

**UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
CENTRO UNIVERSITARIO DEL NORTE -CUNOR-
CARRERA DE AGRONOMÍA**

TRABAJO DE GRADUACIÓN



**RECARGA HÍDRICA POTENCIAL DE LA MICROCUENCA DEL RÍO
PA'CHIRAX, RABINAL, BAJA VERAPAZ**

DOROTEO CUXUM GÓMEZ

COBÁN, ALTA VERAPAZ, AGOSTO 2015

**UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
CENTRO UNIVERSITARIO DEL NORTE -CUNOR-
CARRERA DE AGRONOMÍA**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

**RECARGA HÍDRICA POTENCIAL DE LA MICROCUENCA DEL RÍO
PA'CHIRAX, RABINAL, BAJA VERAPAZ**

**PRESENTADO AL HONORABLE CONSEJO DIRECTIVO DEL
CENTRO UNIVERSITARIO DEL NORTE**

**POR
DOROTEO CUXUM GÓMEZ
CARNÉ 200441557**

**COMO REQUISITO PREVIO A OPTAR AL TÍTULO DE INGENIERO
AGRÓNOMO**

COBÁN, ALTA VERAPAZ, AGOSTO 2015

AUTORIDADES UNIVERSITARIAS

RECTOR MAGNÍFICO

Dr. Carlos Guillermo Alvarado Cerezo

CONSEJO DIRECTIVO

PRESIDENTE: Lic. Zoot. M. A. Fredy Giovani Macz Choc
SECRETARIO: Lcda. T. S. Floricelda Chiquin Yoj
REPRESENTANTE DOCENTE: Ing. Geol. César Fernando Monterroso Rey
REPRESENTANTE EGRESADOS: Ing. Agr. Julio Oswaldo Méndez Morales
REPRESENTANTES ESTUDIANTILES: Br. Fredy Enrique Gereda Milián
PEM. Cesar Oswaldo Bol Cu

COORDINADOR ACADÉMICO

Lic. Zoot. Erwin Gonzalo Eskenasy Morales

COORDINADOR DE LA CARRERA

MSc. David Salomón Fuentes Guillermo

COMISIÓN DE TRABAJOS DE GRADUACIÓN

COORDINADOR: Ing. Agr. Ángel Arce Canahuí
SECRETARIO: Ing. Agr. Edgar Armando Ruíz Cruz
VOCAL: Ing. Agr. David Salomón Fuentes Guillermo

REVISOR DE REDACCIÓN Y ESTILO

Ing. Civil MSc. Julio Enrique Reynosa Mejía

REVISOR DE TRABAJO DE GRADUACIÓN

Ing. Agr. Carlos Antonio Ordoñez Pereira

ASESOR

Ing. Agr. Ángel Arce Canahuí



Cobán, A.V., 24 de abril de 2015
Ref.: 15-A-089/2015

Señores:
Miembros de la Comisión de Trabajos de Graduación
Carrera de Agronomía
Centro Universitario del Norte –CUNOR-

Me dirijo a ustedes para informarles que he revisado el trabajo de graduación titulado **“Recarga hídrica potencial de la Microcuenca del Río Pa’chirax, Rabinal, Baja Verapaz”**, elaborado por el estudiante **T.U. Doroteo Cuxum Gómez**.

A mi criterio dicho trabajo cumple con las observaciones realizadas por la terna en la presentación oral de Seminario II, lo indicado en el acta que levantó la terna, así como las sugerencias y anotaciones que le hacen en los documentos que presentó.

En tal sentido, por este medio doy el aval al trabajo que he asesorado, para que continúe con el trámite respectivo.

Atentamente,

 **Id y enseñad a todos**

Ing. ~~Ases.~~ Ángel Arce Canahú
Asesor Principal.

c.c. archivo

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS
DE GUATEMALA



CENTRO UNIVERSITARIO
DEL NORTE —CUNOR—
Cobán Alta Verapaz
Telefax: 7951-3645 y 7952-1064
E-mail: usacoban@usac.edu.gt

Ref. 15-A-011/2015
Cobán, A.V., 12 de enero 2015

Señores Miembros
Comisión Trabajos de Graduación
Carrera Agronomía —CUNOR—

Señores:

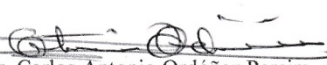
Por este medio me permito informar que el **T.U. DOROTEO CUXUM GÓMEZ**, sí incorporó a su informe final de Trabajo de Graduación las correcciones y sugerencias que se le mandaron hacer en el documento y en la presentación del Seminario II.

Con base a lo anterior, se recomienda que dicho trabajo continúe con el trámite respectivo.

Atentamente,

Id y enseñad a todos




Ing. Agr. Carlos Antonio Ordóñez Pereira
Revisor del Informe Final de Trabajos de Graduación
Carrera Agronomía

c.c. archivo



Ref. 15-A-159/2015.
15 de julio de 2015

Licenciado:
Fredy Giovanni Macz Choc
Director del CUNOR

Señor Director:

Por este medio me permito informar que después de haber sido revisado y evaluado por el Asesor, el Revisor de Informes Finales y el Revisor de Redacción y Estilo, la Comisión de Trabajos de Graduación, emite su dictamen favorable para que el trabajo de graduación de el T.U. **Doroteo Cuxum Gómez**, titulado: **“Recarga hídrica potencial de la Microcuenca del Río Pa’chirax, Rabinal, Baja Verapaz”**, siga el trámite correspondiente a efecto se autorice el Imprimase.

Atentamente,



Id y enseñad a todos

A handwritten signature in black ink, appearing to read "Angel Arce Canahui".

Ing. Agr. Angel Arce Canahui
Presidente Comisión Trabajos de Graduación
Carrera Agronomía -CUNOR-

c.c. archivo

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS
DE GUATEMALA



CENTRO UNIVERSITARIO
DEL NORTE —CUNOR—
Cobán Alta Verapaz
Telefax: 7951-3645 y 7952-1064
E-mail: usacoban@usac.edu.gt

Cobán, A.V., 13 de enero de 2015
Ref.: 15-A-12/2015

Ingeniero:
Julio Enrique Reynosa Mejía
Revisor de Redacción y Estilo
Comisión Trabajos de Graduación
Carrera de Agronomía
Centro Universitario del Norte —CUNOR—

Ingeniero Reynosa:
Saludos cordiales

Por este medio le remito el trabajo de graduación titulado **“Recarga hídrica potencial de la Microcuenca del Río Pa’chirax, Rabinal, Baja Verapaz”** elaborado por el estudiante **Doroteo Cuxum Gómez**. Para que continúe con el trámite respectivo.

Atentamente,




Id y enseñad a todos

Ing. Agr. Ángel Arte Canabui
Coordinador Comisión de Trabajos de Graduación
Carrera de Agronomía
—CUNOR—

c.c. Archivo.

HONORABLE COMITÉ EXAMINADOR

En cumplimiento de lo establecido por los estatutos de la Universidad de San Carlos de Guatemala, presento a consideración de ustedes el trabajo de graduación titulado: recarga hídrica potencial de la microcuenca del río Pa`chirax, Rabinal, Baja Verapaz, como requisito previo a optar al título profesional de Ingeniero Agrónomo.



Doroteo Cuxum Gómez
CARNÉ 200441557

RESPONSABILIDAD

“La responsabilidad del contenido de los trabajos de graduación es del estudiante que opta al título, del asesor y del revisor; la Comisión de Redacción y Estilo de cada carrera, es la responsable de la estructura y la forma”

Aprobado en punto SEGUNDO, inciso 2.4, subinciso 2.4.1 del Acta No. 17-2012 de sesión extraordinaria de Consejo Directivo de fecha 18 de julio del año 2012.

ACTO QUE DEDICO A:

MI PADRE Y MADRE

Evaristo Cuxum Tecú y Pedrina Gómez Tecú
por ser las luces que alumbran el sendero de
mi existir.

AGRADECIMIENTOS A:

DIOS

La luz de mi vida, mi fortaleza y mi guía, quien permite este grato momento.

MI FAMILIA

Por su apoyo incondicional y no dejarme rendir nunca.

CUNOR

Por abrirme sus puertas hacia el aprendizaje y convertirse en mi segunda casa, que me permitió poner en práctica lo aprendido en las aulas y brindarme la oportunidad de desempeñarme junto a personas de capacidad y cualidades excepcionales.

TABLA DE CONTENIDOS

RESUMEN	vi
INTRODUCCIÓN	1
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	3
JUSTIFICACIÓN DEL PROBLEMA	5
OBJETIVOS	7
CAPÍTULO 1	9
MARCO TEÓRICO	9
1.1 Antecedentes	9
1.2 Revisión de literatura	12
1.2.1 Ciclo hidrológico	12
1.2.2 Precipitación pluvial	13
1.2.3 Precipitación efectiva y los factores que la determinan	14
a. Intensidad de precipitación	14
b. Velocidad de infiltración del suelo	14
c. Cobertura vegetal	14
d. Transpiración	15
e. Evaporación	15
f. Evapotranspiración potencial	16
g. Evapotranspiración real	16
h. Infiltración	17

1.2.4 Capacidad de infiltración	18
a. Suelo	18
b. Acción de la precipitación sobre el suelo	19
c. Temperatura	19
1.2.5 Escorrentías	19
a. Escurrimiento superficial o escorrentía	20
b. Escurrimiento subsuperficial	20
c. Escurrimiento subterráneo	20
1.2.6 Factores que afectan al escurrimiento	20
a. Clima	21
b. Factores físicos de la cuenca	21
1.2.7 Agua subterránea	23
a. Zona de aireación	23
b. Zona de saturación	25
1.2.8 Acuífero	27
a. Acuíferos libres	27
b. Acuíferos semi-confinados	28
c. Acuíferos confinados	29
d. Acuíferos semi-libres	30
1.2.9 Recarga hídrica	30
1.2.10 Recarga por infiltración de la lluvia	31
1.2.11 Recarga por infiltración de las corrientes	32
1.2.12 Descarga subterránea	33

1.2.13 Balance hídrico del suelo	33
CAPÍTULO 2	
MARCO REFERENCIAL	35
2.1 Ubicación geográfica	35
2.2 Límites	37
2.3 Vías de acceso	37
2.4 Clima	37
2.5 Zonas de vida	38
2.6 Hidrología	38
2.7 Cuantificación de las zonas de recarga hídrica de la microcuenca del río Pa'chirax.	39
2.8 Primera fase de gabinete	39
2.8.1 Recopilación de información básica	39
2.8.2 Recopilación de información climática	40
2.8.3 Identificación y mapeo de unidades de recarga hídrica	40
2.9 Fase de campo	40
2.9.1 Pruebas de infiltración	41
2.9.2 Determinación de densidad aparente, textura y constantes de humedad del suelo	41
2.9.3 Localización y aforo de manantiales	42
2.9.4 Aforos diferenciales	42
2.10 Segunda fase de gabinete	43
2.10.1 Cálculo de la evapotranspiración potencial	43
2.10.2 Evapotranspiración real	44
2.10.3 Determinación de la precipitación efectiva	45

2.10.4 Determinación de la recarga hídrica	46
2.10.5 Determinación del balance hídrico del suelo	46
2.10.6 Elaboración del mapa de recarga hídrica	47
2.10.7 Identificación de zonas críticas en la microcuenca	47
2.10.8 Lineamientos básicos para el plan de manejo	48

CAPÍTULO 3 ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

3.1 Recarga hídrica natural de la microcuenca del río Pa'chirax	49
3.2 Unidades de mapeo	50
3.3 Información climática	53
3.4 Infiltración básica	54
3.5 Balance hídrico del suelo	59
3.6 Elaboración de mapas de recarga hídrica	60
3.7 Propuesta de plan de manejo	62
3.8 Indicadores ambientales	64
3.8.1 Precipitación promedio anual	64
3.8.2 Cobertura vegetal y uso actual del suelo	65
3.8.3 Cobertura forestal	65
3.8.4 deforestación en los últimos diez años	66
3.8.5 Incendios	66
3.8.6 Áreas protegidas	67
3.8.7 Nacimientos	67
3.9 Indicadores socioeconómicos	68

3.9.1 Comunidades y población	68
3.9.2 Características demográficas	68
3.9.3 Ingresos y pobreza	70
3.9.4 Características de las viviendas y sus servicios	72
3.9.5 Uso del agua para riego	73
3.9.6 Pérdidas por desastres	73
3.10 Indicadores políticos administrativos	74
3.10.1 Instrucciones existentes y/o que participan en el desarrollo de las comunidades	74
3.10.2 Manejo de recursos naturales	75
3.11 Lineamiento general para la propuesta del plan de manejo de la microcuenca del río pa`chirax	76
3.11.1 Problemas encontrados	76
3.11.2 Limitaciones	77
3.11.3 Objetivo general	77
3.11.4 Objetivo específico	77
3.11.5 Metas	78
3.11.6 Intervención técnica	79
a. Manejo y conservación de suelos	79
b. Conservación y cosecha de agua	80
c. Manejo agroforestal y silvopastoril	80
d. Manejo racional de plagas y plaguicidas	82
e. Producción agropecuaria	82
3.11.7 Monitoreo y evaluación	83

a. Impacto socioeconómico	83
b. Impacto ambiental	84
c. Educación ambiental	85
3.11.7 Evaluación ambiental	86
a. Prefactibilidad ambiental	86
b. Estudio de factibilidad ambiental	87
c. Evaluación de impacto ambiental	87
d. Programa de monitoreo y seguimiento ambiental	87
e. Auditorías ambientales (AA)	88
f. Evaluación sobre la marcha y expost	88
g. Matriz resumen	88
3.12 Costos del proyecto	92
CONCLUSIONES	95
RECOMENDACIONES	97
BIBLIOGRAFÍA	100
ANEXOS	104
1. Cronograma de actividades	104
2. Factores sociales analizados	105
3. Demografía del área de estudio	106
4. Hoja del cálculo de recarga hídrica por unidad de mapeo	107

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro	Página
1. Coordenadas microcuenca río Pa'chirax	35
2. Cálculo de la precipitación media por medio del método de las Isoyetas.	50
3. Unidades de mapeo de acuerdo a geología, clasificación taxonómica de suelos y vegetación en la microcuenca.	52
4. Precipitación pluvial promedio mensual en mm en el municipio de Rabinal.	53
5. Precipitación pluvial promedio mensual en mm en el municipio de Salamá.	53
6. Precipitación pluvial promedio mensual en mm en el municipio de Cubulco.	54
7. Datos de temperatura media mensual/anual (°C) de la estación Rabinal.	54
8. Valores de recarga hídrica mm/día para cada prueba de infiltración realizada en la microcuenca para el año 2 011.	55
9. Valores de la lámina de recarga hídrica y precipitación de cada unidad de mapeo, de acuerdo a la superficie total por geología y cobertura de la microcuenca 2 011.	56
10. Densidad aparente, textura y constantes de humedad.	57
11. Valores (m ³ /año) de los factores de entrada y salida del recurso hídrico dentro del sistema microcuenca para el año 2 011.	58
12. Balance hídrico de la microcuenca Pa'chirax.	59
13. Categorías de recarga hídrica, área y porcentajes de la microcuenca Pa'chirax.	62
14. Componentes del plan de manejo de la microcuenca Pa'chirax	89
15. Prácticas de conservación de suelos por hectáreas	92
16. Detalle de costos de conservación de suelos	92

17. Costos de producción de abono orgánico	93
18. Sistema agroforestal semillas	93
19. Insumos para viveros de 5 000 plantas	94
20. Costo de almacigo de especies frutales	94

LISTA DE ILUSTRACIONES

1. Localización geográfica	36
2. Isoyetas de precipitación promedio y estaciones meteorológicas	49
2. Microcuenca del río Pa'chirax y unidades de mapeo	51
3. Categorías de recarga hídrica	54
4. Erosión	56

ÍNDICE DE ESQUEMAS

1. Entidades privadas presentes en el área de estudio	90
2. Entidades públicas presentes en el área de estudio	91

RESUMEN

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

La microcuenca del río Pa'chirax es parte de la cabecera de la cuenca del río San Rafael, y es el lugar donde varias comunidades obtienen el agua para su consumo. El avance de la frontera agrícola y el consumo de leña energética sin control han sido la causa del deterioro de las zonas de recarga hídrica y amenaza el abastecimiento y calidad del agua.

El presente estudio pretende contribuir a la implementación de actividades agrícolas, pecuarias, forestales e hidrobiológicas para proteger y conservar el recurso agua; y con ello garantizan a los usuarios la sostenibilidad de sus recursos.

Mediante el uso de un sistema de información geográfica en el *software ArcGis* 10.0 se superpusieron los mapas de series de suelos, unidades geológicas y

cobertura vegetal, y se definieron doce unidades de mapeo, para cada unidad se realizaron las actividades de campo como: análisis de las características físicas del suelo, constante de humedad, pruebas de infiltración, cobertura vegetal, aforo de los principales nacimientos así como en el cauce de los ramales del río Pa'chirax. Para la fase de gabinete se realizaron los cálculos de la precipitación efectiva mediante el método propuesto por Schosinsky y Losilla y balance hídrico de suelos.

En base a la metodología aplicada, se identificó que en la microcuenca existe una recarga de 9 213 108,9 m³/año, en la totalidad de área. Las unidades definidas de muy alta recarga hídrica potencial aportan el 1,3 % del total.

Las áreas de muy alta recarga hídrica definidas en este estudio, así como las zonas susceptibles a erosión deben ser objetos de mapeo especial, para proteger, conservar o mejorar su capacidad para recargar agua al acuífero, es decir que la propuesta de plan de manejo cuenta con este objetivo en sus diferentes áreas.

Para que se logre este fin es indispensable contar con los instrumentos idóneos como las estaciones meteorológicas, personal capacitado para llevar el control de los datos climáticos, edáficos e hídricos, que son requeridos para poner en



marcha las actividades del plan de manejo para los componentes agropecuario, forestal, económico, recursos edáficos, hídricos, educativo e institucional.



INTRODUCCIÓN

El municipio de Rabinal del departamento de Baja Verapaz, cuenta con 31 168 habitantes, del total más del 50 % son del área urbana y se benefician con el servicio de agua potable que brinda la municipalidad. En los últimos años, debido al incremento de la población la demanda del recurso hídrico se ha incrementado y como consecuencia, se han explorado nuevos afloramientos hídricos por organizaciones gubernamentales y no gubernamentales, en las montañas que forman la sierra de Chuacús.

Además de la creciente demanda del recurso hídrico la población ha degradado las zonas montañosas debido al avance de la frontera agrícola, como respuesta a las necesidades de sobrevivencia de los habitantes de las comunidades.

En este estudio se planteó una metodología para determinar la recarga hídrica en la microcuenca Pa'chirax, considerada como una de las más importantes de la región, con el fin conocer el estado de las variables hidrológicas de precipitación, infiltración básica y recarga hídrica para orientar acciones de conservación del recurso agua.



La recarga hídrica según la categoría muy alta es de 230 038,7 m³/año equivalente al 1,3 % de la superficie de la microcuenca, por lo que se plantea un plan de manejo con el objeto de incorporar a los habitantes en la economía regional, a través de la implementación de proyectos productivos basados en la utilización racional de los recursos naturales que permita el fortalecimiento de la agricultura familiar para mejorar las condiciones de conservación de esta zona de recarga hídrica.

Para la formulación del plan de manejo fue necesario contar con el diagnóstico general de los centros poblados dentro de la microcuenca, se focalizaron las actividades que de una u otra manera producen presión sobre el recurso hídrico, dentro del cual se contemplaron los componentes agropecuario y forestal, económico, recursos edáficos e hídricos, educación e institucional. Cada componente cuenta con su respectivo objetivo, actividades a realizar, producto a obtener y los beneficiarios de los mismos.



PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

La microcuenca del río Pa'chirax se localiza en el municipio de Rabinal del departamento de Baja Verapaz, que abastece de agua potable a toda la población del área urbana y contradictorio a su importancia social, no cuenta con información básica relacionada al suelo, pendiente, cobertura vegetal e hidrogeología que permita planificar la protección y conservación de los recursos naturales.

Como consecuencia, se ha degradado la cobertura vegetal, que es uno de los factores importantes para la recarga hídrica.

Sin excepción alguna, las microcuencas de la región se han deteriorado paulatinamente debido a la intervención del hombre.

Existen varios factores que causan la pérdida de la cobertura, principalmente forestal, entre ellas se encuentra el avance de la frontera agrícola provocando que las zonas de vocación forestal sean utilizadas para la producción de alimentos.

Además el período lluvioso se ha reducido en los últimos años, la mayor proporción de la precipitación se convierte en escorrentía superficial lo que produce erosión en las laderas y aumenta el riesgo de deslaves. En la



época de verano, el agua es escaza para los sistemas de microrriegos por gravedad al extremo que los pobladores tienen que utilizar bombas de agua para abastecerse debido a descenso del caudal del río.

Un indicador claro del deterioro es la reducción del caudal del río, por lo cual es necesario implementar acciones tecnológicas para incrementar la recarga hídrica y para ello es indispensable identificar; ¿Cuáles son las zonas con mayor potencial de recarga hídrica en la microcuenca del río Pa'chirax del municipio de Rabinal, Baja Verapaz?



JUSTIFICACIÓN DEL PROBLEMA

El estudio de recarga hídrica consiste en determinar la proporción de la precipitación anual que se filtra hacia los mantos acuíferos, en las diferentes zonas de recarga al considerar factores como: geología, suelo, pendiente, cobertura vegetal o uso de la tierra, precipitación y humedad del suelo.

Existe un interés particular de las autoridades municipales de Rabinal y comunitarios que habitan en la microcuenca para mitigar de alguna manera el deterioro.

Los comunitarios conscientes del daño que provocan sus actividades agrícolas, consideran necesario determinar la situación actual de la cobertura vegetal de la cuenca, así como contar con la información necesaria para proteger y conservar el recurso hídrico de la región para mejorar la calidad y cantidad del mismo.

Según la Organización Mundial de la Salud (OMS), el ser humano para sobrevivir debe de consumir un promedio de 80 L/día agua para sus necesidades vitales e higiene personal. De acuerdo a lo anterior la demanda para uso doméstico es de 2 493 440 L/día pero no existe información sobre la disponibilidad hídrica, debido a la falta de información hidrogeológica de la microcuenca Pa'chirax.



El presente estudio ha determinado y delimitado las zonas con potencial hídrico para que las comunidades, autoridades municipales y organizaciones con influencia en la región busquen medios con el fin de conservarlas y protegerlas para el bien común.



OBJETIVOS

General

Determinar la recarga potencial de la microcuenca del río Pa'chirax del municipio de Rabinal, Baja Verapaz por medio de un balance hídrico

Específicos

- a) Calcular la infiltración básica del suelo en cada unidad de mapeo de la microcuenca del río Pa'chirax
- b) Identificar y delimitar las zonas de la microcuenca con alto potencial de recarga hídrica
- c) Elaborar un mapa temático de la microcuenca relacionada a zonas de recarga hídrica
- d) Elaborar una propuesta de plan de manejo de la cuenca, para las zonas críticas con el fin de proteger y conservar los recursos





CAPÍTULO 1

MARCO TEÓRICO

1.1 Antecedentes

Martínez Xutuc, realizó el estudio socioeconómico de la implementación de mini riego en las comunidades de Chixim y Pahoj de la región de Rabinal, en el cual concluye que menos del 20 % de la población en estudio, cuenta con alguna técnica de conservación del suelo.¹ Estas técnicas evitan el deterioro del suelo, mejoran la eficiencia del riego y evitan la escorrentía superficial. El estudio se realizó a una distancia de 5 km de la microcuenca del río Pa'chirax, dichas localidades presentan características topográficas similares, por lo que las conclusiones permiten visualizar la problemática de las laderas de la cuenca.

Ortega Sunuc, por medio del estudio de comparación de cuatro sistemas de captación de agua de lluvia determinó en la región de Rabinal, específicamente en la comunidad Pacux, que la precipitación es

¹Walfer W. Martínez Xutuc. *Evaluación social y económica de la implementación del proyecto de mini riego, en las comunidades de Chixim y Pahoj, Rabinal, Baja Verapaz*. Tesis Ingeniero Agrónomo. Universidad de San Carlos de Guatemala. Guatemala: Facultad de Agronomía, 2005., 102.



de 1 077,47 mm, tiene un total de 118 días de lluvia, de junio a octubre los últimos dos más lluviosos. Además indica que la escasez de agua como corriente superficial imposibilita la producción agrícola en la época de verano.² En este estudio se enfatizan los efectos negativos sobre la agricultura causada por la falta del recurso hídrico proveniente de la precipitación o de los pozos artesanales en la región.

