

UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA

Facultad de Ingeniería

Departamento de Ingeniería Agrícola y Forestal



Análisis de los efectos del Programa de Incentivos Forestales en la regulación de los servicios hídricos en la parte alta de la cuenca del río Achiguate

Andrea Mariel Juárez Lucas

**Guatemala
2009**

UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA
Facultad de Ingeniería
Departamento de Ingeniería Agrícola y Forestal

Análisis de los efectos del Programa de Incentivos Forestales en la regulación de los servicios hídricos en la parte alta de la cuenca del río Achiguate

Andrea Mariel Juárez Lucas

Guatemala
2009

Análisis de los efectos del Programa de Incentivos Forestales en la regulación de los servicios hídricos en la parte alta de la cuenca del río Achiguate

UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA
Facultad de Ingeniería
Departamento de Ingeniería Agrícola y Forestal

Análisis de los efectos del Programa de Incentivos Forestales en la regulación de los servicios hídricos en la parte alta de la cuenca del Río Achiguate

Trabajo de investigación presentado por Andrea Mariel Juárez Lucas para optar al grado académico de Licenciatura en Ingeniería Forestal

Guatemala
2009

Vo. Bo:

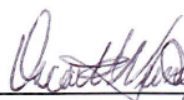


M Sc. Oscar Manuel Núñez Saravia
Asesor



M Sc. César Castañeda Salguero
Director del Departamento de Ingeniería Agroforestal

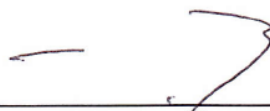
Tribunal:



M Sc. Oscar Manuel Núñez Saravia



M Sc. César Castañeda Salguero



Ing. Carlos Enrique Figueroa Ruíz

Fecha de aprobación:
18 de febrero de 2009

PREFACIO

Este estudio nace del interés por encontrar un vínculo entre los Proyectos del Programa de Incentivos Forestales (PINFOR) con los servicios ambientales, especialmente hidrológicos, en miras de buscar su promoción no solo por los bienes maderables que generan, sino también por los servicios ambientales que prestan. Su gestión y realización se inició a mediados de febrero del 2008 como parte de la práctica profesional y concluyó a finales de enero del 2009. Una de las principales limitaciones del estudio fue no poder contar con una información climática adecuada, ya que por falta de recursos principalmente y por la dificultad de no poder realizar diariamente mediciones en campo, no se pudieron colocar estaciones meteorológicas en el área. También debido a la extensión del área a analizar e igualmente por las mismas razones expuestas, no se pudo contar con información edáfica detallada. Sin embargo, fue posible realizar el estudio consultando bases de datos e información existente al respecto.

Agradezco a la Unidad de Planificación del Instituto Nacional de Bosques (INAB) y especialmente a Enrique Castillo, quien por su asesoría técnica, absoluto apoyo y colaboración, el desarrollo y realización del presente trabajo de graduación fue posible. También agradezco a la Unidad de Operaciones por brindarme un espacio físico y grata compañía, en donde se trabajó y elaboró en gran medida esta investigación. Le agradezco al Ing. César Castañeda y a Araceli de Contreras por todo su apoyo durante los años de estudio de la carrera, y a mi asesor Msc. Oscar Manuel Núñez Saravia, quien con sus enseñanzas ha contribuido considerablemente con mi formación profesional, y que gracias a sus aportes y orientaciones este estudio es un mejor trabajo.

Finalmente, agradezco a mis padres por su incondicional apoyo y por ser la fuente de mi inspiración, motivación y perseverancia, a Gabriel Juárez por ser un gran amigo y porque su filosofía de vida es mi modelo a seguir, a Rodrigo Fernández por su compañía y por ser quien hace surgir lo mejor de mí, a mis dos mejores compañeros por su lealtad y amor, y a mis amigos por su amistad y los inolvidables momentos que hemos compartido.

ÍNDICE

Página

PREFACIO	vi
LISTA DE CUADROS	xi
LISTA DE FIGURAS	xii
LISTA DE GRÁFICOS.....	xiii
RESUMEN.....	xiv
Capítulos	
I. INTRODUCCIÓN.....	1
II. Objetivos	3
A. General	3
B. Específicos.....	3
III. MARCO CONCEPTUAL Y REFERENCIAL.....	4
A. Marco conceptual	4
1. Ciclo hidrológico	4
2. Cuenca hidrográfica	4
3. Recarga hídrica.....	5
4. Acuífero	6
5. Manantiales	6
6. Zonas de recarga hídrica.....	6
7. Factores que afectan la cantidad de agua que puede recargar un acuífero	6
a. Clima	7
1) Precipitación	7
a) Precipitación efectiva	7
2) Evapotranspiración	8
a) Evaporación	8
b) Transpiración	8
c) Evapotranspiración potencial	9
d) Evapotranspiración real	9
b. Suelo	9
1) Textura	9
2) Densidad aparente (Da)	10
3) Grado de saturación del suelo (contenido de humedad)	10
4) Capacidad de infiltración	11
c. Topografía	11
d. Estratigrafía geológica	11
e. Cobertura vegetal	12

1) Profundidad radicular	12
2) Retención vegetal	12
f. Escurrimiento	13
8. Balance hídrico	14
9. Relación bosque y el agua	15
10. Tierras forestales de captación y regulación hidrológica	15
11. Hidrología de plantaciones forestales	16
12. Programa de Incentivos Forestales (PINFOR) en Guatemala	17
B. Marco referencial.....	20
1. Ubicación geográfica y político administrativa del área de estudio	20
2. Extensión y rangos de altura	20
3. Hidrografía y relieve	20
4. Clima	22
a. Clasificación de Thornwhite	22
b. Clasificación de Köppen	22
c. Clasificación de Holdrige	24
1) Bosque Muy Húmedo Subtropical (cálido) (bmh-S(c))	24
2) Bosque Húmedo Montano Bajo Subtropical (bh-MB)	24
3) Bosque Muy Húmedo Montano Bajo Subtropical (bmh-MB)	24
5. Suelos	26
a. Descripción de órdenes y subórdenes de suelos	26
1) Orden Andisol	26
a) Suborden Udands (Dd)	26
b) Suborden Ustands (Ds)	26
c) Suborden Vitrandis (Dv)	26
2) Orden Alfisol	26
a) Suborden Ustalfs (Ls)	26
3) Orden Entisol	28
a) Suborden Psamments (Ep)	28
b) Suborden Fluvents (Ef)	28
c) Suborden Orthents (Eo)	28
4) Orden Mollisol	28
a) Suborden Udolls (Md)	28
5) Suborden Inceptisol	28
a) Suborden Udepts (Pd)	28
b. Asociación de subórdenes	29
6. Geología	30
a. Regional	30
b. Local	31
1) Rocas Volcánicas sin dividir del Terciario (TV)	31
2) Rocas Volcánicas del Cuaternario (Qv)	31
3) Cenizas Volcánicas Cuaternarias (Qp)	33
4) Cenizas Volcánicas Cuaternarias (Qa)	33
7. Fisiografía	33
a. Región Fisiográfica	35
1) Llanura Costera del Pacífico	35
2) Tierras Altas Volcánicas	35

b. Subregión Fisiográfica	35
1) Planicie Aluvial Costera (Madre Vieja-María Linda)	35
2) Zona Montañosa y Planicie Central (Tecpán-Jalpatagua)	35
c. Gran Paisaje	36
1) Abanico Aluvial de los Ríos Coyolate-Acomé-Achiguate (parte del vértice)	36
2) Abanico Aluvial de los Ríos Coyolate-Acomé-Achiguate (parte media)	36
3) Planicie Aluvial de los Ríos Achiguate-Michatoya	36
4) Montañas Volcánicas del Centro del País	36
5) Valle Tectónico de Chimaltenango	37
6) Abanico Aluvial de Antigua Guatemala	37
7) Volcanes de Acatenango y Fuego	37
8) Volcán de Agua	38
8. Cobertura forestal	38
IV. METODOLOGÍA	40
A. Fase de gabinete inicial	40
1. Recopilación de Información	40
2. Definición de la cuenca	40
3. Definición de unidades cartográficas para el mapeo	41
4. Escala y tamaño de las unidades de mapeo	41
5. Generación de información edáfica	46
6. Generación de información climática	46
a. Determinación de la precipitación media	47
b. Determinación de la precipitación efectiva	47
c. Determinación de la temperatura media	49
d. Determinación de la evapotranspiración potencial y real	50
B. Fase de gabinete final	52
1. Cálculo de la recarga hídrica natural	52
2. Realización del balance hídrico de suelos de la cuenca	52
3. Identificación de las tierras forestales de captación y regulación hidrológica	52
4. Análisis de los efectos de los proyectos PINFOR en la regulación de los servicios hidrológicos	54
V. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	56
A. Generación de información hidrológica del área de estudio	56
1. Información climática	56
2. Cálculo de la infiltración básica	58
3. Densidad aparente, textura y constantes de humedad	61
B. Cuantificación de la recarga hídrica natural de la parte alta de la cuenca del Río Achiguate	64
1. Evapotranspiración potencial (ETP) y Evapotranspiración real (ETR)	64
2. Precipitación media y precipitación efectiva	66
3. Cálculo de la recarga hídrica natural	68
4. Balance hídrico de suelos	76
5. Identificación de las tierras forestales de captación y regulación hidrológica TFCRH	77
C. Análisis de los efectos de los proyectos PINFOR en la regulación de los servicios hidrológicos	85
VI. CONCLUSIONES	99

VII. RECOMENDACIONES.....	100
VIII. BIBLIOGRAFÍA.....	102
IX. APÉNDICES.....	105
Apéndice 1. Radiación solar extraterrestre (RMM) expresada en evaporación equivalente en mm/día, para diferentes meses y latitudes	105
Apéndice 2. Duración máxima media diaria de horas de brillo solar para diferentes meses y latitudes	105
Apéndice 3. Precipitación pluvial mensual (mm) registrada e interpolada de las estaciones ubicadas en la parte alta de la cuenca del Río Achiguate	106
Apéndice 4. Temperatura máxima, mínima y promedio mensual (° C) registrada en las estaciones ubicadas en la parte alta de la cuenca del Río Achiguate, e interpolaciones entre los registros de temperatura media en algunas estaciones	110
Apéndice 5. Figuras de las hojas electrónicas de Excel de balance hídrico de suelos, de las unidades de mapeo consideradas en el análisis de recarga hídrica de los proyectos de reforestación (cálculo inicial)	113
Apéndice 6. Figuras de las hojas electrónicas de Excel de balance hídrico de suelos, de las unidades de mapeo consideradas en el análisis de recarga hídrica de los proyectos de reforestación (recálculo)	126

LISTA DE CUADROS

Cuadro	Página
Cuadro 1. Clasificación taxonómica de suelos en la parte alta de la cuenca del Río Achiguate.	29
Cuadro 2. Clasificación de las unidades fisiográficas.	33
Cuadro 3. Cobertura forestal en el área de estudio.	38
Cuadro 4. Unidades de mapeo definidas en la parte alta de la cuenca del Río Achiguate.	41
Cuadro 5. Propiedades físicas del suelo en función a su textura.	46
Cuadro 6. Valores de infiltración por efecto de la pendiente (K_p).	48
Cuadro 7. Valores de infiltración por efecto de la cobertura vegetal (K_v).	48
Cuadro 8. Ubicación geográfica y altitud de las estaciones climáticas situadas en la cuenca. ...	49
Cuadro 9. Matriz de criterios de capacidad de uso de la tierra para la determinación de TFCRH.	53
Cuadro 10. Matriz de criterios de geología para la determinación de TFCRH.	53
Cuadro 11. Matriz de criterios de infiltración básica para la determinación de TFCRH.	53
Cuadro 12. Matriz de criterios de recarga anual para la determinación de TFCRH.	54
Cuadro 13. Matriz de criterios de ubicación espacial (área de recarga o área de descarga hídrica) para la determinación de TFCRH.	54
Cuadro 14. Precipitación pluvial media anual (mm) y Temperatura media anual (°C) de las estaciones climáticas situadas dentro del área de estudio.	56
Cuadro 15. Infiltración básica de las unidades de mapeo en el área de estudio.	58
Cuadro 16. Porcentaje del área total que representan los distintos valores de infiltración.	61
Cuadro 17. Constantes de humedad, densidad aparente y textura de las unidades de mapeo en el área de estudio.	61
Cuadro 18. Porcentaje del área total que representan las distintas texturas.	63
Cuadro 19. Porcentaje del área total que representan los valores de capacidad de campo, punto de marchitez permanente y densidad aparente.	63
Cuadro 20. Evapotranspiración potencial y evapotranspiración real para cada unidad de mapeo en el área de estudio.	64
Cuadro 21. Porcentaje del área total que representan los rangos de evapotranspiración real y evapotranspiración potencial.	65
Cuadro 22. Precipitación media y precipitación efectiva para cada unidad de mapeo en el área de estudio.	66
Cuadro 23. Porcentaje del área total que representan los rangos de precipitación media y precipitación efectiva.	68
Cuadro 24. Recarga hídrica natural de las unidades de mapeo en el área de estudio.	68
Cuadro 25. Balance hídrico de suelos de la parte alta de la cuenca del Río Achiguate.	76
Cuadro 26. Identificación de las Tierras Forestales de Captación y Regulación Hidrológica de la parte alta de la cuenca del Río Achiguate.	77
Cuadro 27. Extensión y recarga hídrica de las diferentes categorías de TFCRH en el área de estudio.	85
Cuadro 28. Detalle de los proyectos PINFOR de protección dentro del área de estudio y unidad de mapeo en la que se ubican.	86
Cuadro 29. Detalle de los proyectos PINFOR de reforestación dentro del área de estudio y unidad de mapeo en la que se ubican.	87
Cuadro 30. Proyectos PINFOR de reforestación ubicados en las unidades Sin bosque dentro del área de estudio.	93
Cuadro 31. Recarga hídrica original y recalculada en las unidades Sin bosque donde se ubican PINFOR de reforestación.	95

LISTA DE FIGURAS

Figura	Página
Figura 1. Representación del ciclo hidrológico.	4
Figura 2. Representación en diagrama de bloques del sistema hidrológico.	14
Figura 3. Ubicación del área de estudio.	21
Figura 4. Pendientes y relieve del área de estudio.	23
Figura 5. Zonas de vida de Holdridge del área de estudio.	25
Figura 6. Taxonomía de suelos del área de estudio.	27
Figura 7. Geología del área de estudio.	32
Figura 8. Fisiografía del área de estudio.	34
Figura 9. Cobertura forestal del área de estudio.	39
Figura 10. Unidades de mapeo del área de estudio.	45
Figura 11. Localización de las estaciones meteorológicas dentro del área de estudio.	57
Figura 12. Distribución de la recarga hídrica dentro del área de estudio.	72
Figura 13. Tierras forestales de captación y regulación hidrológica (TFCRH) en el área de estudio.	84
Figura 14. Proyectos PINFOR en el área de estudio.	91

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico	Página
Gráfica 1. Comportamiento de la recarga hídrica natural en las unidades de mapeo.....	74
Gráfica 2. Porcentaje de recarga hídrica natural que representa cada unidad de mapeo, de la recarga hídrica total del área de estudio.....	75
Gráfica 3. Distribución de las pérdidas de agua en el sistema.....	76
Gráfica 4. Comportamiento de la recarga hídrica original y recalculada en las unidades de mapeo Sin bosque con proyectos PINFOR de reforestación.	97

RESUMEN

El objetivo principal de este trabajo de graduación es elaborar un análisis de los efectos de los Proyectos PINFOR en la regulación de los servicios hidrológicos en la parte alta de la cuenca del Río Achiguate. Los alcances se orientan a la recopilación y generación de información climática y biofísica, a la realización del balance hídrico de los suelos según cobertura (Bosque y Sin Bosque), a delimitar las Tierras Forestales de Captación y Regulación Hídrica –TFCRH-, a identificar los proyectos PINFOR de protección, manejo de bosque natural y reforestación dentro del área de estudio, y a analizar en qué medida estos proyectos contribuyen o influyen en los procesos de recarga hídrica.

La metodología empleada fue la de “Delimitación de Tierras Forestales de Captación y Regulación Hídrica” del Instituto Nacional de Bosques (INAB) (2004), validada por Pineda en el 2005. Se inició con la definición de unidades cartográficas para el mapeo, en base a variables geológicas, edáficas, de cobertura y de capacidad de uso, y luego en base a información recopilada de clima y suelos del área se realizó el balance hídrico. Para ello se determinó la recarga hídrica potencial en la que se considera la precipitación, evapotranspiración real, precipitación efectiva, diferencias de humedad del suelo, escorrentía y retención de agua.

La identificación de las TFCRH se definió por medio de la sumatoria de los valores a los cuales correspondía cada unidad de mapeo de acuerdo a las siguientes matrices: Geología, tasa de infiltración (cm/hr), recarga hídrica potencial, ubicación espacial (área de recarga o descarga hídrica) y capacidad de uso. Para evaluar la relación y efectos entre los proyectos PINFOR y la recarga hídrica, se consideró la recarga hídrica promedio obtenida en las unidades con Bosque como la equivalente a la que los proyectos de protección y manejo de bosque natural ayudan a mantener. Por su parte, la evaluación del efecto de los proyectos de reforestación se realizó identificando las unidades Sin Bosque donde estos proyectos se ubican, y recalculando la recarga hídrica cambiando algunos parámetros a manera de recrear una condición dada por una plantación forestal en un área donde ésta no existía.

En el área de estudio existe una recarga hídrica natural total de 83,857.20 mm/año, la cual representa el 58.45% de la precipitación total recibida. Las Tierras de Alta y Muy Alta Captación y Regulación Hidrológica ocupan una superficie en el área bajo estudio del 19.68%.

Se obtuvo también que los proyectos PINFOR de protección y manejo de bosque natural tienen un efecto directo positivo en la regulación hidrológica (aseguran una recarga promedio de 7.07 mm/año/ha). Los proyectos PINFOR de reforestación tendrán en principio un efecto negativo (disminución promedio en la recarga de 0.11 mm/año/ha) el cual eventualmente se invertirá, de manera que éstos proyectos principalmente podrían contribuir inicialmente con la regulación de los servicios hidrológicos a través de una reducción en la escorrentía.

