

**UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE AGRONOMIA
INSTITUTO DE INVESTIGACIONES AGRONOMICAS**

**DETERMINACIÓN DE LA RECARGA HÍDRICA Y PROPUESTA DE LINEAMIENTOS DE
PROTECCION DE LOS RECURSOS NATURALES, ALDEA CHOJZUNIL, SANTA EULALIA,
HUEHUETENANGO**



EN
SISTEMAS DE PRODUCCION AGRICOLA
EN EL GRADO ACADEMICO DE
LICENCIADO

Guatemala, noviembre del 2004

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA

RECTOR

Dr. M. V. LUIS ALFONSO LEAL MONTERROSO

JUNTA DIRECTIVA DE LA FACULTAD DE AGRONOMIA

DECANO

Dr. Ariel Abderramán Ortiz López

SECRETARIO

Ing. Agr. Pedro Peláez Reyes

VOCAL PRIMERO

Ing. Agr. Alfredo Itzep Manuel

VOCAL SEGUNDO

Ing. Agr. Manuel de Jesús Martínez Ovalle

VOCAL TERCERO

Ing. Agr. Erberto Raúl Alfaro Ortiz

VOCAL CUARTO

MEP. Juvencio Chom Canil

VOCAL QUINTO

MEP. Bayron Geovany González Chavajay

Guatemala, noviembre del 2004

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

Señores miembros

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

**DETERMINACIÓN DE LA RECARGA HÍDRICA Y PROPUESTA DE LINEAMIENTOS DE
PROTECCION DE LOS RECURSOS NATURALES, ALDEA CHOJZUNIL, SANTA EULALIA,
HUEHUETENANGO**

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

**Esperando que la presente investigación llene los requisitos necesarios para su aprobación,
agradezco su amable atención a la presente.**

Atentamente,

f. _____
Braynne Ronery Maldonado Ramos

ACTO QUE DEDICO

A:

- DIOS** Fuente Divina que me ha iluminado y ayudado siempre para poder alcanzar mis metas.
- MIS PADRES** Bilney Gemalí Maldonado De León y Eduvilia Araceli Ramos Ramírez, como muestra de amor y gratitud a todos sus esfuerzos y sacrificios realizados, los que hoy ven recompensados mediante este triunfo
- MIS HERMANOS** Delmer Gemalí, Wendy Aracely, Roselia Eduvilia y Estuardo Joél.
Que este triunfo los motive a seguir adelante y para que crean que en la vida nada es imposible.
- MIS ABUELOS** Roderico Joél Maldonado, Orfa Marina De León Basilio Ramos (Q. E. P. D.), Roselia Victorina Ramírez.
Gracias por el apoyo y estímulo brindado para seguir adelante, los quiero mucho.
- MIS TIOS, TIAS,** Con sincero aprecio, en especial a Milvia Lucrecia Maldonado y a su esposo Juan Carlos Ramos.
- PRIMOS Y PRIMAS** Con aprecio y cariño.
- MIS AMIGAS Y AMIGOS** Claudia, Lidamar, Cecilia, Nadia, Sandra Guzman, Rudy Navichoc, Alfredo Morales, Mynor Calderón, Horacio Gómez, Juan José Sosa, René Orellana, Guillermo Ramos, Juan Carlos Andrade, Werner Marroquín, Hugo Vela
Como recuerdo de una sincera amistad y de las experiencias compartidas.
- MIS COMPAÑEROS DE PROMOCION** Axel Cano (Q.E.P.D), David Rodríguez, Oliver Cano, Andrés Iboy, Sergio Coló, Heisler Gómez, Hesser Gonzáles, Elmer Roldán, Rony Roma, David Nolasco, Jonathan Nolasco, Francisco Sandoval, Pablo Polo, Erlin Miranda, Milton Mendez.
Recuerdos inolvidables como estudiante.

TESIS QUE DEDICO

A:

DIOS

MI PATRIA GUATEMALA

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA

FACULTAD DE AGRONOMIA

ESCUELA NORMAL CENTRAL PARA VARONES

INSTITUTO NACIONAL PARA VARONES ADRIAN ZAPATA

INSTITUTO BASICO POR COOPERATIVA IMEBCA

**ESCUELA OFICIAL URBANA MIXTA ELISA MOLINA DE STAHL
DE CABRICAN**

**MIS AMIGOS, COMPAÑEROS Y PERSONAS EN GENERAL QUE
CONTRIBUYERON A MI FORMACION.**

AGRADECIMIENTO

A:

Mis asesores de tesis, Ing. Agr. Isaac Herrera Ibáñez, Ing. Agr. Adalberto Rodríguez, por su valiosa orientación en la realización de la presente tesis.

Ingeniero Miguel Angel Morales, Ing. Tomás Padilla y al Doctor Ariel Ortiz, por corregir y evaluar el presente trabajo de investigación

personal local y técnico de la Cooperativa Agrícola de Servicios Varios “Chojzunil R. L”, Santa Eulalia, Huehuetenango, por el apoyo y colaboración en la ejecución de la investigación

El personal del Proyecto del Manejo Sostenible de los Recursos de la Sierra de Los Cuchumatanes (PROCUCH), por el apoyo y financiamiento a la presente tesis.

INDICE GENERAL

Página.

INDICE DE CUADROS	v
INDICE DE FIGURAS	vi
RESUMEN	vii
1. Introducción.....	1
2 Planteamiento del problema.....	2
3 Marco teórico	4
3.1 Marco Conceptual	
3.1.1 Recarga Hídrica.....	4
3.1.1.1 Recarga al acuífero.....	4
3.1.1.2 Recarga por infiltración de la lluvia.....	5
3.1.1.3 Recarga por infiltración de las corrientes.....	5
3.1.2 Acuífero.....	6
3.1.3 Tipos de acuíferos.....	7
3.1.3.1 Acuíferos libres.....	7
3.1.3.2 Acuíferos confinados.....	7
3.1.3.3 Acuíferos semi-confinados.....	7
3.1.3.4 Acuíferos semi-libres.....	8
3.1.4 Agua subterránea.....	8
3.1.4.1 Importancia del agua subterránea.....	8
3.1.4.2 Distribución del agua subterránea.....	8
3.1.4.3 Movimiento de la humedad del suelo.....	9
3.1.4.4 Manifestaciones exteriores del agua subterránea.....	10
3.1.4.5 Los sistemas de flujo.....	11
3.1.5 Ciclo Hidrológico.....	12
3.1.5.1 Influencia del hombre en el ciclo hidrológico.....	12
3.1.6 Factores que afectan la recarga a un acuífero.....	12
3.1.6.1 FACTORES DE CLIMA	
A.1 Precipitación Pluvial.....	13
A.2 Precipitación efectiva.....	13
A.2.1 Factores que intervienen en la precipitación efectiva.....	13
A. Intensidad de precipitación.....	13
B. Velocidad de Infiltración en el suelo.....	14

C. Cobertura Vegetal.....	14
D. Topografía.....	14
A.3 Evaporación.....	15
A.4 Transpiración.....	15
A.5 Evapotranspiración.....	15
3.1.6.2 FACTORES DE SUELO	
A. Capacidad de campo.....	15
B. Punto de marchites permanente.....	16
C. Agua utilizable por las plantas.....	16
3.1.6.3 FACTORES DE COBERTURA VEGETAL	
A. Profundidad radicular.....	17
B. Intercepción vegetal.....	17
3.1.7 ESCORRENTIA.....	17
3.1.7.2 Factores topográficos y geológicos de la escorrentía.....	17
3.1.7.2.1 Tamaño de la captación.....	17
3.1.7.2.2 Forma de la captación.....	17
3.1.7.2.3 Distribución de los cursos del agua.....	18
3.1.7.2.4 Pendiente de la captación.....	18
3.1.7.2.5 Almacenamiento de la captación.....	18
3.1.7.2.6 Geología de la captación.....	18
3.1.7.2.7 Uso de la tierra.....	18
3.1.8 Relaciones entre precipitación y escorrentía.....	19
3.2 Marco Referencial.....	20
3.2.1 Ubicación Geográfica.....	21
3.2.2 Límites de la aldea Chojzunil.....	21
3.2.3 Vías de acceso a la aldea Chojzunil.....	22
3.2.4 Descripción físico-natural del área de estudio.....	22
3.2.4.1 Suelos.....	22
A. Suelos Amay.....	22
B. Suelos Ixcanac.....	22
C. Suelos Quixtán.....	23
3.2.4.2 Capacidad de uso de la tierra.....	23
3.2.4.3 Zonas de vida vegetal.....	25
A. Bosque Muy Húmedo Subtropical.....	25
B. Bosque Húmedo Montano Bajo Subtropical.....	25
3.2.5 Topografía y Vegetación.....	27

3.2.5.1	Clima.....	27
3.2.5.2	Relieve.....	27
3.2.5.3	Hidrología.....	27
3.2.5.4	Hipsometría.....	27
3.2.5.5	Recursos Forestales.....	29
3.2.5.6	Flora.....	29
4.	OBJETIVOS.....	30
5.	METODOLOGÍA.....	31
5.1	Delimitación del área de estudio.....	31
5.2	Hidrología Superficial.....	31
5.2.1	Aforo de los manantiales.....	31
5.2.2	Aforo de los ríos.....	31
5.3	precipitación Pluvial.....	32
5.3.1	Precipitación Efectiva diaria.....	32
5.4.	Determinación de la Precipitación efectiva mensual.....	33
5.5	Balance de Humedad de suelos.....	33
5.6	Evapotranspiración Potencial.....	34
5.7	Evapotranspiración real.....	35
5.8	Determinación del efecto de cobertura vegetal.....	35
5.9	Determinación de la Humedad del suelo inicial.....	35
5.10	Determinación de la Humedad del suelo final.....	35
5.11	Determinación de la lámina de recarga.....	36
5.12	Determinación del volumen de recarga.....	36
5.13	Propuesta de Estrategias de manejo para la protección de los recursos naturales.....	36
5.13.1.	Bosque.....	36
5.13.2.	Suelo.....	36
5.13.3.	Agua.....	36
6.	RESULTADOS.....	37
6.1	Area de estudio.....	37
6.2	Características físicas del suelo.....	37
6.2.1	Textura.....	37
6.2.2	Estructura.....	37
6.3	Precipitación Pluvial.....	39
6.3.1	Precipitación media.....	39
6.3.2	precipitación efectiva.....	41
6.3.2.1.	Infiltración básica.....	41

6.3.2.2 Velocidad de Infiltración.....	42
6.3.2.3 Cobertura Vegetal.....	43
6.3.2.4 Topografía.....	43
6.4 Escorrentía del área de estudio.....	46
6.4.1 Escorrentía superficial.....	46
6.4.1.1 Aforo de los principales manantiales.....	47
6.4.1.2 Escurrimiento subsuperficial.....	47
6.4.1.3 Aforo de los principales ríos.....	49
6.5 Geología.....	49
6.5.1 Rocas Sedimentarias del Carbonífero y Pérmico.....	50
6.5.2 Rocas Metamórficas.....	50
6.5.3 Aluviones Cuaternarios.....	50
6.6 Evapotranspiración.....	53
6.7 Lámina de Humedad en el suelo.....	54
6.8 Cobertura Vegetal (Profundidad radicular).....	54
6.9 Recarga al acuífero.....	55
6.10 Cálculo de la lámina de recarga de forma diaria para el año 2002.....	57
6.11 Cálculo de la lámina de recarga de forma mensual para el año 2002.....	59
6.12 Cálculo de la lámina de recarga de forma anual para el año 2002.....	62
6.13 Comparación de los volúmenes de recarga para los cuatro años de estudio.....	63
6.14 Propuesta de lineamientos de manejo para Protección de los Recursos Naturales.....	66
6.14.1 Bosque.....	66
6.14.2 Suelo.....	67
6.14.3 Agua.....	68
7. CONCLUSIONES.....	69
8. RECOMENDACIONES.....	71
9. BIBLIOGRAFÍA.....	72
Anexo.....	75

INDICE DE CUADROS

Página

CUADRO 1. Límites de la aldea Chojzunil.....	20
CUADRO 2. Vías de acceso a la aldea Chojzunil.....	22
CUADRO 3. Flora presente en el área de estudio de la recarga hídrica.....	29
CUADRO 4. Valores de profundidad de raíces para diferentes usos del suelo.....	35
CUADRO 5. Resultados del análisis físico de suelo en el laboratorio.....	37
CUADRO 6. Datos mensuales de Precipitación para los cuatro años de estudio.....	39
CUADRO 7. Cálculo de la precipitación media por el método de las isoyetas.....	41
CUADRO 8. Cálculo de la velocidad de infiltración por Porchet para el área de cultivos.....	42
CUADRO 9. Cálculo de la velocidad de infiltración por Porchet para el área con bosque.....	43
CUADRO 10. Resumen de la precipitación efectiva mensual.....	46
CUADRO 11. Caudales de los manantiales presentes en el área.....	47
CUADRO 12. Lámina de escurrimiento.....	49
CUADRO 13. Caudales mensuales de los ríos.....	49
CUADRO 14. Cálculo de la ETP mensual para el año 2002.....	53
CUADRO 15. Resumen del cálculo de la ETP mensual por Hargreaves.....	54
CUADRO 16. Constantes de humedad en base a peso seco, densidad aparente y profundidad radicular.....	55
CUADRO 17. Resumen del cálculo de la recarga hídrica de forma diaria.....	57
CUADRO 18. Balance de humedad de suelos para el año 2002 de forma mensual.....	59
CUADRO 19. Resumen del cálculo de Recarga de forma mensual.....	60
CUADRO 20. Balance de humedad de suelos para el año 2002 de forma anual.....	62
CUADRO 21. Resumen del cálculo de Recarga de forma anual.....	62
CUADRO 22. Comparación de volúmenes anuales de recarga, utilizando las tres formas.....	64
CUADRO 23A. Valores mensuales de Radiación Extraterrestre.....	75
CUADRO 24A. Cálculo de la precipitación efectiva para el año 2001 por Schosinsky.....	75
CUADRO 25A. Cálculo de La Evapotranspiración Potencial para el año 1999.....	76
CUADRO 26A. Cálculo de La Evapotranspiración Potencial para el año 2000.....	76
CUADRO 27A. Cálculo de La Evapotranspiración Potencial para el año 2001.....	77
CUADRO 28A. Cálculo de lámina de recarga de forma diaria para el año 2002.....	77
CUADRO 29A. Resumen del cálculo de lámina de recarga de forma diaria, para los cuatro años de estudio.....	86
CUADRO 30A. Cálculo de lámina de recarga hídrica de forma mensual para el año 1999.....	87

CUADRO 31A. Cálculo de lámina de recarga hídrica de forma mensual para el año 2000.....	88
CUADRO 32A. Cálculo de lámina de recarga hídrica de forma mensual para el año 2001.....	89
CUADRO 33A. Resumen del procedimiento para el cálculo de lámina de recarga de forma anual.....	89
CUADRO 34A. Características químicas de los suelos presentes en el área.....	89
CUADRO 35A. Datos de precipitación (en mm) para el año 1999.....	90
CUADRO 36A. Datos de Temperatura en (°C Celsius) para el año 1999.....	91
CUADRO 37A. Datos de precipitación para el año 2000.....	92
CUADRO 38A. Datos de Temperatura en (°C Celsius) para el año 2000.....	93
CUADRO 39A. Datos de precipitación para el año 2001.....	94
CUADRO 40A. Datos de Temperatura en (°C Celsius) para el año 2001.....	95
CUADRO 41A. Datos de Temperatura en (°C Celsius) para el año 2002.....	96

INDICE DE FIGURAS

	Página
FIGURA 1. Mapa general del área de estudio de la Recarga Hídrica.....	21
FIGURA 2. Mapa de suelos, según Simmons et. al. (1,959).....	24
FIGURA 3. Mapa de zonas de vida vegetal.....	26
FIGURA 4. Mapa de curvas de nivel.....	28
FIGURA 5. Area de estudio de la recarga hídrica.....	38
FIGURA 6. Mapa de Isoyetas.....	40
FIGURA 7. Prueba de infiltración para suelos con cafetales asociado con bosque.....	44
FIGURA 8. Prueba de infiltración para suelos con bosque sin intervención humana.....	44
FIGURA 9. Mapa de uso de la tierra.....	45
FIGURA 10. Gráfica de comparación entre la Precipitación efectiva diaria y mensual.....	46
FIGURA 11. Manantiales, quebradas, ríos y puntos de aforo.....	48
FIGURA 12. Mapa geológico.....	51
FIGURA 13. Perfiles hidrogeológicos del área de estudio	52
FIGURA 14. Referencia del área para los lineamientos de protección de los recursos naturales.....	53
FIGURA 15. Gráfica de recarga hídrica de forma diaria.....	58
FIGURA 16. Gráfica de recarga hídrica de forma mensual.....	61
FIGURA 17. Gráfica de recarga hídrica de forma anual.....	63
FIGURA 18. Gráfica de comparación de los volúmenes de recarga para las tres formas.....	65

DETERMINACIÓN DE LA RECARGA HÍDRICA Y PROPUESTA DE LINEAMIENTOS DE PROTECCION DE LOS RECURSOS NATURALES, ALDEA CHOJZUNIL, SANTA EULALIA, HUEHUETENANGO

DETERMINATION OF THE HYDRIC CHARGE AND PROPOSAL OF LINEAMIENTOS OF PROTECTION OF THE NATURAL RESOURCES, VILLAGE CHOJZUNIL, SANTA EULALIA, HUEHUETENANGO

RESUMEN

Con la finalidad de proponer lineamientos de protección de los recursos naturales que se encuentran en la parte baja de la sierra de los Cuchumatanes, específicamente en el área de la aldea Chojzunil, municipio de Santa Eulalia, Huehuetenango y apoyando el manejo forestal que el INAB Y CONAP realizan dentro del área de influencia del Proyecto del Manejo Sostenible de los Recursos naturales de la Sierra de los Cuchumatanes (PROCUCH), ha tenido auge la determinación de la recarga hídrica en toda la Sierra, para tener una idea de la precipitación existente en la sierra y la cantidad de agua que ésta pueda almacenar como acuífero. Para esto, la sección de Hidrología del proyecto Cuchumatanes ha instalado estaciones meteorológicas en diferentes áreas de la sierra, con el objetivo de conocer el comportamiento de la lluvia en toda el área que el proyecto tiene a su cargo.

Se estableció el área a calcular la recarga hídrica para el año 2002, para tener una buena referencia del comportamiento de la precipitación dentro de esta parte, al tener en cuenta que en una estación meteorológica que la Cooperación Canadiense había instalado en la aldea La Palestina, Barillas, Huehuetenango, para un proyecto de plantas medicinales que ellos habían diseñado hace tres años, entonces se tenían datos de lluvia, temperatura y humedad relativa para cuatro años de estudio, lo cual dió lugar a poder calcular recarga de esta área por cuatro años y comparar los resultados y así con mayor datos de lluvia, se podría inferir de una mejor manera el comportamiento de la precipitación y de la recarga en esta área, que es lo que le interesa a PROCUCH.

Con los datos obtenidos de los cuatro años, se procedió a definir una metodología para calcular indirectamente los factores que intervienen en la recarga hídrica, luego se procedió a realizar el trabajo de campo conforme a la metodología propuesta (aforos, pruebas de infiltración, análisis de suelo, cobertura forestal, etc.). Además de los recorridos en toda el área para definir la tecnología apropiada de manejo

para la protección de los recursos naturales que se le pueda dar a esta área, según su uso y para cumplir con las normas que la certificadora de productos orgánicos (MAYACERT) establece en cuanto al buen manejo hacia los recursos naturales, ya que los habitantes se dedican a producir café y cardamomo orgánico y necesitan certificado orgánicamente para poder venderlo al mercado internacional, el cual ofrece mejor precio para sus productos.

Con los datos de campo obtenidos se utilizó la metodología Blaney-Cridle, utilizando el método de variación lineal para la evapotranspiración real, para determinar la recarga para los cuatro años de datos diarios con los cuales se contaban, utilizando una hoja electrónica, se introdujeron los valores que necesita la metodología descrita para calcular la recarga, mediante el balance hídrico, se calculó la recarga de tres formas (diaria, mensual y anual), esto para estimar la diferencia en volumen de recarga para cada forma de cálculo, con el objetivo de determinar cual de las formas es la más aceptable para determinar recarga, específicamente utilizando la metodología propuesta.

Los resultados obtenidos variaron en cuanto al cálculo de la recarga por medio de las tres formas, la forma diaria fue la que reportó mayor recarga para los cuatro años que las otras formas, con la forma mensual se obtuvieron valores de un 19.6% a un 44.6% menores que la forma diaria, comparando recargas para los cuatro años, pero la forma anual subestimó en gran manera la recarga para los cuatro años, de un 19.6% a un 54.98%, por lo que utilizar la metodología propuesta en este estudio no es muy adecuada para estimar recarga de forma anual, ya que de todas formas se necesitan datos mensuales de los factores que intervienen en el balance hídrico, por lo que es aconsejable usar la forma mensual o aún mejor, si se cuentan con datos diarios, utilizar la forma diaria, ya que se utilizan mayor número de datos reales diarios, entonces disminuye la probabilidad de error en la estimación.

La propuesta de la tecnología apropiada para la protección de los recursos del área, fue basada en el reglamento de producción orgánica que establece MAYACERT, las cuales son recomendaciones técnicas que los agricultores deben de seguir y cumplir, (prácticas de conservación de suelo, reforestación, protección de fuentes de agua, etc.), para que la certificadora de estos productos emita el certificado correspondiente y para que en el futuro, estos recursos naturales se encuentren en un estado aceptable para que las futuras generaciones hagan uso de los mismos.

1. INTRODUCCIÓN

Guatemala posee diversidad de recursos naturales que sirven de base para la vida de sus habitantes que viven en áreas rurales, lo que constituye que cada año se vayan agotando. Esto debido al aumento poblacional y por ende aumenta la demanda de agua, energía, servicios de salud y sobre todo de alimentos, por lo que la tierra constituye el recurso indispensable para la producción de los mismos.

A nivel mundial existe una escasez generalizada de agua dulce, según la (OPS/OMS) se estima que el 97.3% de agua en el mundo es salada y el 2.7% es agua dulce, pero sólo el 0.66% de agua dulce es usada para suministro a nivel mundial. La destrucción paulatina y la creciente contaminación de los recursos hídricos, la deforestación y la pérdida de los recursos naturales, han debilitado los manantiales existentes en las cuencas hidrográficas, que poco a poco se han ido perdiendo y con ello disminuye el 0.66% de agua dulce que a nivel mundial se utiliza para varios usos y servicios básicos como agua para consumo humano, diversión, saneamiento, agricultura, industria y otras actividades. (Cumbre Mundial del Desarrollo Sostenible Johannesburgo, 2002)

El agua es el recurso natural que más se utiliza en todo el mundo y el más importante para la vida, pero la necesidad de obtener otros servicios indispensables, los habitantes han hecho un uso irracional del bosque, debilitando las cuencas hidrográficas y así provocando la pérdida del suelo, agua, flora y la extinción de varias especies de animales. Esto para ser utilizados en otros usos, como leña (combustible), madera (como fuente de ingresos), construcción de casas, muebles, etc. De acuerdo con los datos de la ENIGFAM (Cumbre Mundial sobre el Desarrollo Sostenible Johannesburgo, 2002), en Guatemala el 80.1% de los pobres vive en área rural y el 63.2% son indígenas.

Lo anterior ha causado un deterioro de las cuencas que no tienen un manejo adecuado, por lo tanto, un mal uso y manejo del bosque, erosiona el suelo, disminuye la infiltración de la lluvia, hay mayor escorrentía y esto ocasiona el deterioro de otros recursos e incluso su pérdida, por ejemplo los manantiales, los cuales sin cobertura vegetal en la zona de recarga, disminuye la infiltración en estas zonas, no recarga el acuífero y disminuyen su caudal poco a poco, hasta un punto en el cual se secan completamente y sólo drenan esporádicamente cuando hay una tormenta.

Debido al mal manejo de los recursos naturales que los habitantes le dan a éstos, poco a poco el agua va disminuyendo a un punto tal que en el futuro, hará falta, por lo que para evitar la pérdida paulatina de los recursos naturales, se deben implementar lineamientos de manejo para protección para los recursos naturales para las cuencas hidrográficas de Guatemala y del mundo.

2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

El uso inadecuado de los recursos naturales que los habitantes han hecho en las áreas de las cuencas hidrográficas de Guatemala, ha provocado una pérdida paulatina del agua, esto se refleja en el caudal de los ríos, que son los puntos de descarga de agua de las cuencas. Muchos de estos problemas resultan de una cultura inadecuada en favor de la protección para el medio ambiente, también de la falta de conciencia y educación de la población sobre la necesidad de proteger los recursos naturales y de la ausencia de medios para hacerlo.

La contaminación de los recursos hídricos, la deforestación, la utilización de pesticidas y otras sustancias químicas en la agricultura, acaban con infiltrarse en los cursos de agua, los que provoca que con el tiempo disminuyan su caudal como el área de escurrimiento a tal punto que algunos manantiales y ríos se han secado, lo que provoca una pérdida lenta, pero generalizada de agua dulce en las regiones mal utilizadas en cuanto a su bosque, suelo y agua.

Santa Eulalia es uno de los municipios del departamento de Huehuetenango en donde existe una alta precipitación pluvial, se han reportado más de 3,000 mm anuales. La topografía del área es quebrada con un porcentaje de pendiente mayor del 100% y con tipo de suelo franco arenoso, el cual sin cobertura vegetal es susceptible a la erosión.

Dentro del área de estudio, no existe un manejo adecuado del bosque, los habitantes lo deforestan para extraer madera o para ser usado como leña, siendo después el área utilizada para cultivos agrícolas. Esta pérdida del bosque y del suelo contribuye a la pérdida paulatina del agua de los manantiales que aún se encuentra en buen estado, pero que según los habitantes del lugar han sufrido pérdidas del caudal en los últimos años.

En el área de estudio existen varios manantiales que por flujo superficial drenan a los ríos que la delimitan, pero que han sido utilizados por los habitantes para muchos usos, como bebida (agua potable), también para lavar ropa, café y otros usos. Pero el mal manejo de los otros recursos dentro del área los ha debilitado y según los habitantes, ahora éstos manantiales han disminuido su caudal y con los años se perderán, lo anterior justifica el estudio de la determinación de recarga anual que se presenta en el área de la aldea Chojzunil, la cual es parte aguas de los ríos Ibal y San Juan, con la finalidad de proponer lineamientos para proteger y manejar los recursos naturales de una manera sostenible, para que con el tiempo no se pierdan y las futuras generaciones puedan hacer uso de los mismos.

Dentro del manejo forestal ha tomado gran importancia la determinación de la recarga hídrica de la región, esto para definir áreas potenciales de recarga, que puedan ser consideradas como reservas naturales de alto valor ecológico, considerarlas áreas protegidas o para darle protección especial o un manejo sostenible, ya que es imprescindible cuidar los recursos naturales que todavía se conservan en buen estado y darle el valor de importancia que tienen en la vida, ya que juegan un papel importante en la vida del planeta.

3. MARCO TEORICO

3.1 MARCO CONCEPTUAL

3.1.1 Recarga Hídrica

Es el proceso que implica 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).

Según (Herrera I, 2001), los principales procesos de transferencia del ciclo hidrológico de una cuenca son: Precipitación pluvial, infiltración, 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.

Descarga Subterránea es el agua liberada de la zona de saturación, es decir, es la salida natural del agua subterránea proveniente de un acuífero. (Herrera I, 2001)

3.1.1.1 Recarga al acuífero

El agua subterránea se deriva de la infiltración de las aguas superficiales que provienen directamente de la lluvia, de corrientes superficiales y lagos alimentados por lluvia.

Lo anterior se demuestra sobre la base de datos cuidadosamente analizados, tales como los de penetración de la lluvia a través de los estratos, las pérdidas en las corrientes por infiltración, la pendiente del nivel freático, desde las áreas de entrada hasta las de descarga. En las zonas de descarga, que con frecuencia son de extensión superficial menor que las de recarga, el terreno tiene un aporte de humedad suplementario que puede compensar total o parcialmente el déficit hídrico de ciertas épocas del año, produciendo así un fuerte contraste de vegetación según las circunstancias de ese aporte hídrico. Si el exceso de humedad es grande, en las zonas de descarga se inicia la red de drenaje permanente a través de manantiales o zonas de rezume, con frecuencia acompañada de rasgos morfológicos erosivos y acumulación superficial de sales. En los mapas hidrogeológicos que señalan la amplitud del nivel piezométrico a lo largo del año, las zonas de descarga suelen coincidir con los mínimos de variación. En general las zonas de descarga se sitúan al pie de zonas más elevadas, y la calidad y temperatura del agua es alóctona. En ausencia de manantiales vistos, puede recurrirse a localizar zonas de descarga subterránea a través de los rasgos de campo que indican un exceso de humedad, los cuales varían con el clima, ambiente y topografía del punto de descarga (Herrera I, 2001).

Según (Motta F. 2002), en algunos lugares los depósitos de agua subterráneos son recargados rápidamente por la lluvia que cae en terrenos que yacen por encima de aquellos. En otros sitios en los cuales el nivel de los ríos y lagos se halla más alto que la superficie freática y sus lechos son permeables, el depósito es recargado por esos cuerpos líquidos, cuando una corriente o un tramo de esta, brinda su contribución de agua a la zona de saturación se dice que es una corriente influente respecto del agua subterránea. Si por el contrario de agua subterránea se halla a una elevación mayor a la de un río o un lago, y percola hacia éste se dice que es una corriente efluente de aquella. Algunas secciones de una corriente superficial son efluentes, en tanto otras pueden ser influentes.

3.1.1.2 Recarga por infiltración de la lluvia

Las recargas de agua en la zona de saturación provenientes de fuentes superficiales, comprenden tres pasos:

- A) Infiltración del agua desde la superficie a la zona de suelos.
- B) El movimiento descendente del agua a través de los materiales comprendidos en la zona de aereación, y
- C) La emigración de parte del agua al manto freático, aumentando así las reservas subterráneas.

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 raíces de las plantas, normalmente retiene mucha agua, no obstante esto, la mayor parte del agua tiende a moverse hacia abajo en respuesta a la fuerza de gravedad. (Herrera I, 2001)

3.1.1.3 Recarga por infiltración de las corrientes

En general, las corrientes se pueden clasificar en incurrientes 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 ejecutan si el acuífero aporta agua a la corriente.

La recarga se debe principalmente a la penetración en el subsuelo de la lluvia, sin embargo, si la lluvia al caer lo más rápidamente que la infiltración, el agua correrá sobre la superficie formando la escorrentía superficial. Las condiciones que influyen en la cantidad de la recarga del agua subterránea son dos:

A) Las que se refieren a la precipitación pluvial

En general, la proporción de agua infiltrada aumenta en cierto grado con la precipitación, si ocurre en forma de lluvias ligeras y escasas, puede ser absorbida por el suelo, las lluvias que caen una vez satisfechas las deficiencias del suelo son las que enriquecen las reservas subterráneas. Si la lluvia cae en forma fuerte aguaceros de corta duración, solo una pequeña parte del agua se infiltra y otra parte aún más pequeña alcanzará el nivel freático.

B) Las que se refieren a las facilidades de entrada

Por ciertas condiciones que hacen variar el porcentaje de la lluvia infiltrada. La más importante es la permeabilidad del terreno. Formaciones tales como calizas cavernosas, rocas fracturadas, grava o arena de grano grueso, permiten en gran parte que las lluvias alcancen el nivel freático, en cambio un suelo arcilloso sólo permite el paso del agua a poca profundidad.

Las facilidades para la infiltración del agua desde la superficie son controladas, en parte, por el carácter de la formación subyacente de la cual se derivó el suelo, en parte por el estado de desarrollo del mismo suelo, la vegetación y otros como, la topografía del terreno que también tiene gran influencia en la infiltración del agua. En general, la infiltración es mayor en terrenos planos que inclinados.

La cantidad de recarga de un acuífero depende en cierto modo de la extensión del área de entrada. De hecho, los acuíferos más productivos son los lechos permeables, situados en áreas extensas. Por otra parte, la infiltración es mayor cuando en el área de entrada ocurren no solo la precipitación local, sino el escurrimiento superficial de alguna área tributaria, como sucede en pendientes aluviales que reciben aguas superficiales provenientes de áreas montañosas con fuerte precipitación. (Taracena H. 1999)

3.1.2 Acuífero

Es una unidad geológica saturada capaz de suministrar agua a pozos y manantiales, los que a su vez sirven de fuertes prácticas de abastecimiento del líquido. Para que un acuífero sea funcional, sus poros o intersticios deben de estar llenos de agua y ser lo suficientemente grandes como para que permitan que el agua se desplace hacia los pozos y manantiales con un caudal apreciable. (Taracena H. 1999)

3.1.3 Tipos de Acuíferos

3.1.3.1 Acuíferos Libres

Son una capa permeable parcialmente saturada de agua y situada 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 esto sucede los acuíferos se llaman libres con rendimiento retardado.

3.1.3.2 Acuíferos Confinados

Un acuífero confinado es el que está totalmente saturado de agua y sus límites superior 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 alto que el nivel del límite superior del acuífero. Al agua que contienen estos acuíferos se les llama Confinada o artesisiana. 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.

3.1.3.3 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. Una capa es semipermeable cuando la permeabilidad es baja, pero aún medible. Para detectar el movimiento 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. También en este caso el nivel piezométrico es superior al que tiene el agua dentro del acuífero, ya que se encuentra a mayor presión que la atmosférica, 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.

