47.86	123.79	278.17	206.01	16.75	0.61
Retención de lluvia	0.44	1.87	5.00	8.82	33.15	44.70	5.74	14.85	33.38	24.72	5.00	0.61
Precipitación efectiva (Pi)	0.00	0.00	13.81	64.67	243.09	327.81	42.11	108.94	244.79	181.29	11.75	0.00
Escorrentía superficial	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Evapotranspiración potencial (ETP)	96.20	101.37	128.83	136.58	139.35	136.80	143.44	140.68	124.38	115.44	97.36	92.28
Temperatura media mensual (°C)	18.75	20.38	21.36	21.95	21.36	20.87	21.59	21.54	20.30	20.01	19.05	18.61
Temperatura media mensual (°F)	65.90	68.83	70.60	71.66	70.60	69.72	71.01	70.92	68.69	68.17	66.44	65.65
Radiación solar incidente (RSM)	194.63	196.37	243.32	254.12	263.18	261.64	269.32	264.49	241.43	225.79	195.39	187.42
Radiación solar extraterrestre (RMM)	378.20	376.60	458.80	469.50	480.50	474.00	489.80	486.70	451.50	429.35	378.00	365.80
Radiación solar (RS)	12.20	13.45	14.80	15.65	15.50	15.80	15.80	15.70	15.05	13.85	12.60	11.80
Brillo solar (S) %	47.08	48.33	50.00	52.08	53.33	54.17	53.75	52.50	50.83	49.17	47.50	46.67
Número de horas de brillo (N)	11.30	11.60	12.00	12.50	12.80	13.00	12.90	12.60	12.20	11.80	11.40	11.20
C1	0.50	0.43	0.39	0.42	0.72	1.00	0.96	0.94	1.00	1.00	1.00	0.87
C2	0.42	0.36	0.31	0.33	0.56	0.88	0.74	0.73	0.95	1.00	0.86	0.75
Humedad inicial	785.64	741.21	701.15	670.08	683.66	837.05	1035.99	955.63	946.83	1070.59	1101.27	1022.27
Humedad disponible	315.63	271.20	244.95	264.73	456.74	694.85	608.09	594.55	721.60	781.87	643.01	552.25
Humedad final	741.21	701.15	670.08	683.66	837.05	1035.99	955.63	946.83	1070.59	1101.27	1022.27	947.44
Evapotranspiración real (ETR)	44.43	40.05	44.89	51.08	89.70	128.87	122.47	117.74	121.03	115.44	90.76	74.83
Recarga hídrica potencial	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	35.17	0.00	0.00

Continuación de Apéndice 2.

Muestra	9
Clase textural	Limo arenoso
Kp (pendiente)	0,15
Kv (cobertura vegetal)	0,18
Kfc (fracción que se infiltra)	0,8496
Infiltración (fc)	475,46
Coefficiente de infiltración (Ci)	1
Punto de marchitez permanente (PMP)	295,212609
Capacidad de campo (CC)	652,38342
Densidad aparente (g/cm ³)	91,01
Profundidad de raíz	2 500
Humedad inicial	473,7980145

	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
Precipitación mensual	0.44	1.87	18.81	73.49	276.23	372.51	47.86	123.79	278.17	206.01	16.75	0.61
Retención de lluvia	0.44	1.87	5.00	8.82	33.15	44.70	5.74	14.85	33.38	24.72	5.00	0.61
Precipitación efectiva (Pi)	0.00	0.00	13.81	64.67	243.09	327.81	42.11	108.94	244.79	181.29	11.75	0.00
Escorrentía superficial	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Evapotranspiración potencial (ETP)	96.20	101.37	128.83	136.58	139.35	136.80	143.44	140.68	124.38	115.44	97.36	92.28
Temperatura media mensual (°C)	18.75	20.38	21.36	21.95	21.36	20.87	21.59	21.54	20.30	20.01	19.05	18.61
Temperatura media mensual (°F)	65.90	68.83	70.60	71.66	70.60	69.72	71.01	70.92	68.69	68.17	66.44	65.65
Radiación solar incidente (RSM)	194.63	196.37	243.32	254.12	263.18	261.64	269.32	264.49	241.43	225.79	195.39	187.42
Radiación solar extraterrestre (RMM)	378.20	376.60	458.80	469.50	480.50	474.00	489.80	486.70	451.50	429.35	378.00	365.80
Radiación solar (RS)	12.20	13.45	14.80	15.65	15.50	15.80	15.80	15.70	15.05	13.85	12.60	11.80
Brillo solar (S) %	47.08	48.33	50.00	52.08	53.33	54.17	53.75	52.50	50.83	49.17	47.50	46.67
Número de horas de brillo (N)	11.30	11.60	12.00	12.50	12.80	13.00	12.90	12.60	12.20	11.80	11.40	11.20
C1	0.50	0.38	0.33	0.41	0.97	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.79
C2	0.37	0.27	0.21	0.25	0.59	1.00	0.72	0.68	1.00	1.00	0.76	0.59
Humedad inicial	473.80	432.18	398.82	377.92	397.01	531.79	652.38	571.41	561.86	652.38	652.38	578.44
Humedad disponible	178.59	136.96	117.42	147.37	344.88	564.38	399.28	385.13	511.44	538.46	368.93	283.23
Humedad final	432.18	398.82	377.92	397.01	531.79	652.38	571.41	561.86	652.38	652.38	578.44	514.72
Evapotranspiración real (ETR)	41.62	33.36	34.72	45.58	108.31	136.80	123.09	118.48	124.38	115.44	85.69	63.72
Recarga hídrica potencial	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	70.41	0.00	0.00	29.89	65.85	0.00	0.00