I. INTRODUCCIÓN

El agua juega un papel complejo y multifacético, tanto en las actividades humanas como en los sistemas naturales. Es un recurso valioso por ser un elemento finito y frágil debido a su desigual distribución en el tiempo y en el espacio (URL, 2005:4). En Guatemala a pesar que el recurso hídrico a nivel nacional se considera todavía bueno, algunas cuencas se enfrentan ya con problemas de escasez y contaminación (no cuentan con la cantidad y/o calidad de agua necesaria para cubrir la demanda), tienen una distribución desigual y/o limitada, o no manejan adecuadamente los recursos para desarrollar y mantener los distintos suministros de agua, entre otros.

Los recursos hídricos están vinculados e interrelacionados con otros recursos como el suelo y el bosque, de manera que el deterioro o mal manejo de uno de ellos afecta directamente o indirectamente el estado o condición (cantidad o calidad) de los demás. La relación bosque-suelo-agua está dada por el hecho que los bosques reducen el nivel de escorrentía y erosión en invierno, mejoran y mantienen la calidad del agua, reducen la ocurrencia de desastres relacionados con desequilibrios hidrológicos como inundaciones y deslizamientos, y ayudan a regular la disponibilidad de agua a lo largo del año al aumentar los caudales en verano (INAB, 2004:2; INAB, 2005:1).

En los últimos años se ha identificado en el país un aumento en el deterioro, degradación y pérdida del recurso forestal, de tal manera que las tierras en donde dicha cobertura regula en gran medida el recurso hídrico, se están viendo comprometidas. Dentro de las principales causas que han llevado a esta situación se pueden mencionar la falta de ordenamiento territorial, el que los bosques no sean considerados una fuente de ingresos y que el potencial de los mismos para la producción forestal (lo cual representa una opción para el desarrollo humano y mejoramiento de los recursos ambientales) es subestimado, el crecimiento poblacional, la extrema pobreza y la falta de oportunidades principalmente en el área rural. No se debe descartar también que el Estado a su vez ha contribuido a un deterioro de estos recursos, mediante la implementación de instrumentos de la política como mercados, leyes y créditos que han favorecido a la agricultura, y través de una mala distribución de tierras con el fin de solucionar el problema agrario.

Sin embargo, el Estado en un intento para mediar esta situación y tener un mejor control y administración del recurso forestal, a finales de 1996 por decreto legislativo 101-96, crea el Instituto Nacional de Bosques (INAB) que en coordinación con el Ministerio de Finanzas Públicas, tienen la responsabilidad de otorgar incentivos a los propietarios de tierras de vocación forestal, que se dediquen a la ejecución de proyectos forestales. A partir de esto nace el Programa de Incentivos Forestales (PINFOR) en 1997, que como una herramienta de la política forestal nacional de largo plazo, busca impulsar el fomento de la producción forestal sostenible en el país, mediante el estímulo a la inversión en las actividades de forestación, reforestación y manejo de bosques naturales.

Algunos países como Costa Rica han establecido una política similar para incentivar la reforestación y el manejo de bosques existentes, con el propósito de asegurar el flujo de servicios ambientales que los bosques brindan a la sociedad. Ahora bien, existen incertidumbres considerables en relación al uso de la tierra y el servicio, producto de la complejidad del sistema y de la falta de información. En el caso de la relación bosque-agua las principales fuentes de incertidumbre están asociadas a la complejidad de las relaciones entre el uso del suelo y la calidad y disponibilidad de este recurso, causada por el gran número de variables involucradas y por las complejas relaciones entre ellas. Por otro lado, la alta variabilidad de condiciones geográficas y climatológicas presentes en las cuencas hidrográficas, hace particularmente difícil llegar a generalizaciones de utilidad universal acerca de uso del suelo y su impacto sobre el recurso hídrico. Muchos de los casos de manejo de cuencas se basan en supuestos no verificados sobre los impactos del uso del suelo en el recurso hídrico (Kiersch, 2004).

Es por ello que en este estudio se pretende evaluar el efecto que tienen los proyectos establecidos a través del PINFOR en la regulación de los servicios hidrológicos, para conocer en qué medida y cómo las actividades de reforestación y manejo de bosques naturales afectan el proceso de recarga hídrica. Así también, para determinar si es necesario llegar a desarrollar pagos o compensaciones por servicios “hídricos”, en las áreas donde estos proyectos se establezcan. Esto podría ser de utilidad incluso para dirigir u orientar esfuerzos y recursos, hacia cómo se podrían llegar a promocionar estos incentivos no solo por los bienes maderables que generan, sino también y específicamente, por la provisión de algunos servicios ambientales que prestan. En general, se pretende con este trabajo de investigación, contar con más información acerca de las relaciones entre distintos usos de suelo (bosque o sin bosque) con respecto a los procesos hidrológicos.

Entonces para el mismo se seleccionó la parte alta de la cuenca del Río Achiguate y todos los proyectos de reforestación, protección y manejo de bosque natural que se ubican dentro de esta área. El efecto que tienen estos proyectos en la regulación de los servicios hidrológicos, se refiere a cómo éstos pueden llegar a contribuir o aportar a la recarga hídrica, y también a cómo se pueden ver afectados o favorecidos los diferentes parámetros que tienen relación con este proceso, como consecuencia de su establecimiento dentro del área bajo estudio. Para determinar lo anterior, se empleó la Metodología para la Delimitación de Tierras Forestales de Captación y Regulación Hídrica del Instituto Nacional de Bosques (INAB) (2004), validada por Pineda en el 2005. Esta metodología se basa en el balance hídrico de suelos para obtener la recarga hídrica natural en las unidades de mapeo previamente definidas, a las cuales luego de definir sus subunidades (considerando las diferentes capacidades de uso) se les asignan valores numéricos en cuanto a geología, recarga hídrica potencial, velocidad de infiltración del agua, y ubicación relativa, para que en base a la suma de estos valores se defina la categoría de captación y regulación hidrológica a la que pertenecen. Las unidades de mapeo en el área de estudio se establecieron en base a la cobertura forestal, entre otros factores. Esto permitió comparar la recarga hídrica obtenida en las unidades con Bosque versus la obtenida en las unidades Sin Bosque, y con ello entonces evaluar el efecto que tiene la cobertura vegetal en dicho proceso.

Propiamente para evaluar la relación entre los proyectos PINFOR y la recarga hídrica, se consideró la recarga hídrica promedio obtenida en las unidades con Bosque como la “ideal” o la “deseada”, de manera que en base a ello se estableció que los proyectos de protección y manejo de bosque natural identificados en el área de estudio, están manteniendo una recarga equivalente a dicha estimación, por éstos representar una cobertura del tipo bosque natural. Para evaluar el efecto de los proyectos de reforestación la metodología empleada fue un tanto distinta ya que para ello, se procedió a identificar dichos proyectos ubicados en las unidades Sin Bosque, para recalcular la recarga hídrica cambiando algunos parámetros, a manera de recrear una condición dada por una plantación forestal en un área donde ésta no existía y en base a la cual se calculó la recarga hídrica inicialmente.

En el estudio se pudo concluir que relativamente una pequeña parte del área bajo análisis (19.68%) son Tierras de Alta y Muy Alta Captación y Regulación Hidrológica. Además, que en el área de estudio la recarga hídrica promedio “ideal” es igual a 7.07 mm/año/ha (70.7 m³/año/ha), de acuerdo con la estimación obtenida en las unidades con Bosque, y por lo tanto, esta estimación se puede aplicar directamente en los proyectos de conservación ubicados dentro del área de estudio. También que la recarga hídrica disminuye en promedio 0.11 mm/año/ha en las unidades donde no existía una cobertura forestal y se han establecido proyectos de reforestación, lo cual se espera que cambie una vez estas plantaciones alcancen su máximo rendimiento hídrico. Finalmente, la conclusión más importante es que en el área de estudio los proyectos PINFOR de protección y manejo de bosque natural tienen un efecto directo positivo en la regulación hidrológica, mientras que los proyectos PINFOR de reforestación tendrán en principio un efecto negativo (al disminuir la recarga), pero podrán principalmente contribuir con la regulación de los servicios hidrológicos, a través de una reducción en la escorrentía.

II. Objetivos

A. General

- Elaborar un análisis de los efectos de los Proyectos PINFOR en la regulación de los servicios hidrológicos dentro del área de estudio, ubicada en la parte alta de la cuenca del Río Achiguate.

B. Específicos

- Recopilar y generar información climática y biofísica del área de estudio.
- Determinar la recarga hídrica promedio en las unidades con Bosque y Sin Bosque.
- Realizar el balance hídrico de los suelos en el área de estudio.
- Delimitar y analizar las Tierras Forestales de Captación y Regulación Hídrica (TFCRH) en el área de estudio.
- Identificar todos los Proyectos PINFOR dentro del área de estudio y estimar su contribución en cuanto a la recarga hídrica.
- Analizar en qué medida y cómo los Proyectos PINFOR pueden contribuir a los servicios hidrológicos y al resto de los servicios ambientales en general.

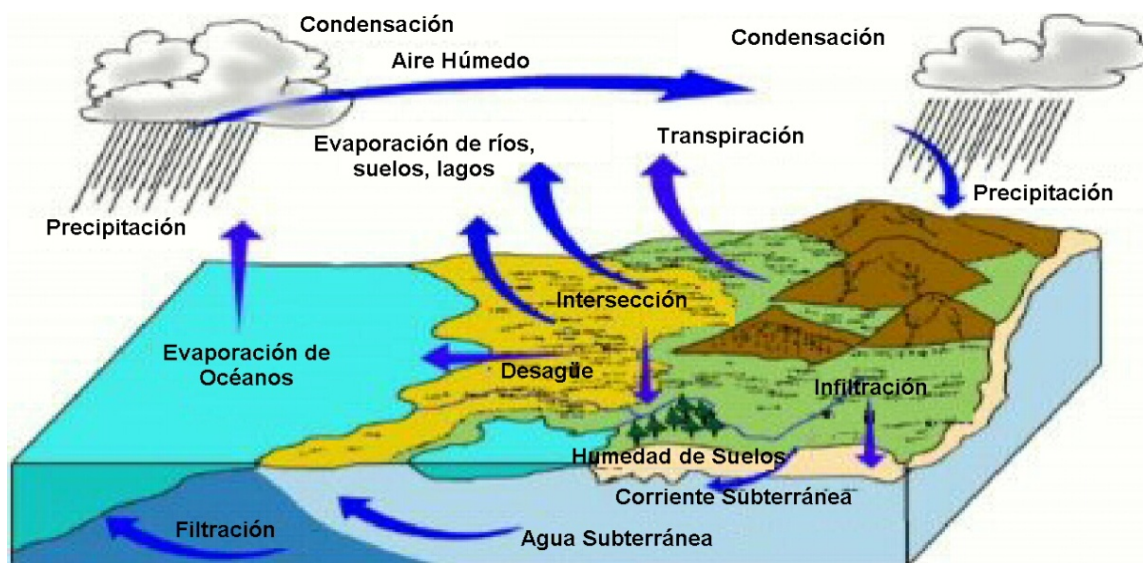
III. MARCO CONCEPTUAL Y REFERENCIAL

A. Marco conceptual

1. **Ciclo hidrológico.** El ciclo hidrológico es un proceso continuo en el que una partícula de agua vaporada del océano, vuelve a él después de pasar por las etapas de precipitación y escorrentía superficial o subterránea. Esta circulación general resulta del hecho de que en promedio hay más precipitación que evaporación sobre la superficie continental de la tierra. También hay que tener en cuenta que el movimiento del agua en el ciclo hidrológico se caracteriza por la irregularidad, tanto en el espacio como en el tiempo (Noriega, 2005:3; INAB, 2004:5).

Las fases principales del ciclo hidrológico son: evaporación de agua del suelo, plantas y océano; transporte de vapor de agua a través de masas móviles de aire y formación y desplazamiento de nubes y niebla; condensación del agua y precipitación en forma de lluvia, nieve, granizo, etc.; escorrentía superficial sobre el suelo; infiltración en el perfil del suelo; percolación a estratos más profundos; flujo subterráneo y retorno a la superficie (manantiales y pozos); formación de corrientes superficiales como ríos y arroyos; descarga en lagos, océanos y mares; evaporación y transpiración, y repetición del ciclo (Noriega, 2005:3).

Figura 1. Representación del ciclo hidrológico.



Fuente: Annie Strickler y Gil Knier (2002).

Las fases más importantes en la estimación del balance hídrico de toda la cuenca para cuantificar la recarga al acuífero son: la precipitación pluvial, escorrentía superficial, y evapotranspiración e infiltración. Esto considerando que no existe en el proceso aporte de otras cuencas (García, 2004:5).

2. **Cuenca hidrográfica.** La cuenca se define como el área natural en la cual el agua que cae por precipitación se une para formar un curso principal. En forma general se puede definir como el área drenada por un río (Noriega, 2005:5).

Según la FAO (1992:4) una cuenca hidrográfica es una zona delimitada topográficamente que desagua mediante un sistema fluvial, es decir, la superficie total de tierras que desaguan en un cierto punto de un curso de agua o río. Es una unidad hidrológica que ha sido descrita y utilizada como una unidad físico-biológica y también, en muchas ocasiones, como una unidad socio-económica-política para la planificación y ordenación de los recursos naturales. La cuenca de captación se utiliza con frecuencia como sinónimo de cuenca hidrográfica. No hay un tamaño definido de cuenca; puede tener una dimensión de varios miles de kilómetros cuadrados hasta la de unos pocos kilómetros cuadrados. Además, una cuenca hidrográfica se diferencia de una cuenca fluvial en que ésta, con su línea principal que corre hacia el mar, puede tener centenares de cuencas hidrográficas y muchos otros tipos de formaciones de tierras.

Oscar Ávalos y Juan Carlos Rosito (2007:12) definen una cuenca hidrográfica como un territorio en el que las aguas escurren a través de una red de cauces y confluyen en un mismo punto (lago, corriente, acuífero) formando una unidad autónoma o diferenciada de otras. Es una zona conformada como una unidad, física, natural, básica de la regulación del agua, donde la lluvia es captada y desalojada o depositada en un almacenamiento natural por un sistema de drenaje definido por la topografía, que inicia en la parte alta. En ella es posible articular procesos de gestión que permiten alcanzar el desarrollo sustentable.

3. Recarga hídrica. La recarga hídrica es el proceso donde el flujo de agua desciende en el suelo, hasta alcanzar el nivel freático incrementando el agua almacenada. Es decir, es el volumen de agua que entra en un embalse subterráneo durante un período de tiempo, a causa de la infiltración de las precipitaciones o de un curso de agua (Ávalos y Rosito, 2007:13). Se ha definido también como el proceso que implica el incremento de agua hasta la zona de saturación, donde se encuentra el nivel de las aguas subterráneas. En otras palabras, es la cantidad de agua absorbida a través del suelo y percolada hasta llegar a un acuífero (Ramírez, 2007:4).

La recarga hídrica es equivalente a la infiltración eficaz y puede ser directa (infiltración de lluvia) y lateral (aporte de otras áreas o cuencas). La recarga puede ser natural cuando se produce por infiltración de la precipitación pluvial o de un curso de agua (ríos y lagos), o inducida debido a las actividades del hombre como riego y urbanización (Ávalos y Rosito, 2007:12).

Se divide según el tipo de estimación en: recarga actual, que es el volumen de agua que alcanza el nivel freático, y recarga potencial, que es el volumen de agua que puede ir a diferentes destinos por evapotranspiración, cambio de humedad en la zona saturada del suelo, descarga a cursos de agua y alcance de reservorios de agua subterránea (Ávalos y Rosito, 2007:12).

Las recargas de agua en la zona de saturación (acuífero) provenientes de fuentes superficiales comprenden tres pasos: Infiltración del agua desde la superficie a la zona de suelo no saturado, el movimiento descendente de agua a través de los materiales comprendidos en la zona de aireación, y la emigración de parte del agua al manto freático, aumentando así las reservas subterráneas (INAB, 2004:9).

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 potencial en aquellos lugares donde la humedad del suelo no está en equilibrio. Una vez que la zona de saturación ha recibido agua a toda su capacidad, 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 proceso de evaporación o absorción de las raíces de las plantas, la mayor parte del agua tiende a moverse hacia abajo en respuesta a la fuerza de gravedad (INAB, 2004; 9). La recarga hídrica también depende de la permeabilidad del suelo, de manera que la infiltración se da mejor en suelos ligeros que en suelos pesados (Noriega, 2005: 4).

No toda el agua que precipita infiltra hasta los estratos inferiores. Es decir, parte del agua se puede perder por escorrentía superficial, puede ser devuelta a la superficie por fuerzas capilares y evaporada hacia la atmósfera, puede quedar retenida en las hojas de la vegetación y en el suelo por fuerzas de adhesión, y también puede ser absorbida por las raíces de las plantas existentes que luego la devuelven a la atmósfera a través del proceso de la transpiración (Noriega, 2005:4).

La cantidad de recarga de un acuífero depende en cierto modo de la extensión del área de entrada o de captación. Por lo tanto, los acuíferos más productivos son los lechos permeables situados en áreas extensas. También la infiltración es mayor cuando en el área de entrada o zona de recarga ocurren no solo la precipitación local, sino el escurrimiento superficial de alguna área tributaria. Esto sucede principalmente en pendientes aluviales que reciben aguas superficiales provenientes de áreas montañosas con fuerte precipitación (INAB, 2004:8).

4. Acuífero. Se denomina acuífero a aquel estrato o formación geológica que permitiendo la circulación del agua por sus poros o grietas, hace que el hombre pueda aprovecharla en cantidades apreciables para subvenir a sus necesidades. Para que un acuífero sea funcional, sus poros o intersticios deben de estar llenos de agua y ser lo suficientemente grandes para que permitan que el agua se desplace hacia los pozos o manantiales con un caudal apreciable (INAB 2005:7).

Según Rafael Muñoz y Axel Ritter (2005:262) todos los acuíferos reciben agua de la superficie del terreno de forma directa o indirecta, de manera que aquellos que no están en contacto con la superficie del terreno reciben agua de otro que sí lo hace. Además, la clasificación de los acuíferos varía según el factor que se tome en cuenta para hacerlas.