3.1.3.4 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 (Taracena H, 1999).

3.1.4 Agua Subterránea

3.1.4.1 Importancia del agua Subterránea

El uso del agua subterránea se conoce desde hace muchos siglos, quizá desde los tiempos bíblicos, aunque lógicamente en aquellas épocas la explotación se hacía en forma rústica y primitiva.

En la antigüedad, probablemente la hazaña más grande en explotación de aguas subterráneas fue la construcción de largas galerías de infiltración que drenaban aguas de los conos aluviales de deyección y de las rocas sedimentarias blandas. Tales obras, llamadas KANATS, se originaron en Irán desde hace más de 2,500 años y de ahí se extendieron a Afganistán y Egipto, en donde aún hay algunas en servicio, en aquellos tiempos, el agua que ocupaban se usaba tanto para fines domésticos como agrícolas.

Durante la edad media, el uso del agua subterránea fue impulsado en Europa por el descubrimiento de los llamados pozos artesianos turgentes, y en épocas más modernas (siglo XVIII), este fue el motivo que impulsó el desarrollo de las técnicas de perforación. La Hidrogeología se vislumbra como ciencia desde el siglo XVII, su desarrollo es más bien moderno y comienza formalmente en el siglo pasado, con los estudios de Darcy, Dupuit, Theis y otros.

3.1.4.2. Distribución del agua Subterránea

En general, todos los materiales de la corteza terrestre, a mayor o menor profundidad tienen cierto espesor en el que son porosos, a esta parte se le conoce como zona porosa, a su vez estos poros pueden estar llenos total o parcialmente de agua.

El estrato superior, donde los poros no están completamente llenos de agua, es a lo que se le llama zona de aireación, debajo de ésta, donde los poros están totalmente llenos, se localiza la zona de saturación.

A su vez, la zona de aireación se divide en tres franjas:

A) La humedad del suelo, de gran importancia para la vegetación, ya que proporciona el agua necesaria para el desarrollo de las plantas; esta agua es retenida por atracción molecular y acción capilar contra la fuerza de gravedad.

B) La franja intermedia, que se encuentra por debajo de la anterior, su espesor es variable. El agua que contiene es un almacenamiento inútil o fósil, puesto que no se puede recuperar para utilizarla; esta parte funciona como tránsito del agua, de la zona húmeda hacia la franja capilar y la zona de saturación.

C) La franja capilar, situada inmediatamente arriba de la zona de saturación, sobre la que se retiene agua por acción capilar, contrarrestando la acción de la gravedad, su espesor y la cantidad de agua que retiene depende del tamaño de los granos del material, llegando a alcanzar hasta 3 metros de altura en materiales finos como limos y arcillas.

El agua que se encuentra en la zona de saturación es la que propiamente se conoce como agua subterránea, agua del subsuelo o agua profunda. Según (Velasco 1981), esta agua subterránea puede encontrarse en forma de un solo cuerpo continuo o en estratos separados. Su espesor varía desde unos pocos metros hasta centenares, dependiendo de factores tales como la geología local, la presencia de poros intersticios en las formaciones, la recarga, grado de fracturación y el movimiento o desplazamiento del agua desde las zonas de recarga hasta las de descarga.

3.1.4.3 Movimiento de la Humedad del Suelo

La infiltración es el movimiento del agua a través de la superficie del suelo hacia el interior del mismo, diferente a la percolación, que es el movimiento del agua a través del suelo profundo y las rocas. Una vez que el agua está en contacto con el suelo, el agua gravitacional penetra hacia abajo a través de los intersticios más gruesos, mientras que los más pequeños toman agua por capilaridad. El agua gravitacional, en su trayecto de descenso, también es interceptada por los intersticios capilares. A medida que los poros capilares de la superficie se llenan de agua, la tasa de infiltración disminuye. En suelos homogéneos, la infiltración disminuye gradualmente hasta la zona de aireación saturada. Normalmente, el suelo es estratificado y las capas inferiores son menos permeables que en las capas superficiales; en este caso, la tasa de infiltración se reduce a la tasa de percolación del estrato menos permeable.

La infiltración a partir de una lluvia se caracteriza por la formación de capas de agua muy delgadas en la superficie del suelo, que se extienden sobre áreas de considerable magnitud. Las cantidades de agua infiltrada son en general muy pequeñas (unos pocos centímetros por día) raramente son capaces de saturar una profundidad considerable del suelo cuando la lluvia cesa, el agua gravitacional presente aún en el suelo continúa su trayectoria descendente y es también interceptada por los intersticios capilares. Generalmente el agua infiltrada se distribuye dentro de las capas superiores del suelo, aportando muy poco al abastecimiento de agua subterránea, a menos que el suelo sea muy permeable o que la zona vadosa sea muy delgada (Amisial, RA. 1978).

3.1.4.4 Manifestaciones exteriores del agua subterránea

En general, en las áreas de recarga existe un déficit de humedad en el suelo en ciertas épocas del año, por lo menos en climas templados y con mayor razón en climas áridos y semiáridos. Por ello se caracterizan por tener una vegetación mucho más pobre que la existente en las zonas de descarga próximas. Este empobrecimiento de la vegetación también va acompañada de un suelo pobre, lo cual es un fenómeno ligado al anterior. Por otro lado, las zonas de recarga tienden a tener un sistema más homogéneo y estable que las de descarga.

En las zonas de descarga, que con frecuencia son además de extensión superficial más reducida que las de recarga, el terreno tienen un aporte de humedad suplementario que puede compensar total o parcialmente el déficit hídrico de ciertas épocas del año, produciendo así un fuerte contraste de vegetación según las circunstancias de ese aporte hídrico. Si el exceso de humedad es grande, en las zonas de descarga se inicia la red de drenaje permanente a través de manantiales o zonas de rezume, con frecuencia acompañadas de rasgos morfológicos erosivos y acumulación superficial de sales.

La descarga de aguas viene señalada por la existencia de un nivel piezométrico creciente en profundidad, de modo que es posible construir pozos surgentes en acuíferos libres sin necesidad de que medie ninguna cobertura impermeable. En los mapas hidrogeológicos que señalan la amplitud del nivel piezométrico a lo largo del año, las zonas de descarga suelen coincidir con los mínimos de variación. En general las zonas de descarga se sitúan al pie de zonas más elevadas y la calidad y temperatura del agua es alóctona.

En ausencia de manantiales vistos, puede recurrirse a localizar zonas de descarga subterránea a través de los rasgos de campo que indican un exceso de humedad, los cuales varían con el clima, ambiente y topografía del punto de descarga.

La presencia de manantiales, cuyo caudal varía según el clima, régimen de recarga y volumen de embalse útil, se delata en ocasiones por la existencia de una depresión circular o semicircular. A veces por la presencia de agua en el cauce de desagüe en épocas frías, pueden aparecer nieblas debido al fuerte contraste térmico entre el ambiente y el agua (a la temperatura media anual aproximadamente o algo mas caliente). (Herrera 2001)

3.1.4.5 Los Sistemas de Flujo

El primer paso para determinar la recarga es conocer el sistema de flujo del acuífero. Las características de circulación del agua subterránea dependen primariamente de tres factores que condicionan la recarga, presencia en el terreno y descarga:

- A) Climatología e hidrología
- B) Geología (litología y tectónica)
- C) Geomorfología (pendiente y suelos)

En un sistema con cierta geología, geomorfología y clima. Se establece un sistema de flujo en el que existen áreas de recarga, áreas de descarga y áreas de transferencia. En las primeras el flujo tiene una composición vertical descendente, en las segundas una componente vertical ascendente y en las terceras el flujo es predominantemente horizontal. En un esquema simple, las zonas de recarga y de descarga están conectadas por una zona de transferencia. Las variaciones del potencial hidráulico en la vertical de un lugar delata el carácter de la zona

No obstante en la realidad los sistemas son muchas veces complejos, con una o varias áreas de recarga y una o varias áreas de descarga y varios modos de transferencia según el lugar y la profundidad. A este respecto es preciso tener en cuenta que el agua puede circular por terrenos considerados poco permeables y también a notables profundidades, aunque lo haga muy lentamente, quizá a solo pocos metros por año, ya sea en medios porosos o a través de fisuras.

Un terreno al que se considera como no acuífero, desde el punto de vista de que su aptitud para que en el, se establezcan captaciones de agua subterránea, puede conducir grandes cantidades de agua subterránea si el gradiente y el espesor saturado es elevado y ello es de gran importancia geodinámica e hidrogeológica. El movimiento a través de esos acuitardos puede explicar muchos fenómenos a los que se les había buscado explicaciones complicadas y poco realistas. (Herrera 2001)

3.1.5 Ciclo Hidrológico

El ciclo hidrológico inicia con la evaporación del agua en los océanos transportándose hacia los continentes a través de masas móviles de aire que bajo condiciones adecuadas se condensan y forman nubes o también puede transformarse en precipitación. La precipitación se dispersa parte es retenida por el suelo regresando a la atmósfera por evaporación y transpiración de las plantas. Otra porción viaja por la superficie en forma de escorrentía y una pequeña parte llega a los acuíferos en forma de agua subterránea. Por gravedad tanto el agua superficial como la subterránea llega en algún momento a ser parte de los océanos aunque hay pérdidas por evaporación, transpiración, escorrentía superficial y subterránea (UNEPAR, 1981 en Santos Mancilla, 1997).

El ciclo hidrológico se refiere a la circulación general que resulta del hecho de que en promedio hay más precipitación que evaporación sobre la superficie continental de la tierra. El agua precipitada sobre la tierra pasa a través de varios medios de almacenamiento que pueden referirse como subsistemas del ciclo hidrológico.

3.1.5.1 Influencia del hombre en el ciclo hidrológico

La influencia directa del hombre en el ciclo hidrológico se restringe principalmente a la parte del agua superficial. Cerca de una tercera parte de esta tierra puede cultivarse. Casi toda la precipitación que cae sobre la tierra se deriva directamente de los océanos y solamente cerca del 10% de ésta, aún en las mas grandes masas de tierra, se origina de la superficie terrestre. Por lo tanto, muy poco puede hacer el hombre para incrementar la precipitación o nieve. Bajo un limitado rango de condiciones favorables la siembra de substancias en las nubes para producir lluvia artificial, ha producido precipitación extra y algunos éxitos se han logrado en la prevención del granizo.

3.1.6 Factores que afectan la recarga de agua a un acuífero

La infiltración del agua en un suelo depende en mucho de la condición del suelo, su contenido de humedad, duración de la lluvia y del patrón de drenaje en la cuenca.

Según (Custodio y Llamas, 2001), no toda la infiltración alcanza la zona saturada (agua subterránea), pues en mayor o menor proporción una parte queda en la zona superior (agua edáfica) y vuelve a la atmósfera por evapotranspiración. El volumen de agua que alcanza la zona saturada, a veces se denomina lluvia eficaz, infiltración eficaz, recarga natural o recarga profunda.

3.1.6.1 Factores de clima

A. Precipitación

A.1 Precipitación Pluvial

Cantidad de agua caída en una zona determinada, ya sea en forma de lluvia, nieve, granizo o rocío. El pluviómetro es el instrumento más utilizado para la medición de las precipitaciones, que se expresan en litros o mm/m².

Los factores que determinan el desigual reparto de las precipitaciones son múltiples y complejos, desde los de ámbito general hasta los regionales o locales.

A.1.1) Los **factores de alcance general** son los responsables de que en los climas ecuatoriales las lluvias sean fundamentalmente de convección, y en los climas tropicales las estaciones lluviosas coincidan con los solsticios.

A.1.2) Los **factores regionales** o locales determinan aspectos tales como la mayor humedad de las zonas costeras y la mayor frecuencia de lluvias en las barreras montañosas, en especial en su vertiente orientada al mar.

A.2 Precipitación efectiva

Para (Herrera, 2001), es la porción de la precipitación pluvial que puede infiltrarse en el suelo y estar disponible para las raíces de las plantas o bien percolarse al acuífero, por lo que es la precipitación que sirve para estimar el balance hídrico.

A.2.1 Factores que intervienen en la Precipitación efectiva

a) Intensidad de Precipitación

Al aumentar la intensidad de precipitación hasta el grado de rebasar la velocidad de infiltración del suelo, entonces el agua comienza a perderse por escurrimiento y no es aprovechada por el cultivo.

Suares de Castro citado por Cifuentes B 2000, dice que el factor pluviográfico de mayor importancia es la intensidad de la lluvia, lluvias con alta intensidad que se presentan generalmente en periodos cortos, desarrollan mayor actividad erosiva en los suelos, comparados con las lluvias de baja intensidad que se presentan en periodos más largos, ya que su acción erosiva disminuye.

b) La Velocidad de Infiltración en el suelo

Está íntimamente relacionada con la intensidad de precipitación y depende de las características físicas del suelo, tales como la textura, estructura, compactación etc, y del contenido de humedad, pues al aumentar éste la cantidad de agua infiltrada disminuye.

c) Cobertura Vegetal

Esta obstaculiza el escurrimiento por lo cual aumenta el tiempo de contacto suelo-agua y por consiguiente habrá mayor infiltración del agua de lluvia.

d) Topografía

Es importante porque al llover sobre una superficie plana el agua se infiltra, cosa que no ocurre en topografías accidentadas donde el agua comienza a escurrir hacia las partes bajas y planas (Herrera I, 1995).

Cifuentes B. 2000, dice que la erosión por el agua no es problema de zonas planas. Sólo cuando la topografía del los terrenos se hace quebrada, las pérdidas de suelo comienzan a adquirir importancia. El tamaño y la cantidad de material que el agua puede arrastrar o llevar en suspensión depende de la velocidad con que ésta fluye, la cual es una resultante de la longitud y el grado de la pendiente del terreno.

A.3 Evaporación

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

El fenómeno físico de la evaporación no es más que el paso del agua al estado de vapor a la temperatura ambiente y constituye un proceso de suma importancia porque contribuye como factor dinámico en el ciclo hidrológico del agua. Según Costumer en (Santos Mancilla 1997) dice que la evaporación depende de la energía calorífica recibida por el sol, de la temperatura, de la humedad del ambiente, de la velocidad del viento y dirección, de la constitución química del agua, de la presión barométrica del agua (Basso E, 1967) El efecto del viento es el de remover las masas de aire húmedo en contacto con la superficie evaporante, facilitando la llegada de aire mas seco. Es por ello que existe un incremento de la evaporación a medida que los valores de temperatura y viento son mayores. La humedad

relativa influye en una forma inversamente proporcional en la evaporación, ya que la tensión del vapor que se manifiesta cuando la atmósfera se satura de humedad actúa frenando la tasa de evaporación o sea que a una mayor humedad relativa del aire.

A.4 Transpiración

Es el resultado del proceso físico-biológico, por el cual el agua cambia de estado líquido a gaseoso a través del metabolismo de las plantas y pasa a la atmósfera. En sentido amplio, en el concepto se incluirá también el agua perdida por la planta en forma de goteo o exudación, que puede alcanzar valores relativamente importantes, especialmente cuando las condiciones ambientales para que se produzca la transpiración no son favorables. Asimismo debe de incluirse el agua que la planta incorpora a su estructura en el periodo de crecimiento. (Custodio y Llamas, 2001)

A.5 Evapotranspiración

Es la suma de la evaporación y la transpiración de los cuerpos de agua, suelo y de las plantas, el término solo es aplicado correctamente a una determinada área cubierta de vegetación, cuando no exista vegetación, sólo podrá hablarse de evaporación.

Es un proceso por el cual el agua se evapora del terreno, ya sea por la superficie del suelo o por la superficie de las hojas de las plantas, la transpiración resulta del desprendimiento del agua en forma de vapor de las hojas de las plantas, la cual ha sido absorbida desde el suelo y llevada a través de los tallos hasta la superficie foliar de donde pasa a la atmósfera.

La evapotranspiración, aun en igualdad de suelo, planta y clima, es variable, por una parte con la humedad que retenga el suelo en el momento considerado y, de otra, con el estado de la vegetación, por eso es llamada evapotranspiración actual para conocer la evapotranspiración en un momento dado (Herrera, 2001).

3.1.6.2 FACTORES DE SUELO

Constantes de humedad

A. Capacidad de campo

(Sandoval I, 1989) define la capacidad de campo como el contenido de humedad que tiene un suelo inmediatamente después de que el agua gravitacional ha drenado, o sea que es la máxima cantidad de agua que un suelo puede retener en contra de la fuerza de la gravedad. El concepto de capacidad de

campo es de gran utilidad por ser el límite superior de agua aprovechable o disponible para el desarrollo de las plantas y además porque es el porcentaje de humedad al que la zona radicular debe regarse para que no exista desperdicios ni falta de agua a la planta.

La tensión a la cual el agua está retenida en un suelo libre de sales cuando se está a capacidad de campo varía entre 1/10 de atmósfera para suelos arenosos y 1/3 de atmósfera para suelos arcillosos, aunque se han encontrado suelos arenosos en los cuales la tensión es de 0.06 de atmósfera y suelos en los cuales la tensión es de 0.07 de atmósfera.

B. Punto de marchitamiento permanente

Se define como el porcentaje o contenido de humedad del suelo al cual las plantas no pueden obtener suficiente humedad para satisfacer sus requerimientos de transpiración. Al alcanzar el suelo valores de PMP las plantas se marchitan y no son capaces de recuperarse aún cuando se coloquen durante una noche en una atmósfera saturada en la que casi no se produce consumo de agua. Al medio día muchas veces las plantas se marchitan, pero luego al enfriarse el día se recuperan, este es solo un marchitamiento temporal.

El PMP corresponde al límite inferior del agua disponible a las plantas y la tensión a la cual el agua está retenida por el suelo, varía de 7 a 32 atmósferas, dependiendo de la velocidad de utilización del agua por la planta (transpiración), del tipo de cultivo, textura del suelo y contenido de sales en el suelo. Cuando aumenta la velocidad de transpiración, el marchitamiento se produce con tensiones más bajas y contenido de humedad mayor. Para la mayoría de los cultivos comerciales el PMP se alcanza cuando la tensión de la humedad en el suelo es de 15 atmósferas y es por esto que también el PMP se le define como el contenido de humedad que tiene el suelo cuando el agua está retenida a 15 atmósferas (Sandoval I, 1989).

C. Agua utilizable por las plantas

El agua que infiltra en el suelo se llama agua subsuperficial, pero no toda se convierte en agua subterránea. Tres son los hechos fundamentales que tienen relación con esta agua. Primero, puede ser devuelta a la superficie por fuerzas capilares y evaporada hacia la atmósfera ahorrándose así gran parte de su recorrido dentro del ciclo hidrológico. Segundo, puede ser absorbido por las raíces de las plantas que crecen en el suelo, ingresando de nuevo a la atmósfera a través del proceso de transpiración. Tercero, la que se ha infiltrado profundamente en el suelo, puede ser obligada a descender por la fuerza de la gravedad hasta que alcance el nivel de la zona de saturación que constituye el depósito de agua subterránea y que abastece de la misma a los pozos. Una vez superada la capacidad de campo del suelo,

el agua gravitacional desciende por acción conjunta de las fuerzas capilares y de la gravedad. (Johnson, 1975 citado por Motta F. 2002)

3.1.6.3 FACTORES DE COBERTURA VEGETAL

A. Profundidad radicular

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

Para la mayoría de plantas, las raíces que absorben agua se encuentran dentro de los primeros 30 cm.

B. Intercepción vegetal

Según (Motta F. 2002) gran cantidad de lluvia que cae durante la primera parte de una tormenta, es depositada en la cobertura vegetal como intercepción. Aún cuando el efecto de la cobertura no tiene mayor importancia en las avenidas más grandes, la intercepción debida a algunos tipos de vegetación puede representar una porción de lluvia considerable anual.

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

3.1.7 ESCORRENTIA

3.1.7.1 Factores topográficos y geológicos

Los factores topográficos y geológicos que afectan a la escorrentía (Savenije, H.H.G. 1975) Los factores dominantes son:

A) Tamaño de la captación

Entre mayor área haya en una cuenca, el tiempo requerido para que el área de captación total contribuya a la escorrentía pico es mayor.

B) Forma de la Captación

Si tenemos la misma área de captación pero con forma distinta podemos observar que la cuenca alargada necesita mayor tiempo para alcanzar el pico que una cuenca en forma de medio círculo u ovalada.

A) Distribución de los cursos del agua

El patrón y arreglo de los cursos de corrientes naturales determinan la eficiencia del sistema de drenaje. Para otros factores constantes, el tiempo requerido por el agua para fluir una distancia dada es directamente proporcional a la longitud.

B) Pendiente de Captación

Mientras mayor sea la pendiente de captación viajará más rápidamente la escorrentía superficial. El tiempo al pico será más corto. La capacidad de infiltración en pendientes altas es muy baja.

López F. citado por (Cifuentes B, 2000), dice que el grado de pendiente del terreno es usualmente más importante con respecto a la severidad de la erosión, la erosión crece rápidamente con relación al grado de la pendiente del terreno y se observa algunas veces un aumento considerable de las pérdidas de suelo por muy débil que sea el crecimiento de la misma.

C) Almacenamiento de la captación

Ya que el almacenamiento debe llenarse primero antes de vaciarse, este tiene un retardatorio y modificador de la forma del hidrograma.

D) Geología de la captación

La pedología y geología de la cuenca influencia primordialmente al componente de agua subterránea y las pérdidas. Altas tasas de infiltración reduce la escorrentía superficial. El tipo de corriente predominante en una cuenca puede tener impacto substancial en la forma del hidrograma.

E) El uso de la tierra

El uso de la tierra puede influenciar fuertemente el coeficiente de escorrentía. áreas urbanizadas pueden tener un coeficiente del 100%, La vegetación natural puede tener baja escorrentía. Laboreo, drenaje, intensidad de cultivos, plantación de bosques, etc, también tienen un efecto considerable en la escorrentía (Savenije, H.H.G, 1975).

3.1.8 Relaciones entre precipitación y escorrentía

El flujo en un río está controlado primordialmente por variaciones en la precipitación, escorrentía y los métodos para distribuir la escorrentía a través del tiempo, son la base para una predicción eficaz de la operación de proyectos hidráulicos, para la extensión de registros de caudal en ríos con estaciones limnimétricas y para la estimación de caudales en ríos sin estaciones de medida. Se hace una distinción entre las relaciones precipitación-escorrentía de corta y larga duración. Las relaciones precipitación-escorrentía de corta duración describen el proceso de cómo la precipitación extrema se convierte en escorrentía directa. Esta produce flujos pico e hidrogramas que pueden usarse para el diseño de estructuras. La relación de larga duración pretende el establecimiento del rendimiento de la captación con propósitos de evaluación de recursos hídricos (Linsley, RK, 1988).

3.2 MARCO REFERENCIAL

3.2.1 Ubicación geográfica

La aldea Chojzunil, pertenece al municipio de Santa Eulalia del departamento de Huehuetenango (ver fig 1.), dista de la cabecera departamental ciento ocho kilómetros, posee una extensión territorial de 2,164 ha. (21.64 km²), Chojzunil, se encuentra localizada en las coordenadas Latitud Norte 15° 43' 14" y 15°44"04" y Longitud Oeste 91° 15' 07" y 91°15"57" (IGM, 1965), cuyos límites territoriales y vías de acceso se detallan en el cuadro 1 y 2 respectivamente.

3.2.2 Límites

Cuadro 1. Límites de la aldea Chojzunil, área de estudio de la Recarga Hídrica

LIMITE	ALDEA	MUNICIPIO	DEPARTAMENTO
NORTE	AMELCO	BARILLAS	HUEHUETENANGO
SUR	ALDEA BUENA VISTA	SOLOMA	HUEHUETENANGO
ESTE	ALDEA QUIXABAJ	SANTA EULALIA	HUEHUETENANGO
OESTE	GUAXACOY	SANTA EULALIA	HUEHUETENANGO

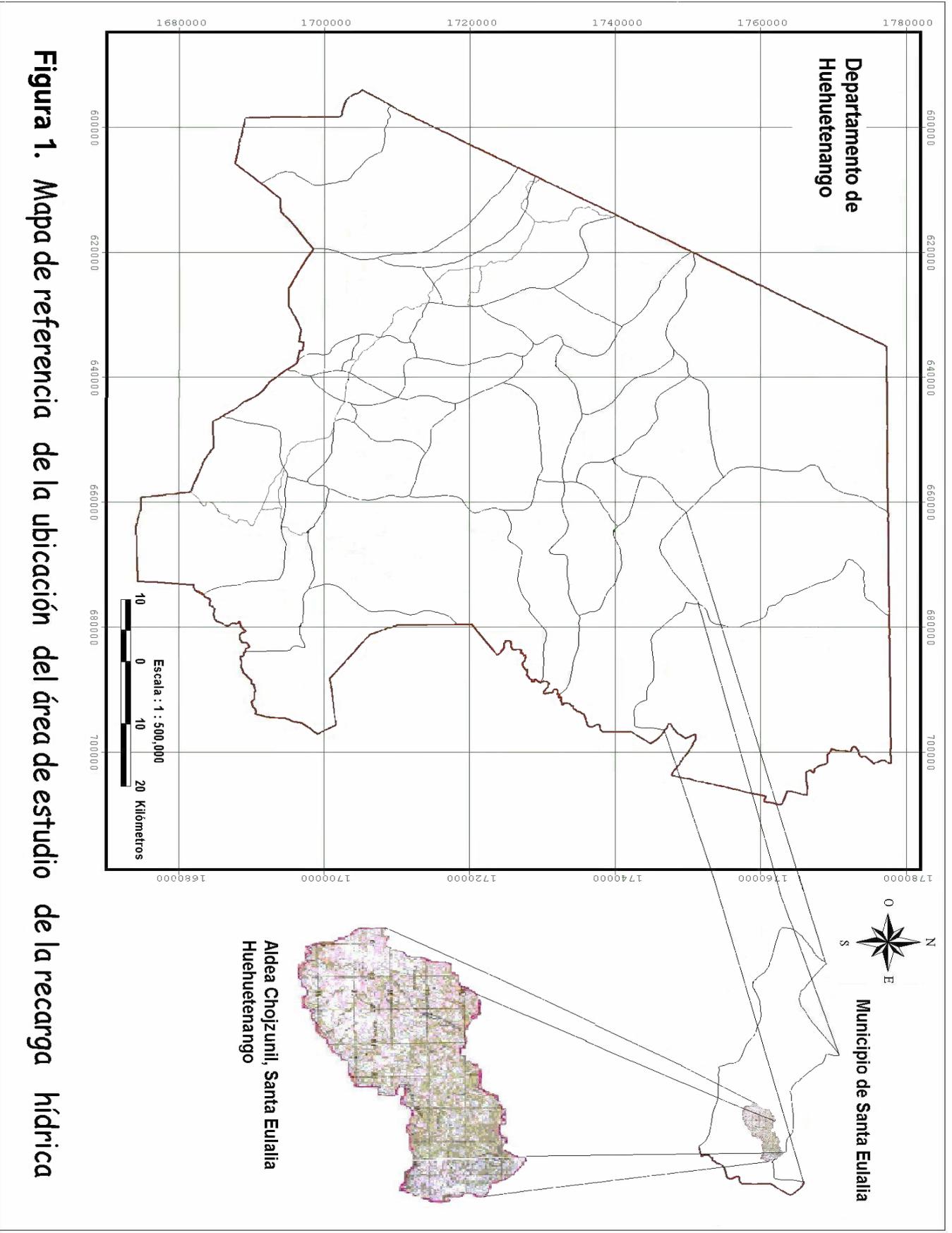


Figura 1. Mapa de referencia de la ubicación del área de estudio de la recarga hídrica

3.2.3 Vías de Acceso

Cuadro 2. Vías de acceso a la aldea Chojzunil, Santa Eulalia, Huehuetenango.

CAMINOS DE HERRADURA	CAMINOS DE TERRACERÍA
<ol style="list-style-type: none">1. Conduce de la cabecera municipal de Santa Eulalia a la comunidad de Chojzunil, accesible a pie con un recorrido de 8 horas y una distancia de 30 kilómetros.2. Conduce de la aldea Amelco del municipio de Santa Cruz Barillas a la aldea de Chojzunil, accesible a pie o en bestia, promedio de recorrido 2 horas, con una distancia de 5 kilómetros	<ol style="list-style-type: none">1. Conduce de Santa Eulalia a la aldea de Chojzunil, accesible para vehículos livianos, promedio de recorrido 2 horas y media, a una distancia de 30 kilómetros.

3.2.4 Descripción físico/natural del área de estudio

3.2.4.1 Suelo

Según Simmons et al. (1959). En el área de estudio se encuentran las siguientes series de suelos:

A. Suelos Amay

Son suelos profundos, bien drenados, desarrollados sobre caliza, en regiones húmedas, ocupan pendientes inclinadas a altitudes menores de 1,200 metros. Varían en espesor de 0.75 mts. a 2 metros. La textura de la superficie es arcilla o arcilla limosa en algunos lugares. Incluidas en la mayoría de los suelos Amay, están muchas áreas de Franco arcilloso Quixtán, un suelo poco profundo, de color oscuro que está desarrollado sobre caliza. Estos suelos incluidos constituyen alrededor del diez por ciento del área mapeada en la carta agrológica a nivel nacional y dentro del área de estudio de la recarga hídrica, comprende 19.894 km².

B. Suelos Ixcanac

Son relativamente profundos, bien drenados y se han desarrollado sobre caliza fragmentada en clima húmedo y frío. Ocupan pendientes inclinadas a bastante altitud en el noreste de Guatemala. Se encuentran en asociación con los Suelos Soloma y Toquiá, pero no se asemejan a ellos, pues los Soloma se han desarrollado sobre ceniza volcánica de grano relativamente fino y los Toquiá son poco profundos, desarrollados sobre caliza a elevaciones más altas. Los Ixcanac están desarrollados sobre caliza fragmentada algo parecida a los suelos Chixoy, que ocupan un relieve más inclinado en un clima más húmedo que este. Los suelos Ixcanac ocupan pendientes inclinadas, muchas de las cuales tienen una

inclinación mayor del 25% y algunas más del 50%. El material madre es caliza fragmentada y en la mayoría de los lugares los fragmentos son grava de 1 cm de grueso, pero en otros, las piedras son lajas de 25 cm o más de ancho. Las elevaciones varían de 2,100 a 2,700 msnm.

Esta serie de suelos comprende 1.023 km² de área, dentro del área de estudio de la recarga hídrica.

C. Suelos Quixtán

Son suelos profundos, bien drenados, desarrollados sobre conglomerados o brecha de caliza en un clima húmedo. Ocupan relieves inclinados a altitudes medianas en el noreste de Guatemala, están asociados a los Suelos Amay y Toquiá, pero no son tan profundos como los Amay y se encuentran a altitudes más bajas que los Toquiá. Ocupan relieves karstes muy inclinados. En muchos lugares la inclinación es mayor del 50%. Las elevaciones varían de aproximadamente 900 a 2,100 msnm. La roca madre es conglomerado o brecha de caliza, que consiste de guijarros o fragmentos de caliza cementada con carbonato de calcio, unos esquistos arcillosos están intercalados. (ver fig. 2)

Comprendiendo 0.741km² de área, dentro del área de estudio de la recarga hídrica.

3.2.4.2 Capacidad de Uso de la tierra

La capacidad de uso de la tierra dentro del área de estudio, predomina en su mayor parte la clase VIII que se refieren a tierras no aptas para cultivos, únicamente para bosques nacionales, recreación y vida silvestre y para protección de cuencas hidrográficas, sin embargo en cuanto a su uso actual, presentan una cobertura caracterizada por cultivos de café, cardamomo, maíz en pequeña escala y bosque denso en algunas áreas.