Continuación de Apéndice 2.

Muestra	10
Clase textural	Arena limosa
Kp (pendiente)	0,15
Kv (cobertura vegetal)	0,21
Kfc (fracción que se infiltra)	0,9333
Infiltración (fc)	771,64
Coefficiente de infiltración (Ci)	1
Punto de marchitez permanente (PMP)	470,0132529
Capacidad de campo (CC)	1 101,271928
Densidad aparente (g/cm ³)	85,67
Profundidad de raíz	2 500
Humedad inicial	785,6425905

	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
Precipitación mensual	0.44	1.87	18.81	73.49	276.23	372.51	47.86	123.79	278.17	206.01	16.75	0.61
Retención de lluvia	0.44	1.87	5.00	8.82	33.15	44.70	5.74	14.85	33.38	24.72	5.00	0.61
Precipitación efectiva (Pi)	0.00	0.00	13.81	64.67	243.09	327.81	42.11	108.94	244.79	181.29	11.75	0.00
Escurrentía superficial	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Evapotranspiración potencial (ETP)	96.20	101.37	128.83	136.58	139.35	136.80	143.44	140.68	124.38	115.44	97.36	92.28
Temperatura media mensual (°C)	18.75	20.38	21.36	21.95	21.36	20.87	21.59	21.54	20.30	20.01	19.05	18.61
Temperatura media mensual (°F)	65.90	68.83	70.60	71.66	70.60	69.72	71.01	70.92	68.69	68.17	66.44	65.65
Radiación solar incidente (RSM)	194.63	196.37	243.32	254.12	263.18	261.64	269.32	264.49	241.43	225.79	195.39	187.42
Radiación solar extraterrestre (RMM)	378.20	376.60	458.80	469.50	480.50	474.00	489.80	486.70	451.50	429.35	378.00	365.80
Radiación solar (RS)	12.20	13.45	14.80	15.65	15.50	15.80	15.80	15.70	15.05	13.85	12.60	11.80
Brillo solar (S) %	47.08	48.33	50.00	52.08	53.33	54.17	53.75	52.50	50.83	49.17	47.50	46.67
Número de horas de brillo (N)	11.30	11.60	12.00	12.50	12.80	13.00	12.90	12.60	12.20	11.80	11.40	11.20
C1	0.50	0.43	0.39	0.42	0.72	1.00	0.96	0.94	1.00	1.00	1.00	0.87
C2	0.42	0.36	0.31	0.33	0.56	0.88	0.74	0.73	0.95	1.00	0.86	0.75
Humedad inicial	785.64	741.21	701.15	670.08	683.66	837.05	1036.0	955.63	946.83	1070.6	1101.3	1022.3
Humedad disponible	315.63	271.20	244.95	264.73	456.74	694.85	608.09	594.55	721.60	781.87	643.01	552.25
Humedad final	741.21	701.15	670.08	683.66	837.05	1036.0	955.63	946.83	1070.6	1101.3	1022.3	947.44
Evapotranspiración real (ETR)	44.43	40.05	44.89	51.08	89.70	128.87	122.47	117.74	121.03	115.44	90.76	74.83
Recarga hídrica potencial	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	35.17	0.00	0.00

Continuación de Apéndice 2.