Maldonado Ramos, determinó que el uso de datos anuales para determinar el balance hídrico en una cuenca no es recomendable en vista que los resultados que se obtendrán serán menores en comparación si se utilizan datos mensuales y lo ideal según sus resultados es utilizar datos diarios si están disponibles para evitar datos erróneos en la estimación.³

Hernández Sandoval durante su ejercicio profesional supervisado en los municipios de Patzicia y Zaragoza de Chimaltenango, se enfocó en el estudio socioeconómico de las zonas de recarga hídrica y concluye que uno de los problemas para el manejo de los recursos hídricos es la falta de recursos económicos para pagar el servicio, especialmente en las zonas rurales. Aunque la población tenga la voluntad de pagar por el

²Maria J. Ortega Sunuc. *Comparación de aspectos técnicos y socioeconómicos de cuatro sistemas de captación de agua de lluvia, en el municipio de Rabinal, Baja Verapaz.* Ejercicio Profesional Supervisado. Ingeniero Agrónomo. Universidad de San Carlos de Guatemala. Guatemala: Facultad de Agronomía, 2 007., 38.

³Brayne R. Maldonado Ramos. 2004. *Determinación de la recarga hídrica y propuesta de lineamientos de protección de los recursos naturales, aldea Chojzunil, Santa Eulalia, Huhuetenango.* Tesis Ingeniero Agrónomo. Universidad de San Carlos de Guatemala. Guatemala: Facultad de Agronomía, 2 004.



servicio que obtiene, no cuentan con un ingreso mensual estable debido a su actividad económica que se basa en la agricultura.⁴

Avalos Cambranes, posterior a los cálculos de recarga hídrica y balance a través del análisis de las entradas y salidas del sistema cuenca, determinó que la recarga hídrica potencial es del 24,43 % de la precipitación en la cuenca del río Beleje'ya del municipio de Granados, Baja Verapaz. Además indica que al conservar la zona boscosa se podrá satisfacer las necesidades básicas del 50 % de la población.⁵

Vásquez Rivas en el estudio de recarga hídrica que realizó en Sábana Grande concluye y recomienda utilizar el índice de infiltración para calcular la lluvia efectiva así como la recarga hídrica.⁶

Manzo Barrientos posterior a un estudio hidrológico de la subcuenca del río Pínula plantea lineamientos para el manejo y conservación del sistema; además recomienda utilizarlo para acciones

⁴Betzy E. Hernandez Sandoval. *Conservación de las zonas de recarga hídrica de la Montaña El Socó, en los municipios de Patzicia y Zaragoza, departamento de Chimaltenango*. Ejercicio Profesional Supervisado. Ingeniero Agrónomo. Universidad de San Carlos de Guatemala. Guatemala: Facultad de Agronomía, 2 008.

⁵Oscar A. Avalos Cambranes. *Determinación de las áreas principales de recarga hídrica natural dela subcuenca río Belejeya del municipio de Granados, Baja Verapaz*. Tesis Ingeniero Agrónomo. Universidad de San Carlos de Guatemala. Guatemala: Facultad de Agronomía 2 008.

⁶Obdulio E. Vasquez Rivas. *Estudio del recurso hídrico de la finca sabana grande y determinación de la recarga hídrica vertical de la microcuenca del río Cantil, aldea El Rodeo, Escuintla*. Tesis Ingeniero Agrónomo. Universidad de San Carlos de Guatemala. Guatemala: Facultad de Agronomía, 2 006.



técnicas, científicas y políticas que permitan garantizar la sostenibilidad y sustentabilidad.⁷

El Fondo Mundial para la Naturaleza (*WWF*) y la cooperativa americana de remesa al exterior (*CARE*) (organizaciones internacionales) de forma conjunta llevaron a cabo la primera fase del proyecto “Compensación Equitativa por Servicios Hidrológicos”, con el fin de implementar una metodología para retribuir a la población que habita en la zona de recarga, por la protección y conservación sostenible de los recursos naturales. Para dicho proyecto se realizaron estudios hidrológicos enfocados en los siguientes factores: recarga de acuíferos, regulación de corrientes superficiales, protección de cuencas hidrográficas, mejoramiento de calidad de agua y producción de agua.

1.2 Revisión de literatura

1.2.1 Ciclo hidrológico

Es el movimiento cíclico natural que el agua tiene en toda la tierra y su atmósfera. La evaporación que se da desde el mar hasta la atmósfera es transportada hacia los continentes a través de masas móviles de aire que bajo condiciones adecuadas se condensan y forman nubes que pueden

⁷Daniel E. Manzo Barrientos. *Reconocimiento hidrogeológico para la determinación de zonas de recarga hídrica en la subcuenca del río Pinula, Jurisdicción de Santa Catarina Pinula, Guatemala*. Tesis Ingeniero Agrónomo. Universidad de San Carlos de Guatemala. Guatemala; Facultad de Agronomía, 2 008.



transformarse en precipitación pluvial regresando el agua a la tierra y a los mismos océanos.

1.2.2 Precipitación pluvial

Es el volumen de agua que proviene de la atmósfera, posterior a su condensación. En el río Pa'chirax parte de la lámina de agua drena en las laderas de la cuenca hasta llegar a los afluentes, este factor climático es considerada como la entrada principal del recurso hídrico al sistema microcuenca.

Para medir la precipitación se utiliza el pluviómetro o el pluviógrafo que la expresa en mm o mm/m². Según el mecanismo que origina las precipitaciones, existen tres tipos, convectiva, frontal o ciclónica y orográfica o lluvia de relieve.⁸

Para determinar la recarga hídrica los aspectos que se consideran de la precipitación son: duración, intensidad y frecuencia.

⁸ Ibid.



1.2.3 Precipitación efectiva y los factores que la determinan

Se define como la fracción de la precipitación pluvial que puede infiltrarse en el suelo y estar disponible en la zona radicular de la vegetación.

a. Intensidad de precipitación

Volumen de precipitación pluvial total, descargada en intervalos de tiempo.

b. Velocidad de infiltración del suelo

La velocidad de infiltración del suelo está en función de las características físicas del suelo (textura, estructura, compactación) y la humedad del suelo, pues a mayor humedad en el suelo menor será la lámina de infiltración.

c. Cobertura vegetal

Se considera como cobertura vegetal a toda vegetación presente en la superficie de la cuenca que funciona como barrera para el escurrimiento superficial por lo cual retrasa el contacto entre el agua y el suelo y por consiguiente aumenta la capacidad de infiltración,



hasta llegar a su límite, cuando la zona radicular se satura.

d. Transpiración

La transpiración es el proceso mediante el cual las raíces de la planta toman el agua del suelo por ósmosis, ésta asciende por el tronco hasta llegar por las ramas a las hojas, donde se pone en contacto con la atmósfera.

La superficie de evaporación es muy superior a la superficie aparente de la hoja, porque se produce no sólo desde la superficie sino también desde el interior de las hojas, es decir, a través de los poros el aire alcanza la masa vegetal interior contribuyendo así a la evaporación.

e. Evaporación

Es la transformación de agua en su estado líquido a estado gaseoso desde cualquier superficie donde se encuentre.

La precipitación se distribuye en diferentes superficies al hacer contacto, una parte es retenida por la cobertura vegetal, otra parte llega al suelo donde se



produce evaporación con variaciones del grado de humedad; una vez saturado el suelo, el agua corre por la superficie y también desde ésta se produce evaporación. Por último, una parte alcanza los cauces y entonces se tendrá evaporación desde superficies líquidas continuas, es decir, mares, lagos y ríos.

f. Evapotranspiración potencial

Según Thornthwite la evapotranspiración potencial es la cantidad máxima posible de agua que perdería el suelo por evaporación y transpiración, asumiendo que esté saturado.⁹

g. Evapotranspiración real

Generalmente la evapotranspiración real será menor que la evapotranspiración potencial.

La evaporación se mide por el espesor de la capa de agua evaporada expresada en mm y suele tomarse como referencia el intervalo entre dos observaciones consecutivas.

⁹Isaac R. Herrera Ibañez. *Manual de hidrología*. Universidad de San Carlos de Guatemala. Guatemala: Facultad de Agronomía. 1995., 223



h. Infiltración

La infiltración es el movimiento del agua de la superficie hacia el interior del suelo. Lynsley menciona que existe una diferencia con la percolación, que es el movimiento del agua dentro del suelo, los dos fenómenos están relacionados íntimamente, puesto que la infiltración no puede continuar libremente sino cuando la percolación ha removido el agua de las capas superiores del suelo.¹⁰

En el proceso de infiltración se pueden distinguir tres fases:

Intercambio. Se presenta en la parte superior del suelo, donde el agua puede retornar a la atmósfera por medio de la evaporación debido al movimiento capilar o por medio de la transpiración de las plantas.¹¹

Transmisión. Ocurre cuando la acción de la gravedad supera a la de la capilaridad y obliga al agua a deslizarse verticalmente hasta encontrar una capa impermeable.¹²

¹⁰Ibid.

¹¹Laura E. Maderey Rascón. *Principios de hidrología, Estudio del ciclo hidrológico*. Universidad Nacional Autónoma de México: Instituto de Geografía, 2 005.

¹²Ibid.



Circulación. Se presenta cuando el agua se acumula en el subsuelo debido a la presencia de una capa impermeable y empieza a circular por la acción de la gravedad, obedeciendo las leyes del escurrimiento subterráneo.¹³

1.2.4 Capacidad de infiltración

En edafología es la cantidad máxima de agua que un suelo puede absorber por unidad de superficie horizontal por unidad de tiempo. La dimensional de medida está dada en volumen/tiempo.¹⁴

La capacidad de infiltración está directamente relacionada a los siguientes factores:

a. Suelo

Los factores del suelo que están relacionados con la infiltración son la porosidad, el tamaño de las partículas y el estado de fisuramiento del suelo. Cuando se tiene mayor porosidad, tamaño pequeño

¹³ Ibid.

¹⁴ Isaac R. Herrera Ibañez. *Manual de hidrología*. Universidad de San Carlos de Guatemala. Guatemala: Facultad de Agronomía. 1995., 223



de partículas y roca fisurada, mayor es la capacidad de infiltración.¹⁵

b. Acción de la precipitación sobre el suelo

El agua de lluvia al chocar con el suelo facilita la compactación de su superficie disminuyendo la capacidad de infiltración. La intensidad de esta acción varía con la granulometría de los suelos, y la presencia de vegetación la atenúa o elimina.¹⁶

c. Temperatura

Las temperaturas bajas dificultan la infiltración.

1.2.5 Escorrentías

El escurrimiento es la parte de la precipitación que aparece en las corrientes fluviales superficiales, perennes, intermitentes o efímeras, y que regresa al mar o a los cuerpos de agua interiores.

¹⁵Laura E. Maderey Rascón. *Principios de hidrología, Estudio del ciclo hidrológico*. Universidad Nacional Autónoma de México: Instituto de Geografía, 2 005.

¹⁶Ibid.



a. Escurrimiento superficial o escorrentía

Es la parte del agua de lluvia que escurre sobre el suelo y después por los cauces de los ríos.

b. Escurrimiento subsuperficial

Parte del agua que se desliza a través de los horizontes superiores del suelo hacia las corrientes. Una parte de este tipo de escurrimiento entra rápidamente a formar parte de las corrientes superficiales y a la otra le toma bastante tiempo el unirse a ellas.

c. Escurrimiento subterráneo

Es el agua infiltrada en el suelo, por medio del proceso de percolación llega a mantos subterráneos, por lo general se descarga a las corrientes fluviales.

1.2.6 Factores que afectan al escurrimiento

Los factores que afectan al escurrimiento se refieren a las características del terreno (cuencas hidrográficas), y se dividen en dos grandes grupos: los climáticos y los relacionados con la fisiografía.



a. Clima

La precipitación es el elemento climático de mayor importancia para el escurrimiento superficial, debido a que depende de ella. Interesan varios aspectos de este elemento para el conocimiento del escurrimiento, tales como: intensidad, duración, distribución sobre la superficie de la cuenca y dirección.¹⁷

Además de la precipitación existen otros elementos que se deben tomar en cuenta, pues aunque indirectamente, también afectan al escurrimiento; entre ellos la temperatura, el viento, la presión y la humedad relativa.¹⁸

b. Factores físicos de la cuenca

Consiste en la forma y características del terreno, así como los canales que forman el sistema fluvial.

Factores morfométricos. Son aquellas particularidades de las formas del espacio superficial de

¹⁷Ibid

¹⁸Huvert Henricus G. Savanije. *Hidrología para ingenieros. Curso nacional de drenaje agrícola y control de inundaciones a nivel de postgrado*. Universidad de San Carlos. Guatemala: Facultad de Agronomía. (1, 1 995), 75.



la cuenca que influyen en el movimiento de la precipitación pluvial.

Superficie: La superficie de las cuencas hidrográficas está limitada por la divisoria topográfica o parteaguas que determina el área de la cual se deriva el escurrimiento superficial.

La microcuenca se comporta de manera distinta a las cuencas grandes en lo que se refiere al escurrimiento. No existe una extensión definida para diferenciar a las cuencas pequeñas de las grandes, sin embargo, hay ciertas características que distinguen a unas de otras.

Las cuencas pequeñas son más sensibles a las modificaciones del suelo y a las precipitaciones de gran intensidad, que abarcan zonas de poca extensión. En las cuencas grandes es muy importante el efecto de almacenamiento en los cauces de las corrientes.¹⁹

¹⁹Laura E. Maderey Rascón. *Principios de hidrología, Estudio del ciclo hidrológico*. Universidad Nacional Autónoma de México: Instituto de Geografía, 2005.



Forma: Generalmente los volúmenes escurridos en cuencas alargadas son más uniformes a lo largo del tiempo, en cambio, en cuencas compactas el agua tarda menos en llegar a la salida, en donde se concentra en un tiempo relativamente corto.

1.2.7 Agua subterránea

El agua subterránea se encuentra dentro de la litosfera. Estudiada y analizada por la hidrogeología, enfocada específicamente a las aguas subterráneas.

En condiciones normales, la distribución de agua en el subsuelo ha sido dividida en dos zonas: la de aireación, también conocida como zona vadosa o no saturada y la de saturación.²⁰

a. Zona de aireación

La zona de aireación comprende a su vez tres franjas: la del agua del suelo, la intermedia y la capilar.²¹

Y en la franja del agua del suelo se encuentran tres tipos de agua:

²⁰Laura E. Maderey Rascón. *Principios de hidrología, Estudio del ciclo hidrológico*. Universidad Nacional Autónoma de México: Instituto de Geografía, 2 005.

²¹ Ibid.



Agua higroscópica: es la que el suelo absorbe y pasa a formar películas muy delgadas alrededor de las partículas que lo forman.

Agua capilar: es la que existe en los intersticios del suelo debido a fenómenos de capilaridad. Esta es el agua que aprovechan muchas plantas para satisfacer sus necesidades.

Agua libre o de gravedad: es la que se mueve bajo la influencia de la gravedad.

En la franja intermedia el espesor varía desde cero hasta varios metros; es la que comunica a la franja del agua del suelo con la capilar. El agua aquí existente se debe a fuerzas higroscópicas, capilares y de gravedad.²²

La franja capilar es una capa humedecida por el agua que asciende de la zona de saturación debido a fenómenos capilares.

²² Ibid.



Al agua contenida en la zona de aireación se le conoce con el nombre de agua suspendida, ésta es el agua vadosa, es decir, agua infiltrada que se dirige hacia el manto freático.

b. Zona de saturación

En la zona de saturación se encuentra el agua subterránea propiamente dicha. En esta región el movimiento del agua es más lento debido a que todos los poros e intersticios se encuentran ocupados por ella, y es de aquí de donde se extrae el agua para los diversos usos que le da el hombre.²³

La capa saturada es el manto freático, y la parte superior de ésta, es decir, el límite de la zona libre del agua que ocupa esta región, es la *superficie freática* que, por lo general, sigue débilmente las ondulaciones del terreno. Al agua que llega a esta zona se le llama *agua freática*.

²³Laura E. Maderey Rascón. *Principios de hidrología, Estudio del ciclo hidrológico*. Universidad Nacional Autónoma de México: Instituto de Geografía, 2 005.



La parte inferior de la zona de saturación está compuesta por una capa impermeable, la cual impide que el agua siga descendiendo.

Puede suceder que haya otras zonas de saturación de menor extensión sobre la principal, en cuyo caso se les llama *zonas de saturación colgadas*.

El agua se mueve hacia el manto freático por *filtración*, una vez en él, el movimiento lento que adquiere al llegar a la zona de saturación se llama *percolación*.

El movimiento del agua subterránea está controlado por tres fuerzas principales, la de gravedad, la de atracción molecular y la de diferencias de densidad, producto de variaciones importantes de temperatura que existen al interior del subsuelo, interviniendo de manera especial la estructura de las formaciones geológicas.²⁴

²⁴Laura E. Maderey Rascón. *Principios de hidrología, Estudio del ciclo hidrológico*. Universidad Nacional Autónoma de México: Instituto de Geografía, 2 005.



1.2.8 Acuífero

Es una unidad geológica saturada capaz de suministrar agua a pozos y manantiales, los que a su vez sirven de fuentes de abastecimiento. Para que un acuífero sea funcional, sus poros o intersticios deben de estar llenos de agua y ser lo suficientemente grandes como para que permitan que el agua se desplace hacia los pozos y manantiales con un caudal apreciable.²⁵

a. Acuíferos libres

Capas permeables parcialmente saturadas de agua y situadas sobre una capa relativamente impermeable, su límite superior está formado por una superficie libre de agua o de nivel freático, a una presión igual a la atmósfera. El nivel del agua en un pozo que se haya penetrado en un acuífero libre no está, en general, por encima del nivel freático. En acuíferos de material granular fino o medio, el drenaje por gravedad de los poros no es instantáneo, de aquí que después de un bombeo, el nivel freático tarda en estabilizarse, cuando

²⁵ Ibid.



esto sucede los acuíferos se llaman libres con rendimiento retardado.²⁶

b. Acuíferos semi-confinados

Son de este tipo los acuíferos que están totalmente saturados de agua, y en su límite inferior hay una capa impermeable o semipermeable, y en su límite superior una capa semipermeable (acuitardo). Una capa es semipermeable cuando la permeabilidad es baja, pero aún medible.²⁷

Para detectar el movimiento principalmente vertical de este tipo de acuíferos, es necesario instalar un piezómetro tanto en el acuífero como en la capa semipermeable superior, y a veces también en la inferior. Debido a que los acuíferos semiconfinados se encuentran a una profundidad mayor que la de los acuíferos normales, en este caso el nivel piezométrico es superior al que tiene el agua dentro del acuífero libre, ya que se encuentra a mayor presión que la atmosférica,

²⁶Julio J.Taracena Hernández. *Determinación de la disponibilidad del recurso hídrico subterráneo y propuestas de políticas y estrategias de uso en la cuenca del río Itzapa del departamento de Chimaltenango*. Tesis Ingeniero Agrónomo. Universidad de San Carlos. Guatemala: Facultad de Agonomía. 1 999, 103.

²⁷ Ibid.



y en general, el descenso del nivel del agua en la capa semipermeable es muy pequeño en comparación con el descenso del nivel piezométrico del acuífero.²⁸

c. Acuíferos confinados

Un acuífero confinado es el que está totalmente saturado de agua y sus límites superiores e inferiores son capas relativamente impermeables. En general, son poco comunes y en ellos la presión del agua suele ser mayor que la atmosférica, así como el nivel del agua en los pozos de observación es más alta que el nivel del límite superior del acuífero. Al agua que contienen estos acuíferos se les llama confinada o artesiana. Si al perforar un pozo en un acuífero de este tipo, el agua supera el nivel de la superficie del terreno, entonces el pozo es surgente.²⁹

El acuífero confinado es el que se encuentra a mayor profundidad y la diferencia entre los acuíferos freáticos de los acuíferos confinados, es que el acuífero freático es el primer acuífero que se encuentra debajo de la superficie terrestre y recibe todos los desechos tóxicos

²⁸ Ibid.

²⁹ Ibid.



y aguas contaminadas, por lo que su uso no es recomendable.³⁰

d. Acuíferos semi-libres

Se presentan cuando la conductividad hidráulica de la capa de material granular fino en un acuífero semiconfinado es tan grande que la componente horizontal del flujo no puede despreciarse (como se hace en semiconfinados), entonces, el acuífero está situado entre los semilibres y los semiconfinados.³¹

1.2.9 Recarga hídrica

Proceso por medio del cual se obtiene un incremento de agua hasta la zona de saturación, donde se encuentra el nivel de las aguas subterráneas, es decir, es la cantidad de agua adicionada (recarga artificial) o absorbida (recarga natural) en un acuífero. Además, puede ser directa (infiltración de la lluvia) y lateral (aporte de otras áreas o cuencas).³²

Los principales procesos de transferencia del ciclo hidrológico de una cuenca son: precipitación pluvial, infiltración,

³⁰Ibid.

³¹Ibid.

³²Isaac R. Herrera Ibañez. *Manual de hidrología*. Guatemala. Guatemala: Facultad de Agronomía. 1995., 223

evapotranspiración y escorrentía superficial. Estos son los elementos importantes en la estimación del balance hídrico de toda la cuenca (sin aporte de otras cuencas) para cuantificar la recarga al acuífero.³³

1.2.10 Recarga por infiltración de la lluvia

Las recargas de agua en la zona de saturación proveniente de fuentes superficiales, comprenden tres pasos: penetración del agua en la superficie del suelo, movimiento descendente del agua a través de los materiales comprendidos en la zona de aireación y emigración de parte del agua al manto freático, aumentando así las reservas subterráneas³⁴

La infiltración se produce debido a la acción combinada de las fuerzas de gravedad y atracción molecular. La atracción molecular se expresa como un gradiente de potencia en aquellos lugares donde la humedad del suelo no está en equilibrio. Una vez que la zona de los suelos ha recibido agua a toda su capacidad, toda el agua adicional desciende por gravedad, ya sea directamente hasta el manto freático o a la zona intermedia. En virtud de que la zona intermedia no es afectada por el fenómeno de la evaporación o absorción de las

³³ Ibid.

³⁴ Ibid.



raíces de las plantas, normalmente retiene mucha agua, no obstante a esto, la mayor parte del agua tiende a moverse hacia abajo en respuesta a la fuerza de gravedad.³⁵

1.2.11 Recarga por infiltración de las corrientes

En general, las corrientes se pueden clasificar en incurrentes o influentes y excurrentes o efluentes, influentes si aportan agua al acuífero, si escurren encima del nivel freático aumentando su caudal de agua y excurrentes si escurren en un nivel inferior que el nivel freático, en cuyo caso el acuífero aporta agua a la corriente.³⁶

La recarga se debe principalmente a la penetración en el subsuelo de la lluvia, sin embargo, si la lluvia cae más rápidamente que la infiltración, el agua correrá sobre la superficie formando la escorrentía superficial.³⁷

³⁵ Isaac R. Herrera Ibañez. *Manual de hidrología*. Universidad de San Carlos de Guatemala. Guatemala: Facultad de Agronomía. 1995., 223

³⁶ Ibid.

³⁷ Ibid.



1.2.12 Descarga subterránea

Es el agua liberada de la zona de saturación, es decir, es la salida natural del agua subterránea proveniente de un acuífero, que generalmente define un manantial.³⁸

1.2.13 Balance hídrico del suelo

El balance hídrico del suelo es un dato que se determina con fines agrícolas con el fin de establecer la evapotranspiración real de los cultivos y el déficit agrícola de los suelos. Al final se obtienen resultados que indican la necesidad de riego para suplir los requerimientos hídricos de determinado cultivo o la necesidad de drenar el área para establecer el cultivo deseado.³⁹

En general, el sistema hidrológico en que se basa el establecimiento de este balance incluye sólo la capa de profundidad efectiva, siendo esta última la región cultivada. El sistema considerado se compone del almacenamiento de humedad del suelo y de los procesos de infiltración, evaporación directa de la humedad del suelo, transpiración por las plantas, percolación y flujo subsuperficial afluyente y

³⁸Ibid.