5. Manantiales. El manantial es un punto o zona de la superficie del terreno en la que, de modo natural, fluye a la superficie una cantidad apreciable de agua, procedente de un acuífero o embalse subterráneo. Los manantiales son los desagües o aliviaderos por los cuales sale la infiltración o recarga que reciben los embalses subterráneos y pueden ser locales y regionales (García, 2004:6).

Oscar Ávalos y Juan Carlos Rosito (2007:14) también expresan que el manantial es una fuente natural de agua, que surge a la superficie cuando el nivel de saturación corta la topografía, y representan al no utilizar bombeo, ahorro de energía y recursos económicos.

6. Zonas de recarga hídrica. El área o zona donde ocurre la recarga se llama zona de recarga (INAB, 2005:7). Según Oscar Ávalos y Juan Carlos Rosito (2007:14), son áreas ubicadas en las partes medias y altas de las cuencas y en suelos permeables, que facilitan la infiltración y descenso del agua hacia los reservorios de agua subterránea (acuíferos). Esta infiltración puede producirse no sólo por las aguas de lluvia, sino también por la que circula a través de los arroyos o corrientes.

7. Factores que afectan la cantidad de agua que puede recargar un acuífero. La oportunidad que tiene un acuífero de infiltrar depende de las interacciones que se pueden suscitar entre el tipo y condición del suelo, la formación geológica existente, el tipo de vegetación presente, la topografía, el escurrimiento, y el régimen de lluvias, principalmente.

Bajo este contexto, se pueden presentar interacciones que favorezcan o perjudiquen en gran medida la recarga de un acuífero determinado (Noriega, 2005:5). Los factores más importantes que afectan la recarga se describen a continuación:

- a. **Clima.** Entre los principales factores del clima que influyen en la recarga natural de los acuíferos están la precipitación y la evapotranspiración.

1) **Precipitación.** La precipitación es uno de los componentes más importantes en el ciclo hidrológico y su distribución tanto en el espacio como en el tiempo, es variable e influenciado en gran medida por la elevación del terreno. Como precipitación se conocen todas las formas de humedad que caen a la tierra, provenientes de las nubes como agua, nieve y hielo. La precipitación constituye la entrada primordial del sistema hidrológico y es el factor principal que controla la hidrología en una región. La evaporación desde la superficie de los océanos es la principal fuente de humedad para la precipitación, ya que no menos del 10% de la precipitación continental se puede atribuir a la evaporación de los océanos. Sin embargo, la cercanía a los océanos no necesariamente implica altas precipitaciones, como es el caso de islas desérticas (Noriega, 2005:5; INAB, 2004:13).

Según los fenómenos meteorológicos que las originan existen tres tipos de precipitaciones: convectiva, frontal o ciclónica y orográfica o lluvia de relieve (Ramírez, 2007:6). Éstas se describen a continuación:

La precipitación convectiva ocurre cuando una masa de aire próxima a la superficie aumenta su temperatura, la densidad baja y la masa sube y se enfría, lo que ocasiona la condensación del vapor de agua produciéndose entonces la precipitación que afecta áreas reducidas, del orden de 25 a 50 kilómetros cuadrados (Ramírez, 2007:6).

La precipitación frontal o ciclónica ocurre cuando dos masas de aire de aproximadamente la misma temperatura chocan y ambas se elevan. La discontinuidad entre las dos masas de aire se llama frente. La masa de aire más caliente y menos densa asciende, se enfría y provoca la precipitación (Ramírez, 2007:6).

La precipitación orográfica ocurre cuando una masa de aire se encuentra con una barrera y es obligada a ascender, siguiendo los accidentes naturales del terreno, tales como las montañas. Por lo general, el lado de la montaña contra el que choca el viento es la zona lluviosa, mientras el otro lado es más seco (Ramírez, 2007:6).

Durante un evento de lluvia, dos aspectos condicionan la infiltración: la duración y la intensidad. INAB (2005:8) sostiene que una lluvia moderada de larga duración favorece la infiltración, ya que las lluvias intensas saturan muy rápidamente el suelo, perdiéndose en escorrentía superficial.

Estas lluvias también compactan el suelo reduciendo su habilidad para absorber el agua. Por lo que para fines de infiltración, es mejor que llueva constantemente y no unos pocos eventos lluviosos muy intensos.

En estudios de balance hídrico es necesario conocer la precipitación media sobre una cuenca ya que la cantidad de lluvia que cae en un sitio dado, difiere de la que cae en los alrededores y para ello se puede utilizar uno de los siguientes métodos: Promedio Aritmético, Polígonos de Thiessen, e Isoyetas (García, 2004:9).

a) **Precipitación efectiva.** Se entiende como precipitación efectiva la porción de la precipitación que puede infiltrarse en el suelo y está disponible para las raíces de las plantas, o bien, infiltrar profundamente y llegar a un acuífero. La precipitación efectiva está afectada principalmente por cuatro factores: i) intensidad de la precipitación, ii) velocidad de infiltración en el suelo, iii) cobertura vegetal y iv) la topografía (Linsley 1988 citado por INAB, 2005:38; Noriega, 2005:6).

Todos los factores están relacionados, por ejemplo, si la intensidad de la precipitación es más baja que la capacidad de infiltración del suelo, no habrá escorrentía superficial; mientras que con una topografía plana y abundante cobertura vegetal, se puede reducir considerablemente la velocidad de la escorrentía superficial, por lo que va a existir más tiempo para que el agua infiltre en el suelo (Noriega, 2005:6).

Para calcular la precipitación efectiva existen varios métodos entre los cuales se encuentra el propuesto por la Universidad Autónoma de Chapingo, el método de Palacios Vélez, y la metodología propuesta por la FAO descrita por Taracena. Existe también la metodología propuesta por Schosinsky y Losilla (2000), desarrollada en Costa Rica, la cual se basa en el análisis de datos de bandas de pluviógrafos, e incluye aspectos relacionados con la precipitación efectiva como la cobertura vegetal, la pendiente y la velocidad de infiltración (INAB 2005:8).

2) Evapotranspiración. La evapotranspiración también llamada “uso consuntivo” del cultivo, es la suma de los fenómenos de la evaporación del suelo y la transpiración de las plantas. Una gran parte del agua que llega a la tierra vuelve a la atmósfera en forma de vapor, directamente por evaporación o a través de las plantas por transpiración (INAB, 2005:9).

En muchos lugares del mundo el 70% de la precipitación que llega a la tierra, en otros el 90%, es devuelta a la atmósfera por evapotranspiración. Desde el punto de vista hidrológico la evapotranspiración entra dentro del balance hídrico en el considerado de pérdidas (INAB, 2004:12).

Son tres los factores que influyen directamente en la evapotranspiración: el clima, suelo y la planta. El clima debido a que la temperatura es el principal factor y el que más influye en la evapotranspiración, pero también afecta la humedad relativa, la velocidad del viento, el número de horas luz y la radiación solar. El suelo respecto a la cantidad de agua que puede almacenar, ya que cuando se encuentra a capacidad de campo, el agua es cedida fácilmente tanto a la atmósfera como a la planta; no así cuando se acerca al punto de marchitez permanente, al estar el agua retenida con mucha fuerza por las partículas que lo conforman, dificultando su salida y por ende la evapotranspiración. Finalmente, la planta en función al número de estomas por unidad de superficie que se presentan entre las especies, el período vegetativo en que se encuentre y la profundidad radicular (INAB, 2004:12).

a) 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 (INAB, 2004:11).

b) Transpiración. Es el resultado del proceso físico-biológico por el cual el agua cambia de estado líquido a gaseoso y pasa a la atmósfera, a través del metabolismo de las plantas. En el sentido amplio del concepto se incluye también el agua eliminada 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 se debe incluir el agua que la planta incorpora a su estructura en el período de crecimiento. Básicamente son varios los factores que influyen en los distintos niveles de transpiración, tales como: la forma de la vegetación, densidad vegetal, especies, condiciones climáticas, disponibilidad del agua en el suelo, etc. (INAB, 2004:11; García, 2004:7).

c) Evapotranspiración potencial. Es la pérdida de agua que ocurriría si en ningún momento existiera una deficiencia de agua en el suelo para el uso de la vegetación. Se ha encontrado desde entonces que la evapotranspiración depende de la densidad de cobertura y de su estado de desarrollo (INAB, 2005:9). Los valores típicos de evapotranspiración potencial varían entre 1 a 3 mm/d para los climas templados, de 5 a 8 mm/d en los trópicos húmedos y de 10 a 12 mm/d en regiones áridas (INAB, 2004:12).

d) Evapotranspiración real. Se asume que la evapotranspiración real es igual a la evapotranspiración potencial, conjuntamente con los siguientes factores del suelo: humedad inicial y humedad final, capacidad de campo y punto de marchitez permanente.

Existen varias metodologías para el cálculo de la evapotranspiración como el método del tanque tipo "A", el cual consiste en determinar la evaporación de una superficie de agua de un tanque llamado tanque tipo "A" y multiplicarlo por un coeficiente, que para Guatemala generalmente varía entre 0.75 y 0.8 (INAB, 2005:9). Otro método es el propuesto por Thornthwaite, el cual propone una ecuación que permite calcular la evapotranspiración potencial, tomando en cuenta únicamente valores de temperatura media sin considerar características del suelo o la planta. También existen otros métodos como el de Blanney & Criddle, el de Penman y el método de Hargreaves, el cual consiste en una fórmula específica para la región centroamericana (INAB, 2005:9; García, 2004:13).

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

1) Textura. En el estudio físico de un suelo interesan dos aspectos: La textura y la estructura. La textura del suelo se refiere a la proporción relativa en que se presentan los distintos materiales sólidos que lo componen (arena, limo y arcilla). Esta proporción se expresa en porcentaje del peso de materiales comprendidos en un intervalo de tamaños, respecto al peso de la muestra seca (INAB, 2005:10).

La textura de un suelo determina en gran parte la capacidad de retención de agua, el movimiento de agua en el suelo y la cantidad de agua disponible a las plantas. Las partículas de arena presentan una superficie específica o interna del bloque pequeña, y debido a esto retienen mucho menos humedad ya que tienen poca área en donde el agua pueda adherirse. La arena sirve como almacén del suelo aumentando el tamaño de los poros, lo que contribuye a un drenaje rápido del agua. La arcilla tiene miles de veces más superficie específica o interna que el limo o la arena, lo que le da la característica de poder retener una gran cantidad de agua adherida en su superficie, actuando en el suelo como un almacén de reservas de agua contra las fuerzas de gravedad (Sandoval, 2007:32).

La estructura es el término que se utiliza para referirse a la agregación de partículas de suelo (arena, limo y arcilla) en grupos de partículas primarias, las cuales están separadas de los agregados adyacentes por superficies de ruptura (Sandoval, 2007:34). Las diferentes estructuras de los suelos influyen en la configuración de los poros y espacios dentro del suelo por lo que afectan la velocidad de infiltración (García, 2004:15). Las estructuras laminar y masiva tienen un movimiento del agua muy lento, las estructuras en bloques y prismática tienen un movimiento del agua moderado, mientras que la granular tiene un movimiento rápido (Sandoval, 2007:34).

2) Densidad aparente (Da). Es el peso de suelo seco por unidad de volumen de suelo incluyendo los poros, y se expresa en gramos por cm^3 (Sandoval, 2007:34). El material sólido que compone un suelo tiene una densidad real del orden de 2.5 gr/cc, pero el volumen que ocupa realmente en el terreno es mucho mayor y surge el concepto de densidad aparente, pues el volumen aumenta debido a la cantidad de poros del suelo, los cuales están llenos de aire o agua (INAB, 2004:18).

Generalmente la densidad aparente de los suelos no cultivados varía entre 1.0 y 1.6 gr/cc aunque los suelos compactados pueden tener densidades mayores. Los suelos arcillosos tienen mayor cantidad de poros que los arenosos, lo cual hace que su densidad aparente sea menor. La materia orgánica tiene densidad aparente pequeña (Sandoval, 2007:35).

La densidad aparente es de vital importancia en el análisis de balance hídrico para el estudio de un área. Existen varios métodos que permiten determinar esta característica siendo unos de ellos el método del agujero, el de barreno o cilindro de volumen conocido, y el método de laboratorio usando probeta (Sandoval, 2007:35).

3) Grado de saturación del suelo (contenido de humedad). El componente líquido en el suelo es generalmente el agua, que al atravesar la superficie del terreno se distribuye por él, quedando sometida a diferentes fuerzas de cuya intensidad depende el menor o mayor grado de fijación al material sólido. También existe agua formando parte de la composición química de las rocas y agua en forma de vapor (INAB, 2004:18). Existen diferentes formas en las cuales se encuentra el agua en el suelo, debido a esto se establecen los siguientes tipos: agua gravitacional (agua que se mueve libremente hacia abajo en los poros grandes debido a la acción de la gravedad), agua higroscópica (agua que queda adherida herméticamente en forma de capas muy delgadas alrededor de las partículas del suelo), y el agua capilar (agua contenida en los poros pequeños que sigue moviéndose por capilaridad lentamente, una vez el agua gravitacional ha drenado y los poros grandes son ocupados por aire) (Sandoval, 2007:74).

La capacidad de los suelos para retener agua es una característica muy importante en el balance hídrico. Mientras menor sea la capacidad de los suelos para retener el agua infiltrada, mayores serán las posibilidades de que esta agua pase a formar parte de la humedad de estratos inferiores, hasta alcanzar la zona saturada (acuíferos) (Noriega, 2005:10). De esta manera para el cálculo del balance hídrico de suelos, es importante determinar las constantes de humedad de un suelo las cuales son: la capacidad de campo, el punto de marchitez permanente y la humedad aprovechable.

La capacidad de campo (CC) se define como el contenido de humedad que tiene el suelo inmediatamente después de que el agua gravitacional ha drenado. Es la máxima cantidad de agua que un suelo puede retener en contra de la fuerza de gravedad. Este concepto es de gran utilidad por ser el límite superior de agua aprovechable o disponible para el desarrollo de las plantas, transcurrido un tiempo después de un riego o una precipitación (Sandoval, 2007:74).

El punto de marchitez permanente (PMP) se define como el grado de humedad de un suelo que rodea la zona radicular de la vegetación, tal que la fuerza de succión de las raíces es menor que la retención del agua por el terreno y en consecuencia las plantas no pueden extraerla. Corresponde al límite inferior del agua disponible a las plantas (INAB, 2004:19).

Puede considerarse únicamente la humedad aprovechable (HA) o agua utilizable y disponible a las plantas, la diferencia entre la humedad correspondiente a la capacidad de campo y el punto de marchitez permanente. La humedad aprovechable también es equivalente al agua capilar (INAB, 2004:20).

4) Capacidad de infiltración. La infiltración se define como el proceso por el cual el agua penetra por la superficie del suelo en un determinado tiempo, atraviesa la superficie del terreno y ocupa total o parcialmente los poros del suelo o las formaciones geológicas subyacentes, llegando hasta sus capas inferiores saturadas. Es decir, alcanzando el nivel freático e incrementando el volumen acumulado anteriormente (INAB, 2005:11).

La capacidad de infiltración de un suelo puede ser influenciada por la condición y las características del suelo, además está la vegetación, las características de la lluvia, la topografía del terreno, la estratificación, la temperatura del agua y el suelo, y el estado físico-químico del mismo (INAB, 2005:11).

Según Salvador García (2004:17), Nittler y Barahona (1993) hablan de dos tasas de infiltración, tasa inicial y tasa neta. La tasa inicial es la cantidad de agua infiltrada durante las primeras dos horas de lluvia cuando los suelos no están saturados. En esta etapa, la infiltración es más rápida, dado que los poros están vacíos y que existe una atracción entre las partículas del suelo y el agua. La tasa neta es la tasa después de dos horas, cuando los suelos superficiales ya están saturados y la tasa de infiltración se vuelve constante.

La secuencia triple: entrada de agua, circulación y almacenamiento de agua en el suelo, hacen que se presenten dificultades en la medida de la infiltración de agua en una cuenca determinada. Los diferentes factores que afectan cada fase, producen múltiples combinaciones de parámetros que impiden que haya una técnica generalizada para medir la infiltración. Existen diferentes métodos para definir la tasa de infiltración básica de un suelo haciendo medidas directas en el campo por medio de infiltrómetros, entre ellos los más utilizados son los permeámetros (Guelph), método de Porchet y el método de doble cilindro (INAB, 2004:22).

c. Topografía. La inclinación del terreno tiene que ver en la capacidad de recarga de un acuífero, principalmente porque determina el tiempo de contacto del agua con la superficie del suelo. En condiciones de poca pendiente el agua tiene más oportunidad de infiltrar, ya que se disminuye la escorrentía y se aumenta el tiempo de contacto. Por el contrario, en condiciones de elevada pendiente el agua adquiere velocidad, provocando mucha escorrentía y disminuyendo significativamente el tiempo de contacto con la superficie del terreno y con ello la oportunidad de infiltrar. En algunas áreas al parecer las pendientes moderadas ofrecen condiciones mejores para infiltración que las enteramente planas. Estas últimas desarrollan a menudo suelos herméticos (Noriega, 2005:11).

d. Estratigrafía geológica. Salvador García (2004:20) menciona que según De Ridder (1994), con fines hidrogeológicos se definen tres estratos o capas: permeable, semipermeable e impermeable.

Una capa es permeable cuando sus propiedades de transmitir agua son favorables en comparación con los estratos superiores o inferiores. En esta capa la resistencia al flujo vertical es pequeña, así que sólo se toma en cuenta la pérdida de energía causada por el flujo horizontal. En la capa semipermeable las propiedades transmisoras de agua son relativamente desfavorables (García, 2004:20).

El flujo horizontal es despreciable pero el flujo vertical debe ser considerado ya que la resistencia al flujo, es pequeña debido al espesor relativamente pequeño de las capas. En la capa impermeable las propiedades transmisoras de agua son tan desfavorables que sólo fluyen a través de ella, vertical u horizontalmente cantidades de agua despreciables (García, 2004:20).