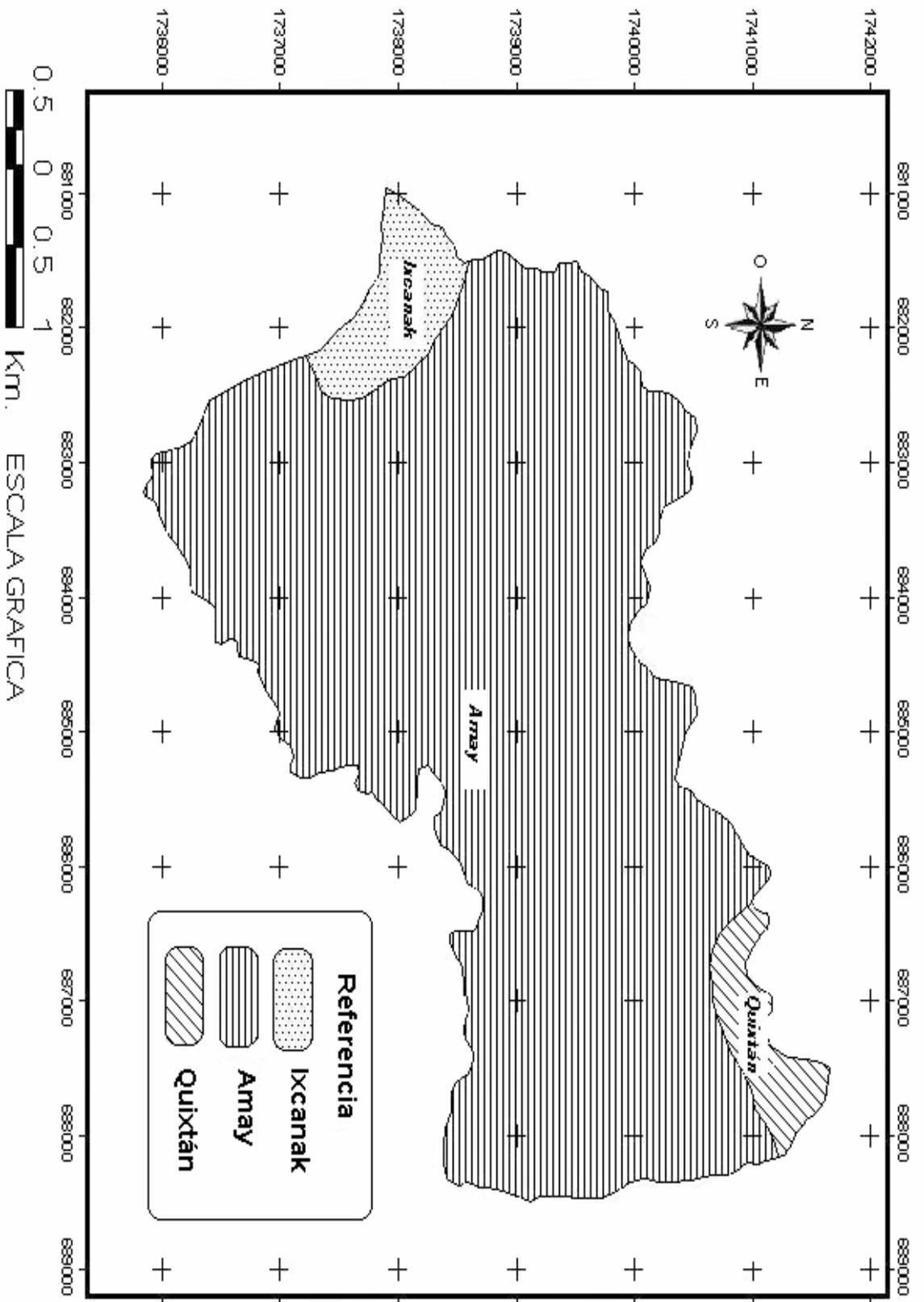


Figura 2. Mapa de suelos según Simmons et. al. 1,959

3.2.4.3 Zonas de vida vegetal

De acuerdo a la clasificación de zonas de vida a nivel de reconocimiento del Instituto Nacional Forestal, basado en el sistema Holdridge, (Cruz, JR, De la. 1973) dentro del área de estudio se encuentran las zonas de vida siguientes:

A. **Bosque Muy Húmedo Subtropical, cuyo símbolo en el mapa es bmh-S (c).**

Esta zona de vida constituye la región más extensa de Guatemala, representa el 42.7 % de la superficie del país. Las condiciones climáticas son variables por la influencia de los vientos. El patrón de lluvia varía entre 2,136 y 4,327mm, las biotemperaturas van de 21°C y la Evapotranspiración Potencial puede estimarse en 0.45, el régimen de lluvias es el de mayor duración; por lo que influye grandemente en la composición florística y en la fisonomía de la vegetación.

La topografía generalmente es accidentada sobre todo en las laderas, la elevación va de 1,800 a 3,000 msnm.

Esta zona de vida comprende 1.906.29 Km², de área, dentro del área de estudio de la recarga hídrica.

B. **Bosque húmedo Montano Bajo Subtropical, bh-MB.**

Esta zona de vida está representada en el mapa por el símbolo bh-MB, representa el 8.98% de la superficie total del país. El patrón de lluvia varía entre 1,057mm y 1,588mm, con un promedio de 1,344mm anuales, las biotemperaturas van de 15°C a 23°C, la Evapotranspiración Potencial puede estimarse en promedio de 0.75.

La topografía generalmente es plana, sin embargo las áreas accidentadas están cubiertas de vegetación, la elevación varía entre 1,500 y 2,400 msnm. (Cruz JR. De la, 1973).

Esta zona de vida comprende 19.708.02 Km², de área, dentro del área de estudio de la recarga hídrica, (ver fig. 3).

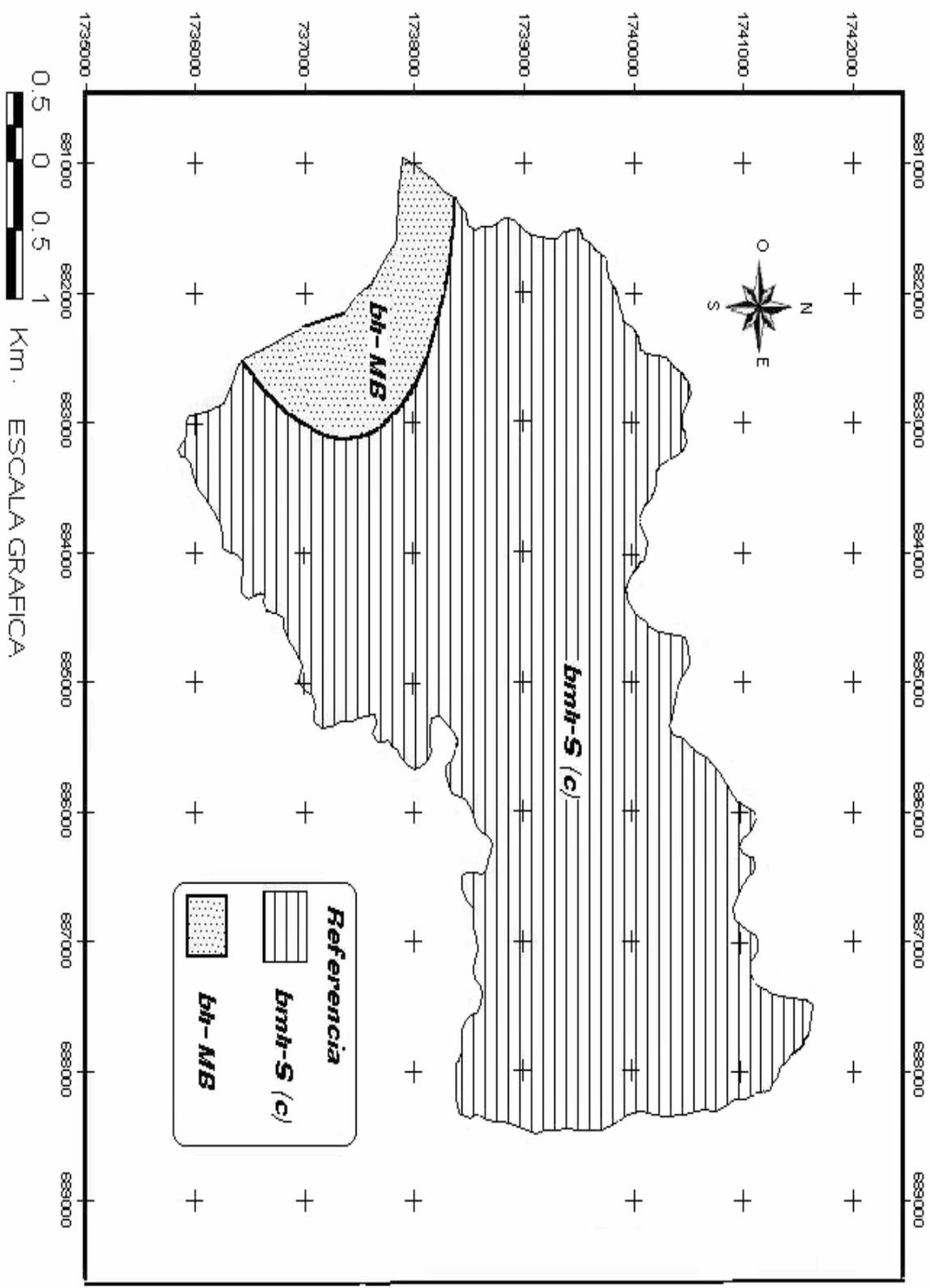


Fig. 3. Mapa de zonas de vida vegetal según Holdridge

3.2.5 TOPOGRAFIA Y VEGETACION

3.2.5.1 Clima

Según (Mendoza, I. 2000), el área presenta clima templado y húmedo con alta precipitación pluvial. Comprende alturas sobre el nivel del mar que oscilan entre 1,000 y 1,550 metros, en la parte baja. La época de lluvias es de junio a diciembre (siete meses), con lluvias esporádicas de enero a mayo. La precipitación oscila entre 4,700 y 5,100 mm anuales. La época de nubosidad es de octubre a noviembre.

3.2.5.2 Relieve

El área presenta terrenos montañosos irregulares con depresiones profundas. Son terrenos pedregosos, comprende pendientes mayores del 64 %. (Simmons, et. al. 1959)

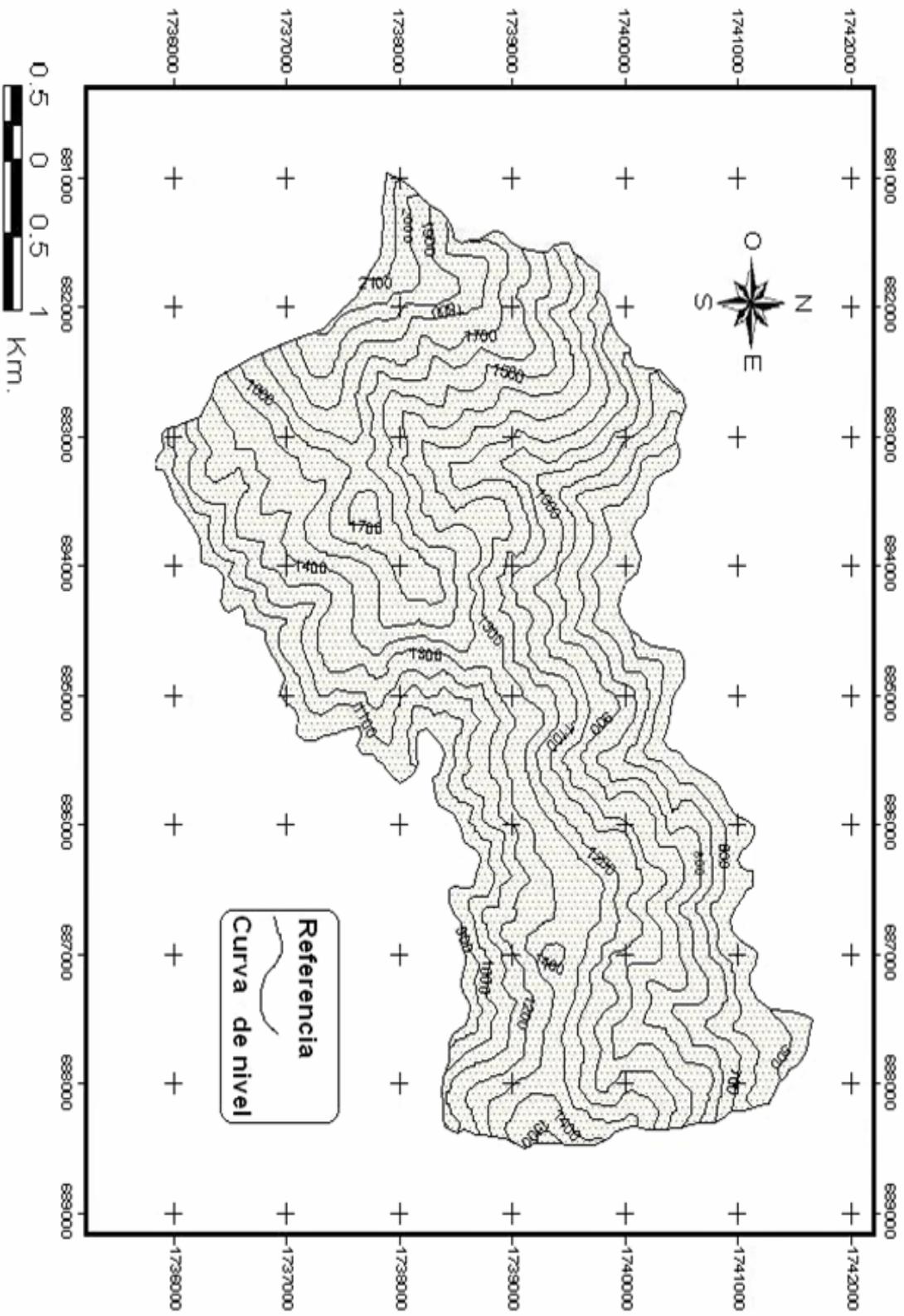
La topografía del lugar en su mayor parte es accidentada con partes planas que ocupan las edificaciones del lugar, la mayor parte del área presenta terrenos montañosos con depresiones profundas, son terrenos pedregosos, comprende pendientes mayores del 65% lo que los hace susceptible a la erosión y es donde los agricultores con apoyo del proyecto PROCUCH están implementando estructuras de conservación de suelos con terrazas individuales y barreras vivas, en los cultivos de café (*Coffea arabica*) y cardamomo (*Elettaria cardamomum*). (Cardona, L. 2000)

3.2.5.3 Hidrología

Según isoyetas del período que comprende de 1931-1960, la precipitación media registrada fue de 4,500 mm anuales y de acuerdo al mapa de regiones hidrográficas e isoyetas del departamento de Huehuetenango, del ALA et, al., las precipitaciones anuales oscilan entre 4,800 y 5,000 mm anuales. El área cuenta con ríos ubicados en la parte baja, río San Juan, río Ibal, los que drenan al río Yulá San Juan, constituyendo ríos que forman parte de la cuenca del río Ixcán, los cuales por su ubicación no son utilizados por la población. (Mendoza I, 2001).

3.2.5.4 Hipsometría

El área de estudio tiene una altura de 2,200 msnm en la parte más alta, en la parte baja de 455 msnm. A nivel del río Ibal en la parte norte y el río San Juan en la parte sur, a una altura de 914msnm (ver figura 4)



Area de estudio de la recarga hidrica.

Fig. 4. Mapa de Curvas de Nivel

3.2.5.5 Recursos Forestales

Según (Mendoza I. 2001), la vegetación predominante esta compuesta de bosques ralos de pinos (*Pinus sp.*) y (*Pinus chapensis*), Chalum (*Inga sp.*), el cual es usado como sombra en los cafetales. Esta región cuenta con recursos físicos capaces de producir árboles forestales como: -Sauco *Sambucus mexicana*; Encino, *Quercus sp.*; Chalum, *Inga sp.*; Sauce, *Salis sp.*

3.2.5.6 Flora

En el área de estudio se tiene flora que se detalla en el cuadro 3.

Cuadro 3. Flora presente dentro del área de estudio.

ESPECIE		
No.	NOMBRE COMUN	NOMBRE TECNICO
1	Tomatillo o tomate silvestre	<i>Licopersicum sculentum var. Ceraciforme</i>
2	Higüerillo	<i>Ricinus vulgaris</i>
3	Flor de Muerto	<i>Tagetes erecta</i>
4	Bledo	<i>Amaranthus hibridus</i>
5	Anona	<i>Annona chirimolium</i>
6	Achiote	<i>Bixa orellana</i>
7	Chile Chiltepe	<i>Capsicum frutescens</i>
8	Epazote	<i>Chenopodium ambrosioides</i>
9	Tabaco	<i>Nicotiana tabacum</i>
10	Naranja Agria	<i>Citrus aurantium</i>
11	Tomate de monte	<i>Nicandra physaloides</i>
12	Campanilla	<i>Ipomoea nil</i>
13	Cinco Negritos	<i>Lantana camara</i>
14	Frijol Píloy	<i>Phaseolus lunatus</i>

4. OBJETIVOS

4.1 GENERAL

Determinación y comparación de recarga hídrica para proponer lineamientos de protección de los recursos naturales.

4.2 ESPECIFICOS

- 4.2.1 Determinar los parámetros de precipitación pluvial, precipitación efectiva, evapotranspiración potencial, escorrentía superficial y sub-superficial para realizar el balance hídrico.
- 4.2.2 Determinar la recarga hídrica al acuífero de forma diaria, mensual y anual, para los años 1999 – 2002.
- 4.2.3 Comparar los resultados de la recarga hídrica (diaria, mensual y anual) para determinar que forma es la más aceptable para el cálculo de recarga hídrica.
- 4.2.4 Proponer lineamientos de manejo para la protección del recurso agua, suelo y bosque.

5. METODOLOGIA

5.1 Delimitación del área de estudio

Con la ayuda de las hojas cartográficas de Santa Cruz Barillas No. 1,963 III y la de San Luis Ixcán No. 1,962 II, escala 1:50,0000, además de contar con información proporcionada por los habitantes de la aldea se definió el área de estudio donde se ubica el área de la aldea Chojzunil, Santa Eulalia, Huehuetenango, delimitando en área en la parte norte por el río Ibal, la parte sur por el río San Juan, en la parte oriente por la quebrada Quixabay y en la parte oeste por la Quebrada Yichón, esto se hizo para tener límites naturales en el área de estudio.

5.2 Hidrología superficial

5.2.1 Aforo de los manantiales

En el área de estudio se identificaron los manantiales que abastecen de agua a la población y drenan a los ríos Ibal en la parte norte y en la parte sur al río San Juan, seleccionándose los que presentaran caudales importantes de descarga y se aforaron una vez por mes durante los doce meses (épocas de verano e invierno), esto se hizo para descontar la descarga subsuperficial, ya que después de una tormenta, una parte de la lluvia no llega directamente al acuífero profundo, sino que se descarga por alguna quebrada existente, esto debido a que el suelo puede tener un material impermeable o semipermeable en algún estrato.

El método de aforo que se utilizó fue el volumétrico, utilizándose la siguiente fórmula:

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

5.2.2 Aforo de los ríos

El método de aforo que se utilizó fue el de sección-velocidad, el cual consiste en obtener la sección transversal del río por medio de áreas parciales perpendiculares a la dirección de la dirección del río.

La velocidad se obtuvo con la ayuda de un flotador, midiendo una distancia conocida y tomando el tiempo en que el flotador llega a esa distancia con un cronómetro.

5.3 Precipitación Pluvial

Se utilizaron los datos registrados en la estación meteorológica tipo B, ubicada en la escuela de la aldea “La Palestina”, del municipio de Barillas, propiedad de CECI/AID, a una altura de 1,629 msnm y en las coordenadas 16°54' 04" latitud Norte y 89°43' 11" longitud Oeste, debido a que cuenta con datos diarios de precipitación, humedad relativa y temperatura.

Para generar el mapa de Isoyetas, se utilizaron los datos de precipitación pluvial reportados en la estación tipo B de San Pedro Soloma, la cual se encuentra a una altura de 2,274 msnm y en las coordenadas latitud Norte 15° 39' 16" y longitud Oeste 91°26' 15", propiedad del INSIVUMEH, y también se utilizaron los datos de la estación tipo c, ubicada en Chojzunil, en las coordenadas Latitud Norte 15°43' 21" y Longitud Oeste 91°15' 26". Propiedad de PROCUCH, la cual se encuentra dentro del área de estudio.

5.3.1 Precipitación efectiva diaria

Ya que la precipitación efectiva es afectada por factores como, intensidad, velocidad de infiltración, cobertura vegetal y topografía. Se estimó la capacidad de infiltración por medio del método de Porchet, el cual consiste en la excavación de un agujero de radio “R” a una altura conocida “h”, y medir un cambio en el tiempo muy pequeño (dt) para suponer la capacidad de infiltración como constante, cuando existe una estabilización de la curva velocidad de infiltración versus tiempo, utilizando la siguiente ecuación:

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

Así mismo se procedió a determinar la capacidad de campo y el punto de marchitamiento permanente a nivel de laboratorio. La precipitación efectiva y el porcentaje de infiltración de lluvia diaria, se calculó por el método de Palacios Vélez, metodología propuesta por la Universidad Autónoma de Chapingo, México. Las fórmulas son:

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

$$Pe = 1.27P^{0.75} - 0.0806 P^{1.5} \quad \text{si } p > 2.5 \text{ cm}$$

Donde: Pe = Precipitación efectiva (cm)
p = Precipitación diaria calculada (cm)

5.4 Precipitación efectiva mensual

Para determinar la precipitación efectiva de forma mensual se utilizó el método Schosinsky (1999), el cual considera los aspectos de relación entre la infiltración del agua del suelo y la intensidad de la lluvia, La fórmula general que se utilizó fue la siguiente.

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

Donde.

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

P = Precipitación mensual

R = 1 – Valor de retención (para bosque, la retención es de 0.20, para cultivos en general, 0.12 y para techos de casas, caminos y áreas construídas, es de 0.1 a 0.05).

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

Donde

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

\ln = Logaritmo neperiano (natural)

F_c = Valor de infiltración básica en mm/día

5.5 Balance de humedad de suelos

Para esto se realizó el análisis y recopilación de información bibliográfica y de campo de los tres principales aspectos que intervienen en el balance hídrico (suelo clima y planta), es decir, precipitación, escorrentía superficial, evapotranspiración, capacidad de campo, punto de marchites y profundidad de raíces de las plantas. Es decir que la recarga fue estimada de acuerdo al balance de humedad del suelo, el cual involucra las constantes de humedad del suelo y se expresa en cm (lámina), para transformar los datos de porcentaje a volumen de los datos obtenidos en el laboratorio se utilizó la siguiente ecuación:

$$LHD (cm) = \frac{(CC\% - PMP\%)}{100} * Da (g/cm^3) * Pr. (cm)$$

Para el cálculo directa al acuífero el método que se utilizó fue el de Penman-Cridley, en donde la recarga directa al acuífero se realiza una vez que el proceso de evaporación se ha efectuado y la capacidad de campo se ha completado.

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 marchités.

$$ETR = ETP * [1 - (CC - Hsi)/RAD]$$

Donde, CC: capacidad de campo
Hsi: humedad del suelo inicial
RAD: Rango de Agua Disponible = CC – PM
Pm: Punto de marchites

Lo cual es más aproximado a la realidad y es recomendado por Herrera (1998) para el cálculo del balance hídrico.

5.6 Evapotranspiración Potencial

Se utilizaron los datos de temperatura media diaria y humedad relativa de las estaciones, se utilizó el método propuesto por HARGREAVES para el calculo de la evapotranspiración potencial mensual, para el cálculo de recarga hídrica de forma anual, el cual consiste en:

5.6.1 METODO DE HARGREAVES PARA DETERMINAR ETP MENSUAL:

$$ETP = 0.0075 * TMF * RMS \text{ (mm/mes)}$$

En donde:

ETP = Evapotranspiración Potencial

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

RSM = Radiación Solar incidente mensual

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

En donde:

RMM = Rs * No. de días del mes.

RMM = Radiación mensual extraterrestre

Rs = Brillo solar mensual en % (1 a 100) por tabla (ver cuadro en anexo 1A)

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

S = Brillo solar mensual en % (1 a 100)

Ks = constante = 12.5

HR = Humedad Relativa en % (1 a 100)

5.6.2 METODO DE HARGREAVES PARA DETERMINAR ETP DIARIA:

Para determinar la evapotranspiración potencial diaria se utilizó la fórmula propuesta por Hargreaves **0.004 TMF * Rs (mm/día).**

Donde:

TMF = Temperatura media diaria en grados Fahrenheit (°F)

Rs = Brillo solar mensual en % (1 a 100) por tabla (ver anexo tabla 1A)

5.7 DETERMINACION DE LA EVAPOTRANSPIRACIÓN REAL

Se utilizó la siguiente ecuación, tanto para determinar ETP diaria y mensual.

$$ETR = ETP * [1 - (CC - Hsi)/RAD]$$

Donde, CC: capacidad de campo

Hsi: humedad del suelo inicial

RAD: Rango de Agua Disponible = CC – PM

Pm: Punto de marchites

5.8 DETERMINACION DEL EFECTO DE COBERTURA VEGETAL (PROFUNDIDAD RADICULAR)

La profundidad de raíces se determina según el criterio de Sandoval I. (1985) y se muestran en el cuadro siguiente, para el uso de centros poblados rurales (aldeas especialmente) se estima que 50% de esta área tiene pasto o césped, y el restante 50% se considera como área impermeable.

Cuadro 4. Valores de profundidad de raíces para diferentes usos del suelo según Sandoval I. (1985)

Uso del suelo	Bosque	Bosque – Cultivos anuales	Cultivos anuales – hortalizas	Bosque - café	Centro Poblado (pasto)	Centro Poblado (techo)	Matorral
Profundidad de raíz (cm)	200	75	40	75	40	Impermeable	75

5.9 DETERMINACION DE LA HUMEDAD DEL SUELO INICIAL

Se utilizó la siguiente ecuación:

$$LHD (cm) = \frac{(CC\% - PMP\%)}{100} * Da (g/cm^3) * Pr (cm)$$

Donde:

LHD = Humedad del suelo inicial

CC = Capacidad de campo

PMP = Punto de Marchites

Da = Densidad aparente del suelo

Pr = Profundidad de raíces

5.10 DETERMINACION DE LA HUMEDAD DEL SUELO FINAL

$$HSF = HSI + P. INF - ETR$$

Donde:

HSF = Humedad del suelo final

HSI = Humedad del suelo inicial

ETR = Evapotranspiración Real

5.11 DETERMINACION DE LA LAMINA DE RECARGA

$$\text{Recarga (cm)} = \text{HSF (cm)} - \text{Capacidad de campo (cm)}$$

Si humedad del suelo final es > capacidad de campo del suelo.

5.12 DETERMINACION DEL VOLUMEN DE RECARGA

$$\text{Volumen de Recarga en m}^3\text{X10}^6 = \text{Area en Km}^2 \text{ X Lámina de recarga (en metros)}$$

5.13 Propuesta de lineamientos de manejo para la Protección de los recursos naturales

Estos lineamientos fueron basados en la información técnica generada en este estudio, así como tomando en cuenta la información generada para el manejo y protección de cualquier recurso y en los recorridos del área de estudio, donde se encuentran las parcelas cafetaleras, esto se hizo para cumplir con las exigencias de MAYACERT, la certificadora de productos orgánicos, para la certificación del café y poder venderlo al mercado extranjero.

5.13.1 Recurso Bosque

Los aspectos que se tomaron en cuenta fueron: la identificación de áreas con cobertura forestal, deforestación, uso actual del bosque.

5.13.2 Recurso Suelo

Los aspectos que se tomaron en cuenta fueron: Tipo de suelo, pendiente, uso actual, erosión hídrica.

5.13.3 Recurso Agua

Los aspectos que se tomaron en cuenta fueron: la identificación de áreas de recarga, protección de los manantiales y contaminación de las fuentes de agua.

6. RESULTADOS

6.1 Area de estudio

El área de la aldea Chojzunil se definió utilizándose las hojas cartográficas de Santa Cruz Barillas No. 1,963 III y de San Luis Ixcán 1963 II, delimitando la parte norte por medio del río Ibal, la parte sur por el río San Juan, la parte este por la quebrada Ychón y en la parte oeste por la quebrada Quixabaj, según se observa en la figura 5, tomando en cuenta sólo límites naturales, por lo que se definió el área en 21.61 km², para realizar el cálculo de recarga hídrica, tomando en cuenta la precipitación, geología y la orografía que presenta el área.

6.2 Características físicas del suelo

6.2.1 Textura

La textura o proporción relativa en que se presentan los distintos materiales sólidos que componen el suelo, proporción expresada en % de peso de materiales comprendidos en un intervalo de tamaños respecto al peso de la muestra seca.

6.2.2 Estructura

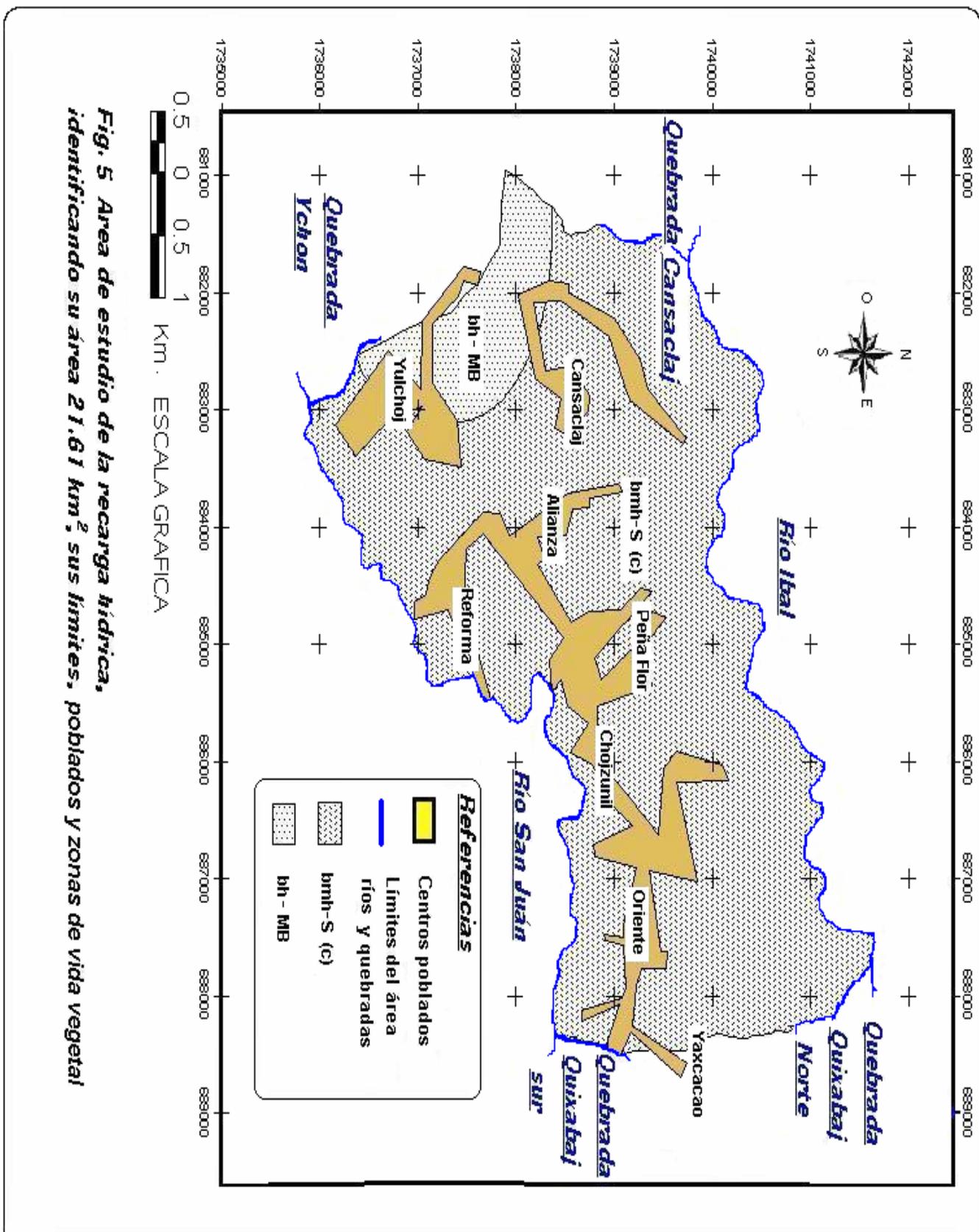
La estructura es la disposición relativa de los materiales sólidos que componen el suelo, en condiciones naturales (Sandoval, I. 1989)

Estas muestras se llevaron al laboratorio para análisis físico, los resultados se presentan en el siguiente cuadro.

Cuadro 5. Resultado del análisis físico de suelo en el laboratorio.

Suelo	Arcilla %	Limo %	Arena %	Clase Textural
Area boscosa	24.02	21.97	54.01	Franco Arcillo Arenoso
Area de cultivos	7.22	15.67	77.11	Franco Arenoso

En el área de estudio se tienen tres series de suelos, los cuales influyen en el almacenamiento hídrico, pero es una serie, la serie Amay (Am), la que abarca mayor área (19.849 Km²) dentro del área de estudio, por lo tanto se tomaron muestras de suelo en los lugares donde se realizaron las pruebas de infiltración, una en la parte boscosa, donde el uso del suelo es puramente forestal, (bosque), con tipo de suelo Ixcanac, con (1.023 km²) de área, asociado con suelos serie Quixtán, con (0.741 Km²) y otra en el área donde la serie de suelo es Ixcanac, con uso diferente, cultivos agrícolas, dominando el cultivo de café *coffea arabica*, partes pequeñas con maíz *zea mays* y pequeñas áreas con cardamomo *Eletaria cardamomun*, asociado con café, por lo tanto hay mayor escorrentía superficial.



6.3 Precipitación Pluvial

La precipitación es el proceso de transferencia del ciclo hidrológico más importante para la determinación de la recarga hídrica en cualquier área. Está influenciada en gran medida por la elevación.

Se analizaron los datos de precipitación de las estaciones que se encuentran cerca del área de estudio, para esto se analizaron los años 1999 al 2002 (ver cuadro 6), debido a que se cuentan con datos diarios de precipitación, humedad relativa y temperatura media.

Cuadro 6 . Datos mensuales de precipitación para los cuatro años de estudio de recarga hídrica

Periodo	Pptt. cm	Pptt. cm	Pptt. cm	Pptt. cm
Meses	Año 1999	Año 2000	Año 2001	Año 2002
ENERO	9,500	15,08	20.660	12,99
FEBRERO	13,400	17,2	21.000	11,61
MARZO	4,800	9,795	14.790	6,66
ABRIL	6,930	13,54	20.150	9,63
MAYO	11,980	15,6	19.220	18,4
JUNIO	30,995	33,553	36.110	31,03
JULIO	29,981	39,406	48.830	32,74
AGOSTO	26,380	49,235	76.410	42,88
SEPTIEMBRE	42,420	38,105	39.840	35,37
OCTUBRE	53,070	55,14	57.210	43,48
NOVIEMBRE	33,940	19,83	21.320	17,56
DICIEMBRE	8,920	7,385	9.520	8,53
TOTALES	272,316	313,869	385.060	270,88

Fuente: Datos Pluviométricos de la estación de CECI/AID, Aldea La Palestina, Barillas, Huehuetenango.