Muestra	11
Clase textural	Arena limosa
Kp (pendiente)	0,15
Kv (cobertura vegetal)	0,2
Kfc (fracción que se infiltra)	0,9333
Infiltración (fc)	771,64
Coefficiente de infiltración (Ci)	1
Punto de marchitez permanente (PMP)	470,0132529
Capacidad de campo (CC)	1 101,271928
Densidad aparente (g/cm ³)	85,67
Profundidad de raíz	2 500
Humedad inicial	785,6425905

	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
Precipitación mensual	0.44	1.87	18.81	73.49	276.23	372.51	47.86	123.79	278.17	206.01	16.75	0.61
Retención de lluvia	0.44	1.87	5.00	8.82	33.15	44.70	5.74	14.85	33.38	24.72	5.00	0.61
Precipitación efectiva (Pi)	0.00	0.00	13.81	64.67	243.09	327.81	42.11	108.94	244.79	181.29	11.75	0.00
Escorrentía superficial	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Evapotranspiración potencial (ETP)	96.20	101.37	128.83	136.58	139.35	136.80	143.44	140.68	124.38	115.44	97.36	92.28
Temperatura media mensual (°C)	18.75	20.38	21.36	21.95	21.36	20.87	21.59	21.54	20.30	20.01	19.05	18.61
Temperatura media mensual (°F)	65.90	68.83	70.60	71.66	70.60	69.72	71.01	70.92	68.69	68.17	66.44	65.65
Radiación solar incidente (RSM)	194.63	196.37	243.32	254.12	263.18	261.64	269.32	264.49	241.43	225.79	195.39	187.42
Radiación solar extraterrestre (RMM)	378.20	376.60	458.80	469.50	480.50	474.00	489.80	486.70	451.50	429.35	378.00	365.80
Radiación solar (RS)	12.20	13.45	14.80	15.65	15.50	15.80	15.80	15.70	15.05	13.85	12.60	11.80
Brillo solar (S) %	47.08	48.33	50.00	52.08	53.33	54.17	53.75	52.50	50.83	49.17	47.50	46.67
Número de horas de brillo (N)	11.30	11.60	12.00	12.50	12.80	13.00	12.90	12.60	12.20	11.80	11.40	11.20
C1	0.50	0.43	0.39	0.42	0.72	1.00	0.96	0.94	1.00	1.00	1.00	0.87
C2	0.42	0.36	0.31	0.33	0.56	0.88	0.74	0.73	0.95	1.00	0.86	0.75
Humedad inicial	785.64	741.21	701.15	670.08	683.66	837.05	1035.99	955.63	946.83	1070.59	1101.27	1022.27
Humedad disponible	315.63	271.20	244.95	264.73	456.74	694.85	608.09	594.55	721.60	781.87	643.01	552.25
Humedad final	741.21	701.15	670.08	683.66	837.05	1035.99	955.63	946.83	1070.59	1101.27	1022.27	947.44
Evapotranspiración real (ETR)	44.43	40.05	44.89	51.08	89.70	128.87	122.47	117.74	121.03	115.44	90.76	74.83
Recarga hídrica potencial	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	35.17	0.00	0.00

Continuación de Apéndice 2.

Muestra	12
Clase textural	Arena limosa
Kp (pendiente)	0,15
Kv (cobertura vegetal)	0,21
Kfc (fracción que se infiltra)	0,9333
Infiltración (fc)	771,64
Coeficiente de infiltración (Ci)	1
Punto de marchitez permanente (PMP)	508,0883314
Capacidad de campo (CC)	1 190,484338
Densidad aparente (g/cm ³)	1,483469581
Profundidad de raíz	2 500
Humedad inicial	849,2863349