Según Salvador García (2004:20) de acuerdo a Herrera Ibáñez (2002), existen capas o estratos en donde predominan materiales granulares gruesos (gravas y arenas) que por su granulometría y su mayor diámetro medio comparado con materiales finos (arcillas y limos), presentan una mayor permeabilidad y transmisividad. Por tanto, en estos estratos se pueden encontrar los mejores acuíferos. Sin embargo, es importante mencionar que la estratigrafía o secuencia de rocas que han sufrido deformaciones por la acción de fuerzas de compresión y tensión, presentan diferentes grados de fracturamiento, que modifican sus condiciones originales de porosidad y permeabilidad. Es por ello que muchas rocas que originalmente presentaban condiciones poco favorables para la transmisión y almacenamiento del agua subterránea, se convierten en las zonas de mayor permeabilidad y llegan a constituir sitios adecuados para el almacenamiento de agua.

Los materiales geológicos como aluviones, materiales volcánicos fracturados y calizas fracturadas (los cuales favorecen la infiltración y percolación), se encuentran en el país en los valles de Quetzaltenango, Chimaltenango, Sacatepéquez, y el valle de la ciudad de Guatemala. Por el contrario, los materiales volcánicos sin fracturar, piroplásticos que forman estratos soldados, calizas sin fracturas y materiales metamórficos (con poca capacidad de facilitar la infiltración y percolación), se encuentran principalmente en la zona oriental y nororiental del país (INAB, 2004:25).

Es de gran importancia realizar un estudio de la geología y estratigrafía de la zona, es decir, conocer la disposición de los diferentes materiales geológicos, ya que estos pueden afectar grandemente la cantidad de recarga hídrica. Por ejemplo, puede existir una cuenca cuyas características climáticas, de suelo y de cobertura forestal favorezcan la infiltración de agua en el suelo, pero si existe una capa de material impermeable no permitirá el paso del agua a mayor profundidad, y se generará un flujo subsuperficial que alimentará un río o cauce cercano y no recargará un acuífero (INAB, 2004:24).

e. Cobertura vegetal. La cobertura de la vegetación participa en la recarga de un acuífero, principalmente en dos aspectos: la profundidad radicular y la intercepción del agua en el dosel (Noriega, 2005:12).

1) Profundidad radicular. La profundidad de la zona radicular determina en gran parte la lámina de agua aprovechable por los cultivos. Depende del tipo de cultivo y de las condiciones de suelo y clima. Para la mayoría de plantas las raíces que absorben agua se encuentran dentro de los primeros 30 cm de suelo y pueden alcanzar más de un metro en bosques y cultivos permanentes de frutales. Al aumentar la profundidad radicular se aumenta también el rango de agua edáfica que puede ser aprovechada por la vegetación existente (Noriega, 2005:12; INAB, 2004:26).

2) Retención vegetal. Gran cantidad de lluvia que cae durante la primera parte de una tormenta es depositada en la cobertura vegetal como intercepción. Aún cuando el efecto de la cobertura no tiene mayor importancia en las avenidas más grandes, la intercepción debida a algunos tipos de vegetación puede presentar una porción considerable de la lluvia anual, ya que puede captar y guardar hasta el 30% de la precipitación en bosques húmedos tropicales, y en áreas de pastos y arbustos la intercepción puede tener cifras entre 10 y 20% (Ramírez, 2007:10; García, 2004:22). Como se mencionó anteriormente, 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. Sin embargo, después de que la vegetación está saturada, la intercepción cesará a no ser porque una cantidad de agua pueda evaporarse a partir de la enorme superficie mojada de la vegetación (INAB, 2004:26).

El agua retenida en los estratos de vegetación y broza puede evaporarse antes de llegar al suelo, o llegar hasta el suelo a través del goteo o escurrimiento (movimiento de agua por debajo y a través de las ramas y troncos). Si esto último ocurre la lluvia llega hasta el suelo durante un período más largo, ocasionando mejores posibilidades para que el agua se infiltre y no forme parte de la escorrentía superficial (García, 2004:22).

La cantidad de agua que llega hasta el suelo y a través del sistema, goteo o "stemflow", versus la cantidad que se evapora varía mucho debido a las diferentes condiciones climáticas, físicas y de la vegetación. Se puede contemplar que la interceptación aparentemente roba agua de la cuenca y del sistema hidrológico. La capacidad de interceptación se reduce a mayor velocidad del viento, pero la tasa de evaporación aumenta (Ramírez, 2007:10; García, 2004:22).

Se ha encontrado que un bosque de árboles maderables de unos 50 años de edad intercepta hasta un 20 % de lluvia y en cultivos anuales la interceptación para una lluvia de 25 mm va desde 3.2% en maíz, 11.2% en tabaco, 16% en cereales, hasta 33% en alfalfa; en promedio se calcula 12% de interceptación debido a cultivos agrícolas. Reconocer la importancia de la interceptación resulta bastante sencillo pero su medición a nivel de la cuenca es difícil, dado las variaciones climáticas, físicas y de la vegetación que se encuentran en la cuenca (Ramírez, 2007:10; García, 2004:22).

f. Escurrimiento. El camino que sigue una gota de agua desde el momento en el cual alcanza la tierra hasta cuando llega al cauce de una corriente es incierto (INAB, 2004:27). Se pueden dar tres situaciones principales: escorrentía superficial, subsuperficial y subterránea.

La escorrentía superficial comprende el exceso de la precipitación que ocurre después de una lluvia intensa, que no se infiltra ni se evapora y se mueve libremente por la superficie de la tierra, antes que el agua llegue a los ríos y red de drenaje. La cantidad de escorrentía está directamente relacionada con la intensidad y duración de la precipitación y el área recolectora que drena a la misma red de drenaje. La escorrentía se aumenta con la distancia, ya que entre más larga es la distancia desde el inicio de la escorrentía hasta la red de drenaje, mayor será la cantidad de escorrentía. La velocidad está directamente relacionada con la pendiente y la cantidad (INAB, 2004:27; García, 2004:23).

La escorrentía subsuperficial es una porción del agua que se infiltra a través de la superficie de la tierra y que puede moverse lateralmente en las capas superiores del suelo hasta llegar al cauce de la corriente. Esta agua se mueve más lentamente que la escorrentía superficial y alcanza las corrientes posteriormente. A pesar de viajar más lentamente que la escorrentía superficial, la escorrentía subsuperficial puede ser mayor en cantidad, especialmente en lluvias de intensidad moderada (García, 2004:23).

La escorrentía subterránea se forma por infiltración del agua en el terreno que luego percola formando los acuíferos y circula por conductos constituyendo ríos subterráneos. Parte de esta circulación aflora en fuentes y manantiales, los que también dan lugar a la formación de arroyos y ríos, lo que viene a constituir el caudal base de los ríos. Es un término usado para describir el proceso de percolación. A través de la percolación la precipitación recarga los acuíferos subterráneos, los ríos, lagos y nacimientos. La percolación es un proceso en el que se influye mucho en los horizontes superficiales a través de la selección del uso de la tierra, pero que no se puede influir fácilmente en los estratos subyacentes (García, 2004:23).

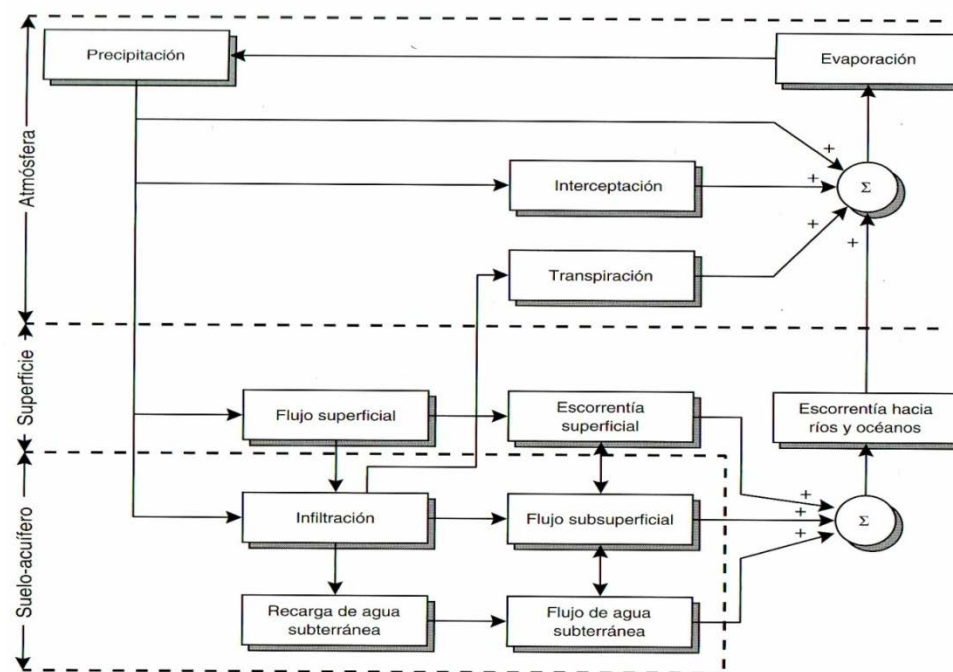
Las tasas de percolación dependen primordialmente de la textura y estructura de los suelos, subsuelos y estratos subyacentes. La percolación es más parecida a la infiltración en medios más gruesos (arenosos) que finos (arcillosos) donde la percolación generalmente es mayor (García, 2004:23).

8. Balance hídrico. Según Rafael Muñoz y Axel Ritter (2005:14) la complejidad de los fenómenos hidrológicos dificulta su descripción mecánica. En ausencia de este conocimiento físico, éstos pueden representarse de forma simplificada mediante el concepto de sistema. El sistema es un conjunto de partes conectadas entre sí que forman un todo. El objetivo del análisis del sistema es estudiar su operación y predecir su salida, ofreciendo como relación entre las entradas y salidas una función de transformación, transferencia u operador. En el caso del sistema hidrológico para su resolución siguiendo el principio de conservación de la masa, se utiliza la ecuación de continuidad o balance:

$$\Delta S = I(t) - O(t)$$

Donde $I(t)$ y $O(t)$ son las tasas de entrada y salida en función del tiempo, respectivamente, y ΔS es el cambio de almacenamiento del sistema (si el almacenamiento disminuye, ΔS tendrá signo negativo). A continuación se presenta este concepto aplicado al ciclo hidrológico con los tres subsistemas principales desglosados: el atmosférico, el superficial y el subsuperficial.

Figura 2. Representación en diagrama de bloques del sistema hidrológico.



Fuente: Rafael Muñoz y Axel Ritter (2005:17).

Oscar Ávalos y Juan Carlos Rosito (2007:15) expresan que en un período largo de tiempo, ΔS tiende a cero, por lo tanto, entradas = salidas, es decir:

$$P \text{ (precipitación)} = I_{nt} \text{ (Intercepción)} + I \text{ (infiltración)} + E \text{ (escorrentía)} + E_t \text{ (evapotranspiración)}$$

Además se debe mencionar que según Salvador García (2004:7) el método de balance hídrico tiene las siguientes cuatro características:

- Puede ser estimado para cualquier subsistema del ciclo hidrológico, así como para diferente tamaño de área e intervalo de tiempo.
- Sirve para controlar si todo el flujo y los componentes involucrados, han sido considerados cuantitativamente.
- Permite calcular los elementos desconocidos de una ecuación de balance, previendo que los otros componentes son conocidos.

- También puede ser considerado como un modelo del proceso hidrológico completo bajo estudio, esto indica que se puede usar para predecir cómo afectan los cambios imperantes en ciertos componentes que podrían estar sobre otros componentes del sistema o subsistema.

9. Relación bosque y el agua. El microclima que crea el bosque con relación al suelo es menos luminoso con una reducción de la luminosidad de hasta un 90%; es menos caluroso con disminución de unos 4°C en la temperatura media anual; menos ventoso con un decrecimiento de la velocidad del viento de hasta a la cuarta parte; y más húmedo con un aumento en el orden del 10%. Este microclima hace que algunos factores ecológicos no actúen como limitantes y en consecuencia, propicia la infiltración de agua en el suelo (Ávalos y Rosito, 2007:15).

En cuanto a la precipitación el ecosistema boscoso puede llegar a influir en su origen, pues causa intercepción (y posterior evaporación) de la lluvia antes de llegar al suelo. Al bosque se le atribuyen funciones de importante captación en algunos ecosistemas, de las denominadas precipitaciones ocultas, de rocío, escarcha y precipitaciones horizontales. Asimismo, se ha evidenciado que el bosque influye en la infiltración del agua en el suelo aumentándola, y otorga a la tierra una mayor permeabilidad especialmente por modificar las propiedades físicas de la parte superficial (Ávalos y Rosito, 2007:15).

El papel fundamental que desempeñan los bosques sobre la escorrentía es el de modificar su forma en el agua superficial y disminuir la cantidad de ésta que accede a los cauces, disminuyendo drásticamente las aportaciones superficiales y aumentando las subterráneas. Este es el aporte más importante de un bosque a la producción hídrica de una cuenca dada y sobre todo, es más evidente e importante en aquellas áreas de aptitud forestal, es decir, que presenten altas pendientes, poca profundidad, o en general, alta susceptibilidad a la erosión química o física (Ávalos y Rosito, 2007:15).

De acuerdo con muchas frecuencias la evapotranspiración constituye una de las principales salidas de agua del sistema. En nuestro medio se estima que alcanza de un 40 a un 60% de las precipitaciones totales anuales. En este sentido el bosque se convierte en el mayor consumidor de agua en el ecosistema (Ávalos y Rosito, 2007:15).

Finalmente, se destaca la importancia del bosque sobre la calidad del agua que genera, la cual está definida por sus características químicas, físicas y biológicas. Con la presencia de un ecosistema forestal natural, se puede prever la virtual inexistencia de sedimentos y materiales biológicos dañinos para las personas o el ecosistema. Asimismo, el bosque contribuye a mantener un equilibrio químico, bajas temperaturas y altos contenidos de oxígeno. En este sentido se puede concluir que es muy importante su papel para propiciar la alta calidad de los recursos hídricos en la cuenca (Ávalos y Rosito, 2007:15).

10. Tierras forestales de captación y regulación hidrológica¹. Son Tierras Forestales de Captación y Regulación Hidrológica (TFCRH) aquellas tierras con aptitud preferentemente forestal, de protección o para realizar un manejo forestal o agroforestal sostenible, y que son de alta importancia por la cantidad y calidad de agua que incorporan a sistemas hidrológicos locales (cuencas de captación). Constituyen sitios de regulación y/o captación hídrica con efectos en el comportamiento de sistemas de drenaje superficial o subterráneos (INAB, 2005:13).

¹ Este concepto ha sido recientemente definido por el INAB para los fines de la aplicación de la legislación forestal.

Generalmente, las TFCRH se encuentran asociadas a condiciones severas en cualquiera de los factores limitantes o modificadores de la capacidad de uso del suelo, material parental, características físicas (textura y estructura), pendiente, profundidad efectiva y drenaje. En estas tierras un uso que exceda la máxima capacidad productiva del suelo conlleva su degradación (erosión química y física a niveles insostenibles) y la pérdida de su capacidad reguladora del ciclo hidrológico, especialmente la capacidad de infiltración, almacenamiento y distribución paulatina y equilibrada en el tiempo del agua (INAB, 2005:13).

Según INAB (2005:13) las TFCRH presentan las siguientes características hidrológicas a nivel de cuenca:

- Alta infiltración eficaz la cual puede verse favorecida por uno o la interacción de varios de los siguientes factores:
 - Incremento de la precipitación orográfica debido a la condensación de la humedad
 - Incremento de la precipitación neta por efecto de la precipitación horizontal
 - Incremento de la humedad relativa
 - Disminución de la temperatura
 - Disminución de evapotranspiración
 - Alta permeabilidad o infiltración
- Ubicación potencialmente propicia para alimentar áreas de descarga hídrica (manantiales y drenajes superficiales) o drenajes subterráneos utilizables.

Se puede considerar TFCRH prioritarias aquellas que abastecen a comunidades o sistemas productivos importantes para el país. Este concepto constituye una interpretación del espíritu de la ley y puede considerarse como un sinónimo del término de recarga hídrica que aparece en la ley y política forestal (INAB, 2005:13).

11. Hidrología de plantaciones forestales. El establecimiento, estado de desarrollo de las plantaciones y su manejo, impone un número de prácticas las cuales ejercen una influencia fuerte sobre las características hidrológicas. Los cambios más grandes sobre el rendimiento hídrico de la cuenca, la respuesta a la escorrentía y la producción de sedimentos asociados con las plantaciones, usualmente ocurren cuando el bosque natural es convertido a plantación (Sampurno, 1997:1).

Es útil distinguir entre la fase de establecimiento y la fase de maduración, cuando se describen los cambios de las características hidrológicas de las plantaciones en varias etapas de crecimiento. Cuando se establece una nueva plantación el suelo queda expuesto usualmente durante varios meses hasta que se desarrolle un sotobosque protector. Durante este período el agua de la cuenca y particularmente la producción de sedimentos como también los flujos pico, se incrementarán en comparación con los valores observados en condiciones previas de bosque natural (Sampurno, 1997:50).

El incremento en la producción de sedimentos y los caudales pico desaparecen después de dos o tres años a partir de los cuales ellos exhiben niveles estables muy similares a los de las condiciones originales. El incremento en el rendimiento hídrico de la cuenca tiende a ser más alto, usualmente hasta que el dosel de copas de la plantación se cierre, pero la información en este aspecto es escasa (Sampurno, 1997:50).

Las cantidades relativas de intercepción de la precipitación después que las copas se cierran difieren entre especies en función de la arquitectura del dosel y las condiciones climáticas. Las especies latifoliadas como la teca y la caoba africana típicamente interceptan cerca de 20% de la precipitación, mientras que las copas ralas del eucalipto interceptan cerca de 12%. Valores reportados para los rodales de rápido crecimiento de *Acacia mangium* son especialmente altos (mayores de 40%), mientras que los de las coníferas son variables, pero generalmente menores de 25% (Sampurno, 1997:50).