6.3.1 Precipitación media

La precipitación media fué calculada por medio del método de las isoyetas o líneas de igual precipitación (Ver figura 6), interpolando valores de igual precipitación mediante los valores que reportaron las tres estaciones metereológicas que se encuentran cerca del área de estudio, se trazaron las isoyetas, se calculó el área que influenciaba cada isoyeta, la precipitación media fue calculada en 3,073.23 mm anuales.

En el cuadro 7 se muestra el procedimiento y los resultados.

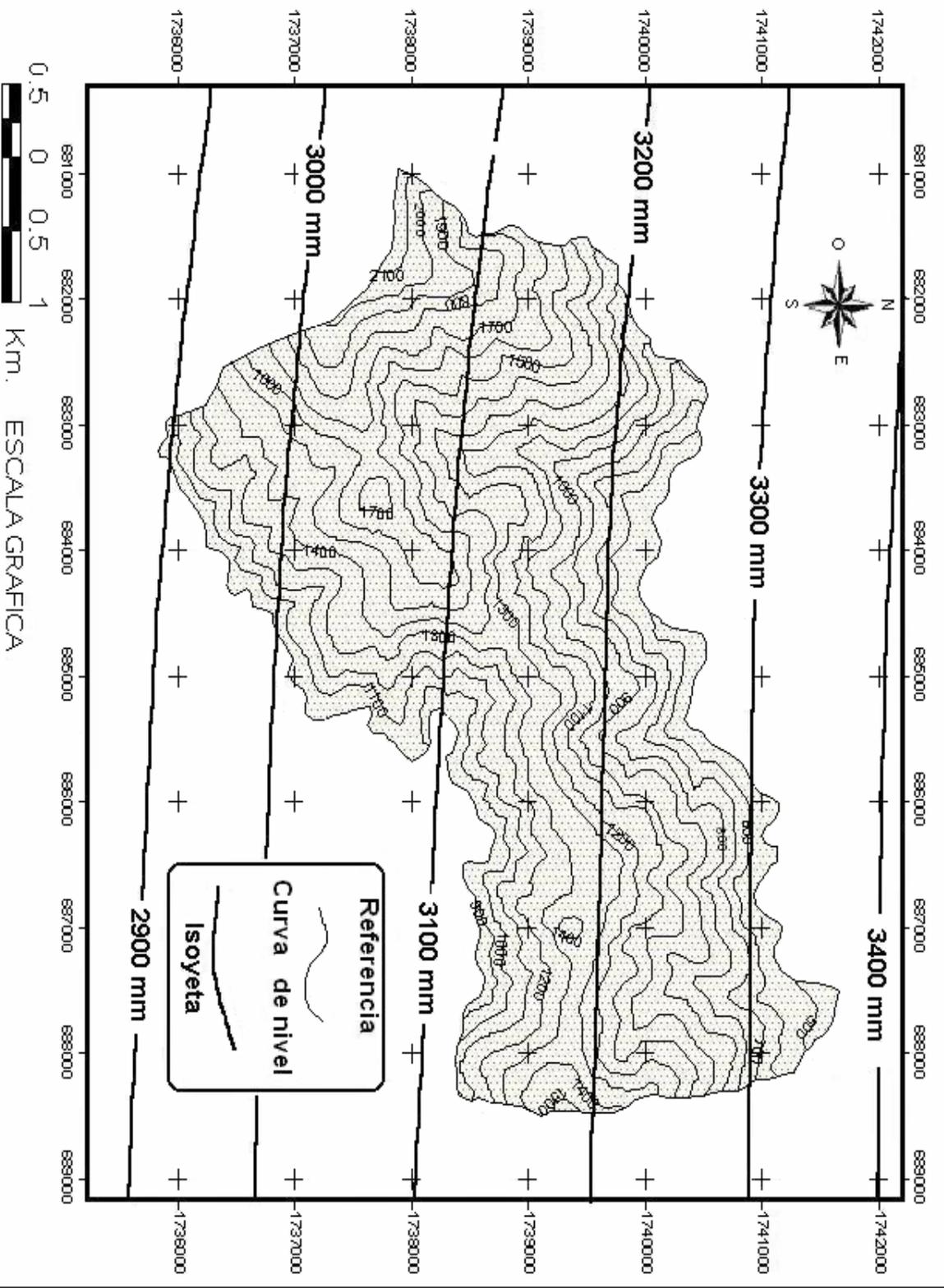


Fig. 6. Mapa de Isoyetas, incluyendo curvas de nivel

Cuadro 7. Cálculo de la precipitación media por medio del método de las Isoyetas

ISOYETAS (mm)	AREA NETA O PARCIAL (km ²) (Ai)	PRECIPITACION MEDIA (mm) (Pi)	AREA X PRECIPITACION MEDIA (Ai X Pi)
3300 – 3400	0.2	3,350	670
3200 – 3300	2.91	3,250	9,457.5
3100 – 3200	5.5	3,150	17,325
3000 – 3100	7.1	3,050	21,655
2900 – 3000	4.9	2,950	14,455
2800 – 2900	1	2,850	2,850
SUMATORIA	21.61		66,412.5

$$P_m = \frac{\sum_{i=1}^{i=n} A_i \times P_i}{\sum A_i}$$

66,412.5

Pm = -----

21.61

Pm = 3,073.23 mm

6.3.2 Precipitación efectiva

Es la porción de precipitación que puede infiltrarse en el suelo y estar disponible para las raíces de las plantas o bien para percolarse en el acuífero (Pacheco, 1,981 en Herrera, 1,998).

La precipitación efectiva es afectada por varios factores, como:

- A) intensidad de precipitación
- B) Velocidad de infiltración
- C) Cobertura Vegetal
- D) Topografía

6.3.2.1 Infiltración básica

En el área de estudio existen tres series de suelos; pero una serie es la dominante en la parte boscosa, suelos Ixcanac, asociados con suelos Quixtán, y en la parte baja, predomina la serie Amay, con asocio de suelos Ixcanac, pero con poca área de influencia, y por lo tanto la infiltración básica se estimó por dos pruebas, una en el área donde existe bosque, sin ninguna intervención del hombre, por lo tanto hay menos

escorrentía. Otra en el área de cultivos, donde hay mayor escorrentía, debido a que el uso del suelo cambia dependiendo de la altura, esto debido a que los habitantes dependen del café y del cardamomo, entonces la altura es de importancia para obtener un café de calidad estrictamente duro, o duro europeo, por lo anterior, hay café a diferentes alturas en el área de estudio. Estas pruebas se realizaron en época de invierno, cuando el suelo se encontraba a capacidad de campo.

El método que se utilizó fue el de Porchet, el cual consiste en abrir un agujero en el suelo a una altura h y a un radio r , se aplicó agua y se tomaron datos durante más o menos 120 minutos.

6.3.2.2 Velocidad de infiltración

Para determinar la velocidad de infiltración básica se tomó el valor de infiltración a partir de 60 minutos, ya que a partir de esta altura, los valores se mantuvieron estables, obteniendo un valor de velocidad de infiltración de 0.78 cm/hr o 187.2 mm/día. (ver cuadro 8) para suelos del área, donde el uso es agrícola, y para suelos del área con bosque, la velocidad de infiltración fue de 0.90 cm/hora, 216 mm/día. (ver cuadro 9)

Cuadro 8. Cálculo de la velocidad de infiltración para el área de recarga hídrica (Area de cultivos agrícolas) por el método de Porchet.

Tiempo	Altura (mts)	$R/(2(t_2-t_1))$	$\ln \frac{L_n}{((2h_1+R)/(2h_2+R))}$	F (m/min)
0	0.446			
1	0.436	0.0463	0.0205	0.00095
2	0.432	0.0463	0.0083	0.00038
5	0.411	0.0154	0.0449	0.00069
8	0.403	0.0154	0.0177	0.00027
10	0.393	0.0231	0.0225	0.00052
15	0.378	0.0093	0.0347	0.00032
20	0.369	0.0093	0.0214	0.00020
25	0.353	0.0093	0.0393	0.00037
30	0.350	0.0093	0.0075	0.00037
35	0.343	0.0093	0.0178	0.00017
40	0.334	0.0093	0.0234	0.00022
50	0.323	0.0046	0.0294	0.00014
60	0.313	0.0046	0.0275	0.00013

El valor de f es 0.00013 m/min, (0.78 cm/hora), (187.20 mm/día) de infiltración básica para suelos del área con cultivos agrícolas (ver figura 7).

Cuadro 9. Cálculo de la velocidad de infiltración para el área de recarga hídrica (bosque) por el método de Porchet.

Tiempo	Altura (mts)	$R/(2(t_2-t_1))$	$\ln \frac{L_1}{L_2}$ $\frac{((2h_1+R)/(2h_2+R))}{((2h_1+R)/(2h_2+R))}$	F (m/min)
0	0.600			
1	0.590	0.050	0.01550	0.00078
3	0.462	0.025	0.22314	0.00058
5	0.447	0.025	0.02973	0.00074
10	0.413	0.01	0.07086	0.00071
14	0.398	0.0125	0.03293	0.00041
18	0.379	0.0125	0.04334	0.00054
25	0.346	0.00714	0.8004	0.00057
30	0.324	0.01	0.05716	0.00057
38	0.319	0.00625	0.01346	0.00007
45	0.300	0.00714	0.05286	0.00038
50	0.290	0.010	0.02899	0.00029
55	0.284	0.01	0.01780	0.00018
60	0.279	0.01	0.01508	0.00015

El valor de f es 0.00015 m/min, (0.90 cm/hora), (216 mm/día) de infiltración básica para suelos del área cafetalera asociada con bosque. (Ver figura 8)

6.3.2.3 Cobertura vegetal

El área actualmente cuenta con bosque de coníferas en la parte oeste, (bosque natural) en el cerro Ixkaquil, donde se ubican los manantiales, predominando especies como pino *Pinus chapensis*. Mientras que en la parte este, norte y sur del área, el suelo tiene uso diferente, cultivos como maíz *zea mays*. Café *Coffea arabica*, cardamomo, *Eletaria cardamomun*, banano, *Musa paradisiaca*, entre otros, son los que predominan y por el uso que se le dá al suelo, existe mayor escorrentía al momento de llover, menos infiltración y mayor erosión.

6.3.2.4 Topografía

La profundidad de infiltrar depende en mucho de la condición del suelo, su contenido de humedad, de la duración de la lluvia y del patrón de drenaje en el área, el cual está influido por la Geología del mismo. Asimismo, la pendiente de la superficie constituye un factor importante, puesto que los terrenos con pendientes muy inclinadas favorecen la escorrentía superficial, pero si las pendientes son menos inclinadas y un poco más planas, retienen por más tiempo el agua favoreciendo la infiltración.

En algunas áreas pareciera que las pendientes moderadas ofrecen condiciones mejores para la infiltración que las enteramente planas. Estas últimas desarrollan un papel muy importante en el proceso de infiltración, puesto que está influida por la pendiente del terreno.

VELOCIDAD DE INFILTRACION Vrs. TIEMPO

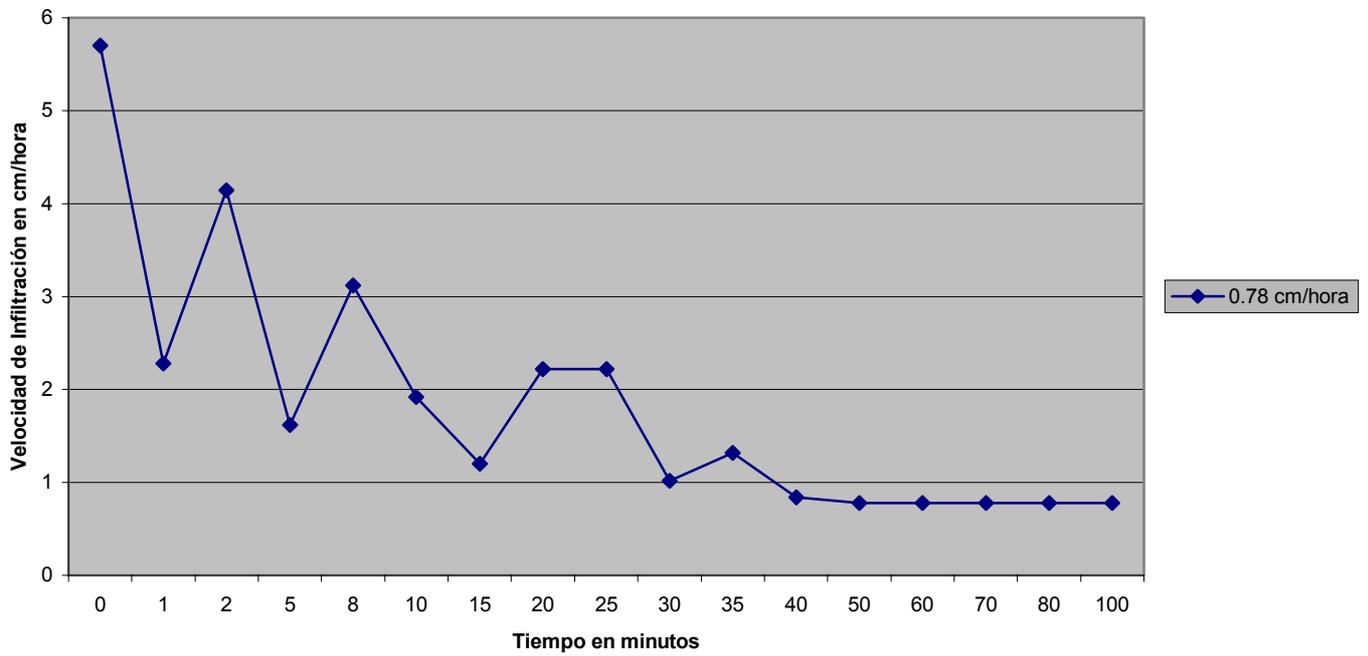


Figura 7. Prueba de Infiltración para suelos del área cafetalera asociada con bosque

VELOCIDAD DE INFILTRACION Vrs. TIEMPO

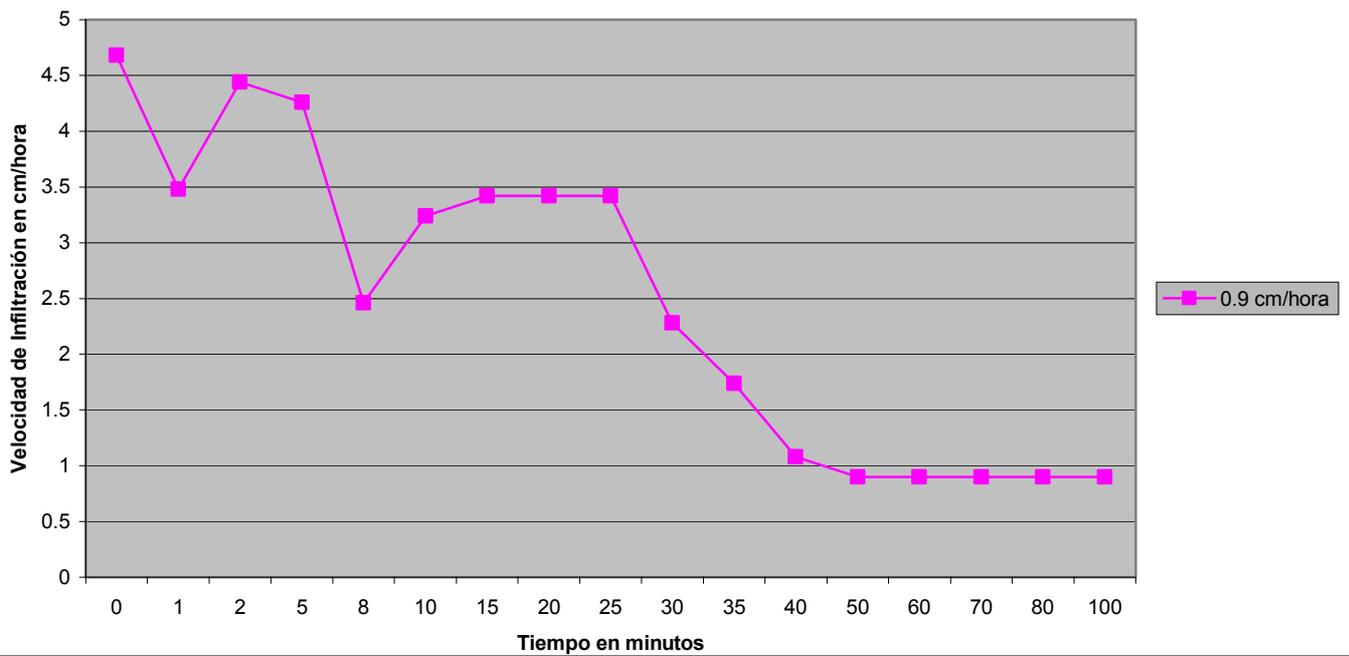


Figura 8. Prueba de infiltración para suelos del área boscosa.

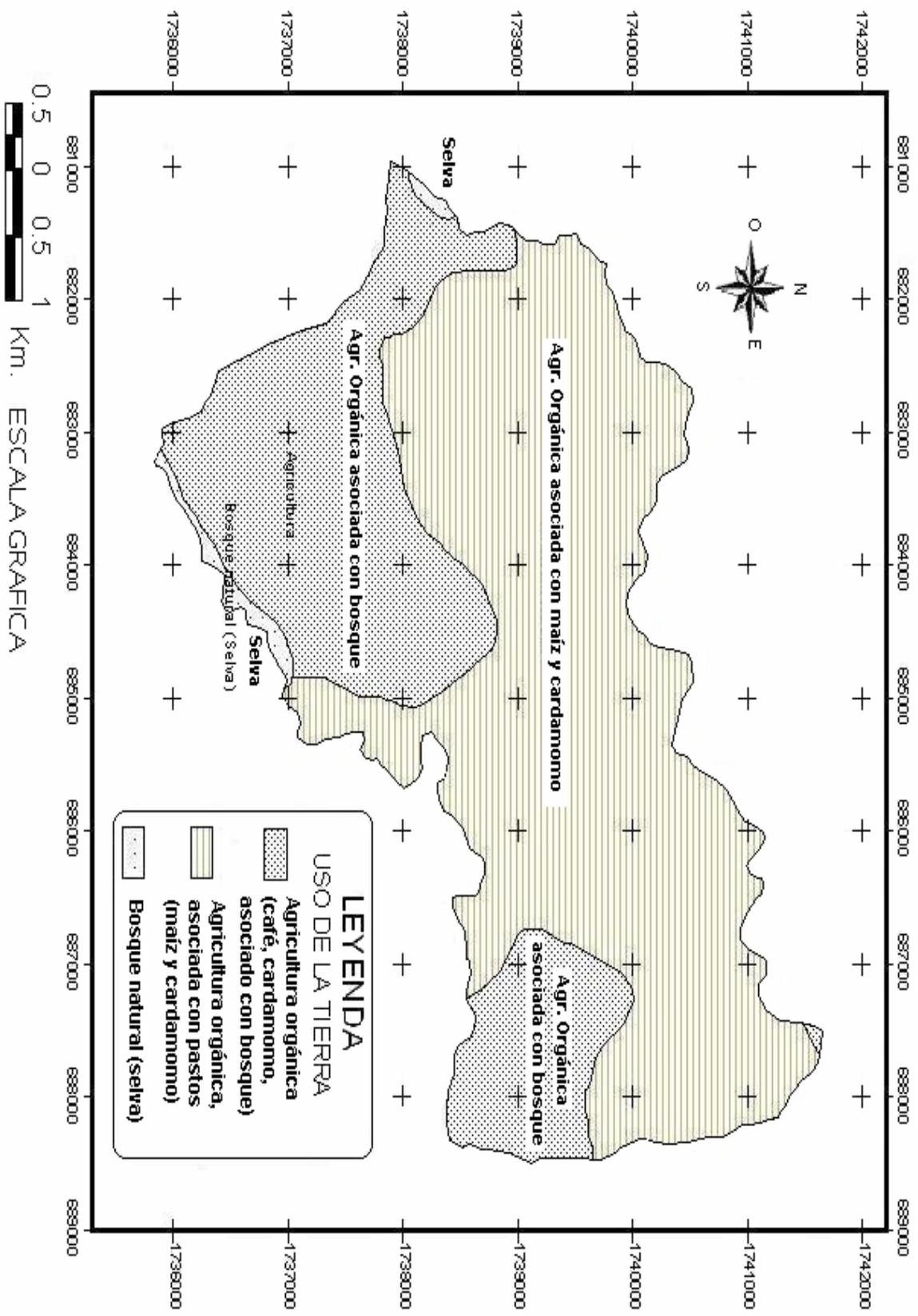


Figura 9. Mapa de uso de la tierra

Cuadro 10. Resumen de la precipitación efectiva mensual, calculada utilizando la fórmula propuesta por Schosinsky, para los cuatro años de estudio.

Periodo	Año 1999	Año 2000	Año 2001	Año 2002.
Meses	cm	cm	cm	cm
ENERO	4.669	9.123	11.719	6.489
FEBRERO	8.072	10.511	11.912	12.398
MARZO	20.884	22.608	8.389	20.908
ABRIL	20.201	26.551	11.430	22.060
MAYO	17.775	33.174	10.902	28.892
JUNIO	28.582	25.675	20.483	23.832
JULIO	35.758	37.153	27.698	29.296
AGOSTO	22.868	13.361	43.342	11.832
SEPTIEMBRE	6.010	4.976	22.599	5.747
OCTUBRE	6.401	10.161	32.451	8.753
NOVIEMBRE	9.029	11.589	12.093	7.823
DICIEMBRE	3.234	6.600	5.400	4.487
TOTALES	183.484	211.482	218.418	182.516

Los resultados de precipitación efectiva, fueron calculados por medio de la fórmula propuesta por (Schosinsky 1999) mensualmente para ser usados en el cálculo respectivo de recarga hídrica de forma mensual, para el año 2,002, (en cuadro 18) y así para los otros años. (ver en anexo cuadro 24A).

Precipitación efectiva

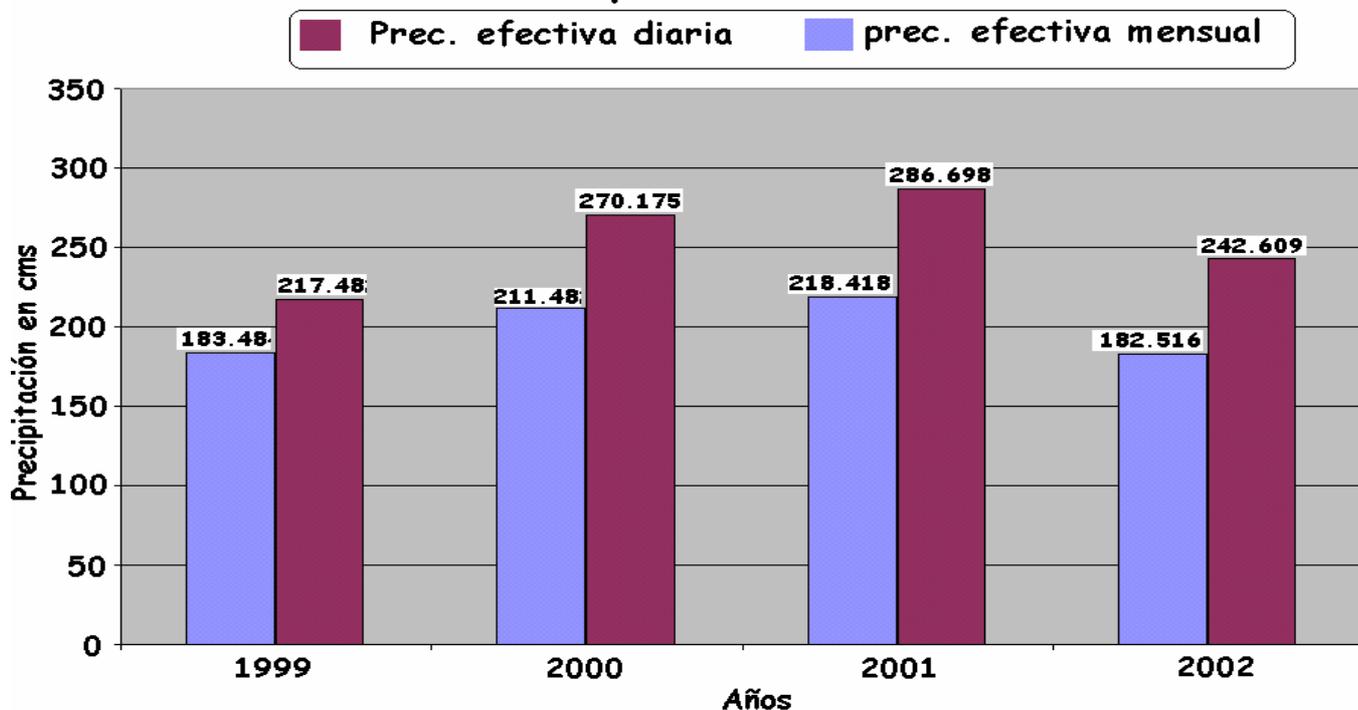


Figura 10. Gráfica de comparación de los resultados entre la precipitación efectiva diaria y mensual

6.4 Escorrentía del área de estudio

6.4.1 Escorrentía superficial

6.4.1.1. Aforos de los principales manantiales

Estos aforos se realizaron con el propósito de determinar la escorrentía sub-superficial o salida natural del agua (descarga subterránea). Caudales que abastecen a los principales ríos que delimitan el área (río Ibal en la parte norte y río San Juan en la parte sur). Se realizaron una vez por mes, utilizando en algunos manantiales el método volumétrico, debido a que sus caudales eran pequeños y en otros se tuvo que construir un área específica para aplicar el método sección velocidad, ya que sus caudales eran demasiado grandes. (ver cuadro 11)

Cuadro 11. Caudal de los principales manantiales presentes en el área de estudio. (En l/s)

Mes/caudal	Cansaclaj	Peña Flor	Oriente	El Arroyo	Yulchoj 1	Yulchoj 2	Alianza	Reforma	Yaxca-cao	Total
Enero	16.20	1.90	0.621	8.10	6.65	1.89	2.58	2.34	0.402	40.683
Febrero	16.20	1.90	0.621	8.10	6.65	1.89	2.58	2.34	0.402	40.683
Marzo	17.11	1.95	0.703	8.12	6.91	2.65	2.89	2.36	0.423	43.116
Abril	17.31	2.00	0.722	8.23	6.85	2.91	2.98	2.54	0.456	43.998
Mayo	20.30	2.52	0.865	9.00	7.43	3.05	3.16	2.31	0.581	49.216
Junio	21.05	2.80	0.820	9.36	7.22	2.95	3.26	2.65	0.483	50.593
Julio	18.00	2.35	0.823	9.26	7.10	2.87	3.20	2.64	0.568	46.811
Agosto	20.06	2.60	0.712	9.23	7.00	2.58	3.25	2.56	0.595	48.587
Septiembre	20.14	2.80	0.681	9.80	7.65	2.96	3.16	2.69	0.562	50.443
Octubre	22.44	2.60	0.658	10.3	8.54	3.05	3.10	2.80	0.441	53.929
Noviembre	17.05	2.36	0.562	9.52	6.00	2.94	3.00	2.68	0.552	44.664
Diciembre	16.91	1.90	0.600	8.21	6.12	2.00	2.65	2.50	0.461	41.351
Total	222.17	27.68	8.39	107.23	84.12	31.74	35.81	30.41	5.93	553.48

En el área los manantiales que se aforaron, se les asignó un nombre para identificarlos de una mejor manera en la figura 11.

6.4.1.2. Ecurrimiento subsuperficial

Los caudales de los manantiales se sumaron por mes y el total mensual, se trasladó a lámina de agua (en cm), esto para la cuantificación correcta de la recarga, ya que la lluvia no llega directamente al acuífero profundo, debido a la Geología del área, sino que se descarga por medio de los manantiales y las quebradas que constituyen la salida del agua de forma dispersa dentro del área, generando corrientes intermitentes y efímeras, que sirven de abastecimiento a los ríos Ibal y San Juan que delimitan el área en la parte norte y sur respectivamente.

La lámina de escurrimiento se calculó de acuerdo a la relación Caudal/Área de la parte boscosa ($12.000 \times 10^6 \text{m}^2$). (ver cuadro 12)

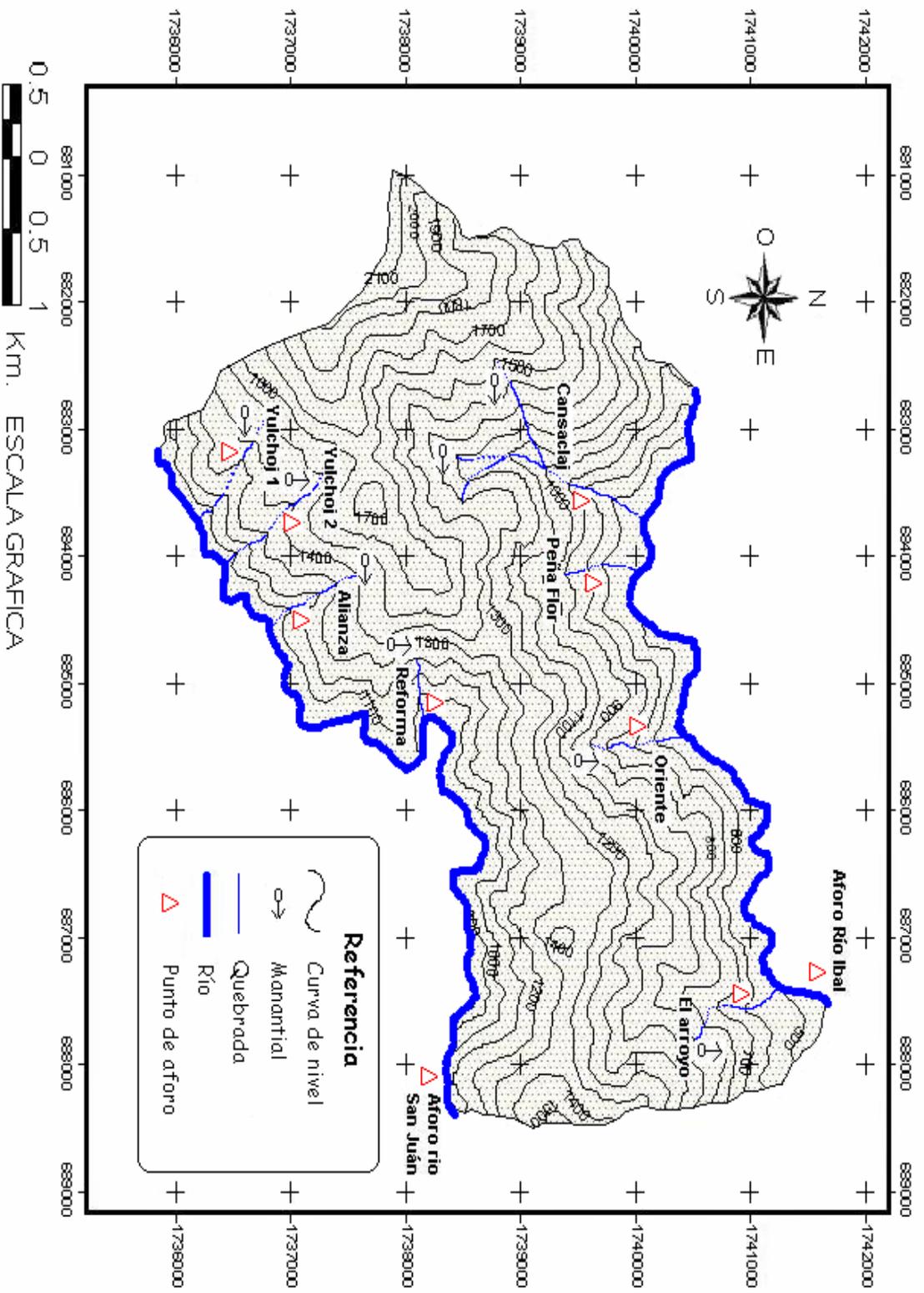


Figura 11. Manantiales, quebradas, ríos y puntos de aforo

Cuadro 12. Lámina de escurrimiento en el área de estudio de la Recarga Hídrica para el año 2,002.

Meses	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
Lámina (en cm)	0.908	0.820	0.962	0.950	1.099	1.093	1.045	1.084	1.090	1.204	0.482	0.923

Para cuantificar de una mejor manera la recarga para el año 2002, se estimó la descarga subsuperficial, medida en base a los caudales de los manantiales, tomada como escorrentía subsuperficial y descontada en las tres formas de cálculo de recarga hídrica (diaria, mensual y anual).

6.4.1.3. Aforos de los principales ríos

Estos aforos se realizaron una vez al mes por los doce meses, (Enero 2002 – Diciembre 2002) con el propósito de determinar cambios en el caudal por mes. Se utilizó el método sección velocidad, en el cual se midió la sección transversal del río y se tomaron las áreas parciales, luego se tomó la velocidad superficial por flotador. Los resultados de los caudales se presentan en el cuadro 13.