³⁹Juan Tuñón Colom. *Determinación experimental del balance hídrico del suelo y evaluación de la contaminación asociada a las prácticas agrícolas*. Universitat Jaume I España, Departamento de Ciencias Experimentales, Castellon de la Plata, España, 2 000, 364.



efluente. Este resultado se obtiene al aislar el almacenamiento de humedad del suelo.⁴⁰

⁴⁰ Ibid.



CAPÍTULO 2

MARCO REFERENCIAL

2.1 Ubicación geográfica

La microcuenca del río Pa'chirax se localiza al sureste de la cabecera municipal de Rabinal, Baja Verapaz, a 7 km en la ruta que conduce de Rabinal al municipio de El Chol del mismo departamento, tiene una extensión territorial de 18,8 km².

El área de estudio se encuentra ubicada entre las coordenadas que aparecen en el cuadro siguiente.

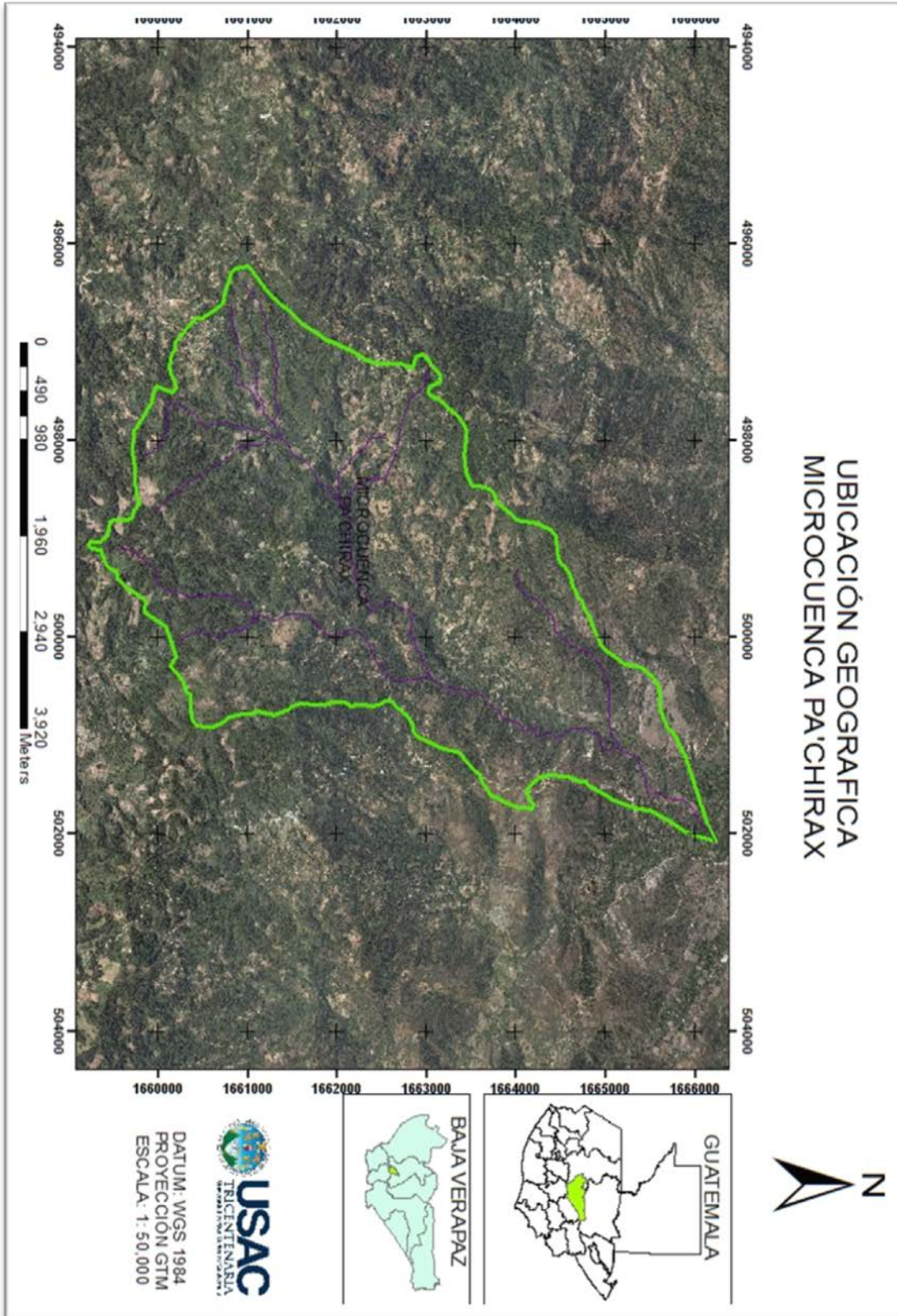
CUADRO 1
COORDENADAS MICROCUENCA RÍO PA'CHIRAX

Latitud	Geográfica	GTM
Norte	15°04'26"	1 666 365
Norte	15°00'42"	1 659 242
Oeste	90°32'24"	496 193
Oeste	90°28'47"	502 433

Fuente: Investigación de campo 2013

Las altitudes van desde 970 msnm que es la parte baja de la microcuenca a 2 131 msnm en la cima.





2.2 Límites

Dentro del área de estudio se localizan las comunidades Xesiguan, Concul, Chixim, San Rafael, Pachirax y Las Delicias. Las cuales colindan con las comunidades Plan de las Tunas, Chipuerta, Plan de Sánchez, Tres Cruces, Conculito, Rancho Bejuco, Paoj, Piedra de Cal, Chisaljá y Guachipilín. La superficie de la microcuenca es de 19,9 km².

2.3 Vías de acceso

Las carreteras que conducen a la microcuenca son dos, la primera es la que conduce de Rabinal al municipio de El Chol, en dicha carretera se recorren 7 km para llegar a la microcuenca, la cual es de terracería en buenas condiciones y la segunda es la que de Rabinal conduce a la comunidad de San Rafael, en la cual se recorren 4 km para llegar a las orillas del río Pa'chirax.

2.4 Clima

La mayor parte del territorio de la microcuenca se eleva sobre la sierra de Chuacús hasta los 2 131 msnm por lo que el clima de la parte montañosa se considera templado, va de ligeramente frío con humedad subtropical, hasta muy frío y húmedo, con una temperatura media anual de 21 °C a 22 °C. La lluvia media anual varía entre 850 mm a 1 250 mm, se distribuye entre los meses de mayo a finales de



octubre, con una canícula en el mes de agosto, que se puede prolongar hasta 32 días. El mes más lluvioso es septiembre, aunque en algunas ocasiones cubre los primeros días de octubre.⁴¹

2.5 Zonas de vida

De acuerdo a la clasificación de zonas de vida basado en el sistema Holdridge, el valle de Rabinal se localiza en la zona de vida, Bosque Sub-tropical húmedo, específicamente en la parte media de la sierra Chuacús donde se encuentra la microcuenca del río Pa'chirax.⁴²

2.6 Hidrología

La microcuenca del río Pa'chirax es vertiente del río San Rafael, la cual forma parte de la cuenca del río Chixoy que desemboca en el golfo de México.

⁴¹Municipalidad de Rabinal. *Diagnóstico Municipal de Rabinal, Baja Verapaz. Rabinal, Baja Verapaz*. Universidad de San Carlos de Guatemala. Guatemala: Facultad de ciencias económicas, 2 003, 55.

⁴²Jorge René Cruz S. *Clasificación de las zonas de vida de Guatemala, a nivel de reconocimiento*. Guatemala: Instituto Nacional Forestal 1973, 83.



2.7 Cuantificación de las zonas de recarga hídrica de la microcuenca del río Pa'chirax

Para calcular la recarga hídrica natural se desarrolló la siguiente metodología tanto de campo como de gabinete para obtener la información sobre la recarga de la microcuenca.

2.8 Primera fase de gabinete

2.8.1 Recopilación de información básica

Se recopilaron y analizaron todas las tesis, estudios técnicos y caracterizaciones relacionadas con recarga hídrica, así como la base de datos de organizaciones gubernamentales y no gubernamentales en la zona de estudio. Además, archivos digitales de las hojas cartográficas de Salamá y Cubulco, dentro de las cuales se ubica la microcuenca del río Pa'chirax.

Se adquirieron las ortofotos número 20612_20, 20612_25, 21613_16 y 21613_21, para realizar el mapa de cobertura vegetal. Además se consultaron bases de datos geológicos, serie de suelos, zonas de vida y cuencas, elaboradas por el Ministerio de Agricultura, Ganadería y Alimentación (MAGA).



2.8.2 Recopilación de información climática

En base a los datos del MAGA se ubicaron las estaciones meteorológicas de la municipalidad de Rabinal, Cubulco y Salamá, que son las más cercanas a la microcuenca. Por medio de trazado de las isoyetas en el *software ArcGis 9.3*, se ubicaron las curvas 900 mm, 1 000 mm y 1 200 mm que son las que sobrepasan la orografía de la superficie en estudio. A partir de esta información se obtuvo la precipitación mensual promedio.

2.8.3 Identificación y mapeo de unidades de recarga hídrica

Se generaron mediante la sobre posición de mapas en el *software ArcGis 9.3*, en la cual se cargaron los polígonos y base de datos de geología, serie de suelo y cobertura vegetal del MAGA, de las cuales se obtuvieron las unidades.

2.9 Fase de campo

Consistió específicamente en la recopilación de datos físicos (pendiente de laderas, pendiente del cauce principal, muestreo de suelos, vegetación y caudal del río), de la microcuenca para generar la información necesaria en la determinación de la recarga hídrica.



2.9.1 Pruebas de infiltración

Se realizaron en las unidades de mapeo que se obtuvo en la primera fase de gabinete, el método que se utilizó es el de Porchet debido a su fácil aplicación y la fiabilidad del resultado. Este consiste en la excavación de un agujero de radio "R" de una altura conocida "h", para la cual se midieron los cambios "h" en cambio de tiempo muy pequeño (dt). Para determinar la capacidad de infiltración (Fc), se utilizó la siguiente ecuación:

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

Donde:

t₁: tiempo inicial de la infiltración

t₂: tiempo "x" posterior a t₁

h₁: altura inicial

h₂: altura de agua para t₂

2.9.2 Determinación de densidad aparente, textura y constante humedad del suelo

Para determinar la densidad aparente se aplicó el método de barreno o cilindro volumétrico, la textura con el método de Bouyoucos, capacidad de campo y punto de marchitez permanente con el método de texturas. El muestreo se realizó en cada unidad de mapeo, posteriormente se analizaron en el laboratorio de suelos de la carrera de Agronomía del CUNOR.



2.9.3 Localización y aforo de manantiales

La localización se realizó mediante el uso de un Sistema de Posicionamiento Global (GPS) y las hojas cartográficas de Salamá y Cubulco, para obtener las coordenadas de localización de los nacimientos. El aforo de los manantiales se realizó mediante método sección-velocidad para medir el potencial de agua subterránea, que drena la microcuenca.

2.9.4 Aforos diferenciales

Cada ramal del río fue aforado, midiendo las profundidades y anchos, para las cuales se determinó la velocidad ((v_1 , v_2), a 20 % y 80 % de cada profundidad para obtener la velocidad media. Conforme se avanzó con las mediciones, se determinó la velocidad media de las secciones

$$\left(\frac{s_1+s_2}{2}, \frac{s_2+s_3}{2}, \dots \right)$$

Definida la velocidad promedio de las secciones, se obtuvo el producto por el área con la siguiente ecuación:

$$Q = \text{Área} \times \text{Velocidad media, en m}^3/\text{s o L/s}$$

$$\text{Así: } \text{Área} = b * h$$

b: base del canal

h: tirante de agua



2.10 Segunda fase de gabinete

2.10.1 Cálculo de la evapotranspiración potencial

Basándose en el método propuesto por Hargreaves, el cual requiere datos de temperaturas medias, humedad relativa mensual, brillo solar incidente y radiación solar. Para determinar la evapotranspiración potencial, se utilizó la información de la estación meteorológica de Rabinal, Salamá y Cubulco, Baja Verapaz.

$$ETP = 0,0075 * TMF * RSM$$

Dónde:

ETP: Evapotranspiración potencial (*mm/mes*)

TMF: Temperatura media mensual en grados Fahrenheit (°F)

RSM: Radiación solar incidente mensual

$$RSM = 0,075 * RMM * S^{1/2}$$

RMM: radiación mensual extraterrestre en mm/mes

S: brillo medio mensual en (%)

$$RMM = RS * total\ de\ días\ del\ mes$$

Donde:

RS: radiación solar

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

Ks: constante 12,5

HR: Humedad relativa en %



2.10.2 Evapotranspiración real

Se utilizó el método de variación lineal de la evapotranspiración real, el cual asume que la evapotranspiración real equivale a la evapotranspiración potencial, pero tomando en cuenta los factores del suelo, es decir la capacidad de campo y el punto de marchites.

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

Donde:

ETR: evaporación real

ETP: evapotranspiración potencial

C_1 y C_2 se obtiene a partir de las siguientes ecuaciones:

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

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

Donde:

Hi: humedad inicial del suelo

PMP: punto de marchitez permanente

CC: capacidad de campo

PI: precipitación infiltrada

ETP: Evapotranspiración potencial

Es de mucha importancia tomar en cuenta lo siguiente:

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

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

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

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



2.10.3 Determinación de la precipitación efectiva

La precipitación efectiva está directamente relacionada con los coeficientes de infiltración del suelo; debido a que se utilizó los factores que determinan la infiltración como la pendiente y cobertura vegetal según el método que describe Schosinsky y Losilla (2 000).⁴³

$$P_{ef} = P * R * K_{fc}$$

Donde:

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

P : Precipitación mensual.

R : – Valor de retención (para bosques es de 0,20; para cultivos en general, 0,12 y para techos de casas, caminos y áreas construidas, es de 0,1 a 0,05).

K_{fc} : Coeficiente de infiltración.

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

Donde:

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

\ln : Logaritmo neperiano (natural).

fc : Valor de infiltración básica en mm/día.

⁴³ Schosinsky, G; Losilla, M. *Modelo analítico para determinar la infiltración con base en la lluvia mensual*. Revista Geológica de América Central 23, 5., (agosto 1 999), 43-55.



2.10.4 Determinación de la recarga hídrica

Posterior al cálculo de la precipitación efectiva y el área de cada unidad de mapeo, se determinó la recarga hídrica (mm/año) con el método de Schosinsky y Losilla (2000), la cual se basa específicamente en geología, clasificación taxonómica del suelo, uso actual del suelo y área.

Según el dato que se obtenga, se realizó la clasificación de las zonas de recargas obtenidas en muy alta, alta, media y baja por medio de las cuales se elaboró el mapa de recarga hídrica e identificar áreas críticas.

2.10.5 Determinación del balance hídrico del suelo

Se realizó en función de los datos de evapotranspiración, escorrentía superficial, retención por la cobertura vegetal y la recarga hídrica.

Este resultado se obtuvo mediante el almacenamiento de la humedad del suelo, al aplicar la ecuación fundamental de balance hídrico:

$$I - ET - Q_{pe} + Q_{ba} - Q_{be} = \pm \Delta A$$



Donde:

I es la infiltración en el suelo del agua sobre el terreno;

ET es la suma de la transpiración por las plantas y de la evaporación directa desde el almacenamiento de la humedad del suelo.

Q_{pe} es la percolación hacia los depósitos subterráneos;

Q_{ba} es el flujo superficial afluente;

Q_{be} es el flujo subsuperficial efluente;

ΔA es el cambio en el almacenamiento de humedad del suelo.

2.10.6 Elaboración del mapa de recarga hídrica

Después del análisis de la recarga hídrica y balance hídrico del suelo, se determinaron las zonas de la microcuenca con mayor recarga hídrica mediante el *software ArcGis 9,3*.

2.10.7 Identificación de zonas críticas en la microcuenca

Con la información que se obtuvo de la recarga hídrica en cada unidad de mapeo, se determinó las zonas críticas, zonas que indican un nivel bajo en cuanto a recarga según la clasificación de las zonas del Manual de hidrología de Herrera.

Muy alta:	> de	300,000	$m^3/km^2/año.$
Alta:		150,000 a 300,000	$m^3/km^2/año.$
Media:		50,000 a 150,000	$m^3/km^2/año.$
Baja:	< de	50,000	$m^3/km^2/año.$



2.10.8 Lineamientos básicos para el plan de manejo

El plan consistió en establecer actividades de conservación en función de la superficie a tratar y los recursos necesarios para implementar dichas actividades.

El objetivo del plan de manejo es mejorar la calidad del ambiente para los pobladores que habitan en la zona, así como proveer mayor calidad y cantidad a la producción hídrica.

Las zonas que fueron manejadas, son las que cuentan con las características necesarias para implementar prácticas de manejo y conservación de suelo y presentan alto potencial de recarga hídrica.

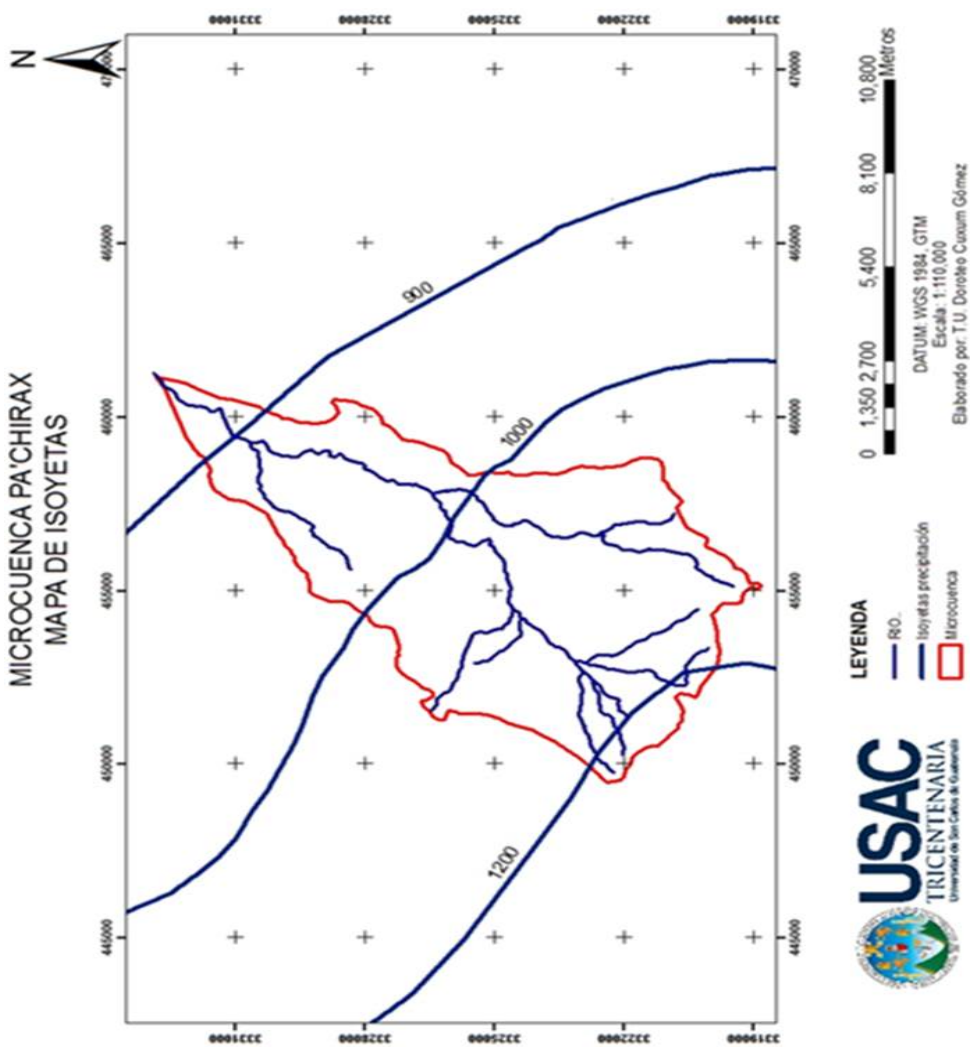


CAPÍTULO 3 ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

3.1 Recarga hídrica natural de la microcuenca del río Pa'chirax

MAPA 1

ISOYETAS DE PRECIPITACIÓN PROMEDIO Y ESTACIONES METEOROLÓGICAS



Fuente: elaboración propia, 2 013.



Según las isoyetas proyectadas a partir de los datos de las estaciones meteorológicas, la precipitación media registrada es de 855,84 mm anuales. Las precipitaciones anuales oscilan entre 950 mm y 1 250 mm.

CUADRO 2
CÁLCULO DE LA PRECIPITACIÓN MEDIA POR MEDIO DEL MÉTODO DE LAS ISOYETAS

ISOYETAS	ÁREA NETA O PARCIAL (km ²)	PRECIPITACIÓN MEDIA (mm)	ÁREA POR PRECIPITACIÓN MEDIA
800-900	0,666	850	566,27
900-1000	5,461	950	5 188,33
1000-1200	11,983	1 100	13 181,3
1200-1300	0,762	1 250	953,0
	18,873		19 888,9

Fuente: Investigación de campo 2013

$$Pm = \frac{\sum_{i=1}^n A_i * P_i}{\sum A_i}$$

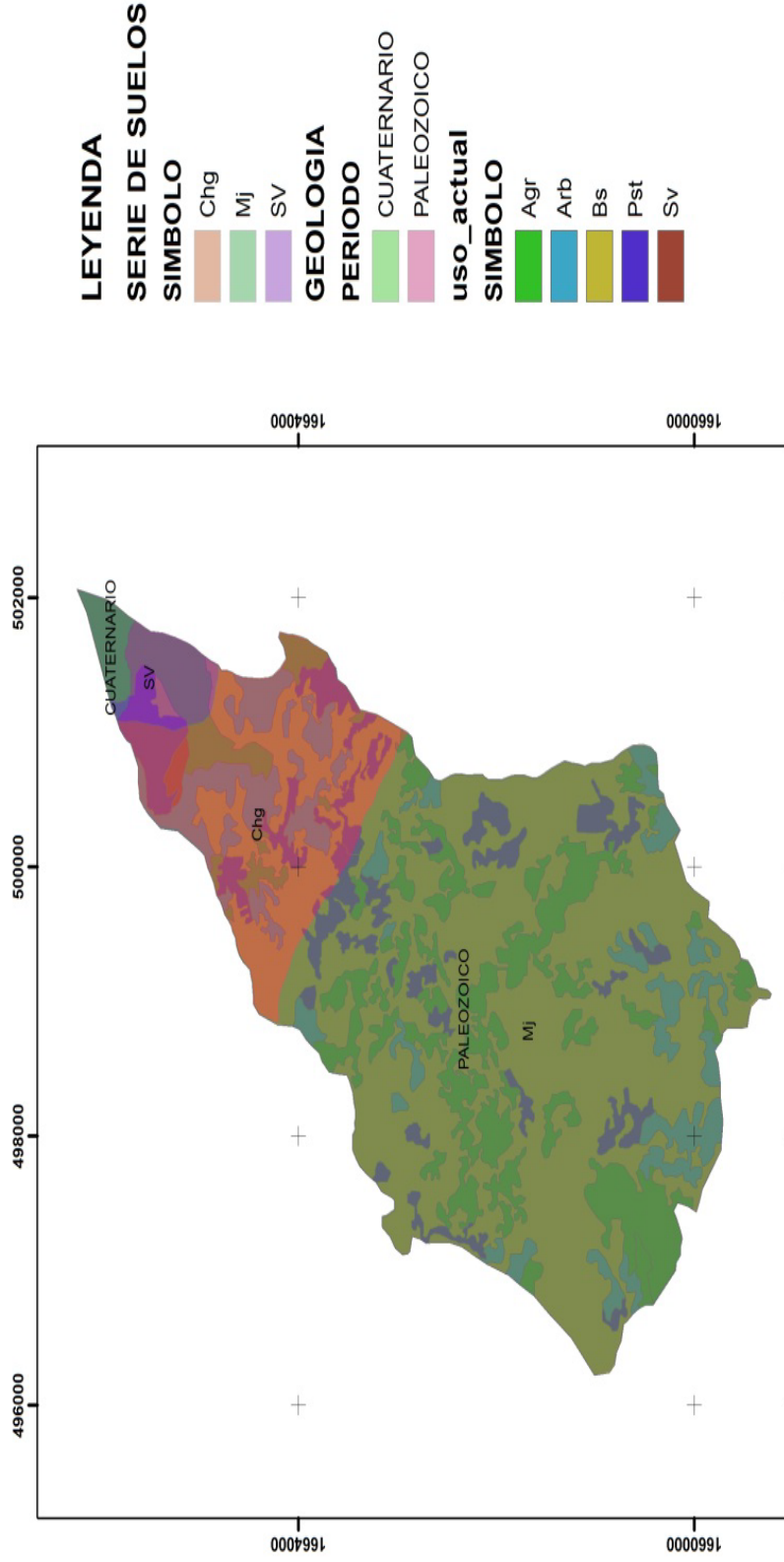
$$Pm = \frac{16152.42}{18.873} = 855,84 \text{ mm}$$

3.2 Unidades de mapeo

Se determinó a partir de la sobre posición de los mapas de serie de suelo, geología y uso de suelo actual como punto de partida para realizar el cálculo de recarga hídrica dentro de la microcuenca.