Como se conoce poco sobre el uso del agua de muchas especies plantadas (particularmente latifoliadas como teca, caoba africana, *Acacia*, *Gmelina*, *Albizia* y *Terminalia*, también de especies de coníferas y eucaliptos jóvenes), no es posible hacer predicciones confiables sobre el efecto de las plantaciones así como de rodales maduros, sobre el rendimiento hídrico anual y estacional. Sin embargo, no existen evidencias para afirmar que el consumo de agua de las plantaciones excede al de los bosques naturales. Existen evidencias de que la plantación de especies de rápido crecimiento en áreas de potreros llevarán a disminuir fuertemente el flujo superficial después de que las copas se cierren, particularmente en la época de la estación seca. Los incrementos en el consumo del agua anual que exceden 500 mm han sido reportados después de la forestación de sabanas subtropicales (Sampurno, 1997:50).

El entendimiento de la hidrología de las plantaciones es importante ya que las plantaciones se sitúan frecuentemente en cuencas que abastecen agua para diferentes usos del suelo o consumo urbano, y por tanto la calidad y la cantidad del rendimiento hídrico se vuelve crítico. También porque la combinación común de topografía, pendiente y precipitación moderada o alta en los sitios de plantación, conducen a erosión potencial y/o a dificultades operacionales, y no siempre son las relaciones del agua en el sitio de la plantación las que tienen una profunda influencia en la selección de las especies, también la nutrición y el crecimiento. Además, porque mientras que en muchas partes de los trópicos húmedos se ha talado indiscriminadamente el bosque natural, esto ha llevado a una degradación de los suelos muy seria, a una alteración de los regímenes del escurrimiento superficial, y la reforestación no siempre ha logrado recuperar las condiciones hidrológicas originales. Se ha encontrado que a pesar de que los flujos se mejoran después de la reforestación, en otros casos la plantación de especies de rápido crecimiento en áreas con pastos y rastrojos, ha traído un decrecimiento considerable en el rendimiento hídrico durante la estación seca (Sampurno, 1997:2).

12. Programa de Incentivos Forestales (PINFOR) en Guatemala. El Programa de Incentivos Forestales (PINFOR) es una herramienta de la política forestal nacional a largo plazo, que inició en 1997 y que tiene vigencia hasta el año 2016. Este programa fue creado de tal manera que el Estado otorga incentivos, por medio del INAB y el Ministerio de Finanzas Públicas, a los propietarios de tierras que se dediquen a proyectos de reforestación (establecimiento y manejo de plantaciones forestales y/o regeneración natural) en tierras de vocación forestal desprovistas de bosque, así como proyectos de protección y producción en bosques naturales (manejo sostenible y silvicultura con fines ambientales) (Ley Forestal, 1996:24).

El Estado destina anualmente una partida en el Presupuesto de Ingresos y Egresos de la Nación al INAB para otorgar los incentivos forestales, equivalente al 1% de los Ingresos Ordinarios del Estado (Ley Forestal, 1996:25). Este monto asciende a un promedio anual de US\$ 52 millones, aunque la asignación real promedio anual ha sido de US\$ 14 millones (Gálvez et al. 2002 citado por Alvarado, 2003:14).

El PINFOR tiene como misión fomentar la creación de núcleos de producción forestal regional para impulsar la oferta de productos forestales competitivos, reducir la deforestación, generar servicios ambientales y empleo en el área rural. Su visión es promover una mayor incorporación de la población guatemalteca al sector forestal (Regalado, 2004:11).

Según el Reglamento del PINFOR (2004:2) los objetivos de dicho programa son:

- Mantener y mejorar la producción forestal sostenible, incorporando los bosques naturales a la actividad económica productiva.
- Incorporar tierras de vocación forestal desprovistas de bosque a la actividad forestal, a través del establecimiento y mantenimiento de plantaciones forestales y/o regeneración natural.

- Generar una masa crítica de bosques productores de materia prima, para el desarrollo de la industria forestal.
- Incentivar el mantenimiento y la creación de bosques para la generación de servicios ambientales.

Los beneficiarios pueden ser municipalidades y comunidades, pequeños, medianos y grandes propietarios, y grupos sociales organizados, sí cumplen con los requisitos. El INAB por su parte deberá distribuir el monto total anual de incentivos forestales de la siguiente manera (Ley Forestal, 1996:26):

	Pequeños propietarios (en áreas menores de 15 ha)	Grandes propietarios (en áreas mayores a 15 ha)	Total
Reforestación y Mantenimiento de Bosques voluntarios	40%	40%	80%
Manejo de bosques naturales	10%	10%	20%
Total	50%	50%	100%

El área mínima de terreno para ingresar al PINFOR es de dos hectáreas (tres manzanas) ubicadas en el mismo municipio, pertenecientes a uno o varios propietarios (Ley Forestal, 1996:25). Además, las solicitudes para la aprobación de proyectos deben constar de los siguientes documentos: formato de solicitud, registro de título de propiedad otorgado por el Registro de la Propiedad de Inmueble, calificación de tierras por capacidad de uso (únicamente para proyectos de reforestación), plan de reforestación si el proyecto es mayor de 15 ha, o plan de manejo forestal de bosque natural, entre otros (Reglamento del PINFOR, 2004:6).

Después del análisis técnico y jurídico del proyecto, se decide si se aprueba o no su ingreso al programa. En caso de ser aprobado se hace un “contrato de cumplimiento” en el que el beneficiario se compromete a la ejecución de las actividades contempladas en el plan aprobado a lo largo de su duración (Reglamento del PINFOR, 2004:13).

El beneficiario debe iniciar la ejecución de las actividades planificadas y aprobadas conforme al cronograma para cada año del período del proyecto. Cada año se evalúa en los meses de enero a julio, adicionalmente a las inspecciones técnicas que el INAB realice, el cumplimiento de las actividades contempladas en dicho plan, para determinar si procede el pago de los incentivos (Reglamento del PINFOR, 2004:9).

Los parámetros técnicos que se evalúan anualmente en las plantaciones para poder otorgarles a sus propietarios el incentivo, tal como se indica en el Reglamento del PINFOR (2004:9) son:

- El área evaluada en el campo debe ser el 100% del área propuesta en el plan de reforestación. El incentivo se otorga solamente para el área plantada y que cumpla con los parámetros a evaluar.
- La cantidad de plantas que llegan con vida al final de cada año (sobrevivencia), tomando como punto inicial la fecha de plantación. Se acepta como índices mínimos certificables los siguientes:

Al final del primer año:	85% de la densidad final
Al final del segundo año:	80% de la densidad final
Al final del tercer año:	75% de la densidad final
Al final del cuarto año:	75% de la densidad final

Estos índices se aplican para proyectos que no requieren raleos en los primeros cuatro años, y para los siguientes años no se evalúa este parámetro.

- La cantidad de plantas vivas por unidad de área, expresada en porcentaje, que se encuentra libre de daños irreversibles por plagas y enfermedades. El límite mínimo certificable de plantas sanas por hectárea es del 75% de la densidad correspondiente al año de evaluación.
- Establecimiento de medidas de protección tendientes a prevenir daños causados por incendios forestales (brechas y rondas corta fuegos). Se evalúan conforme las medidas de longitud, anchura, ubicación especificadas en el plan de reforestación y deben ser ejecutadas en un 100% al momento de la evaluación.
- Ejecución de labores culturales, es decir, actividades de limpieza de la plantación para eliminar malezas. Deben estar realizadas en un 100% conforme a lo planificado y en función de las condiciones ecológicas de las especies al momento de la evaluación.
- Las medidas silviculturales propuestas en el plan de manejo forestal de plantación, las cuales deberán estar realizadas en un 100% según lo planificado.

Por su parte, los parámetros técnicos que se evalúan anualmente en los bosques naturales para poder otorgarles a sus propietarios el incentivo (producción y protección)², tal como se indica en el Reglamento del PINFOR (2004:11) son:

- El área evaluada en el campo debe ser el 100% del área propuesta en el plan de manejo. El incentivo se otorga solamente para el área bajo manejo y que cumpla con los parámetros a evaluar.
- La ejecución de las actividades de aprovechamiento forestal de acuerdo con el plan de manejo forestal de bosques naturales aprobado, reflejado en la extracción del volumen autorizado en el área intervenida.
- La regeneración del bosque en cuanto a la presencia en cantidad y distribución espacial de la regeneración del recurso forestal o de las actividades realizadas.
- Implementación de medidas de protección contra incendios forestales (brechas y rondas corta fuegos). Se evalúan conforme las medidas de longitud, anchura, y ubicación especificadas en el plan de manejo. Así también, medidas de protección contra otro tipo de agentes nocivos al bosque.
- Las medidas silviculturales propuestas en el plan de manejo, las cuales deberán estar realizadas en un 100% según lo planificado.

Desde el inicio del PINFOR hasta el 2007, se han registrado a nivel país un total de 73,416.17 hectáreas reforestadas, 137,063.14 hectáreas de bosques naturales bajo manejo para protección y producción, un total de 4,311 proyectos beneficiados y 162 mil empleos generados en el área rural. Además, 7 de las 12 especies seleccionadas como prioritarias con base a sus características silviculturales, físico-mecánicas y demanda del mercado, han sido seleccionadas principalmente para los proyectos de reforestación, a saber: *Tectona grandis*, *Pinus maximinoi*, *P. caribaea*, *P. oocarpa*, *Cupressus lusitanica*, *Gmelina arborea* y *Cybistax donnell-smithii*. (INAB, 2009; Gálvez et al. 2002 citado por Alvarado, 2003:15).

² Para los proyectos de producción se aplican todos los puntos expuestos y para los proyectos de protección únicamente además del área los últimos dos puntos.

B. Marco referencial

1. Ubicación geográfica y político administrativa del área de estudio. El área bajo estudio se ubica en la Cuenca del Río Achiguate, desde su límite superior hasta el punto de aforo entre las subcuencas Guacalate, Achiguate, Ceniza y Mazate. Está comprendida entre las coordenadas geográficas 14°39'36" a 14°10'12" latitud norte y 90°58'48" a 90°39'36" longitud oeste (Figura 3). Las coordenadas entre las que se localiza en el sistema Universal Transverse Mercator -UTM- son de 1,621.85 mts a 1,567.55 mts norte y de 717.91 mts a 752.11 mts este.

Se encuentra en los municipios de Parramos; San Juan Alotenango, Ciudad Vieja, Antigua Guatemala, San Miguel Dueñas, San Antonio Aguas Calientes, Santa Catarina Barahona, Pastores y Jocotenango, de los departamentos de Chimaltenango y Sacatepéquez respectivamente. Pero también se localiza parcialmente en los municipios de Acatenango, Chimaltenango, El Tejar, San Andrés Itzapa, San Pedro Yepocapa; Magdalena Milpas Altas, San Bartolomé Milpas Altas, Santiago Sacatepéquez, San Lucas Sacatepéquez, Santa Lucía Milpas Altas, Santa María de Jesús, Sumpango; Villa Nueva; Escuintla, La Democracia, Masagua y Siquinalá, de los departamentos de Chimaltenango, Sacatepéquez, Guatemala y Escuintla respectivamente.

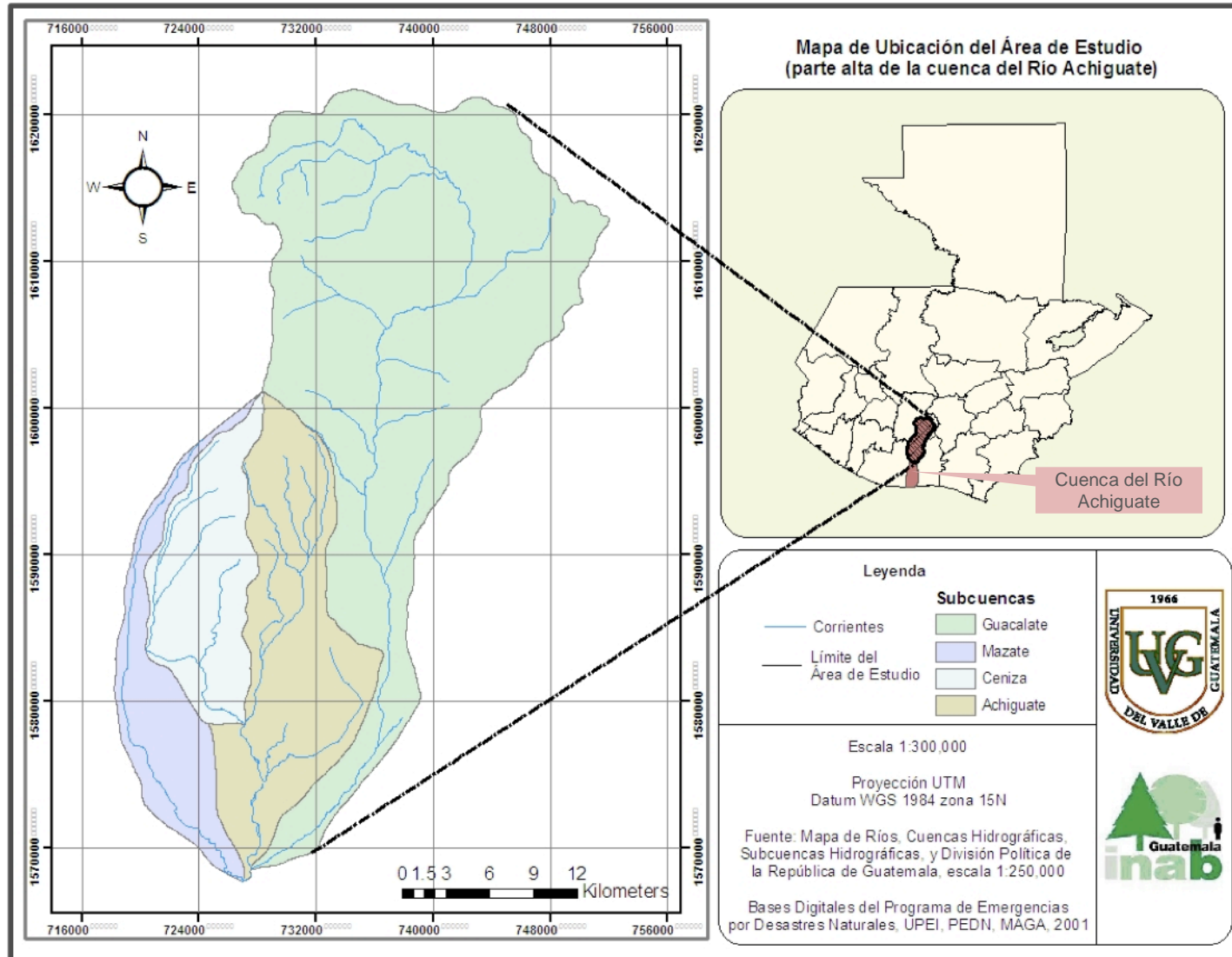
2. Extensión y rangos de altura. El área de estudio ocupa una extensión de 964.49 kms² y tiene un perímetro de 150.08 km. Las coordenadas geográficas del punto de aforo son 14°10'12" latitud norte y 90°54'0" longitud oeste y en sistema UTM 1,567.55 mts norte y 726.66 mts este.

La máxima altura dentro del área de estudio está a 3,970 msnm en el cráter del volcán Acatenango, ubicado entre los municipios de Acatenango, San Miguel Dueñas y San Juan Alotenango. La parte baja es representada por una altura aproximada de 80 msnm en el punto de aforo, ubicado entre los municipios de La Democracia y Masagua.

3. Hidrografía y relieve. La República de Guatemala presenta dos grandes regiones hidrográficas determinadas por el sistema orográfico. La primera región está formada por los ríos que desembocan en el Océano Pacífico (vertiente del Océano Pacífico) y la segunda región por los ríos que desembocan en el Océano Atlántico, la cual se subdivide en los ríos que desembocan en el Golfo de México (vertiente del Golfo de México) y los ríos que desembocan en el Golfo de Honduras (vertiente del Océano Atlántico) (MAGA 1991 citado por INAB, 2005:16).

El río Achiguate forma parte de la vertiente del Pacífico y considerando únicamente el área de estudio, se forma directamente de las aguas que drenan los ríos Mazate, Escalante, Guacalate, Agua Zarza, Las Marías, Provincias, Ceniza, El Tigre, y Los Encuentros, como también de los Riachuelos Monte Ramos y Cuncún. Todos estos afluentes su vez son abastecidos por otros ríos, riachuelos y quebradas. Los ríos y riachuelos mencionados son tributarios permanentes.

Figura 3. Ubicación del área de estudio.



El relieve del área de estudio se caracteriza por ser bastante plano a moderadamente ondulado en la parte baja, a ondulado y altamente ondulado en la parte alta, con pendientes bastante fuertes en donde se encuentran los volcanes (Figura 4). Las pendientes promedio en toda el área de estudio son muy diversas de tal manera que éstas se describen con detalle a continuación (ver Figura 4):

- Pendientes promedio menores o iguales al 8% cubren una gran porción de la parte baja del área de estudio aproximadamente en un 32.39%, y pendientes promedio entre 8-16% ocupan un 23.64% del área y se ubican en algunas áreas de la parte media y alta.
- Pendientes entre 16-26% se encuentran distribuidas principalmente en las faldas de los volcanes y en las áreas accidentadas de la parte media y alta cubriendo un 26.32% del área. Pendientes entre 26-36% se concentran en las mismas áreas ocupando un 7.20%.
- Por su parte, pendientes entre 36-55% ocupan un 8.51% del área y se encuentran en las partes más altas de los volcanes así como en la zona alta de la cuenca, en las áreas más accidentadas.
- Finalmente, en las partes más altas de los volcanes las pendientes son mayores al 55% y representan 1.94% del área total bajo estudio. Estas pendientes también se localizan en las áreas accidentadas de la parte alta de la cuenca.

4. Clima. Las condiciones climáticas en el área de estudio se describen a continuación en base a la clasificación de Thornwhite, Köppen y Holdridge.