Cuadro 13. Caudales mensuales de los ríos del área de estudio, para el año 2,002 (en m³/s)

Río	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
Ibal	5.83	6.86	6.67	6.90	7.68	7.41	6.53	6.23	7.16	6.35	6.12	5.83
San Juan	4.35	6.03	6.923	7.266	9.342	7.031	8.392	7.48	5.874	4.989	4.69	4.35

El río San Juan transporta caudales mayores en época de invierno, arrastrando sedimentos de la parte alta de la Sierra de los Cuchumatanes desde el municipio de San Juan Ixcoy (lugar de nacimiento), hasta el río Yulá San Juan en el municipio de Barillas, Huehuetenango, arrastrando todo tipo de desechos, drenajes, limo, etc., por eso los ríos cuando la precipitación es alta, cambian a coloraciones oscuras. El río San Juan tiene mayor velocidad (1.5 m/s.) que el río Ibal (0.714 m/s.), pero tiene área de escurrimiento menor (4.02 m²), mientras que el río Ibal es más lento, pero su área de escurrimiento es mayor (10.38 m²), a esto se debe a que los caudales sean similares en algunos meses, también depende de la precipitación que se da en la parte alta, para que aumente o disminuyan los caudales.

6.5 Geología

En el área de estudio se encuentran las siguientes unidades geológicas: (ver figura 12)

- Pzm Rocas metamórficas
- CPsr Rocas Sedimentarias del carbonífero y Pérmico.
- Qa Aluviones cuaternarios

6.5.1 Rocas Metamórficas (Paleozoicas).

Son las rocas que forman el Grupo Chuacús, definidas en la Sierra de Chuacús (de aquí su nombre), las cuales se extienden a todo lo largo (de oriente a occidente) de la parte central del país, están constituidas principalmente por filitas, esquistos, gneisses, mármoles y migmatitas, que se encuentran en una franja que va de este a oeste, aflorando en el oeste y norte de San Marcos, en el sur y este de Huehuetenango, en el sur de El Quiché, Alta Verapaz, Izabal, Jalapa, Jutiapa, cubriendo casi totalmente los departamentos de Baja Verapaz, El Progreso y Zacapa, pudiendo encontrarse también en Belice

6.5.2 Rocas Sedimentarias del Carbonífero y Pérmico

Se encuentran de oeste a este del país, en los departamentos de Huehuetenango, Quiché, Baja Verapaz, alta Verapaz e Izabal, aunque también se formaron en el sureste del Petén y en el centro de Belice. Corresponden al Grupo Santa Rosa, que se dividen en formaciones Chicol, Tactic, La Esperanza y Chocal, en este grupo se han abarcado lutitas, areniscas, conglomerados, filitas y carbonatos.

Estas rocas son de edad Carbonífero a Pérmico superior. El ambiente de sedimentación, es de agua superficial y de arrecife trasero, sugerido esto por la caliza Chocal.

6.5.3 Aluviones Cuaternarios.

Es una unidad heterogénea considerada como producto del aporte de deslizamiento, avalanchas volcánicas, flujos de barro y material arrastrado por el agua fluvial, provenientes principalmente de macizos ígneos de la cordillera volcánica, estando sobreyacida esta unidad por capas de espesores variables de cenizas y lapillos, así como de material coluvio-aluvial.

La mayor concentración de estos se encuentran en la parte sur del país a lo largo de toda la faja costera del pacífico, en los departamentos de San Marcos, Retalhuleu, Mazatenango, Escuintla, Santa Rosa y Jutiapa. Localizándose también al noroeste de Petén así como en las costas de Belice y en los márgenes del río Motagua y lago de Izabal. (Tomado de Herrera I. 2002)

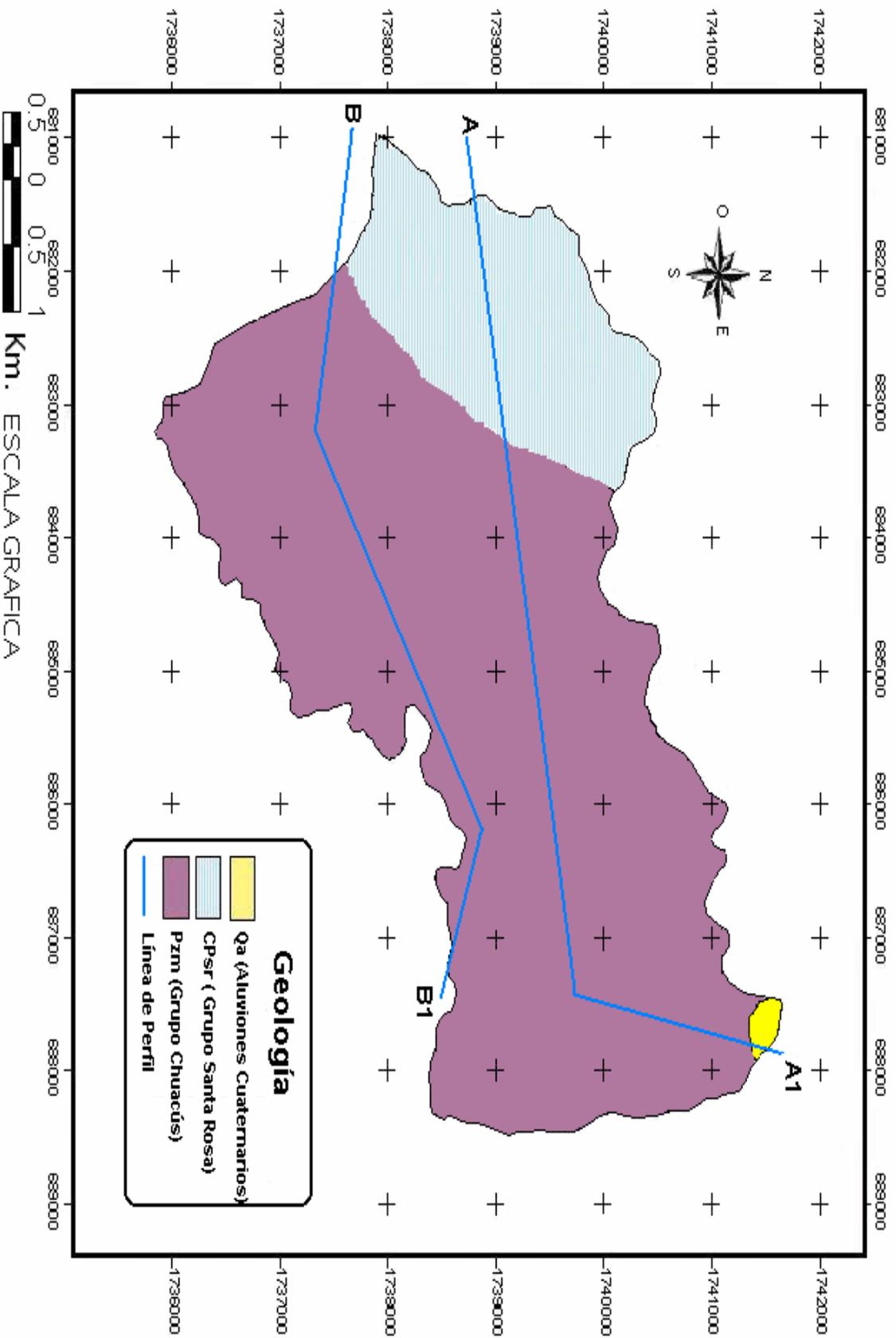


Figura 12. Mapa geológico del área de estudio.

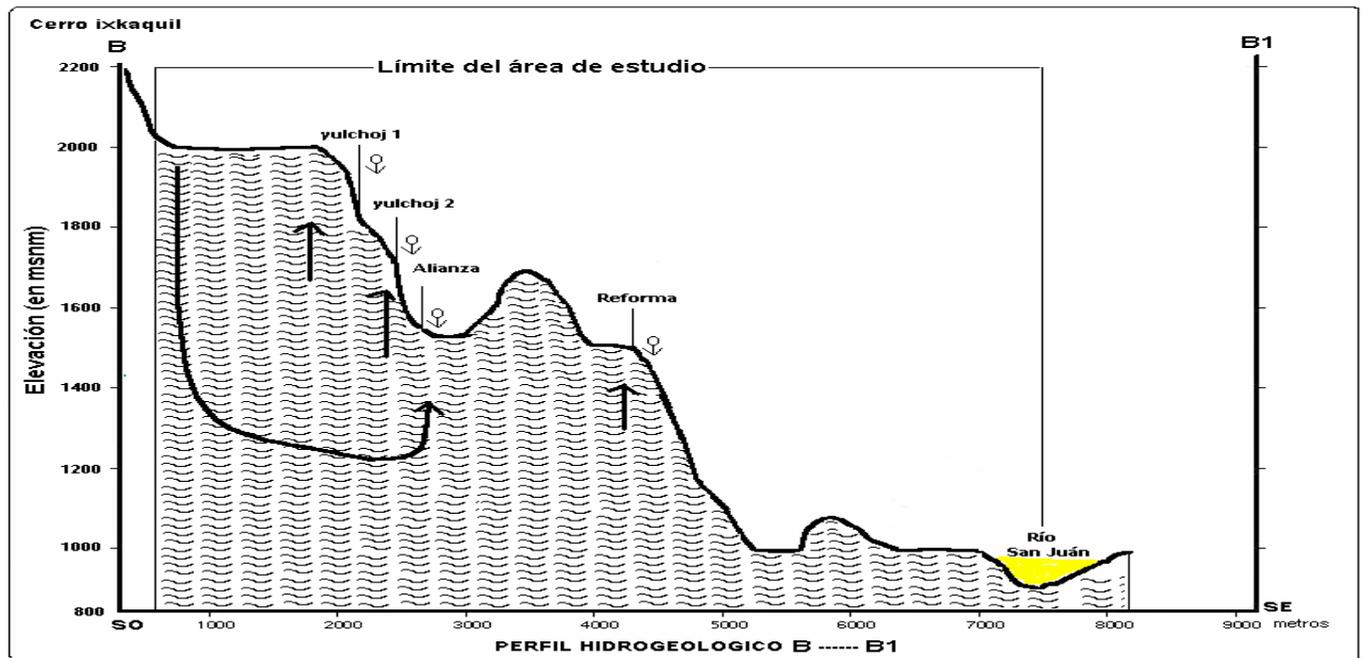
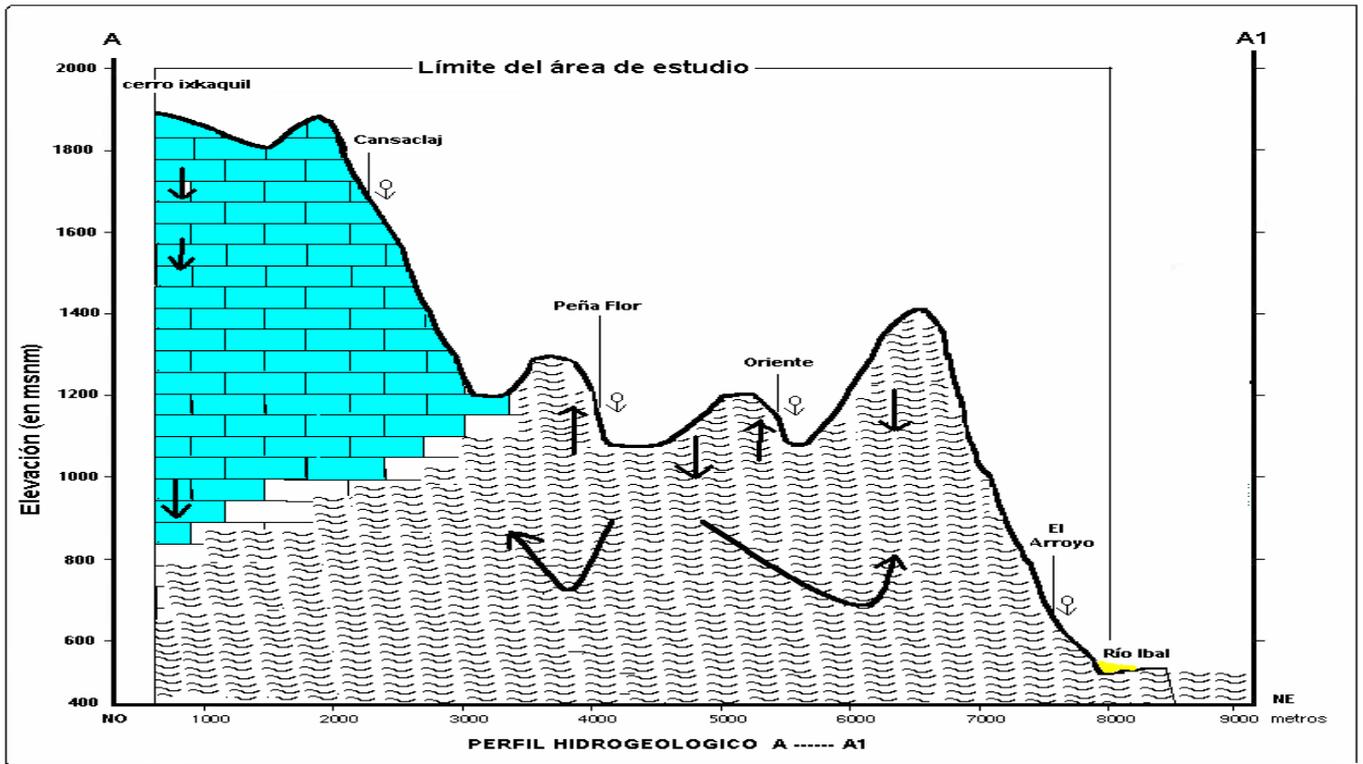


Figura 13. Perfiles Hidrogeológicos del área de estudio.

6.6 EVAPOTRANSPIRACION

La evapotranspiración es la suma de los fenómenos de evaporación del suelo y la transpiración de las plantas (Herrera, 1995).

Según (Linsley 1988), gran parte de agua que llega a la tierra, vuelve a la atmósfera en forma de vapor, directamente por evaporación, ó a través de las plantas por transpiración.

En el área de estudio se encuentran un tipo de clima bién definido que es húmedo, en la parte alta se tiene un bosque de coníferas, con alto porcentaje cobertura vegetal arbórea y arbustiva, otro tipo de cobertura en la parte baja con coníferas, asociado con cultivos como maiz (*Zea mays*), cardamomo (*Eletaria cardamomun*), café (*Coffea arabica*), cítricos (*Citrus sp.*), etc.

Para el cálculo de la ETP se utilizó la metodología propuesta por Hargreaves. Diaria, Mensual y para la ETP anual, se utilizó la sumatoria de ETP de forma mensual.

Cuadro 14. Cálculo de la evapotranspiración potencial mensual para el año 2002, por el método de Hargreaves de forma mensual para el área de estudio.

Mes	Humedad	T° media	T° media	S	Rs	No. días	RMM	RSM	ETP	ETP
2002	%	°C	°F						mm	cm
Enero	88	14.47	58.046	43.30	12.29	31	380.99	188.029	81.857546	8.19
Febrero	85	14.61	58.298	48.41	13.51	28	378.28	197.402	86.311246	8.63
Marzo	83	15.01	59.018	51.54	14.83	31	459.73	247.532	109.56633	10.96
Abril	76	14.7	58.46	61.24	15.77	30	473.1	277.666	121.74247	12.17
Mayo	82	14.6	58.28	53.03	16.02	31	496.62	271.243	118.56033	11.86
Junio	85	14.95	58.91	48.41	16.00	30	480	250.484	110.67018	11.07
Julio	89	13.86	56.948	41.46	16.62	31	515.22	248.804	106.26663	10.63
Agosto	92	13.94	57.092	35.36	15.93	31	493.83	220.225	94.29806	9.43
Septiembre	91	11.71	53.078	37.50	15.33	30	459.9	211.223	84.084534	8.41
Octubre	91	12.05	53.69	37.50	14.07	31	436.17	200.324	80.665412	8.07
Noviembre	91	11.87	53.366	37.50	12.66	30	379.8	174.434	69.816452	6.98
Diciembre	88	14.3	57.74	43.30	11.91	31	369.21	182.215	78.908371	7.89
										114.27

Para el año 2002, la ETP calculada de forma mensual fué de 114.27 cm, mientras que de forma diaria fue de 121.18 cm, (ver en anexo cuadro 28A) comparando los resultados, el método mensual estima mayor ETP anual, para este año y en general para los cuatro años de estudio. (ver cuadro 15)

La ETP de forma mensual fué calculada para ser utilizada en el cálculo de recarga hídrica de forma mensual en el cuadro 18 para el año 2002, igual para los otros años.

Cuadro 15. Resumen del cálculo de la Evapotranspiración Potencial mensual (en cm), por la Metodología propuesta por Hargreaves.

	Año 1999	Año 2000	Año 2001	Año 2002
Enero	12.700	9.470	8.610	8,19
Febrero	12.260	10.240	9.740	8,63
Marzo	11.190	8.810	9.470	10,96
Abril	10.880	9.740	10.040	12,17
Mayo	9.740	8.960	9.010	11,86
Junio	9.380	8.750	8.370	11,07
Julio	8.620	7.400	8.590	10,63
Agosto	7.130	6.740	8.680	9,43
Septiembre	7.420	5.830	8.230	8,41
Octubre	7.510	7.400	6.230	8,07
Noviembre	7.960	7.320	6.010	6,98
Diciembre	10.450	9.140	8.400	7,89
Total	115.240	99.800	101.380	114.27

El procedimiento para el cálculo de ETP mensual se encuentra en los cuadros 25A, 26A y 27A (ver cuadros en anexo)

6.7. Lámina de humedad en el suelo

Para determinar la lámina de humedad en el suelo, se necesitan los valores de constantes de humedad y densidad aparente reportados por un laboratorio de suelo y agua, obtenidos de las muestras de suelos procedentes del área de estudio y de la profundidad radicular según el tipo de cobertura vegetal existente en el área.

6.8 Cobertura vegetal (Profundidad radicular)

El factor cobertura vegetal, específicamente la profundidad de raíces, fué estimado en el mapa de uso de la tierra, donde se definen los diferentes tipos de cobertura y uso de suelo que posee el área, para la parte del área con bosque asociado con cultivos (café, *Coffea arabica*, maíz *Zea maiz*, cardamomo *Eletaria cardamomun*), mientras que otra pequeña parte posee sólo bosque y otra cultivos agrícolas sin cobertura forestal. Y siguiendo el criterio de (Sandoval I. 1,985), las profundidades radiculares se presenta en el cuadro 16.

Cuadro 16. Constantes de humedad en base a peso seco, Densidad aparente y Profundidad radicular.

Suelo	Capacidad de Campo %	Punto de marchites %	Densidad aparente g/cm ³	Profundidad radicular
Area con bosque	53.30	42.68	0.597	200
Area con cultivos agrícolas	28.79	17.17	0.9756	70

Las constantes de humedad fueron determinadas en el laboratorio de suelo y agua de la FAUSAC, utilizando normalmente el método de la olla de presión.

La lámina de humedad se determinó por medio de la siguiente fórmula:

$$\text{Humedad (cm)} = \frac{(\text{CC} - \text{PMP}) * \text{Dens. Apar. (g/cm}^3) * \text{Prof. Rad. (cm)}}{100}$$

6.9 Recarga al acuífero

Se definió el área exacta para el cálculo de la recarga hídrica, la parte con bosque se definió como área potencial de recarga, ya que hay mayor intercepción vegetal de la lluvia, existe menos escorrentía, porque el suelo contiene broza (materia orgánica) y por ende no existe mayor erosión, hay mayor contacto lluvia-suelo, entonces hay mayor infiltración del agua a los estratos inferiores del suelo y porque la geología de esta área contiene sedimentos y es permeable a los estratos inferiores del terreno, el área se definió en 7.86 Km². (ver figura 14)

La otra parte del área en donde existe asocio de cultivos agrícolas con bosque, según mapa de uso del suelo, (ver Figura 9), se considera que existe más escorrentía, porque el suelo no tiene mayor cobertura vegetal, el área con café se estimó en 13.75 km², sin bosque, la geología de esta parte nos indica que es impermeable hacia los estratos inferiores, ya que esta parte contiene rocas metamórficas (ver figura 12), evitando infiltrar el agua hacia los estratos inferiores del suelo y por ende al acuífero, descargándola hacia los manantiales y quebradas que existen en el área.

La recarga se estimó para los 4 años (1999 al 2002), en sus tres formas (diaria, mensual y anual) ya que toda el área tiene precipitación es arriba de los 2800 mm. anuales, se utilizaron los datos de la estación propiedad de CECI/AID, ubicada en la aldea La Palestina, del municipio de Barillas, esto debido a que esta estación se encuentra a una altura similar a la del área de estudio, (1,600 msnm), es la estación más

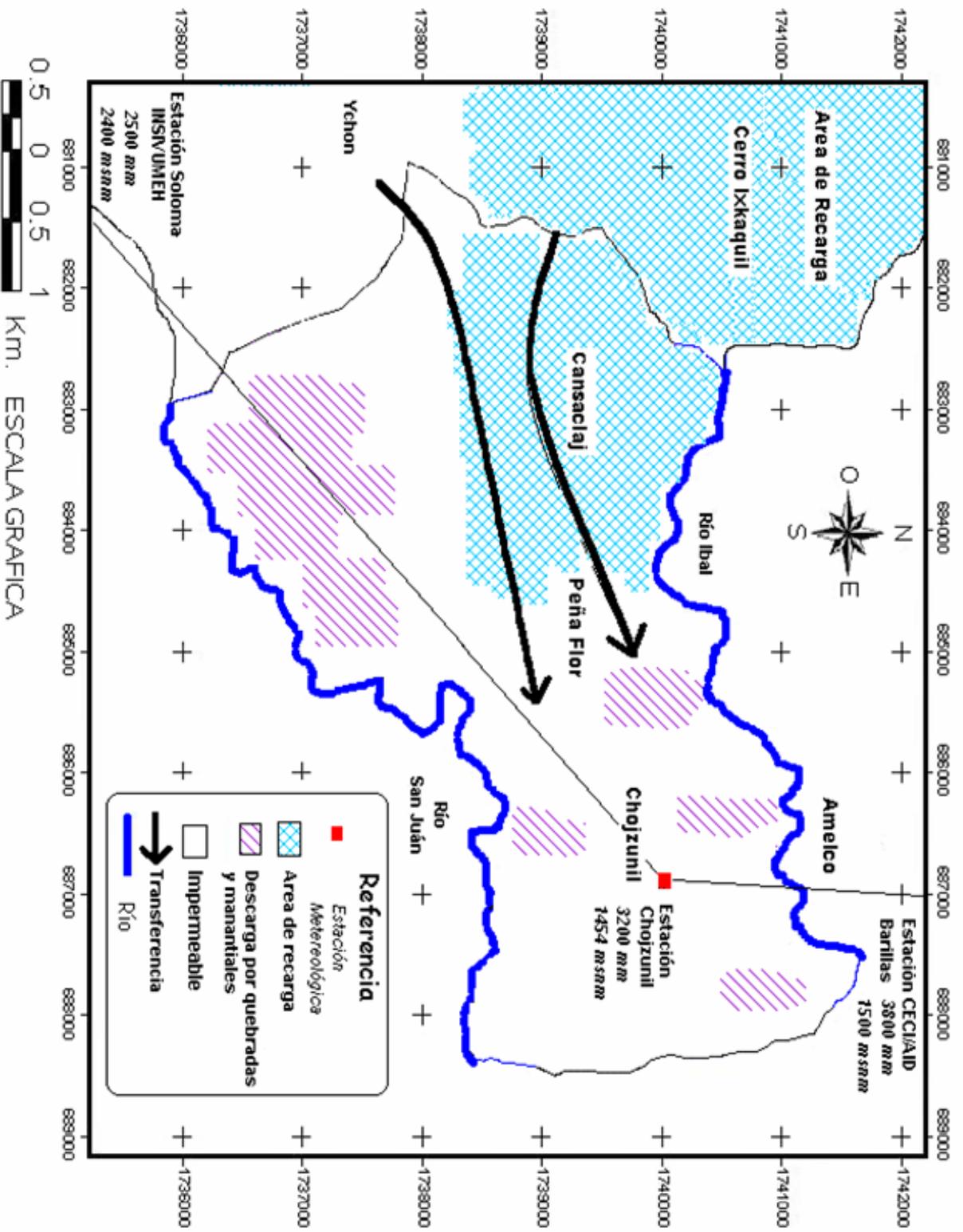


Figura 14. Referencia del área para los lineamientos de Protección de los recursos

cercana fuera del área de estudio y tiene precipitación media 3,105.31mm, similar a la precipitación media calculada anteriormente por el método de las curvas de Isoyetas para toda el área de estudio que fué estimada en 3,073 mm anuales.

Para el cálculo de la recarga directa al acuífero, se utilizó el método Penman-Cridley, utilizándose el método de variación lineal para la evapotranspiración real, de forma diaria, mensual y anual para los cuatro años de estudio, esto para comparar los resultados e inferir que forma del método nos dá resultados más aceptables a la realidad.

6.10. Cálculo de la lámina de recarga de forma diaria para el año 2002.

El cálculo de la lámina de recarga para los cuatro años de estudio se encuentran resumidos en el cuadro 17 y el procedimiento realizado para el año 2002 se puede apreciar en el cuadro 28A. (en anexo).

El volumen total de recarga anual para el año 2002 calculada de forma diaria fué de 9.41 millones de metros cúbicos, para el año 1,999, fué de 8.2 millones de metros cúbicos, 12.04 millones de metros cúbicos para el año 2,000 y para el año 2,001, la recarga fue estimada en 12.33 millones de metros cúbicos.

Cuadro 17. Resumen del cálculo de la recarga hídrica de forma diaria para los cuatro años de estudio.

Año	Area (en Km²)	Lámina de agua (en metros)	Volumen de recarga anual en (m³X10⁶)
1999	7.86	1.043	8.2
2000	7.86	1.532	12.04
2001	7.86	1.569	12.33
2002	7.86	1.197	9.41

Como se puede apreciar en el cuadro anterior, el año que más recarga reportó mediante el cálculo de la forma diaria fue el año 2001, tomando en cuenta que la precipitación par este año es de 3,850 mm, es el año que más precipitación tiene de los cuatro años de estudio, seguido del año 2000, justificando con los resultados que entre mayor sea la precipitación, es mayor la probabilidad de que el agua pueda recargar el acuífero.

Los resultados se pueden apreciar de una mejor manera gráficamente en la figura 14, mientras que el cuadro de resumen de los cálculos de la lámina de recarga hídrica de forma diaria, para los años (1999 – 2001), se encuentra en ANEXO, (ver cuadro 29A).

Volumen de recarga en $m^3 \times 10^6$ calculados de
forma diaria

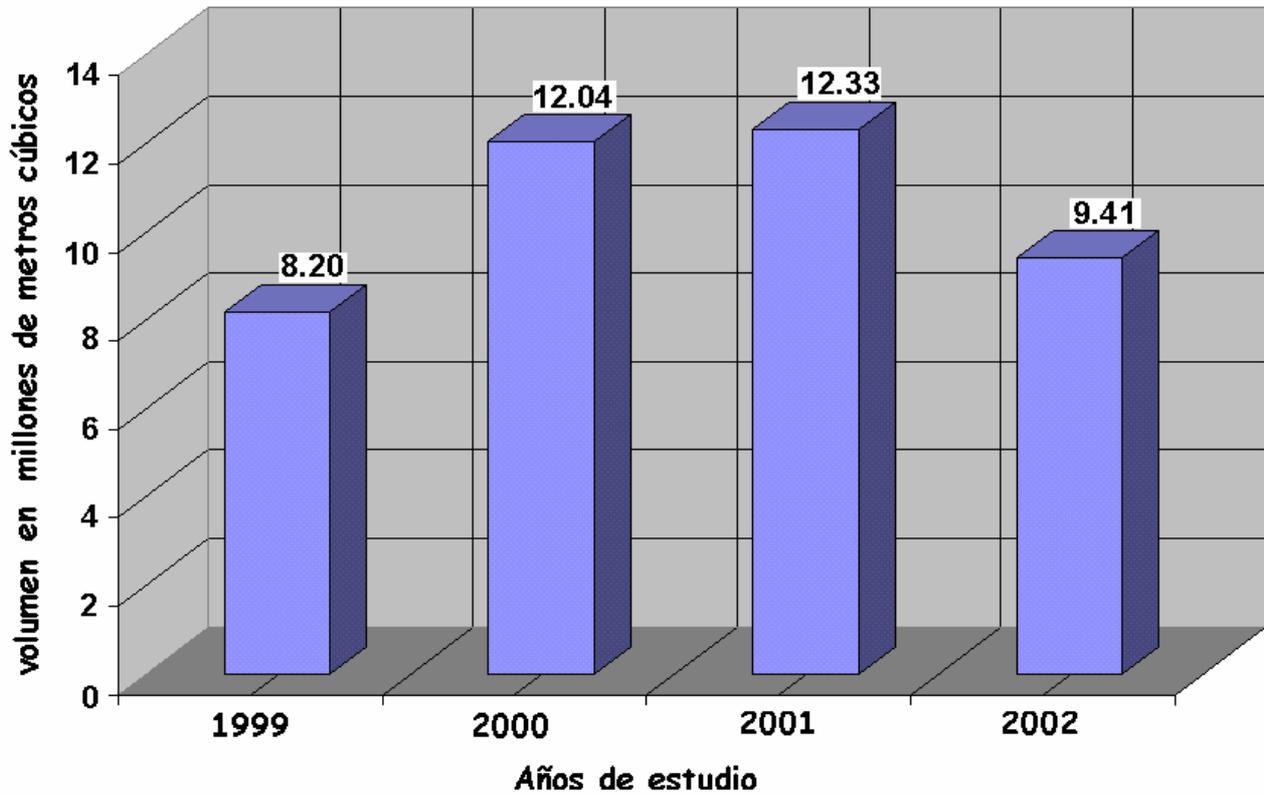


Figura 15. Gráfica del cálculo de recarga hídrica para los cuatro años de estudio de forma diaria por el método de variación lineal para la evapotranspiración real

Para apreciar de una mejor manera los resultados de recarga hídrica para los cuatro años de estudio, de forma diaria, la gráfica en la figura No. 15, nos da una idea mejor gráficamente de la recarga estimada mediante esta forma y de las diferencias con respecto a los otros años, observándose para los años 2000 y 2001, con 12.04 y 12.33 millones de metros cúbicos respectivamente, mientras el año 2002, reporta 9.41 millones de metros cúbicos y el año 1999 menor almacenamiento al acuífero subterráneo reportando 8.20 millones de metros cúbicos.

6.11 Cálculo de la lámina de recarga de forma mensual para el año 2002

Cuadro 18. Balance de humedad de suelos y cálculo de Recarga hídrica para el área de la aldea Chojzunil a Para el año 2002, a través del método de variación lineal para la evapotranspiración real, de forma mensual.

Capacidad de campo = 28.79 % por peso seco (19.66 cm) Punto de marchitės 17.17 % por peso seco (11.73 cm) Profundidad de raíces = 70 cm Humedad inicial = 17.17 % por peso seco (11.73 cm) Densidad del suelo en g. Peso seco/cm ³ = 0.9756						Prec: Precipitación media mensual P. inf: precipitación infiltrada Esc: Escorrentía superficial ETP: Evapotranspiración potencial ETR: Evapotranspiración real Esc. Sub. Escorrentía Subsuperficial HSF: Humedad del suelo final REC: Recarga				
Periodo	Prec .	P. INF.	ESC.	ETP	ETR	HSF	HSF	Recarga	Esc. Sub.	Recarga
2,002	cm	cm	cm	cm	cm	%	cm	cm	cm	cm
							11.73			
ABRIL	9.630	6.489	3.141	12.170	0.000	26.679	18.219	0.000	0.95	0.000
MAYO	18.400	12.398	6.002	11.860	9.704	28.790	19.660	1.252	1.099	0.153
JUNIO	31.030	20.908	10.122	11.070	11.070	28.790	19.660	9.838	1.093	8.745
JULIO	32.740	22.060	10.680	10.630	10.630	28.790	19.660	11.430	1.045	10.385
AGOSTO	42.880	28.892	13.988	9.430	9.430	28.790	19.660	19.462	1.084	18.378
SEPTIEMBRE	35.370	23.832	11.538	8.410	8.410	28.790	19.660	15.422	1.09	14.332
OCTUBRE	43.480	29.296	14.184	8.070	8.070	28.790	19.660	21.226	1.204	20.022
NOVIEMBRE	17.560	11.832	5.728	6.980	6.980	28.790	19.660	4.852	0.482	0.000
DICIEMBRE	8.530	5.747	2.783	7.890	7.890	25.652	17.517	0.000	0.923	0.000
ENERO	12.990	8.753	4.238	8.190	5.977	28.790	19.660	0.633	0.908	0.000
FEBRERO	11.610	7.823	3.787	8.630	8.630	27.608	18.853	0.000	0.82	0.000
MARZO	6.660	4.487	2.173	10.960	9.844	19.763	13.496	0.000	0.962	0.000
TOTALES	270.880	182.516	88.364	114.290	96.636			84.115	11.66	72.015

La recarga para este año, tiene descontada la escorrentía subsuperficial o descarga subterránea, debido a que se contaban con los aforos mensuales de los manantiales del área, estos aforos se estimaron durante el año 2002, algo que no ocurre con los años anteriores, ya que no se cuentan con los aforos de los manantiales del área, lo cual es más exacto a la realidad, ya que la lluvia después de una tormenta no llega directamente al acuífero profundo, sino que se descarga por las quebradas o manantiales y forma parte de la escorrentía subsuperficial, lo cual ayuda a mantener los caudales de los ríos Ibal y San Juan, esto debido a que la velocidad de infiltración no es directamente proporcional a la precipitación y porque la geología de la mayor parte del área es metamórfica, por lo que es impermeable a los estratos inferiores, lo cual nos indica que el agua se desvía hacia rupturas fisiográficas que existen en el área, generando de esta forma los manantiales y quebradas que se describen en la figura 11.