MAPA 2 MICROCUENCA DEL RÍO PA'CHIRAX UNIDADES DE MAPEO



Fuente: elaboración propia, 2 013.



CUADRO 3
UNIDADES DE MAPEO DE ACUERDO A GEOLOGÍA, CLASIFICACIÓN
TAXONÓMICA DE SUELOS Y VEGETACIÓN EN LA MICROCUENCA

Unidad de mapeo	Geología	Clasificación Taxonómica	Uso actual	Área (ha)	Porcentaje %
1	Cuaternario (Qp)	<i>Ustepts-Orthents-Ustolls</i>	Agricultura	24,99	1,3
2	Paleozoico (Pzm)	<i>Ustepts-Orthents-Ustolls</i>	Bosque	36,312	1,9
3	Paleozoico (Pzm)	<i>Ustepts-Orthents-Ustolls</i>	Agricultura	15,395	0,8
4	Paleozoico (Pzm)	<i>Ustepts-Orthents-Ustolls</i>	Pasto	22,3899	1,2
5	Paleozoico (Pzm)	<i>Orthents-Ustepts</i>	Agricultura	42,907	2,3
6	Paleozoico (Pzm)	<i>Orthents-Ustepts</i>	Bosque	95,222	5,0
7	Paleozoico (Pzm)	<i>Orthents-Ustepts</i>	Arbusto y matorral	169,074	9,0
8	Paleozoico (Pzm)	<i>Orthents-Ustepts</i>	Pasto	59,66	3,2
9	Paleozoico (Pzm)	<i>Ustepts-Ustalfs</i>	Agricultura	292,6555	15,5
10	Paleozoico (Pzm)	<i>Ustepts-Ustalfs</i>	Bosque	901,0736	47,8
11	Paleozoico (Pzm)	<i>Ustepts-Ustalfs</i>	Arbusto y matorral	121,2237	6,4
12	Paleozoico (Pzm)	<i>Ustepts-Ustalfs</i>	Pasto	106,5484	5,6

Fuente: Investigación de campo 2013

El cuadro indica la cobertura vegetal de cada unidad de muestreo de acuerdo a las variables geología y clasificación taxonómica de suelos en el área de estudio.

Para los porcentajes de área de cada unidad de muestreo se tiene que: el área boscosa que se ubica en la parte de la cuenca, se extiende en un 47,8 % del total, el área restante se encuentra



distribuido entre los usos de suelo, agricultura limpia, pasto, arbusto en las partes alta, media y baja.

3.3 Información climática

El periodo de análisis de los datos climáticos, fue del año 2007 al 2010, en la estación meteorológica de Rabinal, la cual fue la más cercana a la zona de estudio según el mapa de polígonos de Thiessen proyectada, además contaba con todos los datos requeridos para el cálculo de recarga hídrica.

CUADRO 4
PRECIPITACIÓN PLUVIAL PROMEDIO MENSUAL EN mm EN EL MUNICIPIO DE RABINAL

AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
2007	9	0	3,5	30,8	100,4	306,6	129,5	186,9	145,5	141	13,2	0,3
2008	6,8	3,7	5,9	57	179,4	202,8	375	198,4	229,7	152,5	0,3	5
2009	2,4	0,3	2	69	200,4	174,2	70	133,3	101,8	47,3	32,7	33,3
2010	37,9	12,3	1,8	120,5	322,7	101,4	229,2	317	325	49,6	25,9	4

Fuente: Investigación de campo 2013

CUADRO 5
PRECIPITACIÓN PLUVIAL PROMEDIO MENSUAL EN mm EN EL MUNICIPIO DE SALAMA, BAJA VERAPAZ

AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
2007	7,5	0	4,5	33,2	105,2	310,3	136,6	187,2	149,5	145,7	17,2	0,7
2008	4	4,1	7,5	61	182,4	208	386,4	197,5	227,7	156,2	4	6,1
2009	3,5	0,6	2,1	69,6	225,8	178,4	75,2	112,8	100,8	52,9	36,7	37,3
2010	38	14,2	2,9	121,2	329,2	103,2	232,4	345	330,5	53,3	29,9	7

Fuente: Investigación de campo 2013



CUADRO 6
PRECIPITACIÓN PLUVIAL PROMEDIO MENSUAL EN mm EN EL MUNICIPIO
DE CUBULCO, BAJA VERAPAZ

AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
2007	9,2	0,0	5,5	35,6	106,8	313,9	140	202,4	150,5	147,3	18,2	0,8
2008	7,2	4,1	9	65	182,4	209,9	388,8	202,5	231,8	157	5	6,3
2009	3,2	0,6	2,1	70,2	239,4	182,5	77,5	107,3	102,7	53,6	37,7	38,3
2010	37,9	16,2	4	121,2	335,6	104,9	235,7	355	337,4	54	31	5,9

Fuente: Investigación de campo 2013

CUADRO 7
DATOS DE TEMPERATURA MEDIA MENSUAL/ANUAL (°C) DE LA ESTACIÓN
RABINAL, BAJA VERAPAZ

AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ANUAL
2005	18	19,9	22,6	22,7	23,7	23,3	22,2	22,1	21,7	20,9	19,2	19,8	21,3
2006	20,3	19,3	20,8	22,2	22,6	21	22,5	22,8	22,2	22,7	20,6	20,8	21,5
2007	20,8	21,2	20,4	22,8	23,1	22,4	28,1	21	20,1	19,3	18,4	18,3	21,3
2008	19,1	21	21,1	23,2	24,5	21,5	21,6	22,3	18,4	20,6	19	18,7	20,9
2009	19,1	19,5	19,9	23,4	22,7	22,9	21,9	21,7	22,4	21,8	20,4	20,2	21,3
2010	19,8	21,7	22,1	23,3	23	22,3	22,4	22,1	22,2	20,6	20,1	0,0	21,8

Fuente: Investigación de campo 2013

A base de los datos de temperatura que se presentan en el cuadro, se calculó la temperatura media, dato que permitió obtener la evapotranspiración potencial, así como otros factores necesarios para realizar el balance hídrico.

3.4 Infiltración básica

Se realizaron un total de quince pruebas de infiltración en toda la superficie de la microcuenca, el número fue en función de la serie de suelos, geología y uso actual, las cuales se presentan en el siguiente cuadro:



CUADRO 8

VALORES DE RECARGA HÍDRICA mm/DÍA PARA CADA PRUEBA DE INFILTRACIÓN REALIZADA EN LA MICROCUENCA PARA EL AÑO 2011

Unidad de muestreo	Coordenadas GTM		Infiltración básica (mm/día)	Altitud (msnm)
	X	Y		
1	769 636	1 665 857	230	990
2	770 018	1 666 130	340	1 050
3	767 506	1 662 995	238	1 020
4	770 346	1 667 233	240	1 035
5	769 363	1 665 813	255	1 055
6	769 966	1 666 997	550	1 240
7	767 725	1 661 684	215	1 060
8	770 171	1 667 004	245	1 345
9	768 762	1 666 119	89	1 510
10	770 029	1 666 818	210	1 535
11	769 522	1 666 640	605	1 710
12	769 134	1 662 394	230	1 970

Fuente: Investigación de campo 2013

La mayoría de los resultados obtenidos de las pruebas de infiltración se encuentran entre 230 mm/día, con mínimo en 89 y máximo en 605 ubicada en la parte alta cubierta con arbustos.



CUADRO 9

VALORES DE LA LÁMINA DE RECARGA HÍDRICA Y PRECIPITACIÓN DE CADA UNIDAD DE MAPEO, DE ACUERDO A LA SUPERFICIE TOTAL POR GEOLOGÍA Y COBERTURA DE LA MICROCUENCA 2011

Unidad De Mapeo	Geología	Clasificación Taxonómica	Uso Actual	Área (Ha)	Porcentaje de área %	Rec. Hid. (mm/año)	Rec. Hid. % Pp Anual
1	Cuaternario (Qp)	<i>Ustepts-Orthents-Ustolls</i>	Agricultura	24,399	1,3	942,82	74,95
2	Paleozoico (Pzm)	<i>Ustepts-Orthents-Ustolls</i>	Bosque	36,312	1,9	97,21	7,73
3	Paleozoico (Pzm)	<i>Ustepts-Orthents-Ustolls</i>	Agricultura	15,395	0,8	145,53	11,57
4	Paleozoico (Pzm)	<i>Ustepts-Orthents-Ustolls</i>	Pasto	22,3899	1,2	170,95	13,59
5	Paleozoico (Pzm)	<i>Orthents-Ustepts</i>	Agricultura	42,907	2,3	0,00	0,00
6	Paleozoico (Pzm)	<i>Orthents-Ustepts</i>	Bosque	95,222	5,0	539,84	42,92
7	Paleozoico (Pzm)	<i>Orthents-Ustepts</i>	Arbusto y matorral	169,074	9,0	212,97	16,93
8	Paleozoico (Pzm)	<i>Orthents-Ustepts</i>	Pasto	59,66	3,2	485,97	38,63
9	Paleozoico (Pzm)	<i>Ustepts-Ustalfs</i>	Agricultura	292,655	15,5	470,39	37,40
10	Paleozoico (Pzm)	<i>Ustepts-Ustalfs</i>	Bosque	901,073	47,8	624,95	49,68
11	Paleozoico (Pzm)	<i>Ustepts-Ustalfs</i>	Arbusto y matorral	121,223	6,4	377,93	30,05
12	Paleozoico (Pzm)	<i>Ustepts-Ustalfs</i>	Pasto	106,548	5,6	241,22	19,18

Fuente: Investigación de campo 2011.

En el cuadro 9 se presenta el área de cada unidad de mapeo en hectáreas, que en su mayor porcentaje se encuentra cubierta por bosque con un total de 1 032 607 ha, ubicada en la parte alta, seguida por la cobertura agrícola con 375 356 ha, en la parte media y baja.

En cuanto a la recarga hídrica por unidad de mapeo, se puede verificar que la mayor recarga ocurre en la zona geológica cuaternaria (Qp), serie de suelo *Ustepts-Orthents-Ustolls* y cobertura Bosque (Bs) siendo de 942,82 mm/año, además es la unidad que retiene y recarga el mayor porcentaje de la precipitación pluvial.

CUADRO 10
DENSIDAD APARENTE, TEXTURA Y CONSTANTES DE HUMEDAD

Unidad De Mapeo	Humedad (%)		Densidad aparente	Granulometría (%)			Textura
	CC	PMP		Arcilla	Limo	Arena	
1	14,866	8,0796	0,80	15,8	23,90	60,30	franco arenoso
2	14,492	7,8761	0,80	14,0	27,50	58,50	franco arenoso
3	11,642	6,3274	0,81	12,3	15,30	72,40	franco arenoso
4	10,996	5,9761	0,80	9,5	20,50	70,00	arenoso franco
5	8,570	4,6575	0,81	8,5	8,64	82,86	arenoso franco
6	16,156	8,7804	1,00	17,0	28,00	55,00	franco arenoso
7	11,868	6,45	0,85	13,0	14,40	72,60	franco arenoso
8	16,587	9,0147	0,92	19,8	21,52	58,70	franco arenoso
9	14,042	7,6317	1,00	15,3	20,40	64,30	franco arenoso
10	15,546	8,4491	1,20	17,3	23,20	59,50	franco arenoso
11	15,098	8,2057	1,10	15,3	27,00	57,70	franco arenoso
12	10,968	5,9611	1,00	10,0	18,81	71,23	franco arenoso
13	11,743	6,3822	0,85	11,4	18,90	69,70	franco arenoso
14	13,444	7,3065	1,04	12,5	25,90	61,60	franco arenoso
15	15,036	8,1717	1,05	18,0	17,70	64,30	franco arenoso

Fuente: Investigación de campo 2011.

De los resultados obtenidos del análisis físico de las muestras de suelo de cada unidad de mapeo se determinó; que debido a la



geología y series de suelo presentes dentro de la microcuenca, la textura franca arenosa es la dominante.

CUADRO 11
VALORES (m³/AÑO) DE LOS FACTORES DE ENTRADA Y SALIDA DEL RECURSO HÍDRICO DENTRO DEL SISTEMA MICROCUENCA PARA EL AÑO 2011

Unidad De Mapeo	Ha	Rec Hid mm/año	Pp m ³ /año	Rec Hid m ³ /año	ETR m ³ /año	ESC m ³ /año	RET m ³ /año
1	24,399	942,8	306907,70	230038,7	44045,9	1742,8	36828,9
2	36,312	97,21	456757,75	35298,9	65173,2	79446,8	54810,9
3	15,395	145,5	193649,09	22404,3	27837,9	11538,1	38729,8
4	22,3899	170,9	281635,84	38275,5	40497,1	0,0	56327,2
5	42,907	0	539714,28	0,0	76087,8	58992,7	107942,9
6	95,222	539,8	1197768,97	514046,4	173233,3	54263,2	239553,8
7	169,074	212,9	2126731,12	360076,9	306274,1	65598,1	425346,2
8	59,66	485,9	750445,24	289929,7	108620,9	37311,9	175818,6
9	292,6555	470,3	3681225,74	1376622,2	532702,1	0,0	915047,5
10	901,0736	624,9	11334334,4	5631259,5	1642855,9	1195945,1	2979310,8
11	121,2237	377,9	1524836,56	458140,7	220458,6	353642,7	422597,6
12	106,5484	241,2	1340240,36	257016,1	193180,2	66475,9	390584,3

Fuente: Investigación de campo 2011.

El factor entrada del recurso hídrico al sistema proveniente de la precipitación es directamente proporcional al área de cada unidad de mapeo, sin embargo las salidas como la evotranspiración, escorrentía y retención dependen del tipo de suelo y cobertura vegetal, razón por la cual en las unidades que se localizan en la parte baja y media de la microcuenca en la cual se utiliza principalmente para la producción agropecuaria, la entrada del recurso hídrico es proporcionalmente bajo como el del caso de la unidad cinco en



relación a la unidad diez de la parte alta de la microcuenca con cobertura boscosa.

3.5 Balance hídrico del suelo

Los resultados del cuadro 12 son el producto final del balance hídrico de suelos de la microcuenca del río Pa'chirax, en donde se conoce cuáles son los factores ambientales de entrada y salidas del sistema cuenca.

CUADRO 12
BALANCE HÍDRICO DE LA MICROCUENCA PA'CHIRAX

ENTRADA		SALIDAS		
FACTOR	m/año	Factor	m ³ /año	%
Precipitación pluvial	23 734 247,14	Evaporación real	3 430 966,86	14 %
		Escorrentía superficial	1 924 957,223	8 %
		Retención vegetal	5 355 924,08	23 %
		Recarga potencial	10 711 848,17	45 %
Sumatoria	23 734 247,14	Sumatoria	21 423 696,34	90 %

Fuente: Investigación de campo 2011.

De los resultados se considera que una de las principales pérdidas en el sistema es por retención vegetal que es el 23 % de la precipitación pluvial, esto se debe principalmente a las áreas con cobertura boscosa.

Para la microcuenca la entrada representa un valor mayor que la salida del sistema, la proporción de la entrada que sale es de 90 %



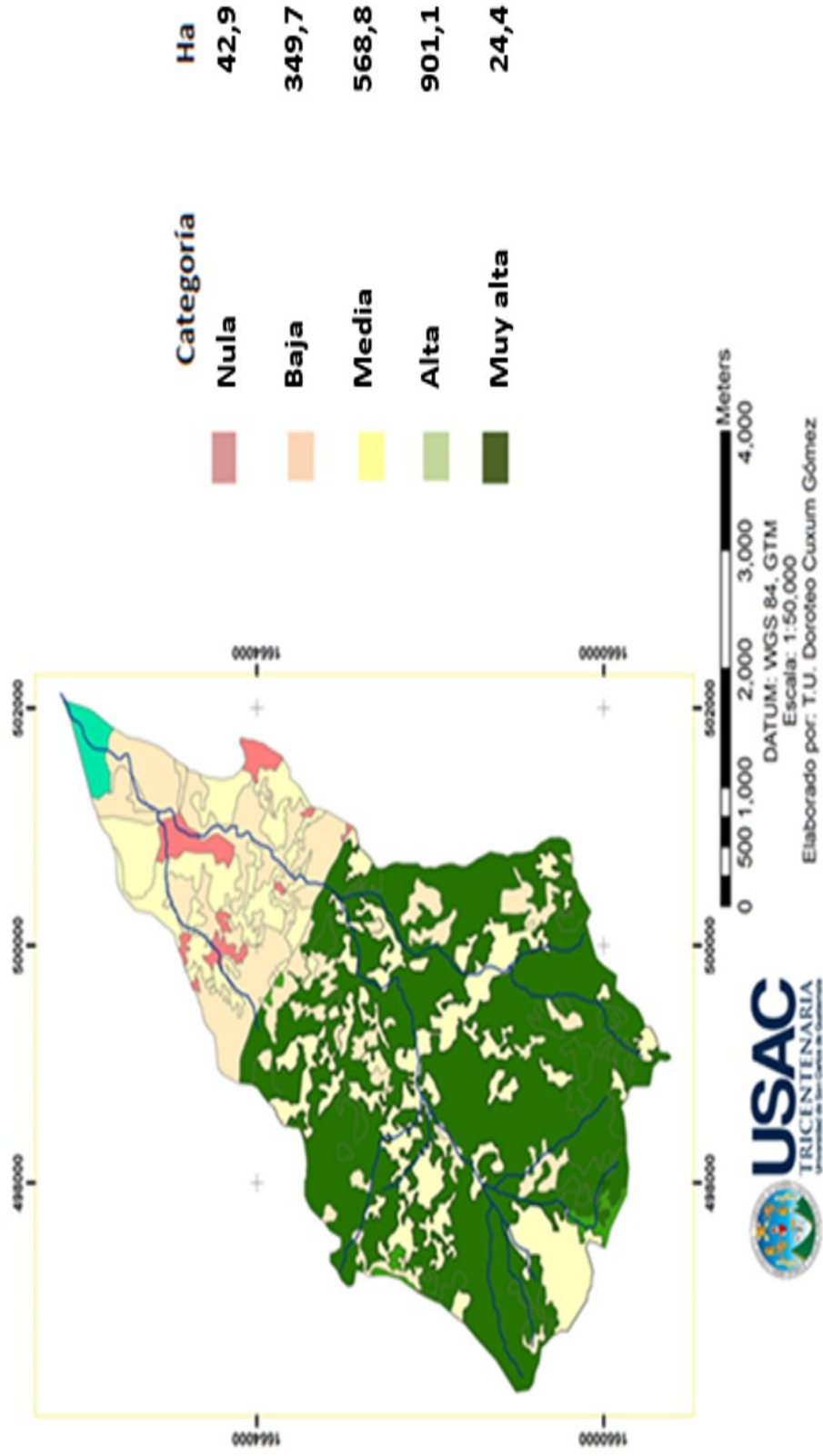
que equivale a 21 423 696,34 m³, y el factor recarga hídrica que se evalúa en este estudio representa el 45 % de las salidas.

3.6 Elaboración de mapas de recarga hídrica

Como parte de los resultados obtenidos se elaboró el mapa final de recarga hídrica de la microcuenca. Las unidades se agruparon de acuerdo a la matriz propuesta por Herrera Ibáñez.



MAPA 3
MICROCUEENCA DEL RIO PA'CHIRAX
CATEGORIAS DE RECARGA HIDRICA



Fuente: elaboración propia, 2013.



CUADRO 13
CATEGORÍAS DE RECARGA HÍDRICA, ÁREA Y PORCENTAJES DE LA
MICROCUCENCA PA'CHIRAX

Categoría	Área (ha)	% Área	Recarga hídrica (m ³ /año)
Muy Alta	24,4	1,3	230 038,7
Alta	901,1	47,8	5 631 259,5
Media	568,8	30,1	2 636 673,9
Baja	349,7	18,5	715 136,8
Nula	42,9	2,3	0
Totales	1886,9	100	9 213 108,9

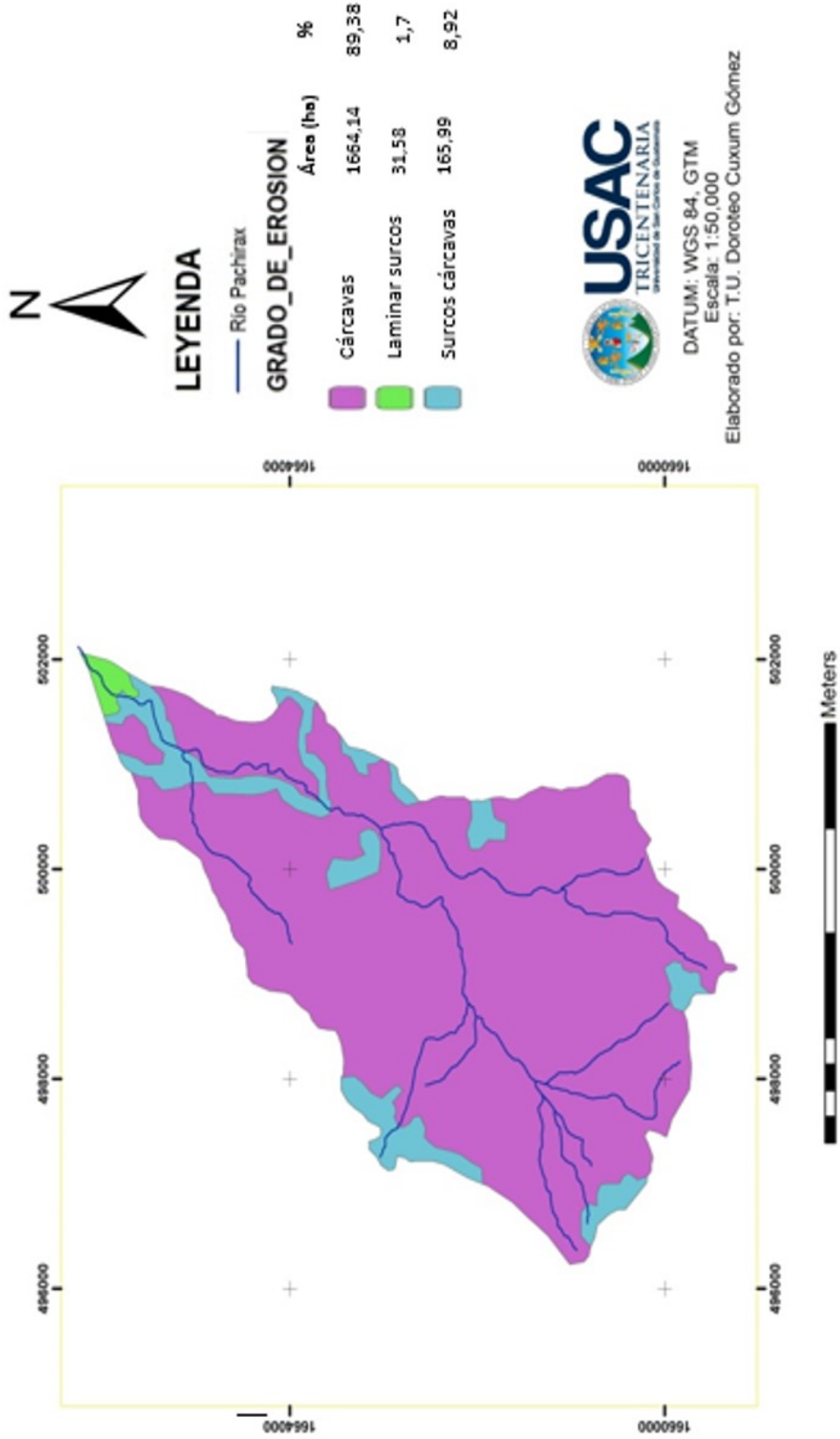
Fuente: Investigación de campo 2011.