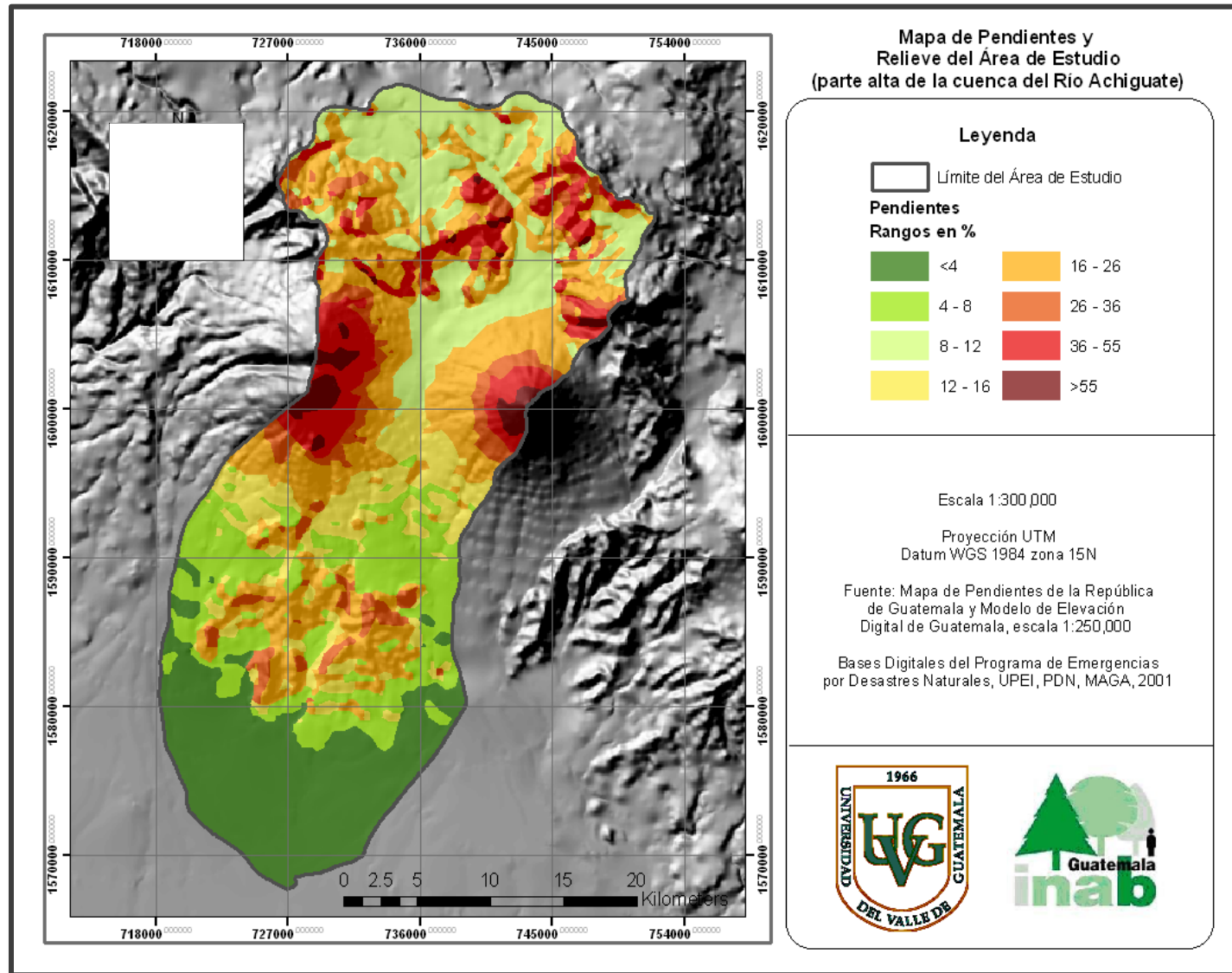
a. Clasificación de Thornwhite. Según el Mapa de Clasificación Climática por Thornwhite de la Republica de Guatemala (UPEI, PEDN y MAGA, 2001), escala 1:250,000, la parte baja del área de estudio presenta un clima muy húmedo con una temperatura cálida y la vegetación representativa es la selva. La parte media baja presenta un clima muy húmedo con una temperatura semi cálida y una vegetación representativa similar. La parte alta tiene un clima húmedo con una temperatura templada y la vegetación representativa es el bosque, mientras que los extremos este y oeste de la parte media alta donde se ubican los volcanes, tienen un clima húmedo con una temperatura semi fría e igualmente el bosque es la vegetación representativa.

b. Clasificación de Köppen. Según el Mapa de Clasificación Climática de Köppen de la República de Guatemala (UPEI, PEDN y MAGA, 2001), escala 1:250,000, en una pequeña porción de la parte más baja del área de estudio el clima es caliente húmedo, con una temperatura menor a 18°C en el mes más frío. Se presentan lluvias en verano y por lo menos 1 mes tiene una precipitación mayor a los 60 mm. Entre el mes más frío y el mes más caliente se registra una diferencia en temperatura mayor a 5°C, y la marcha de la temperatura es de tipo ganges, es decir, el mes más caliente se registra antes del solsticio de verano y de la temporada lluviosa.

El resto de la parte baja del área de estudio se caracteriza porque su clima es caliente húmedo con una temperatura en el mes más frío menor a 18°C. Las lluvias son abundantes en verano y con influencia de monzón. También se presenta una diferencia en temperatura mayor a 5°C entre el mes más frío y el mes más caliente, y una marcha de la temperatura tipo ganges.

Toda la parte alta del área de estudio se caracteriza porque su clima es templado subhúmedo con inviernos benignos. Se presentan lluvias en verano y por lo menos 1 mes tiene una precipitación mayor a los 60 mm. El verano es fresco con una temperatura media en el mes más caliente mayor a los 22°C, se registra una diferencia en temperatura mayor a 5°C entre el mes más frío y el más caliente, y una marcha de la temperatura tipo ganges.

Figura 4. Pendientes y relieve del área de estudio.



c. **Clasificación de Holdridge.** Con base al Mapa de Zonas de Vida de Holdridge de la República de Guatemala (UPEI, PEDN y MAGA, 2001), escala 1:250,000, las condiciones climáticas existentes en el área de estudio corresponden a las zonas de vida siguientes (Figura 5):

1) Bosque Muy Húmedo Subtropical (cálido) (bmh-S(c)). Las condiciones climáticas son variables por la influencia de los vientos. El régimen de lluvias es de mayor duración, por lo que influye grandemente en la composición florística y en la fisionomía de la vegetación. El patrón de lluvia varía entre 2,136 mm y 4,327 mm en la Costa Sur, promediando 3,284 mm de precipitación total anual. Las biotemperaturas van de 21°C a 25°C para la Costa sur y la evapotranspiración potencial en promedio es 0.45.

Los terrenos de esta zona de vida son de topografía plana hasta accidentada. La elevación varía desde 80 msnm y 1,600 msnm. La vegetación natural es una de las más ricas en su composición florística, siendo algunas de las especies indicadoras las siguientes: *Terminalia oblonga*, *Enterolobium cyclocarpum*, *Cybistax donnell-smithii*, etc. (Cruz, 1982:22).

Esta zona de vida se encuentra en toda la parte baja y media, así como también, a lo largo de una pequeña parte entre los volcanes Acatenango y Fuego con respecto al volcán de Agua, que se prolonga hacia la parte alta del área bajo estudio (hasta casi la mitad del municipio de San Antonio Aguas Calientes). Ocupa un 57.20% del área total y se extiende aproximadamente desde los 100 msnm hasta los 1,700 msnm.

2) Bosque Húmedo Montano Bajo Subtropical (bh-MB). El patrón de lluvias varía entre 1,057 mm y 1,588 mm con un promedio de 1,344 mm de precipitación anual. Las biotemperaturas van de 15°C a 23°C y la evapotranspiración potencial puede estimarse en promedio de 0.75.

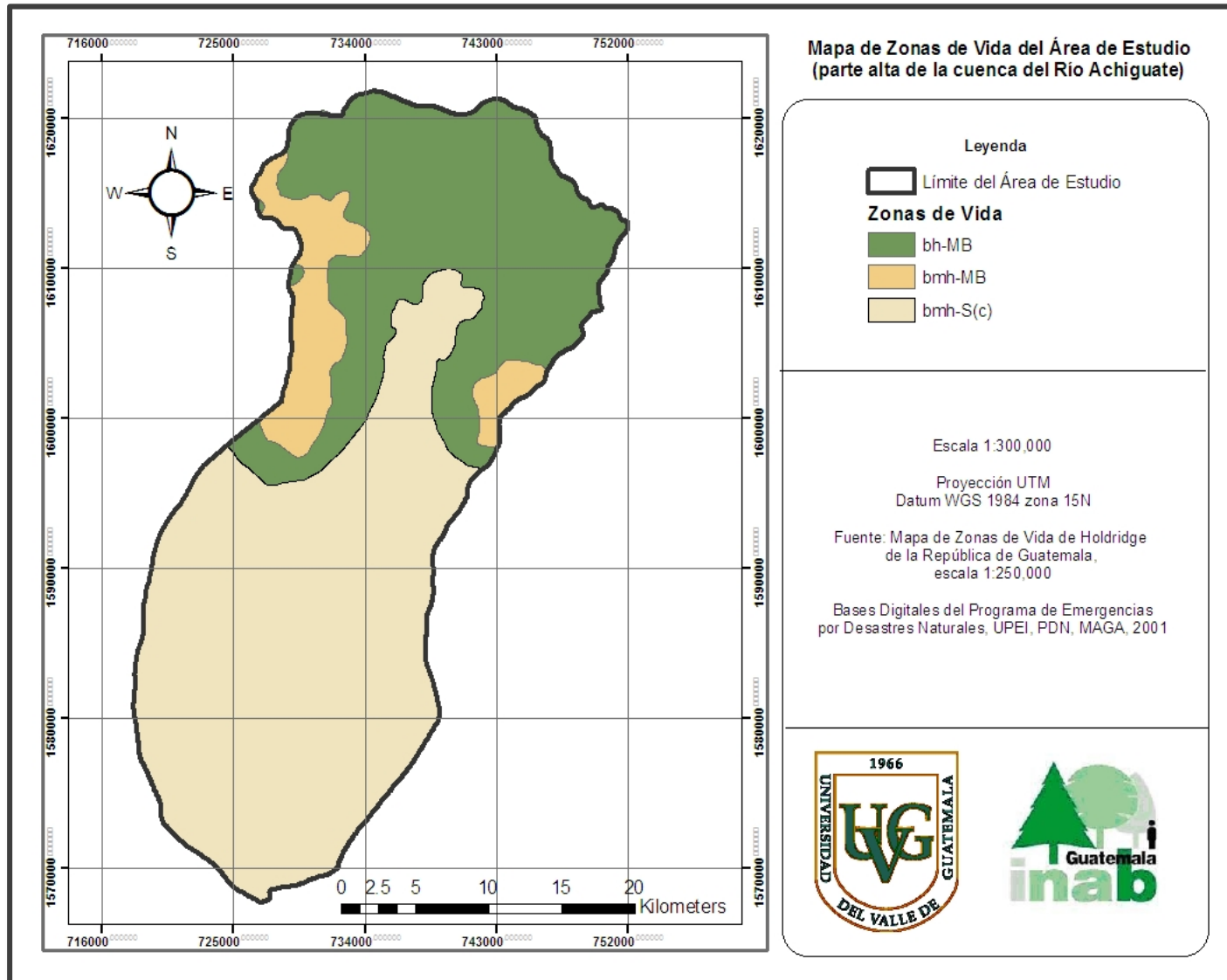
Su topografía en general es plana y está dedicada a cultivos agrícolas, sin embargo, las áreas accidentadas están cubiertas por vegetación. La elevación varía entre 1,500 msnm y 2,400 msnm. La vegetación natural que es típica de la parte central del altiplano está representada por rodales de *Quercus spp.* asociados generalmente con *Pinus pseudostrobus* y *Pinus montezumae*. Puede observarse *Juniperus comitana* en forma de individuos aislados y también *Alnus jorullensis*, *Ostrya spp.* y *Carpinus spp.* son bastante frecuentes en esta formación (Cruz, 1982:30).

Dentro del área de estudio esta zona de vida se encuentra en casi toda la parte alta y se extiende a lo largo de las faldas de los volcanes. Además, se pueden observar dos áreas ubicadas en el extremo oeste de la parte alta (en los municipios de Acatenango y San Andrés Itzapa) que también pertenecen a esta zona de vida. Ocupa un 34.44% del área total y se extiende aproximadamente desde los 1,500 msnm hasta los 2,400 msnm.

3) Bosque Muy Húmedo Montano Bajo Subtropical (bmh-MB). La precipitación total anual va de 2,065 mm a 3,900 mm promediando 2,730 mm. Las biotemperaturas van de 12.5°C a 18.6°C y la evapotranspiración potencial se estima en 0.35.

La topografía generalmente es accidentada sobre todo en las laderas de los volcanes de Agua, Fuego, Acatenango, Atitlán y Tolimán. La elevación va de 1,800 msnm a 3,000 msnm. La vegetación natural predominante que puede considerarse como indicadora es: *Cupressus lusitanica*, *Chiranthodendron pentadactylon*, *Pinus ayacahuite*, *Pinus hartwegii*, y *Pinus pseudostrobus* que se encuentra mezclado con las anteriores por ser común en toda la zona de vida (Cruz, 1982:32).

Figura 5. Zonas de vida de Holdridge del área de estudio.



Esta zona de vida se encuentra principalmente en los extremos este y oeste de la parte media alta del área de estudio, casi exclusivamente en la parte alta de los volcanes. Ocupa un 8.36% del área total y se extiende aproximadamente desde los 2,100 msnm hasta los 3,900 msnm.

5. Suelos. Con base al Mapa de Clasificación Taxonómica de Suelos Primera Aproximación de la República de Guatemala (UPEI, PEDN y MAGA, 2001), escala 1:250,000, en el área de estudio se encuentran los siguientes órdenes y sub-órdenes taxonómicos (Figura 6):

a. Descripción de órdenes y subórdenes de suelos.

1) Orden Andisol.

a) Suborden Udands (Dd). Andisoles que no están secos en su interior por más de 90 días en el año, por lo que tienen un adecuado contenido de humedad la mayor parte del mismo. Son suelos con alto potencial para la agricultura, pero deben considerarse las limitaciones que presentan en términos generales los andisoles: erodabilidad, alta retención de fosfatos, y el riesgo de erosión hídrica como consecuencia de la alta pluviosidad en los lugares donde están presentes estos suelos (MAGA, 2000:26).

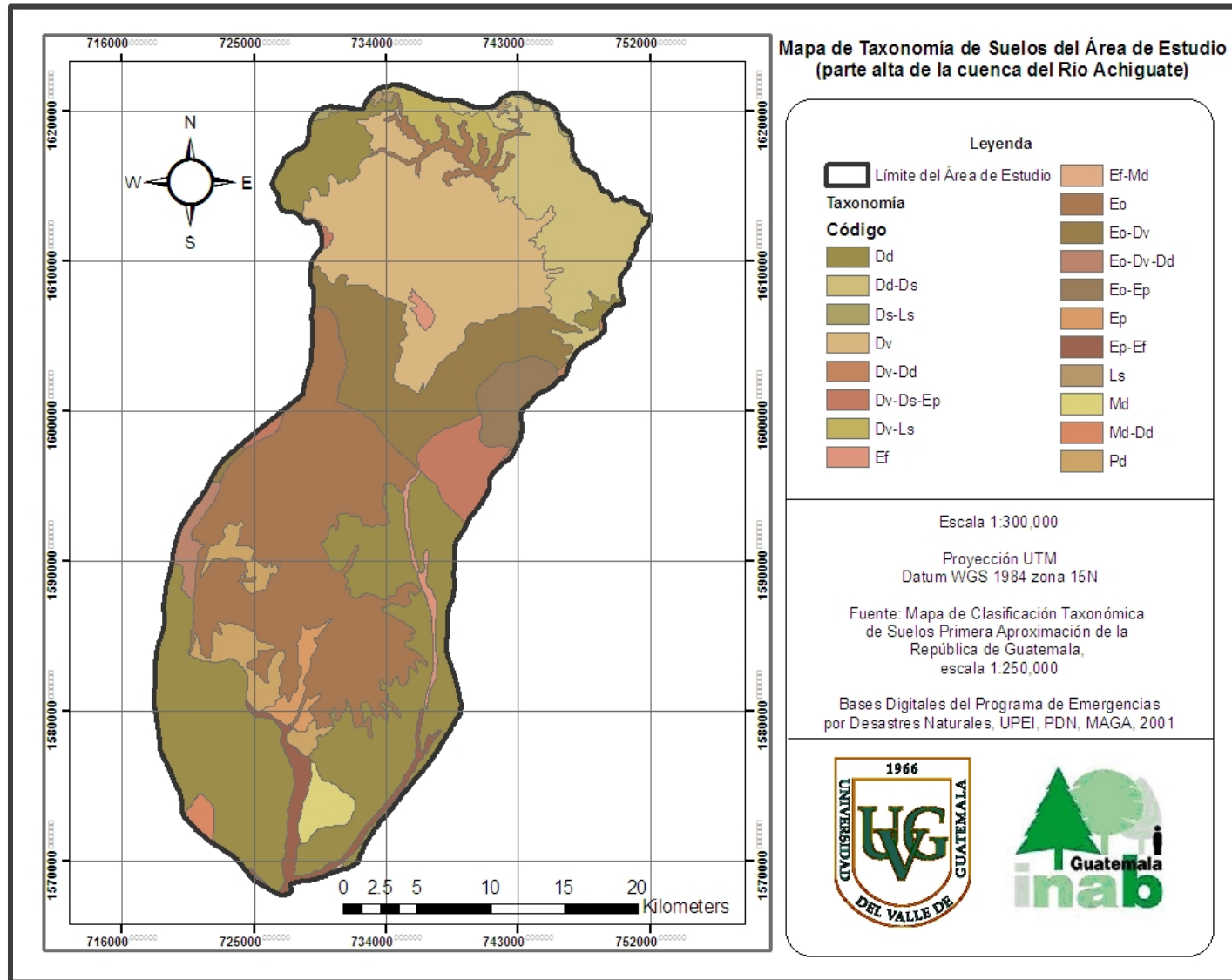
b) Suborden Ustands (Ds). Este suborden posee propiedades ándicas con características de suelo Ústico, de regular a alto potencial fértil. Además, la deficiente humedad del suelo constituye su limitante de uso junto con la retención de fosfatos y la erodabilidad. Contiene buenas características físicas, de regular a alta saturación de bases y de regular a alto contenido de materia orgánica. Estos suelos son de los Andisoles que están secos entre 90 y 180 días del año en su interior (MAGA, 2000:26; INAB, 2005:21).

c) Suborden Vitrandis (Dv). Son suelos con alto contenido de vidrio volcánico lo que hace que tengan texturas gruesas (arenosas) y una baja retención de agua. Por ser suelos bastante arenosos demandan mayor cantidad de agua para actividades productivas agrícolas, sin embargo, por sus características físicas son fácilmente labrables. Una limitante lo constituye las pendientes fuertes en las cuales se les encuentra en muchos casos (MAGA, 2000:26).