La recarga hídrica calculada de forma mensual para los cuatro años de estudio, se presentan en el cuadro 19, obteniéndose 7.17 millones de metros cúbicos, para el año 1999, 9.16 millones de metros cúbicos para el año 2000, 9.42 para el año 2001 y 5.66 millones de metros cúbicos para el 2002.

Cuadro 19. Resumen del cálculo de la recarga hídrica de forma mensual para los cuatro años de estudio.

Año	Area (en Km²)	Lámina de agua (en metros)	Volumen de recarga anual en (m³X10⁶)
1999	7.86	0.912	7.17
2000	7.86	1.166	9.16
2001	7.86	1.199	9.42
2002	7.86	0.720	5.66

Los cuadros de cálculo de la lámina de recarga para los años 1999 – 2001 de forma mensual, se encuentran en anexo (ver cuadros 30A, 31A y 32A)

Volumen de recarga en $m^3 \times 10^6$ calculados de
forma mensual

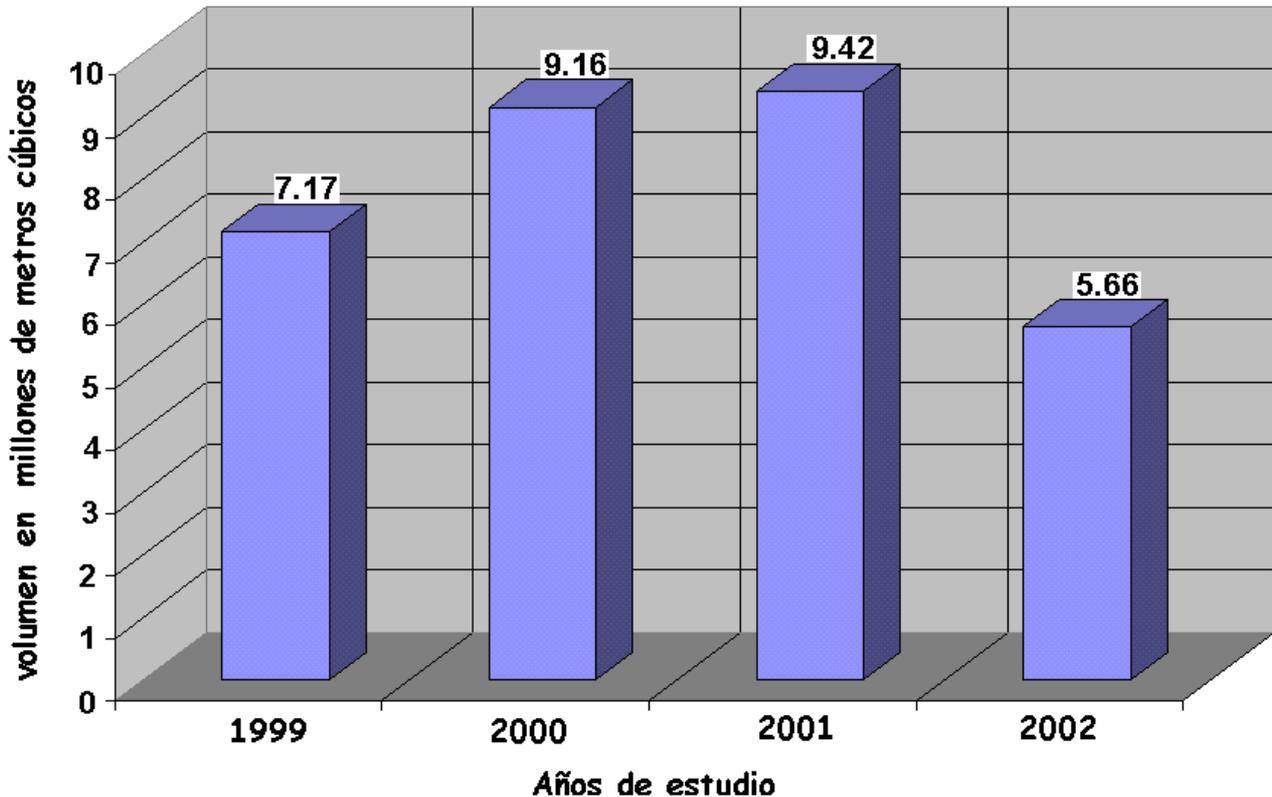


Figura. 16. Gráfica del cálculo de recarga hídrica para los cuatro años de estudio de forma mensual por el método de variación lineal para la evapotranspiración real

Para apreciar de una mejor manera los resultados de recarga hídrica para los cuatro años de estudio, de forma mensual, la gráfica en la figura No. 16, nos da una idea mejor gráficamente de la recarga estimada por esta forma, observándose para los años 2000 y 2001, con 9.16 y 9.42 millones de metros cúbicos respectivamente, mientras el año 1999, reporta 7.17 millones de metros cúbicos y el año 2002 menor almacenamiento al acuífero subterráneo reportando 5.66 millones de metros cúbicos.

Lo anterior justifica los resultados similares mayores obtenidos en la forma diaria de cálculo de recarga para los cuatro años de estudio, ya que al haber mayor precipitación, hay mayor contacto agua-suelo y si las condiciones son adecuadas el agua puede infiltrarse al acuífero profundo, esto nos indica que los años en donde se reporta mayor precipitación pluvial, son los años que mayor recarga reportan.

6.12 Cálculo de lámina de recarga de forma anual para el año 2002.

Cuadro 20. Balance de Humedad de suelos y cálculo de Recarga hídrica para el año 2002 de forma anual por el método de variación lineal para la evapotranspiración real.

Capacidad de campo = 28.79 % por peso seco (19.66 cm) Punto de marchités 17.17 % por peso seco (11.73 cm) Profundidad de raíces = 70 cm Humedad inicial = 17.17 % por peso seco (11.73 cm) Densidad del suelo en g. Peso seco/cm ³ = 0.9756				Prec: Precipitación media anual P. inf: precipitación infiltrada Esc: Escorrentía superficial ETR: Evapotranspiración real Esc. Sub. Escorrentía Subsuperficial REC: Lámina de Recarga		
Area	Prec. (cm)	P. Inf. (cm)	Esc. (cm)	ETR (cm)	Esc. Sub. (cm)	Recarga (cm)
7.86 Kms ²	270.88	182.516	88.364	114.27	11.660	56.586

El procedimiento para el cálculo de los otros años de estudio de forma anual, se encuentra en cuadro 33A, (en anexo) y el resumen del cálculo de la recarga en el cuadro 21.

El volumen total de recarga hídrica calculada de forma anual es para el año 1999 de, 5.36 millones de metros cúbicos, 8.78 millones de metros cúbicos para el año 2000, 9.20 millones de metros cúbicos para el año 2001 y 4.45 millones de metros cúbicos para el año 2,002. (ver cuadro 21)

Cuadro 21. Resumen del cálculo de la recarga hídrica de forma anual para los cuatro años de estudio.

Año	Area (en Km ²)	Lámina de agua (en metros)	Volumen de recarga anual en (m ³ X10 ⁶)
1999	7.86	0.682	5.36
2000	7.86	1.117	8.78
2001	7.86	1.170	9.20
2002	7.86	0.566	4.45

Para apreciar de una mejor manera los resultados de recarga hídrica calculada de forma anual para los cuatro años de estudio, la gráfica en la figura No. 17, nos dá una mejor idea gráficamente de la recarga estimada por esta forma, observándose para los años 2000 y 2001, con 8.78 y 9.20 millones de metros cúbicos respectivamente, mientras el año 1999, reporta 5.36 millones de metros cúbicos y el año 2002 menor almacenamiento al acuífero subterráneo reportando 4.45 millones de metros cúbicos.

Volumen de recarga en $m^3 \times 10^6$ calculados de forma anual

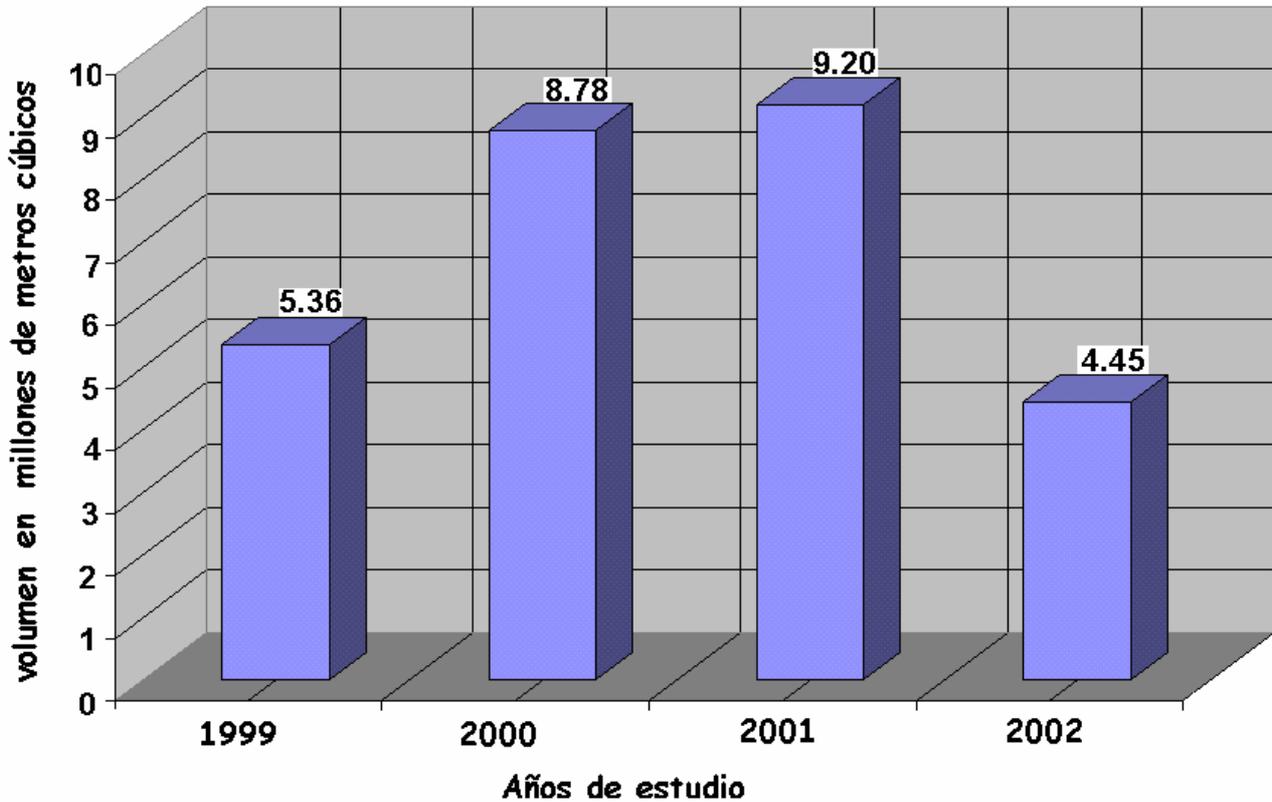


Figura 17. Gráfica del cálculo de recarga hídrica para los cuatro años de estudio de forma anual por el método de variación lineal para la evapotranspiración real

6.13. Comparación de volúmenes de recarga para los cuatro años de estudio

Como se puede apreciar en el cuadro 22, el volumen total de recarga para el año 1999 calculado de forma diaria es de 8.2 millones de metros cúbicos, mientras que la forma mensual reporta 7.17 millones de metros cúbicos, es notable la diferencia, pero la forma anual reporta 5.36 millones de metros cúbicos, lo cual demuestra una subestimación de la recarga notable en la forma anual, comparado a las otras dos formas de cálculo de recarga (diaria y mensual).

Para el año 2000, el volumen de recarga reportado por la forma diaria es de 12.04 millones de metros cúbicos, para la forma mensual es de 9.16 millones, comparando, es notoria la diferencia entre la forma diaria y mensual de cálculo, pero la forma anual reportó menor recarga, 8.78 metros cúbicos, lo cual es muy notable la subestimación de la recarga usando esta forma de cálculo.

Para el año 2001, la forma diaria reportó 12.33 millones de metros cúbicos, 9.42 millones para la forma mensual de calcular recarga, al comparar, la forma diaria estima mayor recarga para este año, mientras que la forma anual estima la recarga en 9.20 millones de metros cúbicos, similar a la forma mensual.

Como en los tres años anteriores, la forma diaria reporta mayor recarga para el año 2002, 9.41 millones de metros cúbicos, la forma mensual estima la recarga en 5.66 millones de metros cúbicos, mientras que con la forma anual, el cálculo es de 4.45 millones de metros cúbicos, lo cual nos da una idea de que la forma mensual y anual estiman el cálculo de recarga hídrica menor que la forma diaria y son las formas más aceptables para el cálculo de recarga hídrica. (ver cuadro 22)

Cuadro 22. Comparación de volúmenes anuales, utilizando las tres formas de determinar recarga.

Año	Volumen de recarga anual calculado de forma diaria.	Volumen de recarga anual calculado de forma mensual.	Volumen de recarga anual calculado de forma anual.
	En m³*10⁶	En m³*10⁶	En m³*10⁶
1999	8.20	7.17	5.36
2000	12.04	9.16	8.78
2001	12.33	9.42	9.20
2002	9.41	5.66	4.45

Comparando los volúmenes calculados por la forma diaria anualmente, el año 2001 es el que reporta mayor recarga, (12.33m³*10⁶) esto se debe a que la precipitación observada para este año, fué de 385.06 cm, seguida por el año 2000, con (12.04m³*10⁶), debido también a que en este año la precipitación observada fué de 313.869 cm, analizando el año 1999 y el año 2002, la precipitación fue menor a los 300 cm, obteniéndose recargas de 8.20 m³*10⁶ y 9.41 m³*10⁶ respectivamente, también este cálculo de recarga se debe a que la precipitación para estos años fué menor, concluyendo, el acuífero entre mayor sea la lluvia observada anual, mayor será la recarga, ya que las formas de cálculo estiman todas las pérdidas por evaporación, evapotranspiración y escorrentía de una manera matemática y por ende los resultados serán directamente proporcionales y los otros factores que influyen en el cálculo, lo hacen de una manera constante y por esto la forma diaria fue la que reportó mayor recarga para los cuatro años de estudio. (ver figura 18)

Comparación de volúmenes de recarga (en millones de metros cúbicos)

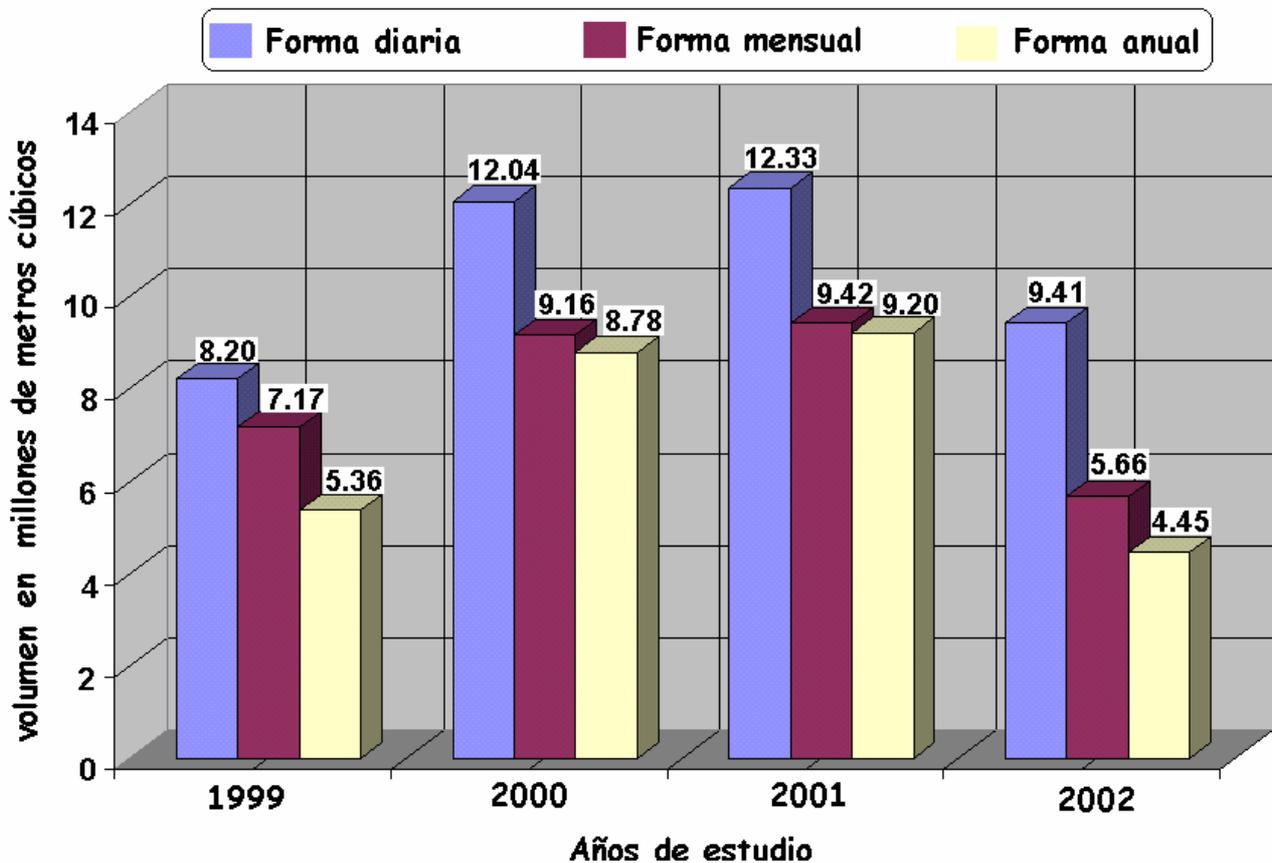


Figura 18. Grafica de comparación de volúmenes de recarga hídrica para las tres formas de estimación de la recarga hídrica para los cuatro años de estudio.

Analizando los valores de volumen de recarga de las tres formas en la figura anterior, las diferencias que se aprecian son notables, tomando en cuenta de necesitamos conocer la cantidad de agua que puede almacenar el área o acuífero, por lo que si se tienen datos diarios, la forma diaria es la más aconsejable, ya que al utilizar más valores, tenemos mayor certeza de nuestros resultados, o podemos utilizar la forma mensual, aunque se desprecia una parte de la recarga, pero al utilizar la forma anual, subestimamos en gran manera la recarga, comparándola con los resultados que reporta la forma diaria, pero comparándola con la forma mensual, no es demasiada la diferencia de cálculo de recarga, de todas maneras para utilizar la forma anual, necesitamos datos mensuales de precipitación, Temperatura y de Humedad Relativa, y el trabajo es casi el mismo, por lo que es mejor utilizar la forma mensual o diaria para estimar volúmenes de recarga.

6.14. Propuesta de lineamientos de manejo para la protección de los Recursos Naturales.

Lineamientos: En base a información que se generó en este estudio, en los recorridos realizados en toda el área para revisar las parcelas cafetaleras, y en las exigencias que MAYACERT requiere para certificar los productos orgánicos, permite definir algunos lineamientos de protección de los Recursos Naturales del área de estudio.

6.14.1 Bosque

- A. Proteger los cerros Ixkaquil y cerro Yaxcalanté, así como el área con bosque comprendida entre Ingí-Peña Flor, debido a que en esta área hay bosque aún virgen, la geología del suelo está compuesta por sedimentos, por lo tanto hay mayor infiltración hacia los estratos inferiores del suelo, tomando en cuenta que la precipitación no escurre, por que el contenido de materia orgánica la retiene, entonces hay mayor contacto agua-suelo y por ende mayor infiltración y el suelo alcanza su capacidad de campo y el agua drena aumentando la recarga, o escurre hacia las quebradas (ver movimiento del agua en los perfiles de la figura 13).
- B. Evitar la deforestación del bosque que aún queda en la parte baja (Cansaclaj – Chojzunil), tratar de conocer la propiedad, el uso y la administración, par implementar proyectos de reforestación, como PINFOR, entre otros, con la finalidad de proveerle al suelo alguna cobertura vegetal, para que cada vez que haya una tormenta, no degrade el suelo.
- C. Conocer la propiedad, uso y la administración del área comprendida entre (Chojzunil – Amelco), (Chojzunil – Río San Juan), para implementar medidas de protección del suelo, utilizando vegetación arbustiva o forestal, como barrera viva, ejemplo palo de pito *Erythrina sp*, Madre cacao *Gliricidia sepium*, *Gravilea Gravilea robusta*, para que pueda disminuir la escorrentía superficial y aumentar la infiltración del agua al suelo.
- D. Formar un comité exclusivamente por parte de los productores cafetaleros, para que velen porque no haya más deforestación del bosque que aún sirve de sombra a los cafetales, tomando conciencia que es prioridad utilizar como leña especies como chalum (*paterna sp*), cafetales viejos que ya no produzcan, o ramas de especies forestales, pero no talar por completo el árbol, esto para fortalecer el proceso de certificación de los productos orgánicos y tratar de sembrar especies que no hayan en la región tales como Cedro (*Cedrella sp*), Casuarina, en la parte baja, 1500 msnm y cipreses (*Cupresus sp.*), Aliso *Quercus sp*, en la parte alta, arriba de los 2,200 msnm.

6.14.2 Suelo

- A. Debido a la topografía (pendiente) y el tipo de suelo, el cual es franco arenoso en toda el área, por lo anterior el área es muy susceptible a la erosión hídrica, en base a lo anterior, se deben identificar las laderas de escorrentía que se generan esporádicamente en tiempo de lluvia dentro de las parcelas cafetaleras y construirle acequias que desvíen el agua a quebradas de escorrentía permanente, para evitar la erosión y cárcavas, cubrir el talud de la acequia con piedras, para que el agua circule sobre las piedras y no directamente sobre el suelo.
- B. En áreas cafetaleras, tratar de mantener cobertura vegetal sobre el suelo, utilizando plantas como frijol de terciopelo (*Mucuna pruriens*), trebolillo (*Physalis sp.*); que ayuden a disminuir la velocidad de caída de la lluvia sobre el suelo y la escorrentía superficial, esto para aumentar el contacto o la relación agua-suelo, o mantener materia orgánica en descomposición sobre las terrazas individuales del café (*Coffea arabica*), como hojas y tallo de plátano (*Musa paradisiaca*) bien picado o triturado, hojas de chalum (*Inga sp.*), esto provee protección al suelo para que la lluvia no caiga directa al suelo, sino que por intercepción vegetal, disminuya su velocidad de caída y además sirve de abono orgánico para los cultivos.
- C. Transplantar árboles o arbustos en las cárcavas de mayor tamaño, transplantándolos de un tamaño ya adecuado para que resistir las escorrentías sobre la cárcava, esto provee cobertura vegetal para estabilizar las cárcavas o mantenerlas con cobertura arbustiva, para evitar que el suelo dentro de la cárcava se siga degradando.
- D. Construir diques de contención en cárcavas pequeñas, donde haya escorrentía esporádica, para recuperar la cárcava y el suelo erosionado, también para evitar que crezca la cárcava y desviar la escorrentía mediante acequias hacia quebradas o laderas de escorrentía permanente, las cuales se pueden empedrar sobre el talud, para que el agua circule sobre las piedras del talud y no directamente sobre el suelo.

6.14.3 Agua

- A. Reforestar las áreas de recarga de la parte de (peña Flor, Oriente) para aumentar el contacto agua-suelo para que el agua pueda infiltrarse al acuífero subterráneo o suministrarse a los manantiales que son utilizados por los habitantes como agua potable, para lavar ropa, café u otros usos.

- B. Proteger las fuentes de agua, evitando contaminar el área de arriba, donde se infiltra el agua, tratar de evitar drenajes, basureros o construir aboneras que por escorrentía, al llover puedan llevar microorganismos a las fuentes de agua y provocar enfermedades a los habitantes.

- C. Cuando se lave café en las quebradas o arroyos, drenar o enviar las aguas mieles a fosas de infiltración construidas y no a los mismos arroyos, ya que las aguas mieles contaminan el agua, la cual más abajo puede ser utilizada por otros habitantes para usos diferentes al lavado de café.

- D. Proteger las áreas de recarga que tienen bosque virgen del área, en los lineamientos para bosque, ya sea dándole un manejo sostenible o declarándola área protegida, ya que aún conservan especies animales que se encuentran en peligro de extinción. (ver figura 14)

7 CONCLUSIONES

- 7.1. Asumiendo como 100% la recarga calculada de forma diaria, los resultados reportados en este estudio fueron de un 12.56% a un 39.85% mayores que la forma mensual, comparando los cuatro años donde la forma diaria fué mayor a la mensual, mientras que con la forma anual, los resultados reportados por la forma diaria fueron de un 27.09% a un 60.15% mayores. Debido a esta comparación, utilizar la forma diaria es la más aconsejable.
- 7.2. No realizar cálculos de balance hídrico de forma anual utilizando la metodología propuesta en este estudio, ya que subestima la recarga, comparándola con los resultados obtenidos utilizando la forma diaria o mensual para los cuatro años de estudio.
- 7.3. Los cerros ixkaquil y Yaxcalanté son área potencial de recarga, ya que en ellos existe bastante área con selva virgen, con un contenido de materia orgánica de 23.15% y con una capacidad de campo de 53.3 %, y un rango de agua disponible de (CC 40.37 – 33.12 PMP igual a 7.25 cm), añadiendo que el suelo es bien drenado, con geología compuesta de arenas o rocas sedimentarias, con una velocidad de infiltración de 0.90 cm/hora o de 216 mm/día, lo que nos indica que la materia orgánica retiene mayor humedad, comparado a la velocidad de infiltración que se obtuvo en el áreas con cultivos, que es de 0.78 cm/hora, o de 187.2 mm/día, con un porcentaje de 12.91% de materia orgánica. (ver cuadro en anexo 34A)
- 7.4. La mayor descarga subterránea se dá hacia la parte norte del acuífero, al río Ibal, ya que la geología del suelo en esta parte es impermeable metamórfica, entonces el agua no se infiltra, sino que se descarga por medio de las quebradas, drenando hacia los ríos, llegando a descargar al río Ibal 365.47 l/s anuales, mientras que los caudales descargados en las quebradas que drenan en la parte sur hacia el río San Juan, fueron de 188 l/s al año, teniendo mayor abastecimiento a su caudal por flujo subsuperficial el río Ibal que el río San Juan.
- 7.5. El río Ibal es lento en su recorrido (0.714 m/s), pero tiene un área mayor de escurrimiento, (10.38 m²), mientras que el río San Juan, no es muy grande en su área de escurrimiento (4.02 m²), pero tiene una velocidad mayor, (1.5 m/s) por lo que en invierno transporta caudales mayores que el río Ibal.

- 7.6. El uso agrícola actual que le han dado los habitantes al área de la parte baja, con cultivos como café *Coffea arabica*, maíz *Zea mays*, cardamomo *Elettaria cardamomun*, etc, ha desprovisto al suelo de cobertura, aumentado la escorrentía superficial y con ello la erosión, generando cárcavas de tamaños considerables dentro del área cultivable, además de las cárcavas que generó la introducción de la carretera en los cantones Alianza, Peña flor y Reforma, ha destruido parte del área.
- 7.7 La precipitación media que se dá en el área, es de 3,073.23 mm anuales, calculada por el método de las isoyetas, lo que refleja que es un área con tormentas grandes en época de invierno y los datos de lluvia reportados por las estaciones lo ratifican. Lo cual refleja estas condiciones si pueden recargar cualquier acuífero, siempre y cuando la cobertura vegetal, intensidad de lluvia, geología del suelo e infiltración sean adecuadas.
- 7.8 El movimiento de la humedad del suelo o transferencia dentro del área de estudio, se dá de la parte Oeste a Este del área de estudio, ya que la zona de recarga se encuentra en los cerros Ixkaquil y Yaxcalanté, (ver figura 14) tomando en cuenta que los manantiales se encuentran en la parte baja Este del área de estudio y es por medio de éstos por los cuales se descarga el agua subsuperficialmente y no llega al acuífero profundo. (ver figura 11)

8. RECOMENDACIONES

- 8.1. Realizar balance hídrico de forma diaria o mensual para calcular recarga hídrica en futuros proyectos del área, para estimar de una mejor manera la recarga, ya que al usar la forma anual de cálculo, ésta subestima la recarga.
- 8.2. Utilizar la forma anual de cálculo de recarga hídrica, utilizando otros métodos indirectos para calcular los principales procesos de transferencia del balance hídrico que intervienen en la recarga, analizarlos y comparar resultados.
- 8.3. Tomar en cuenta los lineamientos propuestos en este documento para poder proteger los recursos naturales del área, principalmente para prevenir inconvenientes con la certificadora de productos orgánicos (MAYACERT) en la certificación de los productos orgánicos, y para que en el futuro, estos recursos naturales puedan ser utilizados por las nuevas generaciones.
- 8.4. Realizar un inventario forestal de los recursos del área, para poder proponer un manejo sostenible de algunas áreas que aún están en buen estado, definir la propiedad y la administración, ya que algunos habitantes dependen del bosque y no se les puede privar de este recurso, ya sea porque son los dueños y además viven del bosque, utilizándolo como fuente de energía como leña o aprovechamiento de madera.

9. BIBLIOGRAFÍA

1. Amisial, RA. 1978. Aprovechamiento y modelos de aguas subterráneas. Mérida, Venezuela, CIDIAT. 75 p. (Serie Hidrología).
2. Basso, E. 1967. Medidas de evaporación, proyecto de mejoramiento hidrometeorológico centroamericano. Tegucigalpa, Honduras, UNESCO. p. 13–30.
3. Cardona López, LA. 2000. Diagnostico de la aldea Chojzunil del municipio de Santa Eulalia del departamento de Huehuetenango. Quetzaltenango, Guatemala, USAC, Centro Universitario de Occidente. 34 p.
4. Cifuentes Barrientos, JG. 2000. Estudio de la cobertura de tres cultivos sobre la erosión hídrica del suelo, en la parte media de la cuenca del río Itzapa, San Andrés Itzapa, Chimaltenango (fase III). Tesis Ing. Agr. Guatemala, USAC. 60 p.
5. Correu Toledo, G. 1974. Manual para el alumbramiento de aguas subterráneas. México, FIRA. 211 p.
6. Cruz, JR. De la 1973. Clasificación de las zonas de vida de Guatemala, basada en el sistema Holdridge. Guatemala, Instituto Nacional Forestal. 83 p.
7. Cumbre Mundial Sobre el Desarrollo Sostenible, Johannesburgo. 2002. Concurso universitario, ensayo sobre el agua: tema y bases, 1er. premio: un viaje todo pagado a la cumbre de Johannesburgo 2002. Guatemala. 3 p.
8. Custodio, E; Llamas, MR. 2001. Hidrología subterránea. 2 ed. Barcelona, España, Omega. v. 1-2, 2,350 p.
9. Herrera Ibáñez, IR. 1995. Manual de hidrología. Guatemala, USAC, Facultad de Agronomía. 223 p.
10. _____. 2001. Recarga hídrica. Guatemala, USAC, Facultad de Agronomía. 80 p.
11. _____. 2002. Hidrogeología práctica. Guatemala, Red Centroamericana de Manejo de Recursos Hídricos. v.1, 192 p.
12. IGM (Instituto Geográfico Militar, GT). 1965. Mapa topográfico de la república de Guatemala: hoja Barillas, no. 1,963 III. Guatemala. Esc. 1:50,000. Color.
13. _____. 1965. Mapa topográfico de la república de Guatemala: hoja San Luis Ixcán, no. 1,963 II. Guatemala. Esc. 1:50,000. Color.
14. Linsley, RK; Kohler, MA; Paulhus Joseph, LH. 1988. Hidrología para ingenieros. Trad. por Alejandro Deeb, Jaime Iván Ordóñez y Fabio Castrillón. México, McGraw-Hill. 48 p.
15. Mendoza Ivara, JA. 2000. Caracterización del sistema de producción agropecuario del noreste de los municipios de Santa Eulalia y San Pedro Soloma, Huehuetenango. Tesis Ing. Agr. Huehuetenango, Guatemala, USAC, Centro Universitario del Noroccidente. 70 p.
16. Motta Franco, E. 2002. Determinación de áreas de recarga hídrica. Guatemala, Instituto Nacional de Bosques. 38 p.

17. Sánchez Pérez, GA. 1998. Evaluación de la cobertura vegetal y manejo de tres cultivos, sobre la erosión hídrica en la parte media de la cuenca del río Itzapa (fase III). Tesis Ing. Agr. Guatemala, USAC. 57 p.
18. Sandoval Illescas, JE. 1989. Principios de riego y drenaje. Guatemala, USAC, Facultad de Agronomía. 223 p.
19. Santos Mancilla, EG. 1997. Simulación hidrológica para la calibración de parámetros de escorrentía, en la cuenca del río La Virgen, San Andrés Itzapa, Chimaltenango. Tesis Ing. Agr. Guatemala, USAC. 95 p.
20. Savenije, HHG. 1995. Hidrología para ingenieros. Curso nacional de drenaje agrícola y control de inundaciones a nivel de postgrado. Guatemala, USAC, Facultad de Agronomía. 135 p.
21. Schosinsky, G. 1999. Notas del curso de hidrología. Costa Rica, Universidad de Costa Rica, Escuela Centroamericana de Geología, Maestría en Manejo de Recursos Hídricos e Hidrogeología. s.p.
22. Simmons, C; Tarano, JM; Pinto, JH. 1959. Clasificación a nivel de reconocimiento de los suelos de la república de Guatemala. Guatemala, Instituto Agrícola Nacional. 1,000 p.
23. Taracena Hernández, JJ. 1999. 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 Ing. Agr. Guatemala, USAC. 103 p.
24. Velasco, I. 1981. Aspectos generales de la hidráulica de pozos. Chapingo, México, Universidad Autónoma de Chapingo. 51 p.