	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
Precipitación mensual	0.44	1.87	18.81	73.49	276.23	372.51	47.86	123.79	278.17	206.01	16.75	0.61
Retención de lluvia	0.44	1.87	5.00	8.82	33.15	44.70	5.74	14.85	33.38	24.72	5.00	0.61
Precipitación efectiva (Pi)	0.00	0.00	13.81	64.67	243.09	327.81	42.11	108.94	244.79	181.29	11.75	0.00
Escurrentía superficial	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Evapotranspiración potencial (ETP)	96.20	101.37	128.83	136.58	139.35	136.80	143.44	140.68	124.38	115.44	97.36	92.28
Temperatura media mensual (°C)	18.75	20.38	21.36	21.95	21.36	20.87	21.59	21.54	20.30	20.01	19.05	18.61
Temperatura media mensual (°F)	65.90	68.83	70.60	71.66	70.60	69.72	71.01	70.92	68.69	68.17	66.44	65.65
Radiación solar incidente (RSM)	194.63	196.37	243.32	254.12	263.18	261.64	269.32	264.49	241.43	225.79	195.39	187.42
Radiación solar extraterrestre (RMM)	378.20	376.60	458.80	469.50	480.50	474.00	489.80	486.70	451.50	429.35	378.00	365.80
Radiación solar (RS)	12.20	13.45	14.80	15.65	15.50	15.80	15.80	15.70	15.05	13.85	12.60	11.80
Brillo solar (S) %	47.08	48.33	50.00	52.08	53.33	54.17	53.75	52.50	50.83	49.17	47.50	46.67
Número de horas de brillo (N)	11.30	11.60	12.00	12.50	12.80	13.00	12.90	12.60	12.20	11.80	11.40	11.20
C1	0.50	0.43	0.39	0.42	0.70	1.00	0.93	0.91	1.00	1.00	1.00	0.88
C2	0.43	0.37	0.32	0.34	0.56	0.85	0.73	0.73	0.92	1.00	0.87	0.76
Humedad inicial	849.29	804.58	763.80	731.54	744.31	899.51	1100.53	1023.28	1016.81	1142.08	1190.48	1110.98
Humedad disponible	341.20	296.49	269.53	288.12	479.31	719.23	634.56	624.13	753.51	815.28	694.15	602.90
Humedad final	804.58	763.80	731.54	744.31	899.51	1100.53	1023.28	1016.81	1142.08	1190.48	1110.98	1034.97
Evapotranspiración real (ETR)	44.71	40.77	46.08	51.89	87.88	126.78	119.36	115.41	119.53	115.44	91.26	76.01
Recarga hídrica potencial	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	17.45	0.00	0.00

Continuación de Apéndice 2.

Muestra	13
Clase textural	Arena limosa
Kp (pendiente)	0,15
Kv (cobertura vegetal)	0,1
Kfc (fracción que se infiltra)	0,9333
Infiltración (fc)	771,64
Coefficiente de infiltración (Ci)	1
Punto de marchitez permanente (PMP)	470,0132529
Capacidad de campo (CC)	1 101,271928
Densidad aparente (g/cm ³)	1,372301468
Profundidad de raíz	2 500
Humedad inicial	785,6425905

	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
Precipitación mensual	0.44	1.87	18.81	73.49	276.23	372.51	47.86	123.79	278.17	206.01	16.75	0.61
Retención de lluvia	0.44	1.87	5.00	8.82	33.15	44.70	5.74	14.85	33.38	24.72	5.00	0.61
Precipitación efectiva (Pi)	0.00	0.00	13.81	64.67	243.09	327.81	42.11	108.94	244.79	181.29	11.75	0.00
Escurrentía superficial	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Evapotranspiración potencial (ETP)	96.20	101.37	128.83	136.58	139.35	136.80	143.44	140.68	124.38	115.44	97.36	92.28
Temperatura media mensual (°C)	18.75	20.38	21.36	21.95	21.36	20.87	21.59	21.54	20.30	20.01	19.05	18.61
Temperatura media mensual (°F)	65.90	68.83	70.60	71.66	70.60	69.72	71.01	70.92	68.69	68.17	66.44	65.65
Radiación solar incidente (RSM)	194.63	196.37	243.32	254.12	263.18	261.64	269.32	264.49	241.43	225.79	195.39	187.42
Radiación solar extraterrestre (RMM)	378.20	376.60	458.80	469.50	480.50	474.00	489.80	486.70	451.50	429.35	378.00	365.80
Radiación solar (RS)	12.20	13.45	14.80	15.65	15.50	15.80	15.80	15.70	15.05	13.85	12.60	11.80
Brillo solar (S) %	47.08	48.33	50.00	52.08	53.33	54.17	53.75	52.50	50.83	49.17	47.50	46.67
Número de horas de brillo (N)	11.30	11.60	12.00	12.50	12.80	13.00	12.90	12.60	12.20	11.80	11.40	11.20
C1	0.50	0.43	0.39	0.42	0.72	1.00	0.96	0.94	1.00	1.00	1.00	0.87
C2	0.42	0.36	0.31	0.33	0.56	0.88	0.74	0.73	0.95	1.00	0.86	0.75
Humedad inicial	785.64	741.21	701.15	670.08	683.66	837.05	1035.99	955.63	946.83	1070.59	1101.27	1022.27
Humedad disponible	315.63	271.20	244.95	264.73	456.74	694.85	608.09	594.55	721.60	781.87	643.01	552.25
Humedad final	741.21	701.15	670.08	683.66	837.05	1035.99	955.63	946.83	1070.59	1101.27	1022.27	947.44
Evapotranspiración real (ETR)	44.43	40.05	44.89	51.08	89.70	128.87	122.47	117.74	121.03	115.44	90.76	74.83
Recarga hídrica potencial	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	35.17	0.00	0.00

Continuación de Apéndice 2.