2) Orden Alfisol.

a) Suborden Ustalfs (Ls). Este suborden presenta un horizonte Argílico con saturación de bases de regular a alta (>35%). Contiene características de suelo Ústico, con potencial fértil de regular a bueno, y la humedad del suelo es deficiente lo que constituye una limitante en su uso. Contiene buenas características físicas con un contenido de materia orgánica de regular a bajo. Ofrece buenas condiciones para la producción agropecuaria, pero en caso de actividades agrícolas, se requiere la suplementación de agua para tener cultivos con más de una cosecha por año (MAGA, 2000:25; INAB, 2005:19).

Figura 6. Taxonomía de suelos del área de estudio.



3) Orden Entisol.

a) **Suborden Psamments (Ep).** Son los Entisoles más arenosos que se encuentran en superficies poco inclinadas y con menos del 35% de fragmentos rocosos. Generalmente se encuentran en las áreas más cercanas a los ríos o en áreas de actividad volcánica muy reciente. A diferencia de los Fluvents no tienen capas deposicionales de materiales minerales en su interior. En muchas áreas están cubiertos con bosque de galería y en otros casos están cultivados y forman parte de lo que los agricultores llaman suelos de vega. En los casos que se dispone de agua en abundancia pueden ser bastante productivos, puesto que tienen poca retención de humedad. La pedregosidad muchas veces es una limitante para la producción. Por su naturaleza arenosa en muchos casos su contenido orgánico es muy bajo, por lo que su fertilidad se ve afectada (MAGA, 2000:27).

b) **Suborden Fluvents (Ef).** Suelos no arenosos con capas alternas de materiales orgánicos y minerales, generalmente están localizados en las proximidades de los ríos, y las pendientes más comunes son menores del 25%. Para la producción agropecuaria ofrecen muy buen potencial, salvo cuando tienen algunas limitantes tales como pedregosidad externa, niveles freáticos superficiales o el agua es deficiente para cubrir las necesidades de las plantas (MAGA, 2000:27).

c) **Suborden Orthents (Eo).** Las características de este suborden son que solo contiene Epipedón, baja fertilidad, variable humedad del suelo, malas características físicas y variable saturación de bases. También contiene bajo contenido de materia orgánica. Sus limitantes de uso son la pedregosidad y baja profundidad del suelo. Se caracterizan por poseer profundidad variable, aunque la mayoría son poco o muy poco profundos. Estos suelos están ubicados generalmente en áreas de fuertes pendientes, aunque existen también en áreas de pendiente moderada a suave, en donde se han originado a partir de deposiciones o coluviamientos gruesos y recientes. Son los entisoles menos apropiados para actividades agrícolas sobre todo cuando están en superficies inclinadas, pues entre sus limitaciones están: la poca profundidad efectiva, en muchos casos la pedregosidad interna y los afloramientos rocosos. Se hace referencia a que si estos suelos han perdido su cubierta natural, pueden ser aptos para producción forestal o sistemas agroforestales (INAB, 2005:21).

4) Orden Mollisol.

a) **Suborden Udolls (Md).** Mollisoles que no están secos por más de 90 días en su interior. Tienen un adecuado contenido de humedad la mayor parte del año. Por sus características físicas, químicas y por la disponibilidad de humedad en el año, son los suelos más adecuados para el manejo agropecuario (MAGA, 2000:30).

5) Orden Inceptisol.

a) **Suborden Udepts (Pd).** Inceptisoles que no están secos en su interior por más de 90 días. Tienen un adecuado contenido de humedad la mayor parte del año. Generalmente presentan buenas condiciones para actividades productivas, pero cuando se encuentran en regiones de alta pluviosidad, demandan reposición de nutrientes para hacerlos productivos (MAGA, 2000:29).

b. Asociación de subórdenes. La Primera Aproximación al Mapa de Clasificación Taxonómica de los Suelos de Guatemala, fue preparada sobre la base de asociaciones de dos o más unidades de clasificación, a nivel de suborden de la Taxonomía de Suelos. Las unidades de clasificación que están en forma asociada, sus nombres aparecen separados por guiones y el nombre del primer suelo es superior en superficie al nombre que aparece enseguida. Por ejemplo, en la asociación Udands-Ustands los Udands ocupan más superficie relativa dentro de la unidad de mapeo en relación a los Ustands (INAB, 2005:22). Las asociaciones de unidades de clasificación de suelos que se encuentran en el área bajo estudio se presentan en el Cuadro 1. Con a este cuadro las clases texturales más representativas en la cuenca son Dd (26.8%), Eo (23.4%) y Dv (16%).

Cuadro 1. Clasificación taxonómica de suelos en la parte alta de la cuenca del Río Achiguate.

Código	Clasificación taxonómica	Área (Ha)	Porcentaje de la cuenca	Municipio
Dd-Ds	Udands-Ustands	8,147.10	8.45%	El Tejar, Sumpango, Pastores, Jocotenango, Santiago Sacatepéquez, San Bartolomé Milpas Altas, Antigua Guatemala, San Lucas Sacatepéquez, Villa Nueva, Santa Lucía Milpas Altas, Magdalena Milpas Altas y Santa María de Jesús
Dd	Udands	25,869.23	26.82%	Siquinalá, La Democracia, Escuintla, Masagua, San Juan Alotenango, Antigua Guatemala, Magdalena Milpas Altas, Chimaltenango y San Andrés Itzapa
Ds-Ls	Ustands-Ustalfs	363.20	0.38%	San Andrés Itzapa, Sumpango, Santiago Sacatepéquez, Antigua Guatemala, San Bartolomé Milpas Altas, San Lucas Sacatepéquez, Villa Nueva, Santa Lucía Milpas Altas y Magdalena Milpas Altas
Dv-Dd	Vitrands-Udands	145.50	0.15%	Escuintla, Santa María de Jesús, Antigua Guatemala y Magdalena Milpas Altas
Dv-Ds-Ep	Vitrands-Ustands-Psamments	2,763.58	2.87%	Siquinalá, San Juan Alotenango, Escuintla, San Andrés Itzapa y Acatenango
Dv-Ls	Vitrands-Ustalfs	1,586.36	1.64%	Chimaltenango, El Tejar, Parramos, Pastores y Sumpango
Dv	Vitrands	15,407.02	15.97%	San Juan Alotenango, Ciudad Vieja, San Miguel Dueñas, Acatenango, San Andrés Itzapa, Parramos, Santa Catarina Barahona, San Antonio Aguas Calientes, Antigua Guatemala, Jocotenango, Pastores, El Tejar y Chimaltenango
Ef	Fluvents	748.92	0.78%	San Miguel Dueñas, San Juan Alotenango y Escuintla

Continuación Cuadro 1

Código	Clasificación taxonómica	Área (Ha)	Porcentaje de la cuenca	Municipio
Eo-Dv-Dd	Orthents-Vitrands-Udands	843.44	0.87%	Siquinalá
Eo-Dv	Orthents-Vitrands	8,887.42	9.21%	Siquinalá, Acatenango, San Miguel Dueñas, San Juan Alotenango, Ciudad Vieja, Antigua Guatemala y Santa María de Jesús
Eo-Ep	Orthents-Psamments	2,063.85	2.14%	Escuintla, San Juan Alotenango, Ciudad Vieja, Antigua Guatemala y Santa María de Jesús
Eo	Orthents	22,574.74	23.41%	Escuintla, San Juan Alotenango, Acatenango, San Miguel Dueñas, San Andrés Itzapa, Chimaltenango, El Tejar, Parramos, Pastores y Sumpango
Ep-Ef	Psamments-Fluents	1,722.69	1.79%	La Democracia, Masagua y Escuintla
Ep	Psamments	918.54	0.95%	Siquinalá y Escuintla
Ls	Ustalfs	192.61	0.20%	Chimaltenango y Sumpango
Md-Dd	Udolls- Udands	433.72	0.45%	La Democracia
Md	Udolls	1,084.73	1.12%	Escuintla
Pd	Udepts	2,648.04	2.75%	Siquinalá y Escuintla

Fuente: Elaboración propia en base a UPEI, PEDN y MAGA (2001).

6. Geología.

a. Regional. El sistema tectónico de América Central está definido por la conjunción de las placas de Norteamérica, Caribe y la Cocos. Las placas de Norteamérica y del Caribe que se desplazan en el sentido horizontal una con respecto a la otra, definen en Guatemala dos terrenos geológicos distintos: al Norte las rocas sedimentarias del Paleozoico y Mesozoico, y al Sur principalmente rocas ígneas recientes del Terciario y Cuaternario. Estas dos placas están separadas por la ocurrencia de los principales sistemas de fallas transcurrentes con desplazamiento siniestral (con orientación aproximada Este-Oeste), conocido como el sistema de fallas de Motagua, Chixoy-Polochic, Jocotán y de Jalpatagua, correspondiendo esta región al cinturón plegado metamórfico (INSIVUMEH-BRGM 1997 citado por INAB, 2005:23).

En la parte sur centroamericana la Placa de Cocos se dispone en forma paralela frente a las costas del Pacífico, entre los 110 km y 150 km de distancia de la línea de costa. Define la Fosa Mesoamericana conocida como la zona de subducción, que es el lugar de choque de una placa oceánica (Placa de Cocos) con una continental (porción oeste de la Placa del Caribe) (Herrera 2002 citado por INAB, 2005:23). La Placa de Cocos se introduce debajo de la Placa del Caribe, alcanzando frente a la costa de Guatemala la mayor profundidad (6,700 mts) y una sismicidad intermedia (Herrera 2002 citado por INAB, 2005:23).

El proceso de subducción se realiza principalmente por la mayor densidad de la placa oceánica que presenta valores de 3 g/cc, que se sumerge bajo la Placa del Caribe debido a que ésta posee menor densidad (2.5 a 2.7 g/cc) y cabalga sobre la corteza oceánica. Este choque y subducción entre placas trae como consecuencia el apareamiento de sismicidad y vulcanismo. Otro rasgo estructural muy característico de Guatemala, es la orientación noroeste-sureste casi perfecta de los edificios volcánicos, a los cuales se asocian los llamados *Horst y Graben*, o bien, *pilar y fosa tectónica* respectivamente, de rumbo norte-sur a lo largo de este cinturón volcánico, que ha dado origen a depresiones tectónicas-volcánicas recubiertas por depósitos volcánicos modernos (piroclastos) constituyendo valles anchos y mesetas. La formación de calderas dentro de la cadena volcánica es también muy típica, debido al colapso de grandes edificios volcánicos con la posterior formación de lagos y lagunas (Herrera 2002 citado por INAB, 2005:24).

b. Local. Con base al Mapa Geológico de la República de Guatemala (UPEI, PEDN y MAGA, 2001), escala 1:250,000, las unidades litológicas presentes en el área de estudio son las siguientes (Figura 7):

1) Rocas Volcánicas sin dividir del Terciario (Tv). Son las rocas ígneas que forman la mayor parte del cinturón volcánico estando comprendidas las lavas basálticas, andesíticas, riolitas, dacitas, tobas, ignimbritas y lahares. Estas rocas son el producto del vulcanismo mundial que tuvo lugar en el período Terciario Superior (Plioceno), agrupándose todas ellas en una sola unidad (Herrera 2002 citado por INAB, 2005:24).

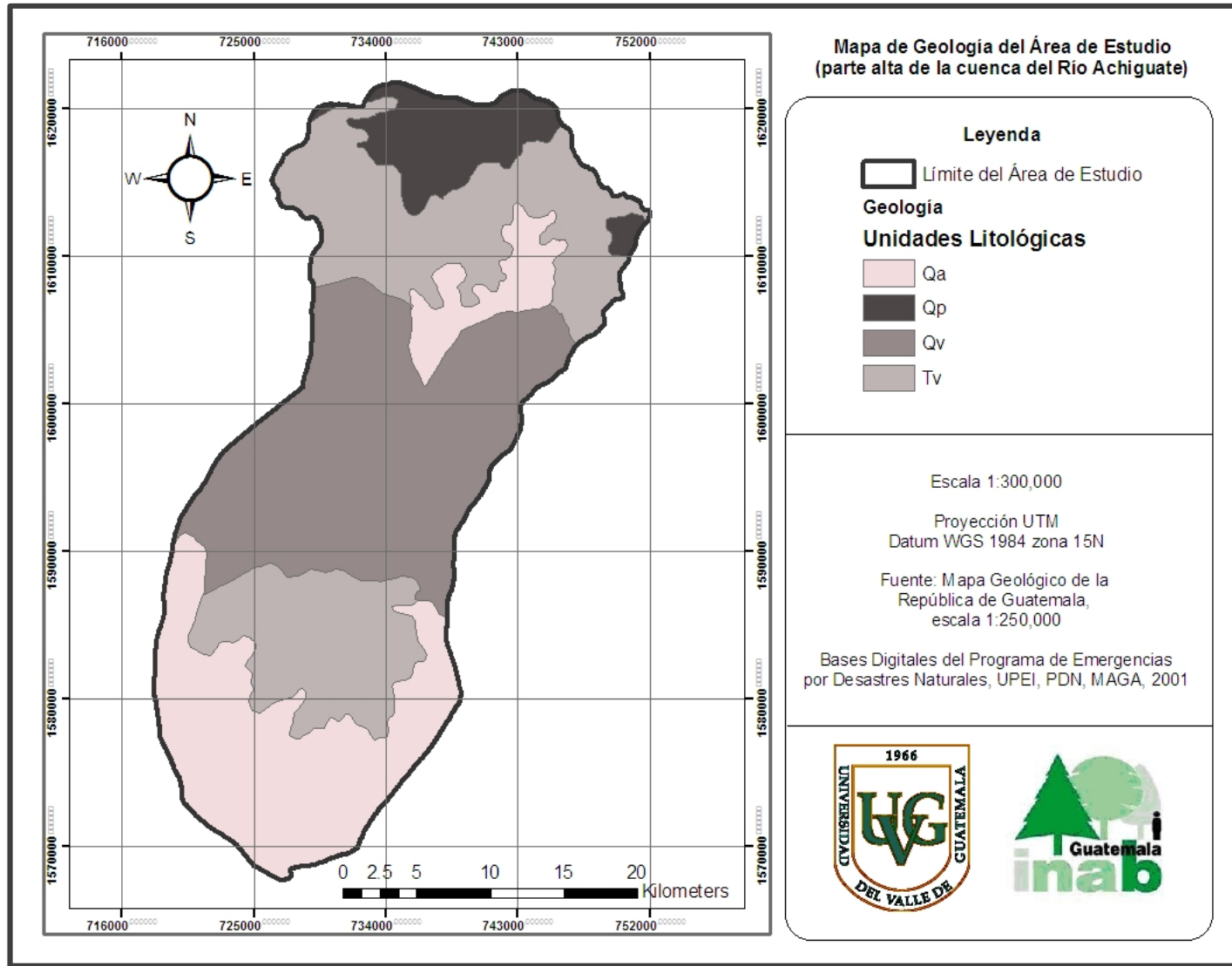
Las rocas volcánicas incluyen materiales con un alto rango de propiedades hidrogeológicas. Algunas andesitas y basaltos tienen transmisividades elevadas mientras que ciertas tobas tienen alta porosidad pero muy bajas permeabilidades. La porosidad de las rocas volcánicas no fracturadas varía de menos de 1% en basalto denso a más de 35% en pómez. Aunque la porosidad puede ser alta, la permeabilidad es principalmente función de otras estructuras primarias y secundarias dentro de la roca (Herrera 2002 citado por Noriega, 2005:17).

Esta unidad se extiende en el área de estudio en una porción accidentada de la parte baja central, específicamente en la Montaña el Nispero, Montaña el Zapote y en el Cerro Piedra Partida, ubicados en los municipios de Siquinalá y Escuintla. También a lo largo del área altamente accidentada de la parte alta donde se ubican las aldeas de Santiago Zamora en San Antonio Aguas Calientes; Chicasanga, Chimachoy y Xeparquiy en San Andrés Itzapa; Parrojas en Parramos; El Hato, San Mateo Milpas Altas y San Cristóbal el Alto en Antigua Guatemala; y San Miguel Milpas Altas en Magdalena Milpas Altas, como también en los poblados de San Andrés Itzapa (una parte), Santa Catarina Barahona, San Miguel Dueñas, San Antonio Aguas Calientes (una parte), y Pastores por mencionar algunos. Ocupa un 32.16% del área total.

2) Rocas Volcánicas del Cuaternario (Qv). Esta unidad de rocas ígneas debe su formación a la aparición de la cadena volcánica que se dio en el período Cuaternario, es decir, son las rocas volcánicas más recientes formadas por andecitas, basaltos, riolitas, lahares y tobas volcánicas, que se extienden de este a oeste en la franja central sur del país. Se pueden observar también al oeste de Santa Rosa. La edad de esta unidad se supone es del Pleistoceno, es decir, al principio del período cuaternario (Herrera 2002 citado por INAB, 2005:24).

En el área bajo estudio esta unidad se ubica a lo largo de toda la parte media en el municipio de San Juan Alotenango, y parte de los municipios de Escuintla, Siquinalá, San Miguel Dueñas, Ciudad Vieja, Antigua Guatemala y Santa María de Jesús. Ocupa un 33.70% del área total.

Figura 7. Geología del área de estudio.



3) Cenizas Volcánicas Cuaternarias (Qp). Esta clase de materiales, cenizas y pómez de origen volcánico se encuentran diseminados principalmente en el cinturón volcánico. Esta clase de rellenos piroclásticos llega al alcanzar en algunos lugares del país profundidades de hasta 100 mts de espesor, y la edad de estas rocas es del Cuaternario (Herrera 2002 citado por INAB, 2005:24). Litológicamente está formado por materiales de todas las fracciones granulométricas sueltos o muy poco consolidados, como pómez y depósito pomáceo eólico a veces estratificado. La unidad se caracteriza por las variaciones de permeabilidad aunque en conjunto constituye acuíferos de buena productividad (García, 2004:35).