ANEXO

Cuadro 23A. Valores medios mensuales de radiación solar extraterrestre (mm/día), para ser usado en el cálculo de la Evapotranspiración mensual.

Latitud Norte	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
0	15.07	15.53	15.71	15.27	14.47	13.97	14.19	14.95	15.61	15.66	15.23	14.90
5	14.23	14.96	15.55	15.55	15.09	14.74	14.90	15.39	15.63	15.24	14.47	13.98
10	13.30	14.28	15.27	15.72	15.61	15.42	15.51	15.72	15.54	14.71	13.61	12.98
15	12.29	13.51	14.83	15.77	16.02	16.00	16.02	15.93	15.33	14.07	12.66	11.91
20	11.20	12.64	14.37	15.70	16.32	16.48	16.42	16.04	15.00	13.33	11.63	10.76

Tomado de: Herrera Ibáñez. IR. 2,001. Recarga hídrica.

Cuadro 24A. Cálculo de la precipitación efectiva por el método Schosinsky para el año 2001.

Cálculo de la Precipitación efectiva de forma mensual para el año 2,001						
Pptt mensual cm	R	Kfc	fc mm/día	ln fc		Prec. efectiva cm
20.150	0.88	0.6445812	187.2	5.23	0.723	11.4297
19.220	0.88	0.6445812	187.2	5.23	0.723	10.9022
36.110	0.88	0.6445812	187.2	5.23	0.723	20.4827
48.830	0.88	0.6445812	187.2	5.23	0.723	27.6979
76.410	0.88	0.6445812	187.2	5.23	0.723	43.3422
39.840	0.88	0.6445812	187.2	5.23	0.723	22.5985
57.210	0.88	0.6445812	187.2	5.23	0.723	32.4513
21.320	0.88	0.6445812	187.2	5.23	0.723	12.0934
9.520	0.88	0.6445812	187.2	5.23	0.723	5.4000
20.660	0.88	0.6445812	187.2	5.23	0.723	11.7190
21.000	0.88	0.6445812	187.2	5.23	0.723	11.9119
14.790	0.88	0.6445812	187.2	5.23	0.723	8.3894
385.06						218.418144

Donde

Prec. efectiva = PTT mensual * R * Kfc

R = 1 -- 0.12

Kfc = 0.267 Ln (Fc) – 0.000154 (Fc) – 0.723

Fc = Valor de infiltración básica en mm/día

Ln = Logaritmo neperiano (natural)

Cuadro 27A. Cálculo de la evapotranspiración potencial mensual para el año 2001, por el método de Hargreaves de forma mensual para el área de estudio.

	HR	T° media	T° media	S	Rs	No.	RMM	RSM	ETP	ETP
2,001	%	°C	°F			días			Mm	cm
Enero	94	11.4	52.52	30.62	12.29	31	380.99	158.113	62.2807	6.23
Febrero	95	11.9	53.42	27.95	13.51	28	378.28	149.9934	60.0949	6.01
Marzo	93	13.6	56.48	33.07	14.83	31	459.73	198.2867	83.9943	8.40
Abril	94	14.7	58.46	30.62	15.77	30	473.1	196.3392	86.0849	8.61
Mayo	92	14.8	58.64	35.36	16.02	31	496.62	221.469	97.4021	9.74
Junio	92	15	59	35.36	16.00	30	480	214.0573	94.7203	9.47
Julio	92	14.6	58.28	35.36	16.62	31	515.22	229.7637	100.43	10.04
Agosto	94	14.8	58.64	30.62	15.93	31	493.83	204.9423	90.1336	9.01
Septiembre	94	14.7	58.46	30.62	15.33	30	459.9	190.8611	83.6831	8.37
Octubre	91	14	57.2	37.5	14.07	31	436.17	200.3239	85.9389	8.59
Noviembre	70	9.5	49.1	68.47	12.66	30	379.8	235.6956	86.7949	8.68
Diciembre	79	11.3	52.34	57.28	11.91	31	369.21	209.5774	82.2696	8.23
										101.38

Cuadro 28A. Balance de humedad de suelos y cálculo de recarga hídrica para el año 2002 de forma diaria por el método de variación lineal para la evapotranspiración real.

Capacidad de campo = 28.79 % por peso seco (19.66 cm) Punto de marchitamiento 17.17 % por peso seco (11.73 cm) Profundidad de raíces = 70 cm Humedad inicial = 17.17 % por peso seco (11.73 cm) Densidad del suelo en g. Peso seco/cm ³ = 0.9756						Prec: Precipitación media mensual P. inf: precipitación infiltrada Esc: Escorrentía superficial ETP: Evapotranspiración potencial ETR: Evapotranspiración real Esc. Sub. Escorrentía Subsuperficial HSF: Humedad del suelo final REC: Recarga		
Periodo	Pppt.	P. INF.	ESC.	ETP	ETR	HSF	HSF	Recarga
2,002	cm	cm	cm	cm	cm	%	cm	cm
Abr-01	0.000	0.000	0.000	0.364	0.000	17.177	11.730	0.000
2	0.000	0.000	0.000	0.391	0.000	17.177	11.730	0.000
3	0.000	0.000	0.000	0.371	0.000	17.177	11.730	0.000
4	0.000	0.000	0.000	0.362	0.000	17.177	11.730	0.000
5	0.000	0.000	0.000	0.348	0.000	17.177	11.730	0.000
6	0.000	0.000	0.000	0.372	0.000	17.177	11.730	0.000
7	0.000	0.000	0.000	0.387	0.000	17.177	11.730	0.000
8	0.290	0.286	0.004	0.353	0.000	17.596	12.016	0.000
9	0.170	0.169	0.001	0.321	0.012	17.826	12.173	0.000
10	0.000	0.000	0.000	0.365	0.020	17.796	12.152	0.000
11	0.430	0.421	0.009	0.384	0.020	18.382	12.553	0.000
12	0.230	0.227	0.003	0.348	0.036	18.662	12.744	0.000

Periodo	Pptt.	P. INF.	ESC.	ETP	ETR	HSF	HSF	Recarga
Mayo	cm	cm	cm	cm	cm	%	cm	cm
26	0.350	0.344	0.006	0.377	0.369	28.519	19.475	0.000
27	0.390	0.382	0.008	0.377	0.368	28.540	19.489	0.000
28	2.120	1.895	0.225	0.368	0.360	28.790	19.660	1.364
29	1.420	1.319	0.101	0.371	0.371	28.790	19.660	0.948
30	1.290	1.207	0.083	0.365	0.365	28.790	19.660	0.841
31	0.460	0.449	0.011	0.386	0.386	28.790	19.660	0.063
Jun-01	0.670	0.648	0.022	0.376	0.376	28.790	19.660	0.271
2	0.630	0.610	0.020	0.379	0.379	28.790	19.660	0.231
3	0.620	0.601	0.019	0.383	0.383	28.790	19.660	0.217
4	1.320	1.233	0.087	0.376	0.376	28.790	19.660	0.856
5	0.840	0.805	0.035	0.380	0.380	28.790	19.660	0.425
6	1.550	1.430	0.120	0.379	0.379	28.790	19.660	1.051
7	0.300	0.296	0.005	0.376	0.376	28.671	19.579	0.000
8	2.330	2.059	0.271	0.389	0.385	28.790	19.660	1.592
9	0.360	0.354	0.006	0.374	0.374	28.760	19.639	0.000
10	0.910	0.869	0.041	0.380	0.379	28.790	19.660	0.469
11	0.520	0.506	0.014	0.378	0.378	28.790	19.660	0.129
12	1.020	0.968	0.052	0.371	0.371	28.790	19.660	0.597
13	0.620	0.601	0.019	0.386	0.386	28.790	19.660	0.215
14	0.360	0.354	0.006	0.381	0.381	28.750	19.632	0.000
15	0.820	0.786	0.034	0.383	0.382	28.790	19.660	0.377
16	0.800	0.768	0.032	0.389	0.389	28.790	19.660	0.379
17	1.110	1.048	0.062	0.381	0.381	28.790	19.660	0.667
18	2.230	1.981	0.249	0.374	0.374	28.790	19.660	1.607
19	1.320	1.233	0.087	0.381	0.381	28.790	19.660	0.852
20	1.820	1.654	0.166	0.373	0.373	28.790	19.660	1.281
21	0.790	0.759	0.031	0.380	0.380	28.790	19.660	0.379
22	0.920	0.878	0.042	0.370	0.370	28.790	19.660	0.508
23	0.620	0.601	0.019	0.366	0.366	28.790	19.660	0.235
24	1.520	1.404	0.116	0.372	0.372	28.790	19.660	1.033
25	0.810	0.777	0.033	0.372	0.372	28.790	19.660	0.405
26	1.000	0.950	0.050	0.374	0.374	28.790	19.660	0.576
27	0.590	0.573	0.017	0.370	0.370	28.790	19.660	0.203
28	0.490	0.478	0.012	0.381	0.381	28.790	19.660	0.097
29	0.220	0.218	0.002	0.386	0.386	28.544	19.492	0.000
30	3.920	2.913	1.008	0.373	0.365	28.790	19.660	2.379
Jul-01	1.620	1.489	0.131	0.379	0.379	28.790	19.660	1.110
2	3.360	2.655	0.705	0.370	0.370	28.790	19.660	2.285
3	3.200	2.577	0.623	0.354	0.354	28.790	19.660	2.223
4	0.420	0.411	0.009	0.372	0.372	28.790	19.660	0.039
5	2.030	1.824	0.206	0.385	0.385	28.790	19.660	1.439
6	1.610	1.480	0.130	0.383	0.383	28.790	19.660	1.098
7	1.300	1.216	0.085	0.391	0.391	28.790	19.660	0.825

Periodo	Pptt.	P. INF.	ESC.	ETP	ETR	HSF	HSF	Recarga
Julio	cm	cm	cm	cm	cm	%	cm	cm
8	0.370	0.363	0.007	0.388	0.388	28.753	19.635	0.000
9	3.000	2.476	0.524	0.372	0.371	28.790	19.660	2.080
10	1.280	1.198	0.082	0.376	0.376	28.790	19.660	0.822
11	1.090	1.031	0.059	0.370	0.370	28.790	19.660	0.661
12	0.000	0.000	0.000	0.370	0.370	28.248	19.290	0.000
13	0.000	0.000	0.000	0.382	0.364	27.716	18.926	0.000
14	0.000	0.000	0.000	0.379	0.344	27.212	18.582	0.000
15	0.830	0.796	0.034	0.372	0.322	27.905	19.056	0.000
16	0.120	0.119	0.001	0.379	0.350	27.567	18.825	0.000
17	1.100	1.040	0.061	0.369	0.330	28.606	19.534	0.000
18	1.140	1.075	0.065	0.380	0.374	28.790	19.660	0.575
19	0.780	0.750	0.030	0.373	0.373	28.790	19.660	0.376
20	0.620	0.601	0.019	0.363	0.363	28.790	19.660	0.238
21	0.430	0.421	0.009	0.388	0.388	28.790	19.660	0.032
22	0.350	0.344	0.006	0.375	0.375	28.745	19.629	0.000
23	1.820	1.654	0.166	0.356	0.355	28.790	19.660	1.269
24	0.800	0.768	0.032	0.357	0.357	28.790	19.660	0.411
25	0.300	0.296	0.005	0.382	0.382	28.664	19.574	0.000
26	0.440	0.430	0.010	0.382	0.377	28.742	19.627	0.000
27	0.860	0.823	0.037	0.376	0.374	28.790	19.660	0.416
28	0.000	0.000	0.000	0.371	0.371	28.246	19.289	0.000
29	1.960	1.768	0.192	0.373	0.356	28.790	19.660	1.041
30	0.710	0.685	0.025	0.369	0.369	28.790	19.660	0.316
31	1.200	1.128	0.072	0.375	0.375	28.790	19.660	0.753
Ago-01	1.100	1.040	0.061	0.373	0.373	28.790	19.660	0.667
2	3.120	2.537	0.583	0.360	0.360	28.790	19.660	2.177
3	0.750	0.722	0.028	0.371	0.371	28.790	19.660	0.351
4	0.360	0.354	0.006	0.373	0.373	28.762	19.641	0.000
5	1.920	1.736	0.184	0.377	0.376	28.790	19.660	1.341
6	1.970	1.776	0.194	0.386	0.386	28.790	19.660	1.390
7	1.320	1.233	0.087	0.374	0.374	28.790	19.660	0.859
8	2.160	1.927	0.233	0.356	0.356	28.790	19.660	1.570
9	1.860	1.687	0.173	0.347	0.347	28.790	19.660	1.340
10	1.630	1.497	0.133	0.339	0.339	28.790	19.660	1.158
11	2.880	2.414	0.466	0.364	0.364	28.790	19.660	2.049
12	0.320	0.315	0.005	0.356	0.356	28.729	19.618	0.000
13	1.370	1.276	0.094	0.379	0.377	28.790	19.660	0.857
14	1.370	1.276	0.094	0.359	0.359	28.790	19.660	0.917
15	1.460	1.353	0.107	0.370	0.370	28.790	19.660	0.983
16	2.150	1.919	0.231	0.379	0.379	28.790	19.660	1.539
17	1.770	1.613	0.157	0.356	0.356	28.790	19.660	1.257
18	4.340	3.090	1.250	0.375	0.375	28.790	19.660	2.715
19	2.800	2.371	0.429	0.373	0.373	28.790	19.660	1.998

Periodo	Pptt.	P. INF.	ESC.	ETP	ETR	HSF	HSF	Recarga
Agosto	cm	cm	cm	cm	cm	%	cm	cm
20	0.630	0.610	0.020	0.370	0.370	28.790	19.660	0.240
21	0.990	0.941	0.049	0.384	0.384	28.790	19.660	0.557
22	0.750	0.722	0.028	0.354	0.354	28.790	19.660	0.368
23	1.850	1.679	0.171	0.366	0.366	28.790	19.660	1.313
24	0.540	0.525	0.015	0.381	0.381	28.790	19.660	0.145
25	0.270	0.266	0.004	0.374	0.374	28.633	19.553	0.000
26	0.000	0.000	0.000	0.389	0.383	28.072	19.169	0.000
27	0.000	0.000	0.000	0.393	0.369	27.531	18.801	0.000
28	1.090	1.031	0.059	0.376	0.335	28.550	19.496	0.000
29	0.510	0.497	0.013	0.395	0.387	28.710	19.606	0.000
30	0.250	0.247	0.003	0.386	0.384	28.510	19.469	0.000
31	1.350	1.259	0.091	0.375	0.366	28.790	19.660	0.702
Sep-01	4.020	2.956	1.064	0.360	0.360	28.790	19.660	2.596
2	2.680	2.306	0.374	0.363	0.363	28.790	19.660	1.943
3	0.400	0.392	0.008	0.363	0.363	28.790	19.660	0.029
4	0.230	0.227	0.003	0.361	0.361	28.595	19.527	0.000
5	0.120	0.119	0.001	0.367	0.361	28.241	19.285	0.000
6	0.210	0.208	0.002	0.365	0.348	28.036	19.145	0.000
7	0.490	0.478	0.012	0.378	0.354	28.217	19.269	0.000
8	0.000	0.000	0.000	0.354	0.337	27.725	18.932	0.000
9	0.200	0.198	0.002	0.378	0.344	27.511	18.787	0.000
10	1.200	1.128	0.072	0.358	0.319	28.696	19.596	0.000
11	2.160	1.927	0.233	0.365	0.362	28.790	19.660	1.500
12	1.320	1.233	0.087	0.353	0.353	28.790	19.660	0.880
13	2.080	1.864	0.216	0.352	0.352	28.790	19.660	1.512
14	1.370	1.276	0.094	0.370	0.370	28.790	19.660	0.907
15	0.900	0.860	0.041	0.368	0.368	28.790	19.660	0.491
16	0.560	0.544	0.016	0.353	0.353	28.790	19.660	0.191
17	1.300	1.216	0.085	0.363	0.363	28.790	19.660	0.853
18	1.860	1.687	0.173	0.352	0.352	28.790	19.660	1.335
19	0.560	0.544	0.016	0.373	0.373	28.790	19.660	0.171
20	0.920	0.878	0.042	0.353	0.353	28.790	19.660	0.525
21	1.940	1.752	0.188	0.367	0.367	28.790	19.660	1.385
22	1.930	1.744	0.186	0.358	0.358	28.790	19.660	1.385
23	0.220	0.218	0.002	0.356	0.356	28.587	19.521	0.000
24	2.010	1.808	0.202	0.377	0.371	28.790	19.660	1.299
25	0.350	0.344	0.006	0.335	0.335	28.790	19.660	0.009
26	0.300	0.296	0.005	0.363	0.363	28.691	19.593	0.000
27	2.330	2.059	0.271	0.354	0.351	28.790	19.660	1.640
28	1.200	1.128	0.072	0.363	0.363	28.790	19.660	0.765
29	1.680	1.539	0.141	0.357	0.357	28.790	19.660	1.182
30	0.830	0.796	0.034	0.357	0.357	28.790	19.660	0.438
Oct-01	0.650	0.629	0.021	0.333	0.333	28.790	19.660	0.296

Periodo	Pptt.	P. INF.	ESC.	ETP	ETR	HSF	HSF	Recarga
Octubre	cm	cm	cm	cm	cm	%	cm	cm
2	0.400	0.392	0.008	0.337	0.337	28.790	19.660	0.055
3	0.000	0.000	0.000	0.333	0.333	28.302	19.327	0.000
4	1.000	0.950	0.050	0.331	0.317	28.790	19.660	0.300
5	0.790	0.759	0.031	0.336	0.336	28.790	19.660	0.423
6	0.980	0.932	0.048	0.317	0.317	28.790	19.660	0.615
7	0.460	0.449	0.011	0.319	0.319	28.790	19.660	0.131
8	1.390	1.293	0.097	0.335	0.335	28.790	19.660	0.958
9	5.620	3.562	2.058	0.314	0.314	28.790	19.660	3.248
10	3.230	2.592	0.638	0.329	0.329	28.790	19.660	2.263
11	4.560	3.178	1.382	0.311	0.311	28.790	19.660	2.867
12	0.900	0.860	0.041	0.305	0.305	28.790	19.660	0.555
13	0.360	0.354	0.006	0.336	0.336	28.790	19.660	0.017
14	0.230	0.227	0.003	0.339	0.339	28.626	19.548	0.000
15	2.020	1.816	0.204	0.318	0.313	28.790	19.660	1.391
16	0.550	0.535	0.015	0.327	0.327	28.790	19.660	0.208
17	0.950	0.905	0.045	0.334	0.334	28.790	19.660	0.571
18	3.660	2.796	0.864	0.317	0.317	28.790	19.660	2.479
19	0.970	0.923	0.047	0.312	0.312	28.790	19.660	0.611
20	1.530	1.413	0.117	0.327	0.327	28.790	19.660	1.086
21	1.480	1.370	0.110	0.309	0.309	28.790	19.660	1.062
22	3.480	2.713	0.767	0.322	0.322	28.790	19.660	2.391
23	4.160	3.015	1.145	0.288	0.288	28.790	19.660	2.727
24	0.640	0.620	0.020	0.316	0.316	28.790	19.660	0.304
25	0.000	0.000	0.000	0.308	0.308	28.339	19.352	0.000
26	0.620	0.601	0.019	0.321	0.308	28.767	19.645	0.000
27	0.740	0.713	0.027	0.311	0.310	28.790	19.660	0.387
28	0.000	0.000	0.000	0.305	0.305	28.344	19.355	0.000
29	0.760	0.731	0.029	0.311	0.299	28.790	19.660	0.128
30	0.750	0.722	0.028	0.315	0.315	28.790	19.660	0.407
31	0.600	0.582	0.018	0.321	0.321	28.790	19.660	0.261
Nov-01	0.500	0.488	0.013	0.289	0.289	28.790	19.660	0.199
2	1.290	1.207	0.083	0.289	0.289	28.790	19.660	0.918
3	0.000	0.000	0.000	0.278	0.278	28.383	19.382	0.000
4	0.000	0.000	0.000	0.302	0.291	27.957	19.091	0.000
5	0.920	0.878	0.042	0.302	0.281	28.790	19.660	0.028
6	0.650	0.629	0.021	0.298	0.298	28.790	19.660	0.331
7	1.000	0.950	0.050	0.304	0.304	28.790	19.660	0.646
8	4.200	3.032	1.168	0.300	0.300	28.790	19.660	2.733
9	0.480	0.468	0.012	0.312	0.312	28.790	19.660	0.156
10	1.320	1.233	0.087	0.310	0.310	28.790	19.660	0.923
11	1.640	1.506	0.134	0.297	0.297	28.790	19.660	1.209
12	0.400	0.392	0.008	0.284	0.284	28.790	19.660	0.108
13	0.230	0.227	0.003	0.284	0.284	28.707	19.603	0.000

Periodo	Pptt.	P. INF.	ESC.	ETP	ETR	HSF	HSF	Recarga
Nov.	cm	cm	cm	cm	cm	%	cm	cm
14	0.000	0.000	0.000	0.282	0.280	28.296	19.323	0.000
15	0.000	0.000	0.000	0.300	0.287	27.876	19.036	0.000
16	0.000	0.000	0.000	0.281	0.258	27.498	18.777	0.000
17	0.000	0.000	0.000	0.283	0.252	27.129	18.526	0.000
18	0.000	0.000	0.000	0.294	0.252	26.760	18.274	0.000
19	0.330	0.325	0.005	0.281	0.231	26.896	18.367	0.000
20	0.310	0.305	0.005	0.287	0.240	26.991	18.432	0.000
21	0.310	0.305	0.005	0.261	0.221	27.115	18.516	0.000
22	0.440	0.430	0.010	0.272	0.233	27.404	18.713	0.000
23	0.000	0.000	0.000	0.285	0.251	27.036	18.462	0.000
24	0.000	0.000	0.000	0.287	0.244	26.679	18.219	0.000
25	0.000	0.000	0.000	0.279	0.228	26.345	17.990	0.000
26	0.930	0.887	0.043	0.288	0.227	27.311	18.650	0.000
27	0.300	0.296	0.005	0.289	0.252	27.375	18.694	0.000
28	0.250	0.247	0.003	0.287	0.252	27.367	18.688	0.000
29	1.630	1.497	0.133	0.293	0.257	28.790	19.660	0.268
30	0.430	0.421	0.009	0.277	0.277	28.790	19.660	0.144
Dic-01	0.230	0.227	0.003	0.251	0.251	28.755	19.636	0.000
2	0.000	0.000	0.000	0.255	0.255	28.382	19.382	0.000
3	0.530	0.516	0.014	0.241	0.232	28.790	19.660	0.005
4	0.000	0.000	0.000	0.247	0.247	28.429	19.413	0.000
5	0.030	0.030	0.000	0.254	0.247	28.111	19.197	0.000
6	0.330	0.325	0.005	0.249	0.235	28.243	19.286	0.000
7	0.890	0.850	0.040	0.258	0.246	28.790	19.660	0.231
8	0.000	0.000	0.000	0.239	0.239	28.440	19.421	0.000
9	0.000	0.000	0.000	0.258	0.250	28.074	19.171	0.000
10	0.860	0.823	0.037	0.268	0.252	28.790	19.660	0.082
11	0.000	0.000	0.000	0.263	0.263	28.405	19.397	0.000
12	0.170	0.169	0.001	0.253	0.244	28.294	19.321	0.000
13	0.230	0.227	0.003	0.255	0.244	28.269	19.304	0.000
14	0.640	0.620	0.020	0.263	0.251	28.790	19.660	0.012
15	0.230	0.227	0.003	0.248	0.248	28.760	19.640	0.000
16	0.000	0.000	0.000	0.260	0.259	28.381	19.381	0.000
17	0.490	0.478	0.012	0.244	0.236	28.736	19.623	0.000
18	0.000	0.000	0.000	0.258	0.257	28.360	19.366	0.000
19	0.300	0.296	0.005	0.244	0.235	28.448	19.427	0.000
20	0.000	0.000	0.000	0.233	0.226	28.117	19.201	0.000
21	0.330	0.325	0.005	0.256	0.241	28.239	19.284	0.000
22	0.250	0.247	0.003	0.233	0.222	28.275	19.309	0.000
23	0.000	0.000	0.000	0.249	0.238	27.926	19.070	0.000
24	0.510	0.497	0.013	0.244	0.226	28.323	19.341	0.000
25	0.000	0.000	0.000	0.266	0.256	27.949	19.085	0.000
26	0.330	0.325	0.005	0.257	0.238	28.075	19.172	0.000

Periodo	Pptt.	P. INF.	ESC.	ETP	ETR	HSF	HSF	Recarga
Dic.	cm	cm	cm	cm	cm	%	cm	cm
27	1.220	1.146	0.074	0.264	0.248	28.790	19.660	0.410
28	0.530	0.516	0.014	0.257	0.257	28.790	19.660	0.259
29	0.000	0.000	0.000	0.274	0.274	28.388	19.386	0.000
30	0.000	0.000	0.000	0.248	0.239	28.038	19.147	0.000
31	0.430	0.421	0.009	0.248	0.232	28.314	19.335	0.000
Ene-01	1.620	1.489	0.131	0.257	0.247	28.790	19.660	0.917
2	1.060	1.004	0.056	0.287	0.287	28.790	19.660	0.716
3	1.120	1.057	0.063	0.275	0.275	28.790	19.660	0.782
4	0.420	0.411	0.009	0.264	0.264	28.790	19.660	0.147
5	0.590	0.573	0.017	0.271	0.271	28.790	19.660	0.301
6	0.300	0.296	0.005	0.263	0.263	28.790	19.660	0.033
7	0.270	0.266	0.004	0.263	0.263	28.790	19.660	0.004
8	0.530	0.516	0.014	0.277	0.277	28.790	19.660	0.239
9	0.330	0.325	0.005	0.271	0.271	28.790	19.660	0.053
10	0.280	0.276	0.004	0.273	0.273	28.790	19.660	0.003
11	0.000	0.000	0.000	0.234	0.234	28.447	19.426	0.000
12	1.740	1.589	0.151	0.280	0.272	28.790	19.660	1.082
13	0.520	0.506	0.014	0.263	0.263	28.790	19.660	0.244
14	0.350	0.344	0.006	0.242	0.242	28.790	19.660	0.102
15	0.880	0.841	0.039	0.248	0.248	28.790	19.660	0.593
16	0.390	0.382	0.008	0.236	0.236	28.790	19.660	0.146
17	0.390	0.382	0.008	0.253	0.253	28.790	19.660	0.130
18	0.000	0.000	0.000	0.241	0.241	28.437	19.419	0.000
19	0.000	0.000	0.000	0.264	0.256	28.061	19.162	0.000
20	0.150	0.149	0.001	0.266	0.249	27.914	19.062	0.000
21	0.660	0.638	0.022	0.274	0.253	28.477	19.447	0.000
22	0.830	0.796	0.034	0.264	0.257	28.790	19.660	0.325
23	0.230	0.227	0.003	0.275	0.275	28.720	19.612	0.000
24	0.330	0.325	0.005	0.270	0.268	28.790	19.660	0.009
25	0.000	0.000	0.000	0.283	0.283	28.376	19.377	0.000
26	0.000	0.000	0.000	0.249	0.240	28.024	19.137	0.000
27	0.000	0.000	0.000	0.270	0.252	27.655	18.885	0.000
28	0.000	0.000	0.000	0.277	0.250	27.289	18.635	0.000
29	0.000	0.000	0.000	0.263	0.229	26.953	18.406	0.000
30	0.000	0.000	0.000	0.249	0.210	26.646	18.196	0.000
31	0.000	0.000	0.000	0.275	0.224	26.317	17.971	0.000
Feb-01	0.800	0.768	0.032	0.295	0.233	27.101	18.507	0.000
2	0.000	0.000	0.000	0.293	0.250	26.735	18.257	0.000
3	0.430	0.421	0.009	0.298	0.246	26.992	18.432	0.000
4	0.820	0.786	0.034	0.278	0.235	27.799	18.983	0.000
5	0.910	0.869	0.041	0.253	0.231	28.733	19.621	0.000
6	1.800	1.638	0.162	0.275	0.274	28.790	19.660	1.325
7	0.280	0.276	0.004	0.279	0.279	28.786	19.657	0.000

Periodo	Pptt.	P. INF.	ESC.	ETP	ETR	HSF	HSF	Recarga
Febrero	cm	cm	cm	cm	cm	%	cm	cm
8	0.150	0.149	0.001	0.263	0.263	28.618	19.543	0.000
9	0.000	0.000	0.000	0.281	0.277	28.213	19.266	0.000
10	0.000	0.000	0.000	0.281	0.267	27.822	18.999	0.000
11	0.000	0.000	0.000	0.291	0.266	27.432	18.733	0.000
12	0.450	0.440	0.010	0.291	0.257	27.700	18.916	0.000
13	1.400	1.302	0.098	0.287	0.260	28.790	19.660	0.298
14	0.850	0.814	0.036	0.295	0.295	28.790	19.660	0.519
15	0.960	0.914	0.046	0.306	0.306	28.790	19.660	0.608
16	0.000	0.000	0.000	0.289	0.289	28.367	19.371	0.000
17	0.000	0.000	0.000	0.299	0.288	27.945	19.083	0.000
18	0.000	0.000	0.000	0.293	0.271	27.548	18.812	0.000
19	1.260	1.181	0.079	0.295	0.263	28.790	19.660	0.069
20	0.100	0.100	0.001	0.293	0.293	28.507	19.467	0.000
21	0.000	0.000	0.000	0.298	0.291	28.081	19.176	0.000
22	1.130	1.066	0.064	0.302	0.284	28.790	19.660	0.298
23	0.000	0.000	0.000	0.268	0.268	28.397	19.392	0.000
24	0.230	0.227	0.003	0.290	0.280	28.320	19.339	0.000
25	0.000	0.000	0.000	0.283	0.271	27.923	19.068	0.000
26	0.040	0.040	0.000	0.292	0.270	27.586	18.838	0.000
27	0.000	0.000	0.000	0.295	0.264	27.200	18.574	0.000
28	0.000	0.000	0.000	0.314	0.271	26.803	18.303	0.000
Mar-01	0.160	0.159	0.001	0.317	0.263	26.651	18.199	0.000
2	0.000	0.000	0.000	0.307	0.251	26.283	17.948	0.000
3	0.000	0.000	0.000	0.332	0.260	25.902	17.688	0.000
4	0.700	0.676	0.025	0.331	0.249	26.528	18.115	0.000
5	1.440	1.336	0.104	0.333	0.268	28.092	19.183	0.000
6	0.000	0.000	0.000	0.339	0.319	27.625	18.864	0.000
7	0.000	0.000	0.000	0.333	0.300	27.186	18.565	0.000
8	0.000	0.000	0.000	0.345	0.297	26.751	18.268	0.000
9	0.000	0.000	0.000	0.335	0.276	26.347	17.992	0.000
10	0.000	0.000	0.000	0.349	0.276	25.943	17.716	0.000
11	0.000	0.000	0.000	0.349	0.263	25.558	17.453	0.000
12	0.250	0.247	0.003	0.347	0.250	25.553	17.449	0.000
13	0.000	0.000	0.000	0.349	0.252	25.184	17.198	0.000
14	0.000	0.000	0.000	0.325	0.224	24.856	16.973	0.000
15	0.000	0.000	0.000	0.351	0.232	24.516	16.741	0.000
16	0.000	0.000	0.000	0.340	0.215	24.201	16.526	0.000
17	0.000	0.000	0.000	0.349	0.211	23.892	16.315	0.000
18	0.000	0.000	0.000	0.353	0.204	23.593	16.111	0.000
19	1.430	1.328	0.102	0.340	0.188	25.262	17.251	0.000
20	1.120	1.057	0.063	0.349	0.243	26.454	18.065	0.000
21	0.860	0.823	0.037	0.347	0.277	27.254	18.611	0.000
22	0.700	0.676	0.025	0.335	0.291	27.817	18.996	0.000

Periodo	Pptt.	P. INF.	ESC.	ETP	ETR	HSF	HSF	Recarga
Marzo	cm	cm	cm	cm	cm	%	cm	cm
23	0.000	0.000	0.000	0.323	0.296	27.384	18.700	0.000
24	0.000	0.000	0.000	0.336	0.295	26.951	18.404	0.000
25	0.000	0.000	0.000	0.343	0.288	26.529	18.116	0.000
26	0.000	0.000	0.000	0.341	0.275	26.126	17.841	0.000
27	0.000	0.000	0.000	0.354	0.273	25.726	17.568	0.000
28	0.000	0.000	0.000	0.366	0.269	25.332	17.298	0.000
29	0.000	0.000	0.000	0.368	0.259	24.953	17.040	0.000
30	0.000	0.000	0.000	0.364	0.244	24.596	16.796	0.000
31	0.000	0.000	0.000	0.368	0.235	24.252	16.561	0.000
	270.880	242.609	28.271	121.180	106.460			131.318

Escorrentía Subsuperficial 11.66

RECARGA DE FORMA DIARIA 119.658

Cuadro 29A. Resumen del cálculo de lámina de recarga de forma diaria para los cuatro años de estudio.

Año	Precipitación Observada	Precipitación Infiltrada	Escorrentía Superficial	ETP	ETR	Lámina de recarga
	Cm	cm	cm	cm	cm	cm
1999	272.316	217.432	54.884	137.235	106.011	104.316
2000	313.868	270.176	43.692	121.18	109.8	153.163
2001	385.060	286.698	98.362	138.93	123.022	159.901
2002	270.88	242.609	28.271	121.18	106.46	131.318

Cuadro 30A. Balance de humedad de suelos y cálculo de recarga hídrica para el año 1999 de forma mensual por el método de variación lineal para la evapotranspiración real.