3.7 Propuesta de plan de manejo

El plan de manejo de la microcuenca Pa'chirax, consiste en propuesta de las acciones que requiere el sistema, para lograr un uso sostenible de los recursos naturales.

La línea base sobre la cual se genera la propuesta del plan de manejo es el cálculo de la recarga hídrica para cada unidad de mapeo así como su categorización, identificando las zonas críticas de recarga potencial y los siguientes indicadores.

MAPA 4 MICROCUEENCA DEL RÍO PA'CHIRAX EROSIÓN



Fuente: investigación propia, 2 013.



3.8 Indicadores ambientales

Como se presenta gráficamente, el 89 % del área de la microcuenca tiene un grado alto a severo de susceptibilidad a la erosión. La capacidad de uso de estos suelos es de protección y no de utilización en la agricultura, ni siquiera de manejo forestal. Por el contrario, sólo un 2 % (32 ha) tiene un grado bajo de susceptibilidad, por lo que podrían ser utilizados en agricultura con prácticas de conservación de suelos y aguas para minimizar la erosión por surcos y laminar. El restante 9 % del área de la microcuenca tiene un grado medio de susceptibilidad a la erosión por lo que sería para actividades de manejo agroforestal. En síntesis, alrededor de un 10 % de los recursos naturales (bosque y suelo) de la microcuenca, debería ser manejado y utilizado sosteniblemente y el restante 90 % en conservación.

3.8.1 Precipitación promedio anual

La precipitación promedio anual varía entre los 950 mm a 1 250 mm. Los valores más altos se presentan en las partes altas al sur y los menores en las partes medias y bajas al norte. Debido a la baja densidad de estaciones meteorológicas en Baja Verapaz, no se conocen los valores de intensidad de las lluvias para estimar los efectos de los eventos precipitación escorrentía en la microcuenca, donde la mayoría tiene una alta a severa susceptibilidad a la erosión.



La microcuenca provee de agua para realizar agricultura bajo riego y abastecimiento a la cabecera municipal de Rabinal y a las comunidades. Hay obras derivadoras del agua pero no de regulación anual o estacional.

3.8.2 Cobertura vegetal y uso actual del suelo

La agricultura anual abarca alrededor del 20 % del área de la microcuenca (373 ha). La mayor área agrícola se da en la parte baja pero también en todas partes de la microcuenca. Al comparar con el mapa de susceptibilidad a la erosión, la agricultura se lleva a cabo en tierras con baja, media y alta susceptibilidad a la erosión.

El bosque abarca alrededor de un 59 % del área total de la microcuenca y los arbustos otro 5 %, cuando se indicó que el 90 % del área debería ser bosque de protección. Los arbustos y matorrales (3 %) y los matorrales (4 %), abarcan el 7 % del área, y los pastos otro 9 %.

3.8.3 Cobertura forestal

En el mapa 2 de unidades de mapeo, se muestran las áreas de bosque ubicadas en toda la parte alta y media de la



microcuenca. Aún existe cierta conectividad entre los parches de bosque o hay posibilidades de conectarlos, excepto en la parte baja al norte.

3.8.4 Deforestación en los últimos diez años

La tasa de deforestación en los últimos diez años ha sido de alrededor de 11 ha/año, y que representó el 6 % del área total de la microcuenca, no se reportan plantaciones forestales en ella.⁴⁴

Las áreas que han perdido cobertura forestal se ubican en varias partes de la microcuenca, sobre todo en las partes media y alta al este en fincas particulares y en terrenos comunales y de pequeños productores.

3.8.5 Incendios

En la microcuenca se reportaron 5 incendios entre el 2005 y el 2009; 4 en la parte media al sur, ubicación similar a las áreas deforestadas. El área que abarcó los incendios fue de 21,8 ha.

⁴⁴ . Diagnostico rural participativo de la comunidad Xesiguan, Rabinal, Baja Verapaz. Programa de Desarrollo Rural de las Verapaces, 2009,



3.8.6 Áreas protegidas

La microcuenca Pa'chirax se ubica alejada de cualquier área protegida, siendo la más cercana el biotopo El Quetzal.

3.8.7 Nacimientos

En la microcuenca Pa'chirax se caracterizaron 13 nacimientos y 8 tanques de distribución que abastecen a las comunidades en ella. Los caudales de los nacimientos variaron entre 1,47 L/s y 0,04 L/s; Chixim cuenta con 487 habitantes y tres nacimientos que proveen agua con un caudal de 0,15 L/s, lo que para una dotación de 75 L/hab/día podría abastecer a 173 habitantes. Sin embargo, hay otras fuentes de agua para esa comunidad. Xesiguán tiene 541 habitantes y el caudal de dos nacimientos que le abastecen reportó 1,14 L/s, que equivale a 1 313 habitantes. Cálculos similares se pueden hacer para los nacimientos que abastecen a Concul, San Rafael y Piedra de Cal. Sin embargo, hay que considerar que los aforos se realizaron durante la época de lluvias, aunque en este “invierno” la precipitación fue menor a la del promedio, debido a la canícula prolongada. Deberá de aforarse nuevamente a finales de la época seca (abril), para cuantificar el caudal de estos y los demás nacimientos que abastecen a



todas las comunidades. Los caudales de algunos de estos nacimientos son utilizados para mini riego.

3.9 Indicadores socioeconómicos

3.9.1 Comunidades y población

La microcuenca tiene una superficie de 18,86 km², donde se localizan las nueve comunidades del municipio de Rabinal, siguientes: Chixim, Xesiguan, Plan de Godínez, Plan de Sánchez en la parte alta de la microcuenca; Los Catalanes, Chuachimarrón, Plan de las Tunas, Las Delicias y Piedra de Cal en la parte baja. Para el año 2009 se estimó una población en esta microcuenca de 1 829 personas y 324 hogares. (Ver anexo 3); la densidad poblacional es de 98,49 hab/km². La mayor parte de hogares se localizan en la parte alta de la microcuenca (76 %). Las comunidades con mayor población son Xesiguan, Chixim, Plan de Sánchez y Los Catalanes que representan el 85,2 % de los habitantes de la microcuenca.

3.9.2 Características demográficas

En esta microcuenca el índice de masculinidad es de 1,003, lo que indica que hay una idéntica proporción de hombres y mujeres. La población infantil o pre-productiva es bastante alta (14 años o menos), representando el 54,06 % del total de la población; la población post-productiva (de 65 y más



años) representa el 8,96 %, mientras que la población productiva representa el 41,98 %, traduciéndose en un índice de dependencia de 2,38.

El 88,90 % de la población es de origen indígena. La población no indígena o ladina forma parte de tres comunidades, a saber: Chixim, Los Catalanes y Las Delicias. La población se identifica como parte de los pueblos mayas de origen Kiché Achí.

La tasa de natalidad en el municipio es de 35,2 por mil y la mortalidad infantil es de 13,65 por mil. No hay registros disponibles de las tasas de natalidad y mortalidad por comunidades, mostrando así un panorama demográfico en incremento lo que demanda mayor consumo del recurso hídrico en el interior del sistema.⁴⁵

En la microcuenca, la mayor parte de la población se dedica a la agricultura de subsistencia, aunque con la variante que en la parte alta existen algunos pequeños productores de café. En el municipio de Rabinal el 99,8 % de las fincas agrarias son de propietarios individuales. Alrededor del 80 %

⁴⁵ Diagnostico rural participativo de la comunidad Xesiguan, Rabinal, Baja Verapaz. Programa de Desarrollo Rural de las Verapaces, 2009,



de los productores que controlan las fincas son varones (normalmente los jefes de hogar), en tanto que cerca del 20 % de las fincas son controladas por mujeres (normalmente jefas de hogar). El 52,85 % de los productores y productoras agrícolas se ubican en el rango de edad de 25 años a 55 años, con un valor modal en el rango de 35 años a 44 años. En las encuestas a hogares realizadas para este estudio de línea base se entrevistó a productores en promedio por localidad que van de 39,6 años a 53,8 años (en el rango dominante que expresó el censo agropecuario 2003).

3.9.3 Ingresos y pobreza

De la base de datos de la Secretaria de Planificación y Programación de la Presidencia -SEGEPLAN-, Instituto Nacional de Estadística -INE- y Universidad Rafael Landívar -URL- se expresa que en el municipio de Rabinal el 78,61 % de la población es pobre y de esos, el 31,48 % está en pobreza extrema. Estos indicadores muestran un alto nivel de pobreza en el municipio. En los talleres participativos realizados en las comunidades de la microcuenca, prácticamente todos los representantes de las familias se identificaron como pobres.

En algunas de ellas se hizo un ejercicio para definir criterios de diferenciación social que pudieran existir en las



comunidades, los resultados expresan que aún en las comunidades pobres, existen criterios locales que resaltan la diferenciación económica.

Como ejemplo, se tiene la comunidad de Chixim al indicar que el 3 % son ricos, el 71 % están en término medio, 24 % son pobres y 2 % son extremadamente pobres; la diferencia ocurre por el grado de bienes, tales como superficie de tierra, existencia de animales o bien de negocios de incidencia local. En Plan de Sánchez el 56 % cuenta con recursos 33 % son pobres y 11 % son extremadamente pobres; la diferencia fundamental es el tamaño de la finca. En Piedra de Cal el 12,5 % están en una situación económica intermedia, mientras que el 87,5 % son pobres, diferenciados por la posesión de bienes, entre ellos la tierra.

Según el diagnóstico que se realizó en el año 2009, el salario agrícola promedio en la microcuenca oscila entre 35.00 Q/día y 40.00 Q/día. Los resultados específicos de la encuesta para este estudio reflejaron un promedio de Q 37,42 para la microcuenca y un rango promedio que se mueve de Q 36,00 a Q 39,17.⁴⁶

⁴⁶ Diagnóstico rural participativo de la comunidad Xesiguan, Rabinal, Baja Verapaz. Programa de Desarrollo Rural de las Verapaces, 2009,



3.9.4 Características de las viviendas y sus servicios

El número de hogares en el 2009 era de 235. En estos el servicio de agua de que disponen las viviendas, en su mayoría es por tubería. Xesiguán, Plan de Sánchez y Chuachimarrón en el 100 % de hogares posee al servicio de agua por tubería. En Chixim el 94 % de hogares accede a agua por tubería; de igual modo en el 70 % de hogares de Las Delicias y 40 % de hogares en Plan de Godínez, estas últimas se abastecen de agua directamente de los manantiales o pequeños ríos.

El consumo promedio de agua por día y por hogar en la microcuenca es de 367 L. Los rangos medios de consumo de agua diarios por familia varían de 163 L a 502 L. El consumo promedio es mayor en las comunidades de la parte alta de la microcuenca que aquellas que están en la parte baja.

El servicio de agua por tubería es continuo para la mayoría de comunidades y de hogares. Las comunidades con poca continuidad en el servicio son Plan de Sánchez y Las Delicias.

Las tarifas para acceder al servicio de agua por tubería van desde el no pago en Plan de Sánchez y Las Delicias hasta



pagos equivalentes en 50,00 Q/año en Chixim y Plan de Godínez.

No existe servicio de drenajes. La mayoría de hogares de las comunidades poseen letrinas, con tasas de cobertura de 100 %, excepto en Las Delicias con una tasa de cobertura de 93 % y Chuachimarrón que no tiene este servicio.

El 47,23 % de hogares disponen de servicio de energía eléctrica, algunos por medio de energía solar (1,7 % de hogares).

3.9.5 Uso del agua para riego

La información obtenida en los talleres participativos y en las encuestas a hogares identificó que existen usuarios de agua para riego en Chixim, Plan de Godínez y en Las Delicias. En total se identificaron 10 usuarios en 1,23 ha de superficie; se utiliza principalmente el método de aspersión.

3.9.6 Pérdidas por desastres

Los desastres reportados por las personas que participaron en talleres y que fueron objeto de entrevista en la encuesta son de los tipos siguientes: En agricultura han sido afectados por inundaciones (huracanes o tormentas como



Mitch, Stan y temporales), viento y plagas. En el tema forestal por incendios.

El daño por la sequía 2009 se estimó en tres comunidades a saber: Chixim en 7 de 17 casos entrevistados, 2,5 ha de maíz, pérdida de 16 quintales de maíz para un estimado de Q. 15 200,00 en pérdidas; Plan de Godínez en 2 de los 5 casos entrevistados, perdiéndose 4 quintales de maíz y una tarea de siembra (0,04 ha) para una pérdida monetaria estimada en Q. 2 600,00; Las Delicias en 11 de los 13 casos entrevistados, afectando 3,13 ha de superficie de siembras y un daño estimado en Q. 19 100,00.

3.10 Indicadores políticos administrativos

3.10.1 Instituciones existentes y/o que participan en el desarrollo de las comunidades

En cinco comunidades existen varias organizaciones locales, tales como Comité de Padres de Familia o Junta Escolar, Comité de Salud, Comité de Mujeres, Comité de Emergencia, Comité de Víctimas del Conflicto Armado, Comité de Mini riego y Comité de Caficultura. En Xesiguan existe la Cooperativa Flor del Naranja.



Entre las instituciones privadas y públicas que prestan servicios en las comunidades, se citan las siguientes: Caritas, Funcafé, Anacafé, Plan Internacional, Ceidepaz, Vecinos Mundiales, Centro de Integración Familiar –CIF-, Fundemab, Estudios Comunitarios y Acción Psicosocial –Ecap-, para las privadas, y MAGA, FAO, Patio-hogar, Prodenorte, Centro de Salud, Ministerio de Desarrollo Social –MIDES-, Derechos Humanos.

3.10.2 Manejo de recursos naturales

Sobre las condiciones en que las comunidades manejan sus recursos naturales, será necesario profundizar en estudios ulteriores para conocer detalles concretos que rebasan la posibilidad del presente estudio de línea base. No obstante, los informantes comunitarios expresan que están iniciando actividades de sistemas agroforestales tendientes al manejo del bosque, suelo y agua con la asistencia de FAO/MAGA. Localmente en anteriores ocasiones han hecho algunas prácticas de conservación de suelos y aguas.



3.11 LINEAMIENTO GENERAL PARA LA PROPUESTA DEL PLAN DE MANEJO DE LA MICROCUENCA DEL RÍO PA`CHIRAX

La municipalidad de Rabinal se ha interesado en un plan de conservación de suelos y bosques para las partes altas del municipio. Hay un plan estratégico de desarrollo local formulado por el Programa Municipios Democráticos en el marco de la Mancomunidad Mancovalle.

Aun no hay acuerdos negociados en el marco municipal entre usuarios del agua de la microcuenca y los hogares que viven en ella, con el propósito de mejorar el manejo de recursos naturales. No existen ordenanzas municipales orientadas a tales propósitos.

3.11.1 Problemas encontrados

- Pérdida del recurso suelo
- Escasez del recurso agua
- Mala calidad de agua
- Falta de bosque con fines energéticos
- Deforestación
- Problemas de manejo de cultivos
- Mal uso y manejo de pesticidas
- Falta de infraestructura
- Contaminación



- Falta de asistencia técnica y crediticia

3.11.2 Limitaciones

- Tenencia de la tierra
- Migración de la población
- Desorganización comunitaria
- Disponibilidad de tiempo

3.11.3 Objetivo general

Incorporar a los habitantes de la microcuenca Pa'chirax, en la economía regional y nacional, a través de la implementación de proyectos productivos basados en la utilización racional de los recursos naturales, que permita la generación y distribución equitativa de ingresos y empleos permanentes.

3.11.4 Objetivos específicos

Establecer sistemas de producción que incluyan plantaciones agroforestales, actividades forestales y rotación de cultivos agrícolas en la microcuenca, que aseguren la alimentación, de empleo permanente como mínimo a una persona por familia y que para el año 5 de ejecución de las actividades se incremente el nivel socio-económico de las familias.



Implementar un proceso de capacitación en técnicas de producción de los cultivos propuestos y en técnicas de gestión administrativa, dirigido a hombres y mujeres de la microcuenca que en el año 3 de ejecución, les permita hacerse cargo plenamente de las actividades del proyecto.

Fortalecer institucionalmente la organización existente para lograr una eficiente administración y ejecución del proyecto.

3.11.5 Metas

A un año plazo, contar con promotores agrícolas en el 100% de las comunidades que se encuentran dentro de la microcuenca.

A dos años plazo lograr la gestión comunitaria e institucional con el gobierno local.

A cinco años plazo el 50 % del área susceptible de erosión, estará protegida y manejada con prácticas adecuadas de conservación de suelos.



3.11.6 Intervención técnica

Según el mapa de erosión, en toda la microcuenca es necesario realizar medidas para proteger el suelo, y según el mapa de recarga hídrica se focalizarán las actividades en las regiones de nula, baja y medio potencial de recarga.

a. Manejo y conservación de suelos

Consistirá específicamente en actividades que protejan y conserven el suelo dentro del sistema microcuenca específicamente las áreas con bajo potencial de recarga hídrica. La transferencia de tecnología será por medio de capacitaciones y prácticas de campo, con las familias que desarrollan sus actividades de diferente índole en las zonas priorizadas.

Prácticas de manejo de suelo

- Acequia de ladera
- Construcción de curvas a nivel
- Incorporación de material vegetativo
- Barreras vivas
- Barreras muertas
- Pozos de infiltración
- Terrazas



Estas actividades se establecerán en las 311,49 ha que anualmente se usan para la agricultura, ubicada en su mayoría en la microcuenca media y baja.

b. Conservación y cosecha de agua

Estas actividades se contempla establecerlas en los lugares poblados que ocupan 3,97 ha que representa el 0,21 % de la microcuenca, con el fin de promover la sostenibilidad del recurso agua que requieren los habitantes tanto para las actividades agrícolas como para la alimentación e higiene.

c. Manejo agroforestal y silvopastoril

Está dirigido a los propietarios de terrenos que se ubican en la parte alta y media de la microcuenca que se extiende a 1 083 ha equivalente al 58,17 % del área total. En esta zona boscosa se encuentra la mayor parte de la presión sobre este recurso por la frontera agrícola y pecuaria, por esa razón se focaliza y se manejará en esta clasificación. En este mismo contexto se tomará en cuenta el manejo integrado del sistema bosque.



Se priorizarán las siguientes actividades:

- Árboles forestales con cultivos
- Árboles frutales con cultivos
- Árboles productores de sombra en los cultivos y/o mejoradores de la fertilidad del suelo
- Cercos vivos y cortinas rompevientos
- Cultivos en fajas
- Sistema agroforestales múltiples
- Huertos caseros

Sistemas silvopastoriles:

- Pastoreo o producción de forraje en las plantaciones forestales
- Pastoreo o producción de forraje en los bosques secundarios
- Árboles maderables en los pastizales
- Árboles de servicio en los pastizales, mejoradores de la fertilidad del suelo por la fijación de nitrógeno
- Árboles frutales en los pastizales
- Árboles productores de forraje
- Cercos vivos

d. Manejo racional de plagas y plaguicida

Por medio de capacitaciones y prácticas de campo dirigidas a los pobladores de las comunidades productoras de café y cultivos limpios bajo condiciones controladas o a campo libre, se les brindará asistencia técnica en cuanto al manejo de plagas y plaguicidas a través de módulos para cada tema.

e. Producción agropecuaria

Todos los sectores de producción dentro de la cuenca deben integrarse, y el sector pecuario será atendido por medio de capacitaciones y prácticas de campo, con el fin de minimizar el impacto de sus actividades al suelo y el alto grado de erosión, con los siguientes modelos:

- Modelo manejado bajo sistemas estabulados y no estabulados
- Producción de ganado de doble propósito
- Producción de ganado excedentario y subsistencia
- Gallineros
- Apiarios, entre otros.



Infraestructura agrícola

Enfocado a fortalecer los siguientes temas:

- Trojas mejoradas
- Casetas de secado
- Embalses
- Miniriego
- Cisternas
- Macrotunel
- Invernaderos

3.11.7 Monitoreo y evaluación

Para medir, monitorear y evaluar las actividades del proyecto y el impacto social económico en la población es indispensable contar con las siguientes herramientas técnicas.

a. Impacto socioeconómico

Consiste en la medición del impacto socioeconómico de actividades, tales como: número de cursos dados, participantes en giras, etc., así como las obras físicas (terrazas, sistemas agroforestales, etc.), generados por el proyecto.

Indicadores fundamentales:

- Incrementos en la producción agrícola



- Incrementos del ingreso neto de los agricultores en sus parcelas
- Medición de cambios en el bienestar general del agricultor y de la comunidad a través de niveles de: salud, bienes acumulados, características y tipo de vivienda.

b. Impacto ambiental

Considerado como la parte de proyecto que es el más difícil y costoso de medir y monitorear específicamente en cuanto al caudal de los ramales del río Pa'chirax, variaciones lluviosas en espacio y tiempo, cobertura boscosa y estimación de pérdida de suelo.

En cuanto a la calidad del agua se debe monitorear por parte del área de salud pública los siguientes indicadores.

- Calidad bacteriológica
- Calidad química
- Calidad física
- Características de los sólidos en suspensión
- Características organolépticas
- Disponibilidad del agua



c. Educación ambiental

El propósito de ésta es lograr que los habitantes de la microcuenca aprendan a valorar y apreciar su propio ambiente, así como, el de darles la adecuada capacitación para la toma de decisiones, en relación con el manejo de los recursos naturales locales. La educación formal e informal se enfocará en la definición de las causas de la degradación ambiental y la de promoción alternativa, para la conservación y desarrollo sostenible.

La educación informal estará comprendida entre las capacitaciones que realizan ONG'S y OG'S dirigidas a líderes comunales, grupos focales y empresas interesadas.

La educación formal estará presidida por el Ministerio de Educación (MINEDUC), en su Currículo Nacional Base (CNB). Se implementará por medio de escuelas rurales pilotos y se basará principalmente, en la capacitación a maestros y en la reproducción y distribución de materiales educativos para usarse por estudiantes, a fin de que éstos, adquieran conciencia conservacionista y que a corto plazo, se conviertan en agentes multiplicadores de



esta, coadyuvando así, al manejo y conservación sostenible de los recursos naturales, en la microcuenca.

3.11.7 Evaluación ambiental

La dimensión ambiental, al igual que la económica y técnica, estará inmersa en todas las etapas del ciclo del proyecto como punto medular. La variable ambiental tiene importancia en la toma de decisiones, debido a que contribuye a minimizar los posibles retornos negativos del ambiente sobre el proyecto y se reducen apreciablemente, los costos en medidas de prevención, mitigación y corrección.

La secuencia sistemática de actividades de la evaluación ambiental que acompañará el proyecto de inversión para el desarrollo agrícola rural para la microcuenca Pa'chirax en sus etapas son:

a. Prefactibilidad ambiental

En esta fase se obtienen los criterios generales sobre la incidencia del proyecto en procesos de degradación importantes en el ambiente como la recuperación de suelos susceptibles a la erosión y su potencial de control dirigido a las comunidades que se encuentran dentro de la microcuenca.



b. Estudio de factibilidad ambiental

En términos generales, estos estudios constituyen el instrumento para verificar la compatibilidad entre los usos del territorio propuesto en el proyecto y su uso potencial o las previsiones del ordenamiento territorial.