Muestra	14
Clase textural	Arena limosa
Kp (pendiente)	0,15
Kv (cobertura vegetal)	0,18
Kfc (fracción que se infiltra)	0,933321778
Infiltración (fc)	771,64
Coeficiente de infiltración (Ci)	1
Punto de marchitez permanente (PMP)	470,0132529
Capacidad de campo (CC)	792,5040979
Densidad aparente (g/cm ³)	1,372301468
Profundidad de raíz	2 500
Humedad inicial	631,2586754

	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
Precipitación mensual	0.44	1.87	18.81	73.49	276.23	372.51	47.86	123.79	278.17	206.01	16.75	0.61
Retención de lluvia	0.44	1.87	5.00	8.82	33.15	44.70	5.74	14.85	33.38	24.72	5.00	0.61
Precipitación efectiva (Pi)	0.00	0.00	13.81	64.67	243.09	327.81	42.11	108.94	244.79	181.29	11.75	0.00
Escurrentía superficial	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Evapotranspiración potencial (ETP)	96.20	101.37	128.83	136.58	139.35	136.80	143.44	140.68	124.38	115.44	97.36	92.28
Temperatura media mensual (°C)	18.75	20.38	21.36	21.95	21.36	20.87	21.59	21.54	20.30	20.01	19.05	18.61
Temperatura media mensual (°F)	65.90	68.83	70.60	71.66	70.60	69.72	71.01	70.92	68.69	68.17	66.44	65.65
Radiación solar incidente (RSM)	194.63	196.37	243.32	254.12	263.18	261.64	269.32	264.49	241.43	225.79	195.39	187.42
Radiación solar extraterrestre (RMM)	378.20	376.60	458.80	469.50	480.50	474.00	489.80	486.70	451.50	429.35	378.00	365.80
Radiación solar (RS)	12.20	13.45	14.80	15.65	15.50	15.80	15.80	15.70	15.05	13.85	12.60	11.80
Brillo solar (S) %	47.08	48.33	50.00	52.08	53.33	54.17	53.75	52.50	50.83	49.17	47.50	46.67
Número de horas de brillo (N)	11.30	11.60	12.00	12.50	12.80	13.00	12.90	12.60	12.20	11.80	11.40	11.20
C1	0.50	0.37	0.32	0.42	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.77
C2	0.35	0.26	0.19	0.24	0.60	1.00	0.69	0.66	1.00	1.00	0.73	0.55
Humedad inicial	631.26	590.33	558.46	539.58	559.44	691.11	792.50	713.71	706.08	792.50	792.50	719.82
Humedad disponible	161.25	120.32	102.26	134.23	332.51	548.91	364.60	352.64	480.85	503.78	334.25	249.81
Humedad final	590.33	558.46	539.58	559.44	691.11	792.50	713.71	706.08	792.50	792.50	719.82	658.57
Evapotranspiración real (ETR)	40.92	31.88	32.69	44.81	111.41	136.80	120.90	116.57	124.38	115.44	84.44	61.25
Recarga hídrica potencial	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	89.61	0.00	0.00	33.98	65.85	0.00	0.00

Continuación de Apéndice 2.

Muestra	15
Clase textural	Arcilla arenosa
Kp (pendiente)	0,1
Kv (cobertura vegetal)	0,21
Kfc (fracción que se infiltra)	0,636635328
Infiltración (fc)	180,63
Coefficiente de infiltración (Ci)	0,946635328
Punto de marchitez permanente (PMP)	964,2552274
Capacidad de campo (CC)	1 375,918036
Densidad aparente (g/cm ³)	1,483469581
Profundidad de raíz	2 500
Humedad inicial	1 170,086632