Capacidad de campo = 28.79 % por peso seco (19.66 cm) Punto de marchités 17.17 % por peso seco (11.73 cm) Profundidad de raíces = 70 cm Humedad inicial = 17.17 % por peso seco (11.73 cm) Densidad del suelo en g. Peso seco/cm ³ = 0.9756						Prec: Precipitación media mensual P. inf: precipitación infiltrada Esc: Escorrentía superficial ETP: Evapotranspiración potencial ETR: Evapotranspiración real Esc. Sub. Escorrentía Subsuperficial HSF: Humedad del suelo final REC: Recarga		
Periodo	Ppt. Obs.	P. INF.	ESC.	ETP	ETR	HSF %	HSF cm	Recarga cm
1,999	cm	cm	cm	cm	cm	%	11.73	
ABRIL	6.930	4.669	2.261	12.700	0.000	24.015	16.399	0.000
MAYO	11.980	8.072	3.908	12.260	7.219	25.264	17.252	0.000
JUNIO	30.995	20.884	10.111	11.190	7.793	28.790	19.660	10.684
JULIO	29.981	20.201	9.780	10.880	10.880	28.790	19.660	9.321
AGOSTO	26.380	17.775	8.605	9.740	9.740	28.790	19.660	8.035
SEPTIEMBRE	42.420	28.582	13.838	9.380	9.380	28.790	19.660	19.202
OCTUBRE	53.070	35.758	17.312	8.620	8.620	28.790	19.660	27.138
NOVIEMBRE	33.940	22.868	11.072	7.130	7.130	28.790	19.660	15.738
DICIEMBRE	8.920	6.010	2.910	7.420	7.420	26.725	18.250	0.000
ENERO	9.500	6.401	3.099	7.510	6.175	27.057	18.476	0.000
FEBRERO	13.400	9.029	4.371	7.960	6.772	28.790	19.660	1.073
MARZO	4.800	3.234	1.566	10.450	10.450	18.223	12.444	0.000
TOTALES	272.316	183.484	88.832	115.240	91.578			91.191

Cuadro 31A. Balance de humedad de suelos y cálculo de recarga hídrica para el año 2000 de forma mensual por el método de variación lineal para la evapotranspiración real.

Capacidad de campo = 28.79 % por peso seco (19.66 cm) Punto de marchités 17.17 % por peso seco (11.73 cm) Profundidad de raíces = 70 cm Humedad inicial = 17.17 % por peso seco (11.73 cm) Densidad del suelo en g. Peso seco/cm ³ = 0.9756						Prec: Precipitación media mensual P. inf: precipitación infiltrada Esc: Escorrentía superficial ETP: Evapotranspiración potencial ETR: Evapotranspiración real Esc. Sub. Escorrentía subsuperficial HSF: Humedad del suelo final REC: Recarga		
Periodo	Ppt. Obs.	P. INF.	ESC.	ETP	ETR	HSF	HSF	Recarga
2,000	cm	cm	cm	cm	cm	%	cm	cm
							11.73	
ABRIL	13.540	9.123	4.417	9.470	0.000	28.790	19.660	1.193
MAYO	15.600	10.511	5.089	10.240	10.240	28.790	19.660	0.271
JUNIO	33.553	22.608	10.945	8.810	8.810	28.790	19.660	13.798
JULIO	39.406	26.551	12.855	9.740	9.740	28.790	19.660	16.811
AGOSTO	49.235	33.174	16.061	8.960	8.960	28.790	19.660	24.214
SEPTIEMBRE	38.105	25.675	12.430	8.750	8.750	28.790	19.660	16.925
OCTUBRE	55.140	37.153	17.987	7.400	7.400	28.790	19.660	29.753
NOVIEMBRE	19.830	13.361	6.469	6.740	6.740	28.790	19.660	6.621
DICIEMBRE	7.385	4.976	2.409	5.830	5.830	27.539	18.806	0.000
ENERO	15.080	10.161	4.919	7.400	6.603	28.790	19.660	2.704
FEBRERO	17.200	11.589	5.611	7.320	7.320	28.790	19.660	4.269
MARZO	9.795	6.600	3.195	9.140	9.140	25.070	17.120	0.000
TOTALES	313.869	211.482	102.387	99.800	89.533			116.559

Cuadro 32A. Balance de humedad de suelos y cálculo de recarga hídrica para el año 2001 de forma mensual por el método de variación lineal para la evapotranspiración real.

Capacidad de campo = 28.79 % por peso seco (19.66 cm) Punto de marchités 17.17 % por peso seco (11.73 cm) Profundidad de raíces = 70 cm Humedad inicial = 17.17 % por peso seco (11.73 cm) Densidad del suelo en g. Peso seco/cm ³ = 0.9756						Prec: Precipitación media mensual P. inf: precipitación infiltrada Esc: Escorrentía superficial ETP: Evapotranspiración potencial ETR: Evapotranspiración real Esc. Sub. Escorrentía Subsuperficial HSF: Humedad del suelo final REC: Recarga		
Periodo	Pppt. Obs.	P. INF.	ESC.	ETP	ETR	HSF	HSF	Recarga
2,001	cm	cm	cm	cm	cm	%	cm	cm
							11.73	
ABRIL	20.150	11.430	8.720	8.610	0.000	28.790	19.660	3.500
MAYO	19.220	10.902	8.318	9.740	9.740	28.790	19.660	1.162
JUNIO	36.110	20.483	15.627	9.470	9.470	28.790	19.660	11.013
JULIO	48.830	27.698	21.132	10.040	10.040	28.790	19.660	17.658
AGOSTO	76.410	43.342	33.068	9.010	9.010	28.790	19.660	34.332
SEPTIEMBRE	39.840	22.599	17.242	8.370	8.370	28.790	19.660	14.229
OCTUBRE	57.210	32.451	24.759	8.590	8.590	28.790	19.660	23.861
NOVIEMBRE	21.320	12.093	9.227	8.680	8.680	28.790	19.660	3.413
DICIEMBRE	9.520	5.400	4.120	8.230	8.230	24.646	16.830	0.000
ENERO	20.660	11.719	8.941	6.230	4.007	28.790	19.660	4.882
FEBRERO	21.000	11.912	9.088	6.010	6.010	28.790	19.660	5.902
MARZO	14.790	8.389	6.401	8.400	8.400	28.774	19.649	0.000
TOTALES	385.060	218.418	166.642	101.380	90.547			119.952

Cuadro 33A. Resumen del procedimiento para el cálculo de lámina de recarga de forma anual.

Año	Prec. Obs.	Prec. Inf.	Escorrentía	ETP - ETR	Recarga
	cm	cm	cm	cm	cm
1999	272.316	183.484	88.832	115.24	68.24
2000	313.869	211.428	102.387	99.79	111.69
2001	385.060	218.418	166.642	101.38	117.04
2002	270.088	182.516	88.364	114.27	56.568

Nota. Prec. Inf. Y Escorrentía (Es la misma calculada en forma mensual)

ETP = ETR (Es la misma calculada en forma mensual)

Lámina de recarga = Prec. Inf. -- ETR

Cuadro 34A Características químicas de los suelos presentes en el área de estudio de la recarga.

Identificación	pH	mg/kg		cm(+) kg-1		mg/kg				% M.O.	Arcilla	Limo	Arena
		P	K	Ca	Mg	Cu	Zn	Fe	Mn				
Cultivos agrícolas	6.0	35,87	390	12,79	2,98	0,50	42,50	14,50	37,00	12.91	24.02	22	54.01
Area Boscosa	5.9	5,31	120	10,30	1,70	0,00	4,00	2,50	9,50	23.15	7.22	15.7	77.11

Cuadro 35A. Datos de precipitación en (mm) para el año 1999, estación CECI/AID Barillas.

DIA	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
1999												
1	13,9	25,0	5,0	0,0	0,0	0,0	17,7	0,0	9,4	12,5	15,1	3,3
2	10,0	0,0	0,0	0,0	0,0	21,0	15,0	0,0	36,3	0,0	26,8	0,0
3	3,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	3,3	22,7	3,1	8,8	3,0	0,0
4	1,7	0,0	21,0	0,0	0,0	8,0	4,8	2,2	4,0	11,0	0,0	0,0
5	0,0	7,0	0,0	0,0	0,0	14,4	32,9	45,9	0,0	8,8	4,7	0,0
6	0,0	16,0	0,0	0,0	0,0	21,5	42,3	25,8	0,0	10,0	12,0	0,0
7	8,0	8,0	0,0	0,0	0,0	0,0	8,1	0,0	0,0	4,3	0,0	11,8
8	16,0	0,0	0,0	0,0	0,0	43,0	0,0	1,9	2,0	0,0	136,0	0,0
9	2,7	0,0	0,0	0,0	0,0	2,0	50,5	3,1	3,2	12,6	2,6	0,0
10	0,0	1,0	0,0	0,0	0,0	5,3	31,5	0,0	23,1	32,2	39,7	11,6
11	0,0	0,0	0,0	0,0	5,0	6,3	31,8	2,8	23,0	66,5	49,2	0,0
12	2,2	6,0	0,0	6,0	0,0	5,0	1,9	6,4	14,0	8,1	9,0	0,0
13	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	6,3	3,8	5,1	15,5	7,9	1,3	0,0
14	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	2,0	0,0	0,0	22,8	6,1	0,0	12,8
15	0,0	28,0	0,0	0,0	0,0	11,0	0,1	10,0	7,0	7,4	0,0	0,0
16	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	18,0	0,0	12,0	12,0	1,0	0,0	0,0
17	0,0	0,0	0,0	15,0	0,0	5,5	7,2	45,5	0,0	3,5	0,0	0,0
18	0,0	0,0	0,0	0,0	12,0	2,1	1,3	43,6	0,0	78,3	0,0	0,0
19	0,0	0,0	0,0	12,5	9,0	6,1	0,0	7,0	3,0	23,3	0,0	0,0
20	0,0	0,0	0,0	2,8	0,0	14,6	6,7	1,2	3,8	27,5	0,0	0,0
21	10,0	0,0	0,0	0,0	0,0	18,5	4,7	5,6	33,7	42,5	0,0	0,0
22	20,0	35,0	22,0	0,0	32,9	18,0	2,5	0,0	49,5	74,4	0,0	0,0
23	7,0	0,0	0,0	0,0	42,3	12,0	1,9	0,0	1,5	53,2	0,0	0,0
24	0,0	7,0	0,0	0,0	8,1	10,0	14,0	0,0	31,2	4,2	0,0	0,0
25	0,0	1,0	0,0	0,0	0,0	4,0	0,0	6,0	0,0	4,0	0,0	0,0
26	0,0	0,0	0,0	0,0	10,5	24,9	4,2	1,4	0,0	0,0	0,0	0,0
27	0,0	0,0	0,0	33,0	0,0	14,8	5,0	3,1	51,9	20,0	0,0	36,7
28	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	5,7	0,6	0,0	30,2	0,0	0,0	13,0
29	0,0		0,0	0,0	0,0	6,7	6,0	7,0	25,0	2,6	40,0	0,0
30	0,0		0,0	0,0	0,0	3,3	0,0	5,5	19,0	0,0	0,0	0,0
31	0,0		0,0		0,0		2,0	0,0		0,0		0,0

Cuadro 36A. Datos de Temperatura media diaria en (°C Celsius) para el año 1,999, estación CECI/AID Barillas.

DIA	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
1999												
1	12.9	14.4	15.1	15.1	14.8	16.3	15.5	14.4	13.7	12.7	10.7	13.7
2	9.2	14.9	15.5	16.1	15.1	13.8	15.6	14.7	14.4	14.5	11.0	15.5
3	10.9	16.1	15.1	14.5	14.2	15.7	14.1	16	14.9	13.5	10.5	11.1
4	13.6	15.2	13.8	14.23	14.8	14	15.7	15.6	14.8	14.2	9.3	11.1
5	13.7	13.3	15	16.1	15.6	15.2	16.7	15.4	15	11.6	10.9	14.5
6	14.3	15.9	13.9	15.1	15.4	15.8	14.8	14.3	15.1	12.5	11.2	11.7
7	13.6	15.2	13.2	14.9	14.5	14.9	15	15.5	15.6	13.1	7.3	13
8	14.2	15.2	15.1	13.8	14.6	14.5	14.5	14.1	15.5	12.7	9.5	11.6
9	12.5	14.6	15.2	16.8	15.1	15.8	14.5	14.9	14.5	12.9	10.5	10.9
10	13.5	14.2	14.7	16.5	14.7	14.9	17.8	15	14.9	12.6	12.1	13.8
11	14.1	15.6	13.6	14.6	14.5	15.4	14.5	14.1	12.9	12.4	11.1	11.8
12	15.7	14	14	15.1	14.5	15.3	16.1	15.1	14.9	13.2	11.9	11.1
13	14.7	14.7	14.7	15.8	16.1	16.2	15.5	15.5	13.2	12.6	10.1	10.9
14	15.7	15.1	14	14.7	15.2	15.3	16.5	15.1	12.7	11.8	12.3	12.3
15	14.7	14	16	14.7	15.9	13.9	14.4	13.8	13.7	12.3	12.9	13.3
16	14.2	15.8	15.4	15.7	16.6	14	14.9	15	14.1	13.1	12.9	13
17	13.5	15.9	15.2	16.1	14.8	14.1	16.1	13.9	13.1	12.3	14.1	11.1
18	13.7	14.4	14	14.4	14.3	14.1	15.2	13.2	10.4	13.5	6.5	11.9
19	11.3	14.7	15.3	15.4	14	14.9	13.3	15.1	13.5	15.2	13.1	12
20	11.5	16	14.8	14.8	15	13.9	15.9	15.2	14.5	11.5	13.3	12.7
21	12	15.6	13.7	15.5	13.9	14.7	15.2	14.7	13.5	12.3	12.4	13.2
22	13.9	15.4	14.4	15.6	15.3	15.5	15.2	13.6	13.2	14.4	13.5	13.3
23	14.7	14.3	14.9	14.8	15.23	14.9	14.6	14	13.8	13.6	13.1	11.2
24	14.6	15.5	14.8	15.5	15.5	14.5	14.2	14.7	10.5	13.3	12.8	8.2
25	15	14.1	15	16.7	14.3	13.4	15.6	14	13.1	14.7	12.3	12.9
26	13.3	14.9	15.1	14.7	14.9	14.5	14	16	12.9	14	13.4	11.7
27	13.6	15	15.6	15.9	15.3	15.9	14.7	15.4	14.8	11.3	13.6	14.8
28	13.9	14.1	15.5	16.6	15.8	14.7	15.1	15.2	13.3	10.5	11.3	11.1
29	14.3		14.5	15.7	15.2	15.6	14	14	12.5	10.9	12.1	12.5
30	15.5		14.9	14.7	14.7	14.4	15.8	15.3	14.8	12.9	11.9	13.8
31	16.5		12.9		15.2		15.9	14.8		14.5		14.5

Cuadro 37A. Datos de precipitación en (mm) para el año 2,000, estación CECI/AID Barillas.

DIA	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
2000												
1	24,4	12,5	2,5	0,0	19,6	5,3	23,8	12,0	19,0	9,8	7,6	1,7
2	15,9	0,0	0,0	0,0	0,0	12,9	46,7	19,0	36,2	2,0	19,4	0,0
3	16,8	5,8	0,0	0,0	0,0	2,8	40,9	15,0	4,2	4,4	1,5	6,6
4	4,1	9,6	10,5	0,0	0,0	6,4	4,4	4,4	3,6	11,0	0,0	0,0
5	2,4	11,8	21,6	0,0	0,0	10,0	30,7	24,4	0,0	6,9	13,9	0,0
6	4,6	27,0	1,0	0,0	0,0	13,9	23,4	27,9	0,0	11,0	9,5	5,0
7	4,0	4,0	0,0	0,0	0,0	1,8	18,8	15,5	5,0	6,2	15,0	5,9
8	8,0	0,8	0,0	0,0	0,0	26,0	1,1	24,2	3,5	17,5	24,0	0,0
9	5,0	0,0	0,0	0,0	1,1	2,2	26,9	6,4	1,6	79,8	5,6	0,0
10	4,2	0,5	0,0	0,0	0,5	2,6	18,1	19,3	17,6	46,6	19,9	12,9
11	0,0	1,0	0,0	6,5	7,5	5,7	16,4	33,6	20,5	35,8	24,6	0,0
12	26,1	6,8	0,0	3,0	5,0	6,0	2,3	3,2	14,0	4,1	6,0	0,0
13	0,0	21,0	0,0	0,0	2,0	4,9	6,3	20,6	19,3	4,0	3,5	3,5
14	0,0	12,8	0,0	0,0	7,3	2,3	2,9	9,5	16,1	3,1	1,6	6,4
15	3,1	14,8	0,0	3,0	0,8	6,9	13,5	17,5	3,5	12,7	0,0	0,0
16	0,0	0,0	0,0	0,0	4,0	10,6	1,8	30,0	6,0	5,0	1,0	0,0
17	0,0	0,0	0,0	7,5	0,0	5,2	11,1	22,8	18,0	14,3	0,0	2,1
18	0,0	1,4	0,0	3,5	6,0	33,1	11,2	61,3	24,0	54,7	0,0	0,0
19	0,0	19,0	21,7	54,3	5,8	16,1	7,5	37,6	6,3	14,2	2,0	0,0
20	2,2	1,5	16,8	4,4	0,0	20,3	7,9	5,0	9,3	22,8	0,0	0,0
21	10,0	0,0	12,9	0,0	0,0	11,5	4,1	13,8	27,6	21,3	0,0	5,1
22	12,5	17,5	11,0	0,0	16,5	11,8	1,2	9,0	24,8	47,7	6,0	0,0
23	3,5	0,0	0,0	0,0	21,2	9,1	1,0	22,8	0,8	58,6	0,0	0,0
24	3,5	3,5	0,0	0,0	4,1	16,5	7,0	5,0	29,9	5,6	0,0	6,9
25	0,0	0,5	0,0	0,0	0,0	8,0	0,0	3,0	0,8	3,5	0,0	0,0
26	0,0	0,0	0,0	0,0	5,3	14,2	6,7	0,7	0,0	9,0	13,0	5,0
27	0,0	0,5	0,0	16,5	0,0	7,4	9,8	3,2	30,0	10,0	0,0	0,0
28	0,0	0,0	0,0	6,8	29,6	2,9	0,3	3,1	18,0	0,0	2,5	6,5
29	0,9		0,0	8,0	7,0	3,4	24,6	4,4	12,5	10,3	20,0	0,0
30	0,0		0,0	22,0	6,1	56,4	6,3	2,8	9,5	11,0	2,0	0,0
31	0,0		0,0		6,9		18,0	16,0		9,0		6,5

Cuadro 38A. Datos de Temperatura media diaria en (°C Celsius) para el año 2,000, estación CECI/AID Barillas.

DIA	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
2000												
1	11.3	12.6	11.9	14.3	14.5	14.9	15.1	14.7	14.8	15.1	13.9	11.5
2	14.7	12.3	11	16.7	14.8	15.1	14.3	13.6	15.1	15.5	13.9	12
3	13.3	12.9	13.3	14.9	11.5	15.5	12.9	14.6	15.1	15.1	12.7	10.3
4	12.1	10.8	13.2	14.1	14.8	14.9	14.5	14.7	14.9	14.9	15.3	11
5	12.9	8.2	13.4	12.9	14.3	15.2	15.6	15.1	15.5	15.4	15.4	11.9
6	11.9	10.5	14	15	13.8	15.1	15.4	15.9	15.3	13.5	14.9	11.3
7	11.9	10.9	13.4	16.3	13	14.9	16.1	14.8	16.5	13.7	15.6	12.3
8	13.5	9.3	14.5	13.3	14.4	16	15.9	13.3	14.3	15.3	15.1	10.1
9	12.9	11.1	13.6	10.5	15.1	14.7	14.5	12.5	16.5	13.2	16.5	12.3
10	13.1	11.1	14.9	14.4	16	15.2	14.8	11.8	14.7	14.7	16.2	13.5
11	8.7	12.1	14.9	16	14.3	15	14.3	14	15.3	12.9	14.8	12.9
12	13.9	12.1	14.7	12.9	15.6	14.4	14.3	13.3	14.2	12.3	13.4	11.7
13	11.9	11.7	14.9	12.7	15.4	15.7	15.3	15.3	14.1	15.4	13.4	12
14	9.6	12.5	12.7	14.8	16	15.3	15.1	13.5	15.7	15.7	13.2	12.9
15	10.3	13.7	15.1	13.2	14.8	15.5	14.5	14.5	15.6	13.6	15.1	11.1
16	8.9	11.9	14.1	15.3	12.7	16	15.1	15.3	14.2	14.5	13	12.5
17	10.8	13	14.9	15	11.1	15.3	14.2	13.3	15.1	15.2	13.3	10.7
18	9.5	12.3	15.3	14.3	15.2	14.7	15.2	14.9	14.1	13.5	14.5	12.3
19	12.1	12.5	14.1	12.8	15.5	15.3	14.6	14.7	16	13	13	10.7
20	12.3	12.3	14.9	13	15.1	14.6	13.7	14.5	14.2	14.5	13.7	9.4
21	13.2	12.9	14.7	13.8	15.7	15.2	15.9	15.7	15.5	12.7	10.9	12.1
22	12.1	13.3	13.6	13.7	15.9	14.3	14.7	13.1	14.7	14	12.1	9.4
23	13.3	9.8	12.5	15.5	15.4	14	13.1	14.1	14.5	10.7	13.5	11.3
24	12.7	12	13.7	16.7	15.1	14.5	13.2	15.4	16.4	13.4	13.7	10.7
25	14.2	11.3	14.3	16.6	14.9	14.5	15.3	14.8	12.6	12.6	12.8	13.3
26	10.4	12.2	14.2	14.9	14.9	14.7	15.3	16.1	15.1	13.9	13.8	12.2
27	12.7	12.5	15.4	17.5	14.9	14.3	14.8	16.5	14.3	12.9	13.9	13
28	13.5	14.5	16.5	13.9	14.1	15.3	14.4	15	15.1	12.3	13.7	12.2
29	12		16.7	15.3	14.4	15.7	14.6	16.7	14.6	12.9	14.4	14.2
30	10.4		16.3	13.7	13.9	14.6	14.2	15.9	14.6	13.3	12.6	11.1
31	13.3		16.7		15.7		14.7	14.9		13.9		11.2

Cuadro 39A. Datos de precipitación (en mm) para el año 2,001 estación CECI/AID Barillas.

DIA	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
2001												
1	34,8	0,0	0,0	0,0	39,2	10,5	29,8	24,0	89,1	7,0	0,0	0,0
2	21,8	0,0	0,0	0,0	0,0	4,7	78,3	88,5	36,0	4,0	12,0	0,0
3	30,0	11,6	0,0	0,0	0,0	5,6	78,4	0,0	5,2	0,0	0,0	13,1
4	6,4	19,1	0,0	0,0	0,0	4,8	3,9	6,5	3,1	11,0	0,0	0,0
5	4,7	16,5	43,2	0,0	0,0	5,5	28,5	2,8	0,0	5,0	23,0	0,0
6	9,2	38,0	2,0	0,0	0,0	6,2	4,5	30,0	0,0	12,0	7,0	10,0
7	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	3,5	29,5	31,0	10,0	8,0	30,0	0,0
8	0,0	1,5	0,0	0,0	0,0	9,0	2,1	46,5	5,0	35,0	71,0	0,0
9	7,2	0,0	0,0	0,0	2,2	2,3	3,2	9,6	0,0	147,0	8,5	0,0
10	8,4	0,0	0,0	0,0	1,0	0,0	4,6	38,5	12,0	61,0	0,0	14,2
11	0,0	2,0	0,0	13,0	10,0	5,1	1,0	64,3	18,0	5,1	0,0	0,0
12	50,0	7,5	0,0	0,0	10,0	7,0	2,6	0,0	14,0	0,0	3,0	0,0
13	0,0	42,0	0,0	0,0	4,0	3,4	8,8	36,0	23,0	0,0	5,6	7,0
14	0,0	25,5	0,0	0,0	14,5	2,5	5,8	19,0	9,4	0,0	3,1	0,0
15	6,1	1,5	0,0	6,0	1,6	2,8	26,8	25,0	0,0	18,0	0,0	0,0
16	0,0	0,0	0,0	0,0	8,0	3,2	3,5	48,0	0,0	9,0	2,0	0,0
17	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	4,8	15,0	0,0	36,0	25,0	0,0	4,1
18	0,0	2,8	0,0	7,0	0,0	64,0	21,0	78,9	48,0	31,0	0,0	0,0
19	0,0	38,0	43,4	96,0	2,6	26,0	15,0	68,2	9,5	5,0	4,0	0,0
20	4,4	3,0	33,6	6,0	0,0	26,0	9,1	8,7	14,8	18,0	0,0	0,0
21	10,0	0,0	25,7	0,0	0,0	4,5	3,6	22,0	21,5	0,0	0,0	10,1
22	4,9	0,0	0,0	0,0	0,0	5,5	0,0	17,9	0,0	21,0	12,0	0,0
23	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	6,2	0,0	45,5	0,0	64,0	0,0	0,0
24	7,0	0,0	0,0	0,0	0,0	23,0	0,0	10,0	28,5	7,0	0,0	13,7
25	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	12,0	0,0	0,0	1,5	3,0	0,0	0,0
26	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	3,5	9,1	0,0	0,0	18,0	23,0	10,0
27	0,0	1,0	0,0	0,0	0,0	0,0	14,6	3,3	8,0	0,0	0,0	0,0
28	0,0	0,0	0,0	13,5	59,2	0,0	0,0	6,1	5,8	0,0	5,0	0,0
29	1,7		0,0	16,0	13,9	0,0	43,1	1,8	0,0	18,0	0,0	0,0
30	0,0		0,0	44,0	12,2	109,5	12,5	0,0	0,0	22,0	4,0	0,0
31	0,0		0,0		13,8		34,0	32,0		18,0		13,0

Cuadro 40A. Datos de Temperatura media diaria en (°C Celsius) para el año 2,001, estación CECI/AID Barillas.

DIA	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
2001												
1	15.5	17.0	17.5	20.0	16.5	19.5	18.8	23.5	20.8	16.5	16.0	17.3
2	14.3	14.2	17.0	20.3	16.2	18.3	19.0	23.5	20.5	18.5	14.3	15.3
3	13.3	17.3	18.5	18.5	15.5	16.0	22.5	22.5	20.0	18.5	15.4	15.3
4	12.8	19.0	20.0	19.2	15.3	23.0	23.0	19.5	20.5	19.0	16.2	15.5
5	15.3	19.0	17.5	21.1	15.8	25.0	23.0	19.3	19.5	17.0	17.3	15.5
6	15.8	18.0	13.5	23.0	20.0	25.5	24.0	23.5	18.0	19.0	14.8	15.3
7	17.5	19.5	14.5	17.5	22.5	25.5	17.8	20.0	19.0	17.5	17.5	17.5
8	17.3	20.0	16.5	18.5	19.5	25.5	16.8	18.5	18.8	18.5	15.3	15.3
9	15.5	20.5	21.5	19.0	16.5	16.3	16.0	23.5	18.3	24.5	15.5	16.2
10	14.5	15.3	18.0	18.0	21.5	20.3	15.5	23.5	19.5	19.5	16.2	17.3
11	14.3	15.8	19.5	18.0	21.5	21.5	15.5	18.5	19.0	19.0	14.3	17.8
12	16.3	16.0	24.5	20.3	15.8	22.5	16.0	18.3	22.5	23.5	13.3	15.5
13	16.5	20.5	24.0	18.3	15.8	19.0	21.0	18.8	23.0	21.0	13.5	16.0
14	15.0	19.0	24.0	19.5	16.5	18.5	19.3	20.5	24.5	20.0	13.0	16.3
15	19.8	21.5	21.0	18.8	18.5	18.5	19.3	19.8	21.0	20.0	14.5	14.2
16	15.3	22.0	23.5	17.0	18.5	21.5	21.0	20.0	22.3	19.0	14.3	15.2
17	15.8	15.0	20.5	18.5	20.0	22.5	23.5	20.3	23.5	18.3	13.3	15.3
18	16.8	15.8	19.5	19.0	21.0	19.0	23.0	21.5	24.0	18.5	14.1	17.8
19	17.8	18.5	19.5	18.0	15.3	18.5	23.0	20.0	24.5	17.8	14.5	15.5
20	17.8	14.5	17.5	17.0	16.5	18.5	23.0	19.0	24.0	20.0	15.5	15.3
21	10.3	16.0	11.5	18.0	28.0	17.5	17.5	20.5	24.0	20.0	16.0	15.5
22	16.5	14.5	15.0	19.5	21.5	18.0	18.8	19.0	23.1	19.0	15.3	15.3
23	9.5	18.5	17.0	20.0	21.5	17.8	19.5	17.5	22.5	17.5	15.8	14.4
24	10.0	17.0	19.8	20.0	23.0	18.5	20.5	22.0	24.5	16.5	15.6	16.0
25	7.5	18.5	20.0	20.0	20.5	19.5	20.0	21.2	24.0	13.5	15.4	16.3
26	12.5	16.5	16.5	17.0	17.3	18.5	20.0	20.3	22.5	15.3	15.8	16.8
27	12.3	16.5	16.0	17.5	18.3	18.2	20.0	20.5	24.5	21.2	15.3	17.3
28	10.4	17.0	16.0	17.8	20.5	17.4	19.0	19.0	24.0	20.0	16.3	17.5
29	16.0		16.0	18.5	19.0	18.2	19.8	20.5	23.1	14.0	16.3	16.3
30	18.0		17.2	17.5	19.0	19.0	23.0	20.0	22.0	19.5	17.3	16.3
31	18.0		20.0		21.0		23.5	22.0		15.0		16.0

Cuadro 41A. Datos de Temperatura media diaria en (°C Celsius) para el año 2,002, estación CECI/AID Barillas.

DIA	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
2002												
1	11.3	12.6	11.9	14.3	14.5	14.9	15.1	14.7	14.8	15.1	13.9	12.6
2	14.7	12.3	11	16.7	14.8	15.1	14.3	13.6	15.1	15.5	13.9	11.5
3	13.3	12.9	13.3	14.9	11.5	15.5	12.9	14.6	15.1	15.1	12.7	12
4	12.1	10.8	13.2	14.1	14.8	14.9	14.5	14.7	14.9	14.9	15.3	10.3
5	12.9	8.2	13.4	12.9	14.3	15.2	15.6	15.1	15.5	15.4	15.4	11
6	11.9	10.5	14	15	13.8	15.1	15.4	15.9	15.3	13.5	14.9	11.9
7	11.9	10.9	13.4	16.3	13	14.9	16.1	14.8	16.5	13.7	15.6	11.3
8	13.5	9.3	14.5	13.3	14.4	16	15.9	13.3	14.3	15.3	15.1	12.3
9	12.9	11.1	13.6	10.5	15.1	14.7	14.5	12.5	16.5	13.2	16.5	10.1
10	13.1	11.1	14.9	14.4	16	15.2	14.8	11.8	14.7	14.7	16.2	12.3
11	8.7	12.1	14.9	16	14.3	15	14.3	14	15.3	12.9	14.8	13.5
12	13.9	12.1	14.7	12.9	15.6	14.4	14.3	13.3	14.2	12.3	13.4	12.9
13	11.9	11.7	14.9	12.7	15.4	15.7	15.3	15.3	14.1	15.4	13.4	11.7
14	9.6	12.5	12.7	14.8	16	15.3	15.1	13.5	15.7	15.7	13.2	12
15	10.3	13.7	15.1	13.2	14.8	15.5	14.5	14.5	15.6	13.6	15.1	12.9
16	8.9	11.9	14.1	15.3	12.7	16	15.1	15.3	14.2	14.5	13	11.1
17	10.8	13	14.9	15	11.1	15.3	14.2	13.3	15.1	15.2	13.3	12.5
18	9.5	12.3	15.3	14.3	15.2	14.7	15.2	14.9	14.1	13.5	14.5	10.7
19	12.1	12.5	14.1	12.8	15.5	15.3	14.6	14.7	16	13	13	12.3
20	12.3	12.3	14.9	13	15.1	14.6	13.7	14.5	14.2	14.5	13.7	10.7
21	13.2	12.9	14.7	13.8	15.7	15.2	15.9	15.7	15.5	12.7	10.9	9.4
22	12.1	13.3	13.6	13.7	15.9	14.3	14.7	13.1	14.7	14	12.1	12.1
23	13.3	9.8	12.5	15.5	15.4	14	13.1	14.1	14.5	10.7	13.5	9.4
24	12.7	12	13.7	16.7	15.1	14.5	13.2	15.4	16.4	13.4	13.7	11.3
25	14.2	11.3	14.3	16.6	14.9	14.5	15.3	14.8	12.6	12.6	12.8	10.7
26	10.4	12.2	14.2	14.9	14.9	14.7	15.3	16.1	15.1	13.9	13.8	13.3
27	12.7	12.5	15.4	17.5	14.9	14.3	14.8	16.5	14.3	12.9	13.9	12.2
28	13.5	14.5	16.5	13.9	14.1	15.3	14.4	15	15.1	12.3	13.7	13
29	12		16.7	15.3	14.4	15.7	14.6	16.7	14.6	12.9	14.4	12.2
30	10.4		16.3	13.7	13.9	14.6	14.2	15.9	14.6	13.3		14.2
31	13.3		16.7		15.7		14.7	14.9		13.9		11.1