Con estos estudios, se pueden identificar las variables ambientales a ser estudiadas, las sensibilidades naturales y los problemas ambientales más relevantes.

c. Evaluación de impacto ambiental

Si los problemas detectados por el estudio de factibilidad ambiental –EFA-, se justifica la ejecución de una evaluación de impacto ambiental. La evaluación de impacto ambiental, determina en cada caso, la relevancia de los impactos y recomienda las medidas de rediseño, prevención, mitigación y control.

d. Programa de monitoreo y seguimiento ambiental

Como complemento de las evaluaciones de impacto ambiental, es necesario ejecutar los programas de seguimiento de las medidas propuestas, así como, los programas de monitoreo ambiental.



e. Auditorías ambientales (AA)

Si el proyecto ya se ha establecido y no se han realizado estudios ambientales, se puede considerar la realización de estudios posteriores o auditorías ambientales. Estas auditorías permiten: a) Determinar si los proyectos causan daño al ambiente y b) Proponer medidas de mitigación y corrección.

f. Evaluación sobre la marcha y expost

Por último, se realizarán: a) Evaluación sobre la marcha o de medio término con el fin de corregir la ejecución del proyecto, b) Una evaluación de impacto para determinar el impacto ambiental generado por el proyecto, que permitirá retroalimentar la formulación y el análisis de nuevos proyectos y también, planificar medidas de investigación.



CUADRO 14

COMPONENTES DEL PLAN DE MANEJO DE LA MICROCUENCA PA'CHIRAX

COMPONENTE	OBJETIVO	ACTIVIDAD	PRODUCTO	BENEFICIARIOS
Agropecuario y forestal	Manejo y protecciones de la vegetación que logra alta recarga hídrica en la microcuenca	Transferencia de tecnología para el incremento de la producción silvoagropecuaria y uso apropiado de la tierra	Productores agrícolas y pecuarios capacitados sobre la integración de sus actividades con el manejo y conservación de la microcuenca	PRODUCTORES POBLACIÓN RURAL POBLACIÓN URBANA
		Manejo forestal y reforestación	Productores forestales capacitados sobre la integración de sus actividades con el manejo y conservación de la microcuenca	PRODUCTORES POBLACIÓN RURAL POBLACIÓN URBANA
Económico	Mejorar la economía familiar local con enfoque ambiental sostenible	Desarrollo económico local	Familias con economía sostenible y amigable con la conservación de la microcuenca	PRODUCTORES POBLACIÓN RURAL POBLACIÓN URBANA
Recurso edáfico e hídrico	Manejar y conservar el recurso hídrico y edáfico dentro de la microcuenca	Manejo de recursos hídricos y gestión de riesgos	Monitoreo del recurso hídrico. Familias concientizadas para el manejo adecuado del recurso hídrico. Mapeo de los riesgos latentes.	POBLACIÓN RURAL POBLACIÓN URBANA
		Manejo y conservación de suelos y aguas	Hectáreas con prácticas de conservación de suelo	PRODUCTORES AGRÍCOLAS, PECUARIOS Y FORESTALES POBLACIÓN RURAL POBLACIÓN URBANA
Educativa	Incluir dentro de la formación educativa formal el manejo integrado de la microcuenca	Organización, extensión y educación ambiental.	Sistema educativo integrado para el manejo de la microcuenca	POBLACIÓN EDUCATIVA POBLACIÓN RURAL POBLACIÓN URBANA
Institucional	Gestionar los recursos necesarios para el manejo y conservación de los recursos naturales a nivel institucional	Fortalecimiento institucional	Integración eficiente y eficaz de las instituciones con influencia en la microcuenca	POBLACIÓN DENTRO DE LA MICROCUENCA POBLACIÓN BENEFICIADA POR EL AGUA EXTRAIDA.

Fuente: Investigación de campo 2 011.



a. Matriz resumen

Bases espaciales (mapas temáticos) y base de datos relacionados.

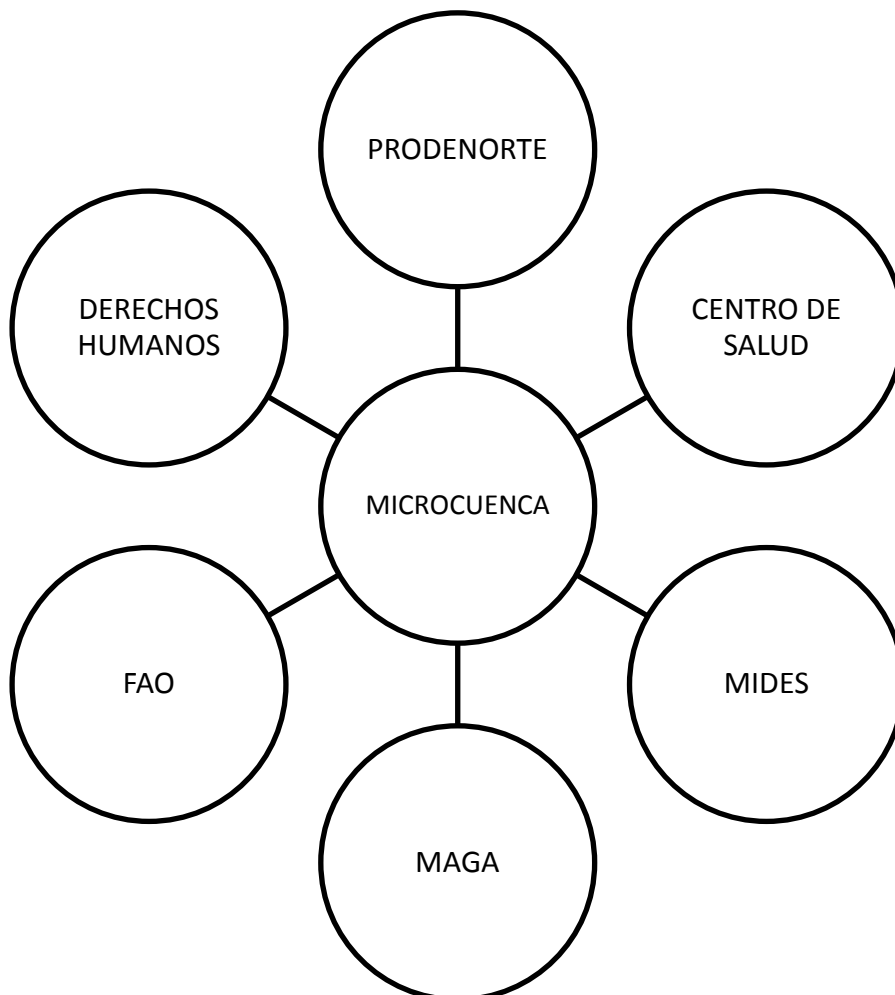
Finalmente, es importante generar una matriz resumen, que contenga las bases espaciales (mapas temáticos) y bases de datos relacionadas a generarse a escala 1:50 000 y los aspectos más relevantes de la caracterización de manera que, permita de una forma clara, presentar una visión global de la microcuenca Pa'chirax.

Esquema administrativo y operativo de la microcuenca Pa'chirax



Fuente: Investigación de campo 2 011.

ESQUEMA 2
ENTIDADES PÚBLICAS



Fuente: Investigación de campo 2 011.

3.12 Costos del proyecto

CUADRO 15
PRÁCTICAS DE CONSERVACIÓN DE SUELOS POR HECTÁREA

NO.	DESCRIPCIÓN	Costo mano de obra (Q)	Costo de cap (Q)	Material didáctico (Q)	Nivel en A (Q)	Cinta métrica de 50 m (Q)	Flexómetro (Q)	Total (Q)
1	Acequia de ladera	3 108,4	300,00	100,00	150,00	125,00	25,00	4 108,37
2	Construcción de curvas a nivel	1 554,20	300,00	100,00	150,00	125,00	25,00	2 554,16
3	Incorporación de material vegetativo	1 554,20	300,00	100,00	150,00	125,00	25,00	2 554,16
4	Barreras vivas	9 71,38	300,00	100,00	150,00	125,00	25,00	1 971,33
5	Barreras muertas	3 885,52	300,00	100,00	150,00	125,00	25,00	4 885,47
6	Pozos de infiltración	3 108,41	300,00	100,00	150,00	125,00	25,00	4 108,37
7	Terrazas	7 771,04	300,00	100,00	150,00	125,00	25,00	8 770,99
								28 952,84

Fuente: Investigación de campo 2 011.

CUADRO 16
DETALLE DE COSTOS DE CONSERVACIÓN DE SUELOS

RECURSOS	UNIDAD DE MEDIDA	CANTIDAD	COSTO UNITARIO (Q)	TOTAL (Q)
Piocha	Unidad	1,00	35,00	35,00
Pala redonda con cabo de madera	Unidad	1,00	35,00	35,00
Azadón barnizado pulido con cabo de madera	Unidad	1,00	25,00	25,00
Machete pulido liso	Unidad	1,00	35,00	35,00
Rastrillo con mango	Unidad	1,00	35,00	35,00
Barreta de hierro	Unidad	1,00	40,00	40,00
Carretilla de mano	Unidad	1,00	350,00	350,00
Cinta métrica	Unidad	1,00	40,00	40,00
				595,00

Fuente: Investigación de campo 2 011.



**CUADRO 17
COSTOS DE PRODUCCIÓN DE ABONO ORGÁNICO**

RECURSOS	UNIDAD DE MEDIDA	CANTIDAD	COSTO UNITARIO (Q)	TOTAL (Q)
Nylon negro	Yarda	3,00	12,00	36,00
Regadera de mano	unidad	1,00	125,00	125,00
Semilla de lombriz coqueta roja	unidad	500,00	0,25	125,00
Serrucho	unidad	1,00	45,00	45,00
Pala	unidad	1,00	35,00	35,00
Machete	unidad	1,00	25,00	25,00
Mano de obra	jornal	2,00	68,00	136,00
				527,00

Fuente: Investigación de campo 2 011.

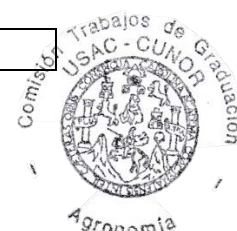
**CUADRO 18
SISTEMAS AGROFORESTALES –SEMILLAS**

Especie	Nombre común	Semillas/kg	Germinaron %	Precio semilla sin certificado (Q)
<i>Cupressus lusitánica</i>	Ciprés común	210,000	27	900,00
<i>Cedrella odorata</i>	Cedro	52,000	75	600,00
<i>Cibystax donnell-smithii</i>	Palo Blanco	200,000	80	750,00
<i>Pinus oocarpa Schiede</i>	Pino colorado	48,000	80	2 000,00
<i>Tabebuia pentaphylla – rosea</i>	Matilisguate	34,000	80	700,00
<i>Swetia panamensis</i>	Chichipate	15,500	75	650,00

Fuente: Investigación de campo 2 011.

CUADRO 19

INSUMOS VIVERO FORESTAL 5000 plantas



Bolsas de pótileno 4" x 8"	5 millares	Q 110,00
Bolsas de pótileno 3" x 6"	5 millares	Q 216,00
Regadera	1	Q 85,00
Bomba de fumigación	MATA81	Q 450,00
Bayfolan	2 litros	Q 80,00
15-15-15	2 libras	Q 5,20
20-20-0	2 libras	Q 5,20
Banrrot	1 kilo	Q 1 000,00
Micromins	1 litro	Q 80,00
Semilla	1 kilo	Q 2 600,00
Pala	1	Q 55,00
Cedazo	1	Q 15,00
TOTAL COSTO VIVERO		Q4 591,40
COSTO POR HA,	Q 988,10	Para quienes quieren instalar vivero
COSTO POR HA,	Q1 666,50	

INSUMOS PARA VIVERO DE 5 000 PLANTAS

Fuente: Investigación de campo 2 011.

CUADRO 20 COSTO DE ALMACIGOS DE ESPECIES FRUTALES

PLANTAS FRUTALES	DESCRIPCIÓN	COSTO UNITARIO (Q)	Cost por ha 3X3 (Q)
Papaya		30,00	33 330,00
Cacao	Injertado	25,00	27 775,00
Achiote		5,00	5 555,00
Nance		12,00	13 332,00
Rambutan		15,00	16 665,00
Moringa		5,00	5 555,00
Coco		5,00	5 555,00
Hule		25,00	27 775,00
Mandarina		20,00	22 220,00
Naranja		20,00	22 220,00
Aguacate		30,00	33 330,00
Durazno		20,00	22 220,00
Mazapan	Injertado	15,00	16 665,00
Mango		30,00	33 330,00
Café		3,50	3 888,50
Cardamomo		1,00	1 111,00
Ciruela		20,00	22 220,00

Fuente: Investigación de campo 2 011.

CONCLUSIONES

- a) La red meteorológica e hidrométrica tiene una densidad baja, lo que no permite tener un grado de certeza aceptable para el cálculo del balance hídrico climático. Las estaciones climatológicas existentes son las ubicadas en San Jerónimo, Rabinal y Cubulco, las cuales permitieron dibujar preliminarmente los polígonos de Thiessen. Por lo que deberá de diseñarse una red climatológica para la microcuenca.
- b) La capacidad de uso de los suelos de la microcuenca es mayoritariamente para conservación de la cobertura vegetal original. Debido a que la realidad muestra que la cobertura vegetal en el mejor de los casos llega a un 50 % del área total de la microcuenca, por lo que la promoción de actividades silvícolas y de conservación de los parches boscosos, deben ser prioritarias para el proyecto.
- c) El consumo de leña del 100 % de las viviendas rurales y un porcentaje alto de las familias y negocios de las áreas urbanas ha provocado una extracción no sostenible del bosque. Las plantaciones forestales fueron detectadas en la microcuenca, aunque su tamaño es mínimo comparado con las áreas que se han deforestado.
- d) Los suelos con capacidad agrícola ocupan pequeños porcentajes de todas las áreas de la microcuenca, que no supera el 10 % de su área. Adicionalmente, los mejores suelos son utilizados por un porcentaje pequeño del total de productores; por lo que la mayoría realizan actividades agropecuarias en suelos sin esa vocación y sin actividades de conservación de suelos y aguas. Al igual que lo indicado para el bosque, los mapas generados permiten ubicar a las comunidades (pequeños y medianos productores) y finqueros que realizan actividades agrícolas en suelos sin vocación, para asistirlos para que cambien o mejoren, a

través de incentivos, y que luego del proyecto sean apoyados por el canon por servicios ambientales.

- e) La diseminación de prácticas de conservación de suelos y aguas y la introducción de sistemas de riego, deberá ser promovida entre los pequeños y medianos productores de cultivos anuales y hortalizas, para procurar la seguridad alimentaria y generar ingresos y empleo. Previo, deberá levantarse la información de los sistemas de finca de los productores a ser beneficiados por el proyecto, para mostrar a mediano plazo el mejoramiento de sus ingresos. La ubicación y diseño de obras de regulación del agua con fines de riego debería de iniciarse inmediatamente, para dotar con el caudal requerido y no provocar conflictos con los actuales usuarios del agua.
- f) El tipo de suelo de las zonas de bosque, arbusto, matorral y cultivos permanentes; producen el 61,12 % de la recarga hídrica ($m^3/año$) total, sobre el 47 % de la superficie de la microcuenca equivalente a 901,11 ha ubicadas en la parte alta.
- g) La cobertura de bosque es identificada como la más importante entre los factores que favorecen la retención del recurso hídrico dentro del sistema microcuenca, con un porcentaje del 23 %, siendo este 5 355 924,08 $m^3/año$. Permitiendo una recarga potencial de 45 % del 100 % de la precipitación pluvial.



RECOMENDACIONES

- a) Para hacer más eficiente la obtención de datos climáticos, se recomienda ubicar en las partes alta, media y baja los siguientes instrumentos: un pluviómetro, el cual puede ser fabricado en una hojalatería; un termómetro tipo six, que mide la mínima, máxima y temperatura ambiente tres veces al día, y de fácil adquisición en el país; y un higrómetro, que permite calcular la humedad relativa, también de fácil adquisición en el mercado nacional. Con estos parámetros, lluvia, temperatura y humedad se puede calcular la evaporación y luego estimar el balance hídrico climático, el que con un reconocimiento del tipo de suelo y subsuelo permitirá estimar la cantidad de agua que puede ser almacenada, entre otras cosas. Estos tres instrumentos pueden estar a cargo de un productor beneficiado por el proyecto, previo a un entrenamiento.

- b) En relación a los datos hidrométricos, se recomienda instalar vertederos en distintas fuentes superficiales permanentes, que podrían ser aforadas diariamente por productores involucrados en los distintos componentes del proyecto.

- c) En cada microcuenca, el técnico responsable debería ser el encargado de recolectar mensualmente los datos y aclararle las dudas a los recolectores. INSIVUMEH puede apoyar en los entrenamientos, capacitaciones e interpretación y análisis de los datos, a través de un convenio de colaboración.



- d) En cuanto a la cantidad de agua de los nacimientos, se recomienda que se aforen al final de la época seca para estimar el número de personas que puede abastecer cada uno. Este trabajo deberá ser preparado con anticipación con los miembros de los comités de agua para lograr inventariar todos los nacimientos que abastecen actualmente a cada una de las comunidades de las seis microcuencas.
- e) Para mejorar el abastecimiento de agua de la cabecera municipal, se recomienda que se diseñe una campaña de aforos durante al menos un año, así como afora con molinete, para determinar la variación de los caudales. Adicionalmente se deberá estimar su calidad, al menos dos veces al año; los parámetros físicos, químicos y bacteriológicos que quedaron pendientes en el presente estudio, así como los residuos de agroquímicos utilizados en la zona. Este trabajo deberá ser realizado con los responsables del servicio de agua de la municipalidad.
- f) Para la protección de los nacimientos, se recomienda que se inviertan recursos financieros en cercar el área de recarga inmediata a cada nacimiento para evitar que ingresen animales y personas, construir cunetas y contra-cunetas alrededor de los nacimientos para desviar la escorrentía y evitar contaminar la fuente, colocar candados en todas las tapaderas, incluyendo los tanques de distribución; utilizar el “manual técnico de salud rural e inspectores de saneamiento ambiental del Ministerio de Salud de 1995. Estos trabajos deberán ser realizados por los miembros de los Comités de Agua de cada comunidad, para ser capacitados. Adicionalmente, se puede adquirir equipo de medición de pH, conductividad, sólidos totales disueltos y temperatura, en el campo. También deberá capacitarse a los miembros de los comités en cómo aforar los nacimientos.



- g) Se recomienda que el proyecto acompañe el proceso de negociación de la Mesa Forestal, e invierta recursos en las resoluciones que salgan de la misma. Al igual que con el agua, la microcuenca está abasteciendo de leña y madera a la cabecera municipal, por lo que debe de analizarse cómo este recurso extraído en forma no sostenible, genera pérdidas ambientales mayores que los árboles que se cortan; la venta de leña y madera no genera recursos financieros para invertir en revertir el cambio del régimen de los caudales y la pérdida de los suelos por la erosión, entre otros.





BIBLIOGRAFÍA

- Avalos Cambranes, Oscar A. *Determinación de las áreas principales de recarga hídrica natural de la subcuenca río Belejeja del municipio de Granados, Baja Verapaz*, Tesis Ingeniero Agrónomo. Universidad de San Carlos de Guatemala. Guatemala: Facultad de Agronomía, 2 008.
- Ciclo hidrológico*. http://www.infoiarna.org.gt/guateagua/subtemas/3/1_El_ciclo_hidrológico.pdf (26 de diciembre de 2 010).
- Cruz S, Jorge René de la. *Clasificación de zonas de vida de Guatemala, a nivel de reconocimiento*. Guatemala: Instituto Nacional Forestal, 1 973.
- Hernández Sandoval, Betzy Eugenia. *Conservación de las zonas de recarga hídrica de la Montaña El Socó, en los municipios de Patzún y Zaragoza, departamento de Chimaltenango*. Ejercicio Profesional Supervisado. Carrera Ingeniero Agrónomo. Universidad de San Carlos de Guatemala. Guatemala: Facultad de Agronomía, 2 006.
- Herrera Ibañez, Isaac R. *Manual de hidrología*. Universidad de San Carlos de Guatemala. Guatemala: Facultad de Agronomía, 1 995.
- Instituto Nacional de Bosques -INAB-. *Proyecto conservación de ecosistemas forestales estratégicos: determinación de áreas de recarga hídrica; manual capacitación técnica*. Guatemala: INAB., 2 002.
- Instituto Nacional de Estadística -INE-. *Demografía y socioeconomía del municipio de Rabinal, Baja Verapaz*. <http://www.ine.gob.gt/np/biblioteca/index.htm> (15 de noviembre de 2 010).
- Mederey Rascón, Laura E. *Principios de hidrología, Estudio del ciclo hidrológico*. Universidad Nacional Autónoma de México: Instituto de Geografía, 2 005.
- Maldonado Ramos, Brayne R. *Determinación de la recarga hídrica y propuesta de lineamientos de protección de los recursos naturales, aldea Chojzunil, Santa Eulalia, Huehuetenango*. Tesis Ingeniero Agrónomo. Universidad de San Carlos de Guatemala. Guatemala: Facultad de Agronomía, 2 004.

- Mánzo Barrientos, Daniel E. *Reconocimiento hidrogeológico para la determinación de zonas de recarga hídrica en la subcuenca del río Pínula, Jurisdicción de Santa Catarina Pínula*, Tesis Ingeniero Agrónomo. Universidad de San Carlos de Guatemala: Guatemala: Facultad de Agronomía, 2 008.
- Martínez, Miguel. *Criterios para la priorización y selección de cuencas, Programa de comunicaciones Fondo Mundial para la Naturaleza WWF*. Guatemala: WWF., 2 007.
- Martínez Xutuc, Walfer W. *Evaluación social y económica de la implementación del proyecto de mini riego, en las comunidades de Chixim y Pahoj, Rabinal, Baja Verapaz*. Tesis. Ingeniero Agrónomo. Universidad de San Carlos de Guatemala. Guatemala: Facultad de Agronomía, 2 005.
- Municipalidad de Rabinal, Baja Verapaz. *Diagnóstico Municipal de Rabinal, Baja Verapaz. Rabinal, Baja Verapaz*, Universidad de San Carlos de Guatemala. Guatemala: Facultad de ciencias económicas, Guatemala: 2 003.
- Ortega Sunuc, Maria J. *Comparación de aspectos técnicos y socioeconómicos de cuatro sistemas de captación de agua de lluvia, en el municipio de Rabinal, Baja Verapaz*. Ejercicio Profesional Supervisado. Ingeniero Agrónomo. Universidad de San Carlos de Guatemala: Facultad de Agronomía, 2 007.
- Savanije, Huvert Henricus G. *Hidrología para ingenieros. Curso nacional de drenaje agrícola y control de inundaciones a nivel de postgrado 1*, 1 995, Guatemala. Universidad de San Carlos de Guatemala: Facultad de Agronomía, 1 995.
- Schosinsky, G; y M. Losilla, 2000. "Modelo analítico para determinar la infiltración con base en la lluvia mensual". *Revista Geológica de América Central*, 23, 5., (agosto de 1 999): 43-55.
- Taracena Hernández, Julio J. *Determinación de la disponibilidad del recurso hídrico subterráneo y propuestas de políticas y estrategias de uso en la cuenca del río Itzapa del departamento de Chimaltenango*. Tesis. Ingeniero Agrónomo. Universidad de San Carlos de Guatemala: Facultad de Agronomía, 1 999.
- Tuñón Colom, Juan. *Determinación experimental del balance hídrico del suelo y evaluación de la contaminación asociada a las prácticas agrícolas*, Universitat Jaume I, España: Departamento de Ciencias Experimentales, Castellón de la Plana, España, 2 000.
- Vásquez Rivas, Obdulio E. *Estudio del recurso hídrico de la finca sabana grande y determinación de la recarga hídrica vertical de la microcuenca del río Cantil*,

aldea El Rodeo, Escuintla. Tesis Ingeniero Agrónomo. Universidad de San Carlos de Guatemala. Guatemala: Facultad de Agronomía, 2 006.