	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
Precipitación mensual	0.44	1.87	18.81	73.49	276.23	372.51	47.86	123.79	278.17	206.01	16.75	0.61
Retención de lluvia	0.44	1.87	5.00	8.82	33.15	44.70	5.74	14.85	33.38	24.72	5.00	0.61
Precipitación efectiva (Pi)	0.00	0.00	13.08	61.22	230.11	310.31	39.87	103.12	231.73	171.62	11.13	0.00
Escurrentía superficial	0.00	0.00	0.74	3.45	12.97	17.49	2.25	5.81	13.06	9.67	0.63	0.00
Evapotranspiración potencial (ETP)	96.20	101.37	128.83	136.58	139.35	136.80	143.44	140.68	124.38	115.44	97.36	92.28
Temperatura media mensual (°C)	18.75	20.38	21.36	21.95	21.36	20.87	21.59	21.54	20.30	20.01	19.05	18.61
Temperatura media mensual (°F)	65.90	68.83	70.60	71.66	70.60	69.72	71.01	70.92	68.69	68.17	66.44	65.65
Radiación solar incidente (RSM)	194.63	196.37	243.32	254.12	263.18	261.64	269.32	264.49	241.43	225.79	195.39	187.42
Radiación solar extraterrestre (RMM)	378.20	376.60	458.80	469.50	480.50	474.00	489.80	486.70	451.50	429.35	378.00	365.80
Radiación solar (RS)	12.20	13.45	14.80	15.65	15.50	15.80	15.80	15.70	15.05	13.85	12.60	11.80
Brillo solar (S) %	47.08	48.33	50.00	52.08	53.33	54.17	53.75	52.50	50.83	49.17	47.50	46.67
Número de horas de brillo (N)	11.30	11.60	12.00	12.50	12.80	13.00	12.90	12.60	12.20	11.80	11.40	11.20
C1	0.50	0.40	0.34	0.40	0.85	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.82
C2	0.38	0.30	0.24	0.27	0.56	1.00	0.75	0.70	1.00	1.00	0.79	0.63
Humedad inicial	1170.09	1127.61	1092.33	1068.15	1083.67	1215.49	1375.92	1290.39	1273.86	1375.92	1375.92	1299.88
Humedad disponible	205.83	163.35	141.16	165.11	349.53	561.55	451.53	429.26	541.33	583.28	422.79	335.63
Humedad final	1127.61	1092.33	1068.15	1083.67	1215.49	1375.92	1290.39	1273.86	1375.92	1375.92	1299.88	1233.08
Evapotranspiración real (ETR)	42.48	35.27	37.26	45.69	98.29	136.80	125.39	119.65	124.38	115.44	87.16	66.80
Recarga hídrica potencial	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	13.09	0.00	0.00	5.29	56.18	0.00	0.00

Fuente: elaboración propia

ANEXOS

Anexo 1: Información climática

Tabla I. Precipitaciones pluviales de las estaciones cercanas a la microcuenca del río Agua Tibia

Estación	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Sept.	Octubre	Noviembre	Diciembre
INSIVUMEH	0,0	0,2	58,9	36,3	208,4	350,7	53	153,8	298,5	222,7	3,2	1,2
San Pedro Ayampuc, Guatemala	0,0	5,5	13,5	58,6	291,7	254,2	44,8	62,2	102,5	143,3	13,4	0,0
Suiza Contenta, San Lucas Sacatepéquez	0,0	4	33,5	39,4	72,7	401,1	26,3	131,9	290,1	235,5	3,3	2,2
Amatitlán, Guatemala	0,0	0,0	23	76,1	41,2	222,7	40,4	117,1	205,9	178,8	0,0	0,0
San José Pinula, Guatemala	0,9	0,2	7,1	97,2	290,8	457,3	47,9	153,7	336,7	241,5	24	0,8
Lo de Coy, Mixco, Guatemala	0,0	0,0	56	84,1	106,5	346,2	50,6	205,3	981,3	469,3	42,2	0,0

Fuente: INSIVUMEH. *Informe de precipitaciones en estaciones climáticas 2014*. 2014.

14p.

Anexo 2: Duración máxima de diaria de horas de brillo solar para diferentes meses y latitudes

	Norte	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sept	Oct	Nov	Dic
Latitud	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

Fuente: OROZCO, E; PADILLA, T; SALGUERO, M. *Manual técnico para determinación de las áreas potenciales de recarga hídrica*. 2003. 67p.

Anexo 3: Radiación solar, mm/día

	Norte	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sept	Oct	Nov	Dic
Latitud	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	13,6	12,4	11,6

Fuente: OROZCO, E; PADILLA, T; SALGUERO, M. *Manual técnico para determinación de las áreas potenciales de recarga hídrica*. 2003. 67p.