Adán García Veliz

Licenciado en Pedagogía e Investigación Educativa
Bibliotecario

ANEXO 1
CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES

SUBPRODUCTO	DETALLE	RESPONSABLE	CUATRIMESTRES									
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	
CONSERVACION DE SUELOS	SIEMBRA EN CONTORNO	comunidad, MAGA, municipalidad	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
	SIEMBRA EN SURCOS CON PENDIENTE CONTROLADA	comunidad, MAGA, municipalidad		x								x
	SIEMBRA EN FRANJAS Y TABLONES	comunidad, MAGA, municipalidad		x								x
	INCORPORACION DE METAS ORGANICAS	comunidad, MAGA, municipalidad	x					x				x
CONSERVACION Y COSECHA DE AGUA	LABRANZA MINIMA	comunidad, MAGA, municipalidad		x								
	SISTEMA TALINGYA	comunidad, MAGA, municipalidad										
MANEJO AGROFORESTAL	ARBOLES FORESTALES CON CULTIVOS	comunidad, MAGA, municipalidad		x								
	ARBOLES FRUTALES CON CULTIVOS	comunidad, MAGA, municipalidad		x								
	ARBOLES PRODUCTORES DE SOMBRA EN LOS CULTIVOS	comunidad, MAGA, municipalidad		x								
	CERCOS VIVOS Y CORTINAS ROMPEVENTOS	comunidad, MAGA, municipalidad		x								
	CULTIVOS EN FAJAS	comunidad, MAGA, municipalidad		x								
	SISTEMA AGROFORESTALES MULTIPLES	comunidad, MAGA, municipalidad		x								
	HUERTOS CASEROS	comunidad, MAGA, municipalidad		x								
	PRODUCCION DE FOLLAJE EN LAS PLANTACIONES FORESTALES	comunidad, MAGA, municipalidad		x								
	PRODUCCION DE FOLLAJE EN LOS BOSQUES SECUNDARIOS	comunidad, MAGA, municipalidad		x								
MANEJO DE PLAGUICIDAS	ARBOLES MADERABLES EN LOS PASTIZALES	comunidad, MAGA, municipalidad		x								
	ARBOLES FIJADORES DE NITROGENO EN PASTIZALES	comunidad, MAGA, municipalidad		x								
	ARBOLES FRUTALES EN LOS PASTIZALES	comunidad, MAGA, municipalidad		x								
	ARBOLES PRODUCTORES DE FORRAJE	comunidad, MAGA, municipalidad		x								
PRODUCCION PECUARIA	TROJA MEJORADA	comunidad, MAGA, municipalidad										
	CASETA DE SECADO	comunidad, MAGA, municipalidad										
	MINIRIEGO	comunidad, MAGA, municipalidad										
MONITOREO Y EVALUACION	CISTERNAS	comunidad, MAGA, municipalidad										
	APARICION	comunidad, MAGA, municipalidad										
	IMPACTO ECONOMICO	comunidad, MAGA, municipalidad										
	IMPACTO FISICO	comunidad, MAGA, municipalidad										
	EDUCACION AMBIENTAL	comunidad, MAGA, municipalidad										
INFRAESTRUCTURA AGRICOLA	EVALUACION AMBIENTAL	comunidad, MAGA, municipalidad										
	PREFACTIBILIDAD AMBIENTAL	comunidad, MAGA, municipalidad										
	ESTUDIO DE FACTIBILIDAD AMBIENTAL	comunidad, MAGA, municipalidad										
	EVALUACION DEL IMPACTO AMBIENTAL	comunidad, MAGA, municipalidad										
	PROGRAMA DE MONITOREO	comunidad, MAGA, municipalidad										
AUDITORIAS AMBIENTALES	comunidad, MAGA, municipalidad											

Fuente: elaboración propia, 2 013.

ANEXO 2 FACTORES SOCIALES ANALIZADOS

Dimensión social

Tema: demográfico y socioeconómico

No.	Indicadores	Número	Tipo de indicadores
1	Superficie del a microcuenca	18,86	ha
2	Número de comunidades	9	comunidades
3	Número de asentamientos precarios	0	asentamiento
4	Población y número de hogares (años censales y proyección a 2009)		

Fuente: INE 2009

Estimado de población al 2009

Municipio, microcuenca y lugar poblado	1994		2002		Incremento intercensal	Estimado 2009	
	Población total	No. Hogares totales	Población total	No. Hogares totales		Población total	No. Hogares totales
Rabinal	24 132	0	31 168	6 541	0,0325	38 988	8 182
Rabinal Valle	7 069	0	8 707	1 932	0,0264	10 449	2 318
Pa'chirax	928	175	1 307	235	0,0437	1 829	324
Chixim	255	47	360	72	0,0440	487	97
Xesiguan	305	55	414	66	0,0389	541	86
Plan de Godines	30	4	47	6	0,0577	70	9
Plan de Sanchez	83	15	169	29	0,0930	315	54
Los Catalanes	66	16	124	20	0,0820	215	34
Chuachimarrón	40	6	43	9	0,0091	46	10
Plan de las Tunas	52	10	43	10	-0,0235	36	8
Las Delicias	40	10	52	11	0,0333	65	14
Piedra de Cal	57	12	55	12	-0,0027	54	12

Fuente: INE 2009

ANEXO 3

Hogares en 2009 según sectores según estimaciones propias para el año 2009

Sectores en microcuenca	Hogares 2009	% hogares
Parte Alta	247	76.00
Parte Media	78	24.00
Parte Baja	0.00	0.00
Total microcuenca	324	100.00

Población por edad y sexo, según estimaciones propias para el año 2009

MUNICIPIO	TOTAL	HOMBRES	MUJERES	0 - 64 años																	65 años y más
				0 - 4	5 - 9	10 - 14	15 - 19	20 - 24	25 - 29	30 - 34	35 - 39	40 - 44	45 - 49	50 - 54	55 - 59	60 - 64	65 años y más				
RABINAL (municipio)	38,988	18,305	20,683	6,12	6,31	5,56	3,96	2,51	2,13	1,94	1,86	1,59	1,49	1,38	95	829	2,28				
% del total		46.95	53.05	15.7	16.2	14.2	10.1	6.46	5.49	4.98	4.78	4.10	3.84	3.54	2	2.13	5.86				
RABINAL (Pueblo)	7,050	3,386	3,664	976	1,07	973	835	844	477	319	316	324	275	244	15	129	316				
% del total		48.03	51.97	13.8	15.1	13.8	11.8	9.13	6.76	4.63	4.49	4.60	3.90	3.46	2	1.83	4.49				
Microcuenca Pachirax	1829	816	913	368	358	265	145	86	118	115	76	82	51	48	43	23	72				
% del total		50.08	49.92	20.0	19.5	14.4	7.91	4.72	6.46	6.27	4.18	3.41	2.78	2.61	2	1.28	3.96				
		Pre-productivo																	54.06		
		Productivo																	41.98		
		Post-productivo																	3.96		
Chisim	487	242	245	108	87	64	34	27	37	27	20	16	11	11	18	7	23				
Xesiguan	541	276	265	94	114	78	51	25	39	34	18	16	14	21	14	7	16				
Plan de Godínez	70	31	39	16	16	7	4	6	4	6	0	3	1	1	0	1	1				
Plan de Sánchez	315	168	157	62	71	56	22	9	17	24	15	9	17	4	2	0	7				
Los Catalanes	215	116	99	43	47	35	21	3	5	12	12	12	3	2	5	2	12				
Chuchimarrón	46	23	23	11	6	7	3	4	1	3	4	1	1	2	0	0	1				
Plan de las Tunas	36	20	16	6	6	1	1	3	4	3	1	1	2	0	3	1	6				
Las Delicias	66	28	37	11	6	9	1	5	9	4	4	1	1	5	0	5	4				
Piedra de Cal	54	22	32	15	5	8	7	4	2	1	2	3	0	2	3	1	2				

ANEXO 4
HOJA DE CÁLCULO DE RECARGA HÍDRICA POR UNIDAD DE MAPEO

ZONA DE ESTUDIO	MICROCUENCA RÍO PA'CHIRAX								
USO DE LA TIERRA	Agricultura								
TEXTURA DE SUELO	Franco Arenoso								
GEOLOGÍA	Cuaternario								
fc: Capacidad de infiltración				P: Precipitación media mensual					
I: Infiltración				Pi: Precipitación que infiltra					
CC: Capacidad de campo				ESC: Escorrentia superficial					
PM: Punto de marchitez				ETP: Evapotranspiración potencial					
PR: Profundidad de raíces				ETR: Evapotranspiración real					
(CC-PM): Rango de agua disponible				Hsi: Humedad del suelo inicial					
DS: Densidad de suelo				HD: Humedad disponible					
C1: Factor ETP, por cierre de estomas, antes que ocurra ETR				HSf: Humedad del suelo final					
C2: Factor de ETP, por cierre de estomas, después que ocurre ETR				DCC: Déficit de capacidad de campo					
Kp: Factor por pendiente				Rp: Recarga potencial					
Kv: Factor por vegetación				Ret: Rentención de lluvia					
Kfc: Factor estimado con base a la prueba de infiltración									
fc (mm/d)	230			Ci:	0,994			%	(mm)
Kp	0,2							CC	14,866 273,54
Kv	0,1							PM	8,080 148,66
Kfc	0,6935							CC-PM	6,787 124,88
I	1								
DS	0,80								
PR	2300								

	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	TOTAL
P(mm)	13,8	4,7	4,25	71,25	209,15	199,7	206,35	212,12	202,75	100,8	20,9	12,1	1257,9
Ret(mm)	1,656	0,564	0,51	8,55	25,098	23,964	24,762	25,454	24,33	12,096	2,508	1,452	150,94
Pi(mm)	12,07	4,11	3,72	62,30	182,86	174,60	180,42	185,46	177,27	88,13	18,27	10,58	1099,8
ESC(mm)	0,08	0,03	0,02	0,40	1,19	1,13	1,17	1,20	1,15	0,57	0,12	0,07	7,1428
ETP(mm)	14,335	18,497	20,609	21,336	15,676	11,879	15,087	18,091	14,975	10,195	12,697	10,623	184
Hsi(mm)	273,4	273,4	273,4	273,4	273,4	273,4	273,4	273,4	273,4	273,4	273,4	273,4	3280,8
C1	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	
C2	0,98	0,88	0,86	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	0,84	
HD	136,80	128,85	128,45	187,03	307,60	299,34	305,15	310,20	302,00	212,87	143,01	135,32	2596,6
ETR	14,197	17,421	19,203	21,336	15,676	11,879	15,087	18,091	14,975	10,195	12,697	9,7663	180,52
HSf	271,27	260,09	257,91	273,54	273,54	273,54	273,54	273,54	273,54	273,54	278,98	274,21	3257,2
Rp	0,00	0,00	0,00	40,82	167,05	162,58	165,19	167,23	162,15	77,80	0,00	0,00	942,82

ZONA DE ESTUDIO	MICROCUENCA RÍO PA'CHIRAX							
USO DE LA TIERRA	Agricultura							
TEXTURA DE SUELO	Franco Arenoso							
GEOLOGÍA	Paleozoico							
fc: Capacidad de infiltración					P: Precipitación media mensual			
I: Infiltración					Pi: Precipitación que infiltra			
CC: Capacidad de campo					ESC: Escorrentia superficial			
PM: Punto de marchitez					ETP: Evapotranspiración potencial			
PR: Profundidad de raíces					ETR: Evapotranspiración real			
(CC-PM): Rango de agua disponible					Hsi: Humedad del suelo inicial			
DS: Densidad de suelo					HD: Humedad disponible			
C1: Factor ETP, por cierre de estomas, antes que ocurra ETR					HSf: Humedad del suelo final			
C2: Factor de ETP, por cierre de estomas, después que ocurre ETR					DCC: Déficit de capacidad de campo			
Kp: Factor por pendiente					Rp: Recarga potencial			
Kv: Factor por vegetación					Ret: Rentención de lluvia			
Kfc: Factor estimado con base a la prueba de infiltración								
	fc (mm/d)	185	Ci:	0,802			%	(mm)
	Kp	0,06				CC	14,492	231,87
	Kv	0,1				PM	7,876	126,02
	Kfc	0,6423				CC-PM	6,616	105,85
	I	0,879						
	DS	0,80						
	PR	2000						

	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	TOTAL
P(mm)	13,80	4,70	4,25	71,25	209,15	199,70	206,35	212,12	202,75	100,80	20,90	12,10	1257,87
Ret(mm)	1,66	0,56	0,51	8,55	25,10	23,96	24,76	25,45	24,33	12,10	2,51	1,45	150,94
Pi(mm)	9,74	3,32	3,00	50,31	147,67	141,00	145,70	149,77	143,15	71,17	14,76	8,54	888,14
ESC(mm)	2,40	0,82	0,74	12,39	36,38	34,74	35,89	36,90	35,27	17,53	3,64	2,10	218,79
ETP(mm)	14,34	18,50	20,61	21,34	15,68	11,88	15,09	18,09	14,97	10,20	12,70	10,62	184,00
Hsi(mm)	231,87	231,00	231,00	231,00	231,00	231,00	231,00	231,00	231,00	231,00	215,50	231,00	2757,37
C1	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	
C2	0,96	0,85	0,83	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	0,86	0,97	
HD	115,60	108,30	107,98	155,29	231,00	231,00	231,00	231,00	231,00	176,15	104,24	113,53	2036,09
ETR	14,02	17,09	18,81	21,34	15,68	11,88	15,09	18,09	14,97	10,20	11,84	10,47	179,48
HSf	227,59	217,22	215,19	259,97	341,34	345,14	341,93	338,93	342,04	291,98	218,42	229,07	3368,82
Rp	0,00	0,00	0,00	0,00	21,66	14,98	19,68	23,75	17,14	0,00	0,00	0,00	97,21

ZONA DE ESTUDIO	MICROCUENCA RIO PA'CHIRAX						
USO DE LA TIERRA	Agricultura						
TEXTURA DE SUELO	Franco Arenoso						
GEOLOGÍA	Paleozoico						
fc: Capacidad de infiltración	P: Precipitación media mensual						
I: Infiltración	Pi: Precipitación que infiltra						
CC: Capacidad de campo	ESC: Escorrentia superficial						
PM: Punto de marchitez	ETP: Evapotranspiración potencial						
PR: Profundidad de raíces	ETR: Evapotranspiración real						
(CC-PM): Rango de agua disponible	Hsi: Humedad del suelo inicial						
DS: Densidad de suelo	HD: Humedad disponible						
C1: Factor ETP, por cierre de estomas, antes que ocurra ETR	HSf: Humedad del suelo final						
C2: Factor de ETP, por cierre de estomas, después que ocurre ETR	DCC: Déficit de capacidad de campo						
Kp: Factor por pendiente	Rp: Recarga potencial						
Kv: Factor por vegetación	Ret: Retención de lluvia						
Kfc: Factor estimado con base a la prueba de infiltración							
fc (mm/d)	204						% (mm)
Kp	0,06					CC	11,642 235,76
Kv	0,2					PM	6,327 128,13
Kfc	0,6655		Ci: 0,926			CC-PM	5,315 107,63
I	0,98						
DS	0,81						
PR	2500						

	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	TOTAL
P(mm)	13,80	4,70	4,25	71,25	209,15	199,70	206,35	212,12	202,75	100,80	20,90	12,10	1257,87
Ret(mm)	2,76	0,94	0,85	14,25	41,83	39,94	41,27	42,42	40,55	20,16	4,18	2,42	251,57
Pi(mm)	10,22	3,48	3,15	52,75	154,86	147,86	152,79	157,06	150,12	74,63	15,47	8,96	931,35
ESC(mm)	0,82	0,28	0,25	4,25	12,46	11,90	12,29	12,64	12,08	6,01	1,25	0,72	74,95
ETP(mm)	14,34	18,50	20,61	21,34	15,68	11,88	15,09	18,09	14,97	10,20	12,70	10,62	184,00
Hsi(mm)	235,70	235,70	235,70	235,70	235,70	235,70	235,70	235,70	235,70	235,70	235,70	235,70	2828,40
C1	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	
C2	0,96	0,86	0,84	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,03	0,98	
HD	117,79	111,05	110,72	160,33	231,00	231,00	231,00	231,00	231,00	182,20	123,05	116,53	2076,66
ETR	14,06	17,20	18,93	21,34	15,68	11,88	15,09	18,09	14,97	10,20	12,86	10,54	180,82
HSf	231,86	221,98	219,92	267,12	343,45	347,25	344,04	341,04	344,15	300,14	238,32	234,12	3433,39
Rp	0,00	0,00	0,00	0,00	31,43	24,43	29,36	33,63	26,69	0,00	0,00	0,00	145,53

ZONA DE ESTUDIO	MICROCUEENCA RÍO PA'CHIRAX					
USO DE LA TIERRA	Agricultura					
TEXTURA DE SUELO	Franco Arenoso					
GEOLOGÍA	Paleozoico					
fc: Capacidad de infiltración				P: Precipitación media mensual		
I: Infiltración				Pi: Precipitación que infiltra		
CC: Capacidad de campo				ESC: Escorrentia superficial		
PM: Punto de marchitez				ETP: Evapotranspiración potencial		
PR: Profundidad de raíces				ETR: Evapotranspiración real		
(CC-PM): Rango de agua disponible				Hsi: Humedad del suelo inicial		
DS: Densidad de suelo				HD: Humedad disponible		
C1: Factor ETP, por cierre de estomas, antes que ocurra ETR				HSf: Humedad del suelo final		
C2: Factor de ETP, por cierre de estomas, después que ocurre ETR				DCC: Déficit de capacidad de campo		
Kp: Factor por pendiente				Rp: Recarga potencial		
Kv: Factor por vegetación				Ret: Retención de lluvia		
Kfc: Factor estimado con base a la prueba de infiltración						
fc (mm/d)	340					% (mm)
Kp	0,06					CC 10,996
Kv	0,21					PM 5,976
Kfc	0,781		Ci: 1,000			CC-PM 5,020
I	0,98					
DS	0,80					
PR	2500					

	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	TOTAL
P(mm)	13,80	4,70	4,25	71,25	209,15	199,70	206,35	212,12	202,75	100,80	20,90	12,10	1257,87
Ret(mm)	2,76	0,94	0,85	14,25	41,83	39,94	41,27	42,42	40,55	20,16	4,18	2,42	251,57
Pi(mm)	11,04	3,76	3,40	57,00	167,32	159,76	165,08	169,70	162,20	80,64	16,72	9,68	1006,30
ESC(mm)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
ETP(mm)	14,34	18,50	20,61	21,34	15,68	11,88	15,09	18,09	14,97	10,20	12,70	10,62	184,00
Hsi(mm)	219,90	219,90	219,90	219,90	219,90	219,90	219,90	219,90	219,90	219,90	219,90	219,90	2638,80
C1	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	
C2	1,00	0,85	0,83	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	
HD	111,42	104,14	103,78	157,38	231,00	231,00	231,00	231,00	231,00	181,02	117,10	110,06	2039,89
ETR	14,34	17,14	18,84	21,34	15,68	11,88	15,09	18,09	14,97	10,20	12,70	10,62	180,87
HSf	216,60	206,52	204,46	255,56	334,85	338,64	335,43	332,43	335,55	290,34	223,92	218,96	3293,28
Rp	0,00	0,00	0,00	0,00	36,70	29,14	34,46	39,07	31,58	0,00	0,00	0,00	170,95

ZONA DE ESTUDIO	MICROCUCENCA RÍO PA'CHIRAX						
USO DE LA TIERRA	Agricultura						
TEXTURA DE SUELO	Franco Arenoso						
GEOLOGÍA	Paleozoico						
fc: Capacidad de infiltración	P: Precipitación media mensual						
I: Infiltración	Pi: Precipitación que infiltra						
CC: Capacidad de campo	ESC: Escorrentia superficial						
PM: Punto de marchitez	ETP: Evapotranspiración potencial						
PR: Profundidad de raíces	ETR: Evapotranspiración real						
(CC-PM): Rango de agua disponible	Hsi: Humedad del suelo inicial						
DS: Densidad de suelo	HD: Humedad disponible						
C1: Factor ETP, por cierre de estomas, antes que ocurra ETR	HSf: Humedad del suelo final						
C2: Factor de ETP, por cierre de estomas, después que ocurre ETR	DCC: Déficit de capacidad de campo						
Kp: Factor por pendiente	Rp: Recarga potencial						
Kv: Factor por vegetación	Ret: Retención de lluvia						
Kfc: Factor estimado con base a la prueba de infiltración							
fc (mm/d)	340					%	(mm)
Kp	0,06				CC	10,996	219,92
Kv	0,21				PM	5,976	119,52
Kfc	0,781		Ci:	1,000	CC-PM	5,020	100,40
I	0,98						
DS	0,80						
PR	2500						

	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	TOTAL
P(mm)	13,80	4,70	4,25	71,25	209,15	199,70	206,35	212,12	202,75	100,80	20,90	12,10	1257,87
Ret(mm)	2,76	0,94	0,85	14,25	41,83	39,94	41,27	42,42	40,55	20,16	4,18	2,42	251,57
Pi(mm)	11,04	3,76	3,40	57,00	167,32	159,76	165,08	169,70	162,20	80,64	16,72	9,68	1006,30
ESC(mm)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
ETP(mm)	14,34	18,50	20,61	21,34	15,68	11,88	15,09	18,09	14,97	10,20	12,70	10,62	184,00
Hsi(mm)	219,90	219,90	219,90	219,90	219,90	219,90	219,90	219,90	219,90	219,90	219,90	219,90	2638,80
C1	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	
C2	1,00	0,85	0,83	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	
HD	111,42	104,14	103,78	157,38	231,00	231,00	231,00	231,00	231,00	181,02	117,10	110,06	2039,89
ETR	14,34	17,14	18,84	21,34	15,68	11,88	15,09	18,09	14,97	10,20	12,70	10,62	180,87
HSf	216,60	206,52	204,46	255,56	334,85	338,64	335,43	332,43	335,55	290,34	223,92	218,96	3293,28
Rp	0,00	0,00	0,00	0,00	36,70	29,14	34,46	39,07	31,58	0,00	0,00	0,00	170,95

ZONA DE ESTUDIO	MICROCUEENCA RÍO PA'CHIRAX		
USO DE LA TIERRA	Agricultura		
TEXTURA DE SUELO	Franco Arenoso		
GEOLOGÍA	Paleozoico		
fc: Capacidad de infiltración	P: Precipitación media mensual		
I: Infiltración	Pi: Precipitación que infiltra		
CC: Capacidad de campo	ESC: Escorrentia superficial		
PM: Punto de marchitez	ETP: Evapotranspiración potencial		
PR: Profundidad de raíces	ETR: Evapotranspiración real		
(CC-PM): Rango de agua disponible	Hsi: Humedad del suelo inicial		
DS: Densidad de suelo	HD: Humedad disponible		
C1: Factor ETP, por cierre de estomas, antes que ocurra ETR	HSf: Humedad del suelo final		
C2: Factor de ETP, por cierre de estomas, después que ocurre ETR	DCC: Déficit de capacidad de campo		
Kp: Factor por pendiente	Rp: Recarga potencial		
Kv: Factor por vegetación	Ret: Retención de lluvia		
Kfc: Factor estimado con base a la prueba de infiltración			
fc (mm/d)	240		% (mm)
Kp	0,06		CC 5,828 118,02
Kv	0,1		PM 3,167 64,14
Kfc	0,70	Ci: 0,863	CC-PM 2,661 53,88
I	0,78		
DS	0,81		
PR	2500		

	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	TOTAL
P(mm)	13,80	4,70	4,25	71,25	209,15	199,70	206,35	212,12	202,75	100,80	20,90	12,10	1257,87
Ret(mm)	2,76	0,94	0,85	14,25	41,83	39,94	41,27	42,42	40,55	20,16	4,18	2,42	251,57
Pi(mm)	9,53	3,25	2,94	49,21	144,46	137,93	142,53	146,51	140,04	69,62	14,44	8,36	868,81
ESC(mm)	1,51	0,51	0,46	7,79	22,86	21,83	22,55	23,19	22,16	11,02	2,28	1,32	137,49
ETP(mm)	14,34	18,50	20,61	21,34	15,68	11,88	15,09	18,09	14,97	10,20	12,70	10,62	184,00
Hsi(mm)	118,00	118,00	118,00	118,00	118,00	118,00	118,00	118,00	118,00	118,00	118,00	118,00	1416,00
C1	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	
C2	0,91	0,72	0,67	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,03	0,96	
HD	63,39	57,11	56,80	103,07	231,00	231,00	231,00	231,00	231,00	123,48	68,30	62,22	1689,36
ETR	13,69	15,88	17,23	21,34	15,68	11,88	15,09	18,09	14,97	10,20	12,90	10,40	177,33
HSf	113,84	105,37	103,71	145,88	279,46	283,26	280,05	277,05	280,16	177,43	119,54	115,96	2281,71
Rp	0,00	0,00	0,00	0,00	-32,68	-39,21	-34,61	-30,63	-37,10	0,00	0,00	0,00	-174,23

ZONA DE ESTUDIO	MICROCUEENCA RÍO PA'CHIRAX					
USO DE LA TIERRA	Agricultura					
TEXTURA DE SUELO	Franco Arenoso					
GEOLOGÍA	Paleozoico					
fc: Capacidad de infiltración	P: Precipitación media mensual					
I: Infiltración	Pi: Precipitación que infiltra					
CC: Capacidad de campo	ESC: Escorrentia superficial					
PM: Punto de marchitez	ETP: Evapotranspiración potencial					
PR: Profundidad de raíces	ETR: Evapotranspiración real					
(CC-PM): Rango de agua disponible	Hsi: Humedad del suelo inicial					
DS: Densidad de suelo	HD: Humedad disponible					
C1: Factor ETP, por cierre de estomas, antes que ocurra ETR	HSf: Humedad del suelo final					
C2: Factor de ETP, por cierre de estomas, después que ocurre ETR	DCC: Déficit de capacidad de campo					
Kp: Factor por pendiente	Rp: Recarga potencial					
Kv: Factor por vegetación	Ret: Retención de lluvia					
Kfc: Factor estimado con base a la prueba de infiltración						
fc (mm/d)	240				%	(mm)
Kp	0,06				CC	16,156 403,90
Kv	0,18				PM	8,780 219,51
Kfc	0,703		Ci: 0,943		CC-PM	7,376 184,39
I	0,98					
DS	1,00					
PR	2500					

	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	TOTAL
P(mm)	13,80	4,70	4,25	71,25	209,15	199,70	206,35	212,12	202,75	100,80	20,90	12,10	1257,87
Ret(mm)	2,76	0,94	0,85	14,25	41,83	39,94	41,27	42,42	40,55	20,16	4,18	2,42	251,57
Pi(mm)	10,41	3,55	3,21	53,77	157,84	150,71	155,73	160,09	153,01	76,07	15,77	9,13	949,31
ESC(mm)	0,63	0,21	0,19	3,23	9,48	9,05	9,35	9,61	9,19	4,57	0,95	0,55	56,99
ETP(mm)	14,34	18,50	20,61	21,34	15,68	11,88	15,09	18,09	14,97	10,20	12,70	10,62	184,00
Hsi(mm)	403,00	403,00	403,00	403,00	403,00	403,00	403,00	403,00	403,00	403,00	403,00	403,00	4836,00
C1	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	
C2	0,97	0,91	0,90	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	0,99	
HD	193,90	187,04	186,70	237,26	231,00	231,00	231,00	231,00	231,00	259,56	199,26	192,62	2611,34
ETR	14,15	17,70	19,59	21,34	15,68	11,88	15,09	18,09	14,97	10,20	12,70	10,55	181,93
HSf	399,27	388,85	386,62	435,44	434,83	438,63	435,42	432,42	435,54	468,88	406,08	401,58	5063,55
Rp	0,00	0,00	0,00	0,00	110,33	103,20	108,22	112,58	105,50	0,00	0,00	0,00	539,84

ZONA DE ESTUDIO	MICROCUEENCA RÍO PA'CHIRAX						
USO DE LA TIERRA	Agricultura						
TEXTURA DE SUELO	Franco Arenoso						
GEOLOGÍA	Paleozoico						
fc: Capacidad de infiltración					P: Precipitación media mensual		
I: Infiltración					Pi: Precipitación que infiltra		
CC: Capacidad de campo					ESC: Escorrentia superficial		
PM: Punto de marchitez					ETP: Evapotranspiración potencial		
PR: Profundidad de raíces					ETR: Evapotranspiración real		
(CC-PM): Rango de agua disponible					Hsi: Humedad del suelo inicial		
DS: Densidad de suelo					HD: Humedad disponible		
C1: Factor ETP, por cierre de estomas, antes que ocurra ETR					HSf: Humedad del suelo final		
C2: Factor de ETP, por cierre de estomas, después que ocurre ETR					DCC: Déficit de capacidad de campo		
Kp: Factor por pendiente					Rp: Recarga potencial		
Kv: Factor por vegetación					Ret: Retención de lluvia		
Kfc: Factor estimado con base a la prueba de infiltración							
fc (mm/d)	238				%	(mm)	
Kp	0,06				CC	11,868	252,20
Kv	0,2				PM	6,450	137,06
Kfc	0,701	Ci:		0,961	CC-PM	5,418	115,13
I	0,98						
DS	0,85						
PR	2500						

	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	TOTAL
P(mm)	13,80	4,70	4,25	71,25	209,15	199,70	206,35	212,12	202,75	100,80	20,90	12,10	1257,87
Ret(mm)	2,76	0,94	0,85	14,25	41,83	39,94	41,27	42,42	40,55	20,16	4,18	2,42	251,57
Pi(mm)	10,61	3,62	3,27	54,80	160,87	153,60	158,72	163,15	155,95	77,53	16,08	9,31	967,50
ESC(mm)	0,43	0,14	0,13	2,20	6,45	6,16	6,36	6,54	6,25	3,11	0,64	0,37	38,80
ETP(mm)	14,34	18,50	20,61	21,34	15,68	11,88	15,09	18,09	14,97	10,20	12,70	10,62	184,00
Hsi(mm)	252,20	252,20	252,20	252,20	252,20	252,20	252,20	252,20	252,20	252,20	252,20	252,20	3026,40
C1	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	
C2	0,97	0,87	0,85	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,03	0,99	
HD	125,75	118,75	118,41	169,94	231,00	231,00	231,00	231,00	231,00	192,67	131,21	124,44	2136,18
ETR	14,10	17,30	19,06	21,34	15,68	11,88	15,09	18,09	14,97	10,20	12,88	10,56	181,15
HSf	248,71	238,51	236,41	285,67	352,39	356,18	352,98	349,97	353,09	319,54	255,39	250,94	3599,78
Rp	0,00	0,00	0,00	0,00	45,01	37,74	42,85	47,29	40,08	0,00	0,00	0,00	212,97

ZONA DE ESTUDIO	MICROCUENCA RÍO PA'CHIRAX						
USO DE LA TIERRA	Agricultura						
TEXTURA DE SUELO	Franco Arenoso						
GEOLOGÍA	Paleozoico						
fc: Capacidad de infiltración	P: Precipitación media mensual						
I: Infiltración	Pi: Precipitación que infiltra						
CC: Capacidad de campo	ESC: Escorrentia superficial						
PM: Punto de marchitez	ETP: Evapotranspiración potencial						
PR: Profundidad de raíces	ETR: Evapotranspiración real						
(CC-PM): Rango de agua disponible	Hsi: Humedad del suelo inicial						
DS: Densidad de suelo	HD: Humedad disponible						
C1: Factor ETP, por cierre de estomas, antes que ocurra ETR	HSf: Humedad del suelo final						
C2: Factor de ETP, por cierre de estomas, después que ocurre ETR	DCC: Déficit de capacidad de campo						
Kp: Factor por pendiente	Rp: Recarga potencial						
Kv: Factor por vegetación	Ret: Retención de lluvia						
Kfc: Factor estimado con base a la prueba de infiltración							
fc (mm/d)	215					%	(mm)
Kp	0,06					CC	16,587 380,32
Kv	0,2					PM	9,015 206,69
Kfc	0,677		Ci:	0,938		CC-PM	7,572 173,62
I	0,98						
DS	0,92						
PR	2500						

	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	TOTAL
P(mm)	13,80	4,70	4,25	71,25	209,15	199,70	206,35	212,12	202,75	100,80	20,90	12,10	1257,87
Ret(mm)	2,76	0,94	0,85	14,25	41,83	39,94	41,27	42,42	40,55	20,16	4,18	2,42	251,57
Pi(mm)	10,35	3,53	3,19	53,46	156,92	149,83	154,82	159,15	152,12	75,63	15,68	9,08	943,76
ESC(mm)	0,69	0,23	0,21	3,54	10,40	9,93	10,26	10,55	10,08	5,01	1,04	0,60	62,54
ETP(mm)	14,34	18,50	20,61	21,34	15,68	11,88	15,09	18,09	14,97	10,20	12,70	10,62	184,00
Hsi(mm)	380,32	380,32	380,32	380,32	380,32	380,32	380,32	380,32	380,32	380,32	380,32	380,32	4563,84
C1	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	
C2	0,98	0,91	0,90	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,02	0,99	
HD	183,98	177,15	176,81	227,08	231,00	231,00	231,00	231,00	231,00	249,25	189,31	182,70	2541,30
ETR	14,17	17,70	19,58	21,34	15,68	11,88	15,09	18,09	14,97	10,20	12,81	10,58	182,07
HSf	376,50	366,15	363,93	412,44	422,02	425,82	422,61	419,60	422,72	445,75	383,19	378,82	4839,56
Rp	0,00	0,00	0,00	0,00	99,55	92,46	97,45	101,78	94,75	0,00	0,00	0,00	485,97

ZONA DE ESTUDIO	MICROCUEENCA RÍO PA'CHIRAX		
USO DE LA TIERRA	Agricultura		
TEXTURA DE SUELO	Franco Arenoso		
GEOLOGÍA	Paleozoico		
fc: Capacidad de infiltración	P: Precipitación media mensual		
I: Infiltración	Pi: Precipitación que infiltra		
CC: Capacidad de campo	ESC: Escorrentia superficial		
PM: Punto de marchitez	ETP: Evapotranspiración potencial		
PR: Profundidad de raíces	ETR: Evapotranspiración real		
(CC-PM): Rango de agua disponible	Hsi: Humedad del suelo inicial		
DS: Densidad de suelo	HD: Humedad disponible		
C1: Factor ETP, por cierre de estomas, antes que ocurra ETR	HSf: Humedad del suelo final		
C2: Factor de ETP, por cierre de estomas, después que ocurre ETR	DCC: Déficit de capacidad de campo		
Kp: Factor por pendiente	Rp: Recarga potencial		
Kv: Factor por vegetación	Ret: Retención de lluvia		
Kfc: Factor estimado con base a la prueba de infiltración			
fc (mm/d)	550		% (mm)
Kp	0,06		CC 14,042 351,06
Kv	0,2		PM 7,632 190,79
Kfc	0,877	Ci: 1,000	CC-PM 6,411 160,27
I	0,98		
DS	1,00		
PR	2500		

	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	TOTAL
P(mm)	13,80	4,70	4,25	71,25	209,15	199,70	206,35	212,12	202,75	100,80	20,90	12,10	1257,87
Ret(mm)	2,76	0,94	0,85	14,25	41,83	39,94	41,27	42,42	40,55	20,16	4,18	2,42	251,57
Pi(mm)	11,04	3,76	3,40	57,00	167,32	159,76	165,08	169,70	162,20	80,64	16,72	9,68	1006,30
ESC(mm)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
ETP(mm)	14,34	18,50	20,61	21,34	15,68	11,88	15,09	18,09	14,97	10,20	12,70	10,62	184,00
Hsi(mm)	351,06	351,06	351,06	351,06	351,06	351,06	351,06	351,06	351,06	351,06	351,06	351,06	4212,72
C1	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	
C2	0,98	0,91	0,89	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,03	0,99	
HD	171,31	164,03	163,67	217,27	231,00	231,00	231,00	231,00	231,00	240,91	176,99	169,95	2459,11
ETR	14,19	17,65	19,50	21,34	15,68	11,88	15,09	18,09	14,97	10,20	12,86	10,59	182,02
HSf	347,91	337,17	334,96	386,72	406,12	409,91	406,71	403,70	406,82	421,50	354,92	350,15	4566,60
Rp	0,00	0,00	0,00	0,00	96,59	89,03	94,35	98,96	91,47	0,00	0,00	0,00	470,39

ZONA DE ESTUDIO	MICROCUEENCA RÍO PA'CHIRAX					
USO DE LA TIERRA	Agricultura					
TEXTURA DE SUELO	Franco Arenoso					
GEOLOGÍA	Paleozoico					
fc: Capacidad de infiltración	P: Precipitación media mensual					
I: Infiltración	Pi: Precipitación que infiltra					
CC: Capacidad de campo	ESC: Escorrentia superficial					
PM: Punto de marchitez	ETP: Evapotranspiración potencial					
PR: Profundidad de raíces	ETR: Evapotranspiración real					
(CC-PM): Rango de agua disponible	Hsi: Humedad del suelo inicial					
DS: Densidad de suelo	HD: Humedad disponible					
C1: Factor ETP, por cierre de estomas, antes que ocurra ETR	HSf: Humedad del suelo final					
C2: Factor de ETP, por cierre de estomas, después que ocurre ETR	DCC: Déficit de capacidad de campo					
Kp: Factor por pendiente	Rp: Recarga potencial					
Kv: Factor por vegetación	Ret: Retención de lluvia					
Kfc: Factor estimado con base a la prueba de infiltración						
fc (mm/d)	245				%	(mm)
Kp	0,06			CC	15,546	466,39
Kv	0,1			PM	8,449	253,47
Kfc	0,708		Ci: 0,868	CC-PM	7,097	212,92
I	0,98					
DS	1,20					
PR	2500					

	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	TOTAL
P(mm)	13,80	4,70	4,25	71,25	209,15	199,70	206,35	212,12	202,75	100,80	20,90	12,10	1257,87
Ret(mm)	2,76	0,94	0,85	14,25	41,83	39,94	41,27	42,42	40,55	20,16	4,18	2,42	251,57
Pi(mm)	9,58	3,26	2,95	49,48	145,25	138,69	143,31	147,31	140,81	70,00	14,51	8,40	873,57
ESC(mm)	1,46	0,50	0,45	7,52	22,07	21,07	21,77	22,38	21,39	10,64	2,21	1,28	132,72
ETP(mm)	14,34	18,50	20,61	21,34	15,68	11,88	15,09	18,09	14,97	10,20	12,70	10,62	184,00
Hsi(mm)	466,39	466,39	466,39	466,39	466,39	466,39	466,39	466,39	466,39	466,39	466,39	466,39	5596,68
C1	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	
C2	0,98	0,93	0,92	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,01	0,99	
HD	222,50	216,18	215,87	262,40	231,00	231,00	231,00	231,00	231,00	282,92	227,43	221,32	2803,62
ETR	14,18	17,84	19,75	21,34	15,68	11,88	15,09	18,09	14,97	10,20	12,75	10,57	182,32
HSf	461,80	451,82	449,59	494,54	468,80	472,60	469,39	466,38	469,50	526,20	468,15	464,23	5662,98
Rp	0,00	0,00	0,00	0,00	127,17	120,60	125,22	129,23	122,72	0,00	0,00	0,00	624,95

ZONA DE ESTUDIO	MICROCUEENCA RÍO PA'CHIRAX						
USO DE LA TIERRA	Agricultura						
TEXTURA DE SUELO	Franco Arenoso						
GEOLOGÍA	Paleozoico						
fc: Capacidad de infiltración	P: Precipitación media mensual						
I: Infiltración	Pi: Precipitación que infiltra						
CC: Capacidad de campo	ESC: Escorrentia superficial						
PM: Punto de marchitez	ETP: Evapotranspiración potencial						
PR: Profundidad de raíces	ETR: Evapotranspiración real						
(CC-PM): Rango de agua disponible	Hsi: Humedad del suelo inicial						
DS: Densidad de suelo	HD: Humedad disponible						
C1: Factor ETP, por cierre de estomas, antes que ocurra ETR	HSf: Humedad del suelo final						
C2: Factor de ETP, por cierre de estomas, después que ocurre ETR	DCC: Déficit de capacidad de campo						
Kp: Factor por pendiente	Rp: Recarga potencial						
Kv: Factor por vegetación	Ret: Retención de lluvia						
Kfc: Factor estimado con base a la prueba de infiltración							
fc (mm/d)	85					%	(mm)
Kp	0,06				CC	15,098	415,21
Kv	0,2				PM	8,206	225,66
Kfc	0,450		Ci:	0,710	CC-PM	6,893	189,55
I	0,98						
DS	1,10						
PR	2500						

	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	TOTAL
P(mm)	13,80	4,70	4,25	71,25	209,15	199,70	206,35	212,12	202,75	100,80	20,90	12,10	1257,87
Ret(mm)	2,76	0,94	0,85	14,25	41,83	39,94	41,27	42,42	40,55	20,16	4,18	2,42	251,57
Pi(mm)	7,84	2,67	2,41	40,48	118,81	113,45	117,22	120,50	115,18	57,26	11,87	6,87	714,57
ESC(mm)	3,20	1,09	0,99	16,52	48,51	46,31	47,86	49,20	47,02	23,38	4,85	2,81	291,73
ETP(mm)	14,34	18,50	20,61	21,34	15,68	11,88	15,09	18,09	14,97	10,20	12,70	10,62	184,00
Hsi(mm)	415,21	415,21	415,21	415,21	415,21	415,21	415,21	415,21	415,21	415,21	415,21	415,21	4982,52
C1	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	
C2	0,97	0,92	0,90	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	0,98	
HD	197,39	192,22	191,97	230,03	231,00	231,00	231,00	231,00	231,00	246,82	201,43	196,43	2611,29
ETR	14,09	17,72	19,62	21,34	15,68	11,88	15,09	18,09	14,97	10,20	12,67	10,52	181,86
HSf	408,96	400,16	398,00	434,35	440,98	444,78	441,57	438,56	441,68	462,28	414,41	411,57	5137,29
Rp	0,00	0,00	0,00	0,00	77,37	72,00	75,78	79,06	73,73	0,00	0,00	0,00	377,93

ZONA DE ESTUDIO	MICROCUCIENCA RÍO PA'CHIRAX						
USO DE LA TIERRA	Agricultura						
TEXTURA DE SUELO	Franco Arenoso						
GEOLOGÍA	Paleozoico						
fc: Capacidad de infiltración				P: Precipitación media mensual			
I: Infiltración				Pi: Precipitación que infiltra			
CC: Capacidad de campo				ESC: Escorrentia superficial			
PM: Punto de marchitez				ETP: Evapotranspiración potencial			
PR: Profundidad de raíces				ETR: Evapotranspiración real			
(CC-PM): Rango de agua disponible				Hsi: Humedad del suelo inicial			
DS: Densidad de suelo				HD: Humedad disponible			
C1: Factor ETP, por cierre de estomas, antes que ocurra ETR				HSf: Humedad del suelo final			
C2: Factor de ETP, por cierre de estomas, después que ocurre ETR				DCC: Déficit de capacidad de campo			
Kp: Factor por pendiente				Rp: Recarga potencial			
Kv: Factor por vegetación				Ret: Retención de lluvia			
Kfc: Factor estimado con base a la prueba de infiltración							
fc (mm/d)	253,87					%	(mm)
Kp	0,06					CC	10,968 273,04
Kv	0,2					PM	5,961 148,39
Kfc	0,678			Ci:	0,938	CC-PM	5,007 124,65
I	0,98						
DS	1,00						
PR	2500						

	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	TOTAL
P(mm)	13,80	4,70	4,25	71,25	209,15	199,70	206,35	212,12	202,75	100,80	20,90	12,10	1257,87
Ret(mm)	2,76	0,94	0,85	14,25	41,83	39,94	41,27	42,42	40,55	20,16	4,18	2,42	251,57
Pi(mm)	10,36	3,53	3,19	53,47	156,95	149,85	154,85	159,17	152,14	75,64	15,68	9,08	943,91
ESC(mm)	0,68	0,23	0,21	3,53	10,37	9,91	10,23	10,52	10,06	5,00	1,04	0,60	62,39
ETP(mm)	14,34	18,50	20,61	21,34	15,68	11,88	15,09	18,09	14,97	10,20	12,70	10,62	184,00
Hsi(mm)	273,04	273,04	273,04	273,04	273,04	273,04	273,04	273,04	273,04	273,04	273,04	273,04	3276,48
C1	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	
C2	0,97	0,88	0,86	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,02	0,99	
HD	135,01	128,18	127,84	178,12	231,00	231,00	231,00	231,00	231,00	200,29	140,33	133,73	2198,49
ETR	14,11	17,39	19,17	21,34	15,68	11,88	15,09	18,09	14,97	10,20	12,85	10,56	181,31
HSf	269,29	259,18	257,06	305,17	363,71	367,51	364,30	361,30	364,41	338,49	275,87	271,56	3797,86
Rp	0,00	0,00	0,00	0,00	50,60	43,51	48,50	52,83	45,79	0,00	0,00	0,00	241,22

ZONA DE ESTUDIO	MICROCUEENCA RÍO PA'CHIRAX					
USO DE LA TIERRA	Agricultura					
TEXTURA DE SUELO	Franco Arenoso					
GEOLOGÍA	Paleozoico					
fc: Capacidad de infiltración			P: Precipitación media mensual			
I: Infiltración			Pi: Precipitación que infiltra			
CC: Capacidad de campo			ESC: Escorrentia superficial			
PM: Punto de marchitez			ETP: Evapotranspiración potencial			
PR: Profundidad de raíces			ETR: Evapotranspiración real			
(CC-PM): Rango de agua disponible			Hsi: Humedad del suelo inicial			
DS: Densidad de suelo			HD: Humedad disponible			
C1: Factor ETP, por cierre de estomas, antes que ocurra ETR			HSf: Humedad del suelo final			
C2: Factor de ETP, por cierre de estomas, después que ocurre ETR			DCC: Déficit de capacidad de campo			
Kp: Factor por pendiente			Rp: Recarga potencial			
Kv: Factor por vegetación			Ret: Retención de lluvia			
Kfc: Factor estimado con base a la prueba de infiltración						
fc (mm/d)	185					% (mm)
Kp	0,06				CC	15,036 396,44
Kv	0,2				PM	8,172 215,46
Kfc	0,642		Ci:	0,902	CC-PM	6,864 180,98
I	0,98					
DS	1,05					
PR	2500					

	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	TOTAL
P(mm)	13,80	4,70	4,25	71,25	209,15	199,70	206,35	212,12	202,75	100,80	20,90	12,10	1257,87
Ret(mm)	2,76	0,94	0,85	14,25	41,83	39,94	41,27	42,42	40,55	20,16	4,18	2,42	251,57
Pi(mm)	9,96	3,39	3,07	51,43	150,98	144,16	148,96	153,12	146,36	72,77	15,09	8,73	908,03
ESC(mm)	1,08	0,37	0,33	5,57	16,34	15,60	16,12	16,57	15,84	7,87	1,63	0,95	98,27
ETP(mm)	14,34	18,50	20,61	21,34	15,68	11,88	15,09	18,09	14,97	10,20	12,70	10,62	184,00
Hsi(mm)	396,44	396,44	396,44	396,44	396,44	396,44	396,44	396,44	396,44	396,44	396,44	396,44	4757,28
C1	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	
C2	0,98	0,92	0,90	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,01	0,99	
HD	190,95	184,38	184,05	232,42	231,00	231,00	231,00	231,00	231,00	253,75	196,07	189,72	2586,33
ETR	14,16	17,73	19,61	21,34	15,68	11,88	15,09	18,09	14,97	10,20	12,78	10,57	182,08
HSf	392,24	382,11	379,90	426,54	430,78	434,58	431,37	428,37	431,48	459,01	398,75	394,61	4989,72
Rp	0,00	0,00	0,00	0,00	100,96	94,14	98,94	103,11	96,34	0,00	0,00	0,00	493,50



CUNOR

CENTRO UNIVERSITARIO DEL NORTE

Universidad de San Carlos de Guatemala



15089

El Director del Centro Universitario del Norte de la Universidad de San Carlos, luego de conocer el dictamen de la Comisión de Trabajos de Graduación de la carrera de:

Agronomía

Al trabajo titulado:

Recarga hídrica potencial de la Microcuenca del Río Pa'chirax, Rabinal, Baja Verapaz

Presentado por el (la) estudiante:

Doroteo Cuxum Gómez

Autoriza el

IMPRIMASE

"Id y enseñad a todos"

Lic. Zoot. M.A. *Fredy Giovanni Macz Choc*
DIRECTOR



Cobán, Alta Verapaz agosto del 2015