En el área de estudio esta unidad se ubica en la parte alta en la altiplanicie donde se ubican las aldeas de San Lorenzo El Tejar en Pastores y San Miguel Morazán en El Tejar. Así mismo, en los poblados de Parramos, Sumpango, El Tejar y Chimaltenango por mencionar algunos. También se presenta en una pequeña parte del extremo noroeste donde se ubica el caserío Antic en San Andrés Itzapa, y en el extremo noreste en donde se ubican los poblados Santo Tomas Milpas Altas, Santa Lucía Milpas Altas y Magdalena Milpas Altas. Ocupa un 7.61% del área total.

4) Cenizas Volcánicas Cuaternarias (Qa). Litológicamente están formados por materiales de varios tamaños como gravas, arenas y arcillas, procedentes de la erosión de los depósitos volcánicos cuaternarios, y han sido depositados por acción de las aguas de los ríos. En la región de las tierras altas cristalinas, estos depósitos son poco representativos pero en la cuenca del Río Motagua, se han reportado espesores de unos 150 mts. Estos depósitos constituyen casi siempre un acuífero con porosidad primaria, de muy buena productividad, y con valores elevados de transmisibilidad y almacenamiento (García, 2004:35; Ávalos y Rosito, 2007:24).

En el área de estudio esta unidad se ubica en la parte baja en los poblados de Siquinalá, La Democracia, Masagua, y en parte de la ciudad de Escuintla. También en un sector al este de la parte media alta donde se ubican los poblados de Alotenango, Ciudad Vieja, y la Ciudad de Antigua Guatemala por mencionar algunos. Ocupa un 26.53% del área total bajo de estudio.

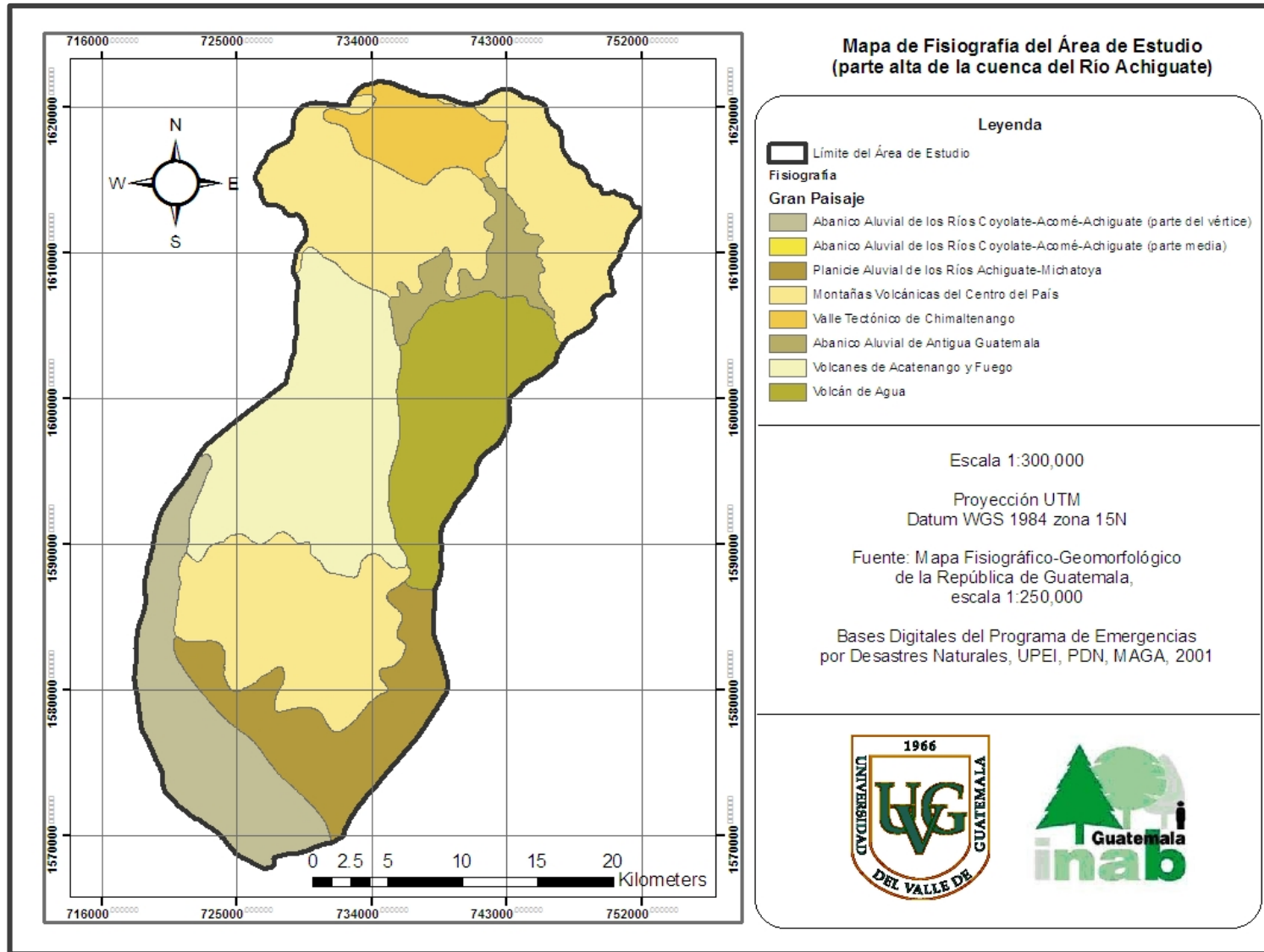
7. Fisiografía. Con base al Mapa Fisiográfico-Geomorfológico de la República de Guatemala (UPEI, PEDN y MAGA, 2001), escala 1:250,000, se presenta a continuación la clasificación de las unidades fisiográficas que se encuentran dentro del área bajo estudio (Figura 8).

Cuadro 2. Clasificación de las unidades fisiográficas.

Región fisiográfica	Subregión fisiográfica	Gran paisaje
Llanura Costera del Pacífico	Planicie Aluvial Costera (Madre Vieja-María Linda)	Abanico Aluvial de los Ríos Cuyolate-Acomé-Achiguate (parte del vértice)
		Abanico Aluvial de los Ríos Cuyolate-Acomé-Achiguate (parte media)
		Planicie Aluvial de los Ríos Achiguate-Michatoya
Tierras Altas Volcánicas	Zona Montañosa y Planicie Central (Tecpán-Jalpatagua)	Montañas Volcánicas del Centro del País
		Valle Tectónico de Chimaltenango
		Abanico Aluvial de Antigua Guatemala
		Volcanes de Acatenango y Fuego
		Volcán de Agua

Fuente: Elaboración propia en base a UPEI, PEDN y MAGA (2001).

Figura 8. Fisiografía del área de estudio.



a. Región Fisiográfica.

1) **Llanura Costera del Pacífico.** Comprende una franja de tierra en un espacio que va desde la frontera con México, Río Suchiate, hasta el Río Paz en la frontera con El Salvador. Parcialmente cubre los departamentos de San Marcos, Quetzaltenango, Retalhuleu, Suchitepéquez, Escuintla, Santa Rosa y Jutiapa. El límite con la región superior o del norte, Tierras volcánicas de la Bocacosta, difiere porque en las tierras del litoral del pacífico la geología está compuesta por Aluviones del Cuaternario, además, sus pendientes son menores en cuanto a inclinación. El límite sur de esta región lo constituye el Océano Pacífico (INAB, 2000:17).

2) **Tierras Altas Volcánicas.** La actividad volcánica que ha existido en esta región, ha generado erupciones de todo tipo de grietas que lanzaron cantidades de material principalmente basalto y riolacitas, que cubrieron las formaciones de tierras preexistentes desarrolladas sobre el basamento cristalino y sedimentario que se encuentra hacia el norte. La formación de esta región volcánica fue seguida por fallas causadas por la tensión local, la cual quebró y movió el material de la superficie (MAGA 2001 citado por INAB, 2005:26).

Varias cuencas de esta región han sido llenadas parcialmente o cubiertas con pómez cuaternaria, lo que proporciona un paisaje muy contrastante con las áreas volcánicas escabrosas que las rodean. Los valles en los que se localizan las ciudades de San Marcos, Quetzaltenango, Sololá, Chimaltenango y la Ciudad de Guatemala, son ejemplos de lo anterior y han sido centros de asentamiento cultural indígena. La laguna de Ayarza que es una caldera y el volcán de Ipala con su pequeño lago en su cráter, ofrecen formas de la tierra adicionales en contraste a los basaltos quebrados, masivos y cortados, que evidencian aún más el origen volcánico de la región (MAGA 2001 citado por INAB, 2005:26).

b. Subregión Fisiográfica.

1) **Planicie Aluvial Costera (Madre Vieja-María Linda).** Esta subregión se caracteriza porque su relieve es bastante plano con alturas que van de los 0 msnm a los 500 msnm. Tiene una presencia de drenajes del tipo trenzado y meándrico, se caracteriza porque los materiales geológicos que la componen son abanicos aluviales con bloques de lava, materiales laháricos y fluviales, además, porque existen áreas finas compuestas de andesita y basalto. La edad de estos materiales corresponde al Cuaternario (UPEI, PEDN y MAGA, 2001).

Esta subregión al igual que la región fisiográfica Llanura Costera del Pacífico, se localiza en la parte más baja y a lo largo de los extremos este y oeste de la parte media baja del área bajo estudio. Ocupa un 23.05% del área total.

2) **Zona Montañosa y Planicie Central (Tecpán-Jalpatagua).** Esta subregión tiene un relieve muy complejo con alturas de 500 msnm a 2,500 msnm, y los drenajes presentes son del tipo dendrítico, subdendrítico, paralelo, subparalelo, trellis y trenzado. Es un ambiente volcánico y los materiales geológicos que se observan son rocas volcánicas, andesitas y basaltos, flujos riolíticos (obsidianas y perlitas), materiales aluviales, sedimentos fluvio-lacustres, lahares y ceniza volcánica. La edad de estos materiales corresponde al Plioceno, Pleistoceno, Cuaternario Antiguo y Cuaternario (MAGA 2001 citado por INAB, 2005:26).

Esta subregión al igual que la región fisiográfica Tierras Altas Volcánicas, se localiza en el centro de la parte media baja, y a lo largo de toda la parte media y alta del área bajo estudio. Ocupa un 76.95% del área total.

c. Gran Paisaje

1) Abanico Aluvial de los Ríos Coyolate-Acomé-Achiguate (parte del vértice). La elevación en esta unidad oscila entre los 0 msnm a 1,000 msnm con una pendiente menor al 3%, y se caracteriza porque en la parte proximal y media los materiales geológicos que abundan son grandes bloques de lava en una matriz tobácea de abanicos laháricos y fluviales. El abanico es resultado del material aluvial transportado por los ríos y los fragmentos rocosos provienen del macizo de los volcanes de Fuego y Acatenango. La edad de estos materiales corresponde al Cuaternario, Pleistoceno y actual. Esta unidad se caracteriza porque tiene tres geoformas: Vértice del abanico aluvial, Parte Media y Distal del abanico aluvial. También porque tiene una topografía plana afectada por un microrelieve de antiguas canales fluviales o por la erosión posterior (UPEI, PEDN y MAGA, 2001).

Esta unidad se ubica en el área de estudio a lo largo de toda la parte suroeste en los municipios de Siquinalá, La Democracia y en una pequeña parte del municipio de Escuintla. Representa un 12.13% del área total.

2) Abanico Aluvial de los Ríos Coyolate-Acomé-Achiguate (parte media). Según UPEI, PEDN y MAGA (2001) esta unidad se caracteriza porque cuenta con las mismas características que la anterior. Se ubica precisamente en el punto más bajo del área bajo estudio y el área que cubre realmente no es representativa.

3) Planicie Aluvial de los Ríos Achiguate-Michatoya. Esta unidad tiene pendientes menores al 3% y se caracteriza por contar con un drenaje del tipo subdendrítico. Los materiales geológicos que se observan en gran dominancia son las fracciones volcánicas principalmente andesíticas y basálticas, las cuales constituyen abanicos laháricos y fluviales. Estos se han formado por el aporte de materiales volcánicos, realizado por los ríos y las quebradas correspondientes, que han bajado del altiplano central hasta la costa del Océano Pacífico. La edad de estos materiales corresponde al Cuaternario (UPEI, PEDN y MAGA, 2001).

Esta unidad se ubica en el área de estudio a lo largo de toda la parte sureste, en el municipio de Escuintla y en una pequeña parte del municipio de Masagua. Representa un 10.91% del área total.

4) Montañas Volcánicas del Centro del País. El relieve está caracterizado por valles con laderas de pendientes muy fuertes y en algunos lugares escarpados. La presencia de colinas de forma cónica sugiere la existencia de viejos conos volcánicos con alturas mayores a los 2,500 msnm. Un rasgo volcánico que caracteriza esta unidad es que se encuentran las calderas de Atilán, Amatitlán, Ayarza y un intenso fallamiento volcánico que ha formado *horsts* y *grabens*. Otro aspecto que caracteriza esta geoforma es el afloramiento de pequeñas masas intrusivas y carbonatos del basamento cretácico (MAGA 2001 citado por INAB, 2005:27).

Las rocas típicas de esta unidad son de tipo volcánico como andesitas y basaltos en su mayor parte. Además, se encuentran flujos riolíticos (obsidianas y perlitas), piroclastos, aglomerados, tobas e ignimbritas. Las actividades iniciales principalmente en el Mioceno, lanzaron grandes cantidades de tobas dacíticas y lavas basálticas a andesíticas; mientras que las actividades secundarias ocurridas en el Plioceno, lanzaron volúmenes importantes de flujos andesíticos y riolíticos con flujos piroclásticos. Supuestamente los centros de estas erupciones volcánicas se localizaban dentro de las cuencas ínter montañosas actuales en focos ya inactivos. Posteriormente hubo un período relativamente calmado que duró hasta el Pleistoceno temprano, durante el cual la superficie de las cuencas ínter montañosas fueron ampliándose, a través de los efectos de erosión (MAGA 2001 citado por INAB, 2005:27).

Luego empezaron los movimientos de bloques, levantamientos, fallas y subsidencia de las áreas locales. Durante el Pleistoceno medio ocurrieron grandes erupciones que arrojaron materiales volcánicos ácidos (pómez) a lo largo de la zona volcánica, los que cubrieron la topografía terciaria y originaron zonas con relieve suave. La edad de esta geoforma es compleja ya que comprende desde finales del Terciario hasta principios del Cuaternario (MAGA 2001 citado por INAB, 2005:27).

Esta unidad se ubica en el área de estudio en un sector de la parte media baja central entre los municipios de Siquinalá y Escuintla, a lo largo de la parte alta principalmente en los extremos este y oeste, y en una pequeña porción en la parte más alta entre los municipios de El Tejar y Sumpango. Ocupa un 35.12% del área total.

5) Valle Tectónico de Chimaltenango. Esta unidad se caracteriza porque el rango de elevación va de los 1,700 msnm a 1,780 msnm y la pendiente es menor al 4%. El drenaje que se puede encontrar es del tipo subparalelo, y el material geológico se caracteriza por estar constituido de tephras interestratificadas con diamictones pomáceos y sedimentos fluvio lacustres. Esta unidad es un graben que se formó por el basculamiento de bloques de lava terciaria en el Pleistoceno al Holoceno del período Cuaternario (UPEI, PEDN y MAGA, 2001).

Se ubica en el área de estudio en la parte más alta entre los municipios de San Andrés Itzapa, Chimaltenango, El Tejar, Parramos, Pastores y Sumpango. Ocupa un 5.12% del área total.

6) Abanico Aluvial de Antigua Guatemala. La elevación en esta unidad va de los 0 msnm a los 1,530 msnm con una pendiente no mayor al 4%. Presenta un drenaje natural y el material geológico está conformado por restos de rocas volcánicas y piroclastos compuestos de pómez que rellenaron el área. Esta unidad se formó en el período Cuaternario (UPEI, PEDN y MAGA, 2001).

Se ubica en el área de estudio en la parte alta principalmente entre los municipios de San Miguel Dueñas, Ciudad Vieja, Antigua Guatemala y Jocotenango. Ocupa un 3.91% del área total.

7) Volcanes de Acatenango y Fuego. En esta unidad los rangos de elevación oscilan entre los 3,763 msnm a 3,976 msnm. El material geológico está compuesto principalmente de andesitas, pero también hay lavas, aglomerados, lahares, flujos piroclásticos y cenizas volcánicas. Estas estructuras volcánicas son el resultado de una salida del magna, producto de materiales que se consumen en el choque de las placas del Caribe y Cocos. La unidad se formó en el Cuaternario (UPEI, PEDN y MAGA, 2001).

Se ubica en el área de estudio principalmente en la parte media oeste donde se encuentran los volcanes de Acatenango y Fuego. Ocupa un 19.78% del área total.

8) Volcán de Agua. Esta unidad se caracteriza porque en ella se encuentran fuertes pendientes ya que el rango altitudinal está comprendido entre los 0 msnm y los 3,760 msnm. El drenaje es del tipo radial y el material geológico está compuesto por rocas volcánicas, brechas, lavas, tobas, aglomerados, ignimbritas, cenizas y muchas corrientes de lodo y lahares. Se puede decir que el estado actual de la unidad es ocasionado por la acumulación de diversas rocas volcánicas y la edad geológica es del Pleistoceno reciente del período Cuaternario (UPEI, PEDN y MAGA, 2001).

Se ubica en el área de estudio en la parte media este donde se ubica el volcán de Agua. Ocupa un 13.02% del área total.

8. Cobertura forestal. La importancia de describir la cobertura vegetal en el área de estudio, radica en que gran parte de la lluvia que cae durante la primera parte de una tormenta, es depositada en la cobertura vegetal como intercepción. Aun 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 considerable de la lluvia anual (Linsley 1988 citado por INAB, 2005:27).

En el siguiente cuadro se resume el área cubierta por Bosque y Sin Bosque en la parte alta de la cuenca del Río Achiguate (Figura 9), en base al Mapa de Cobertura Forestal de la República de Guatemala (UVG, INAB, CONAP, MAGA y PAFG, 2003), escala 1:250,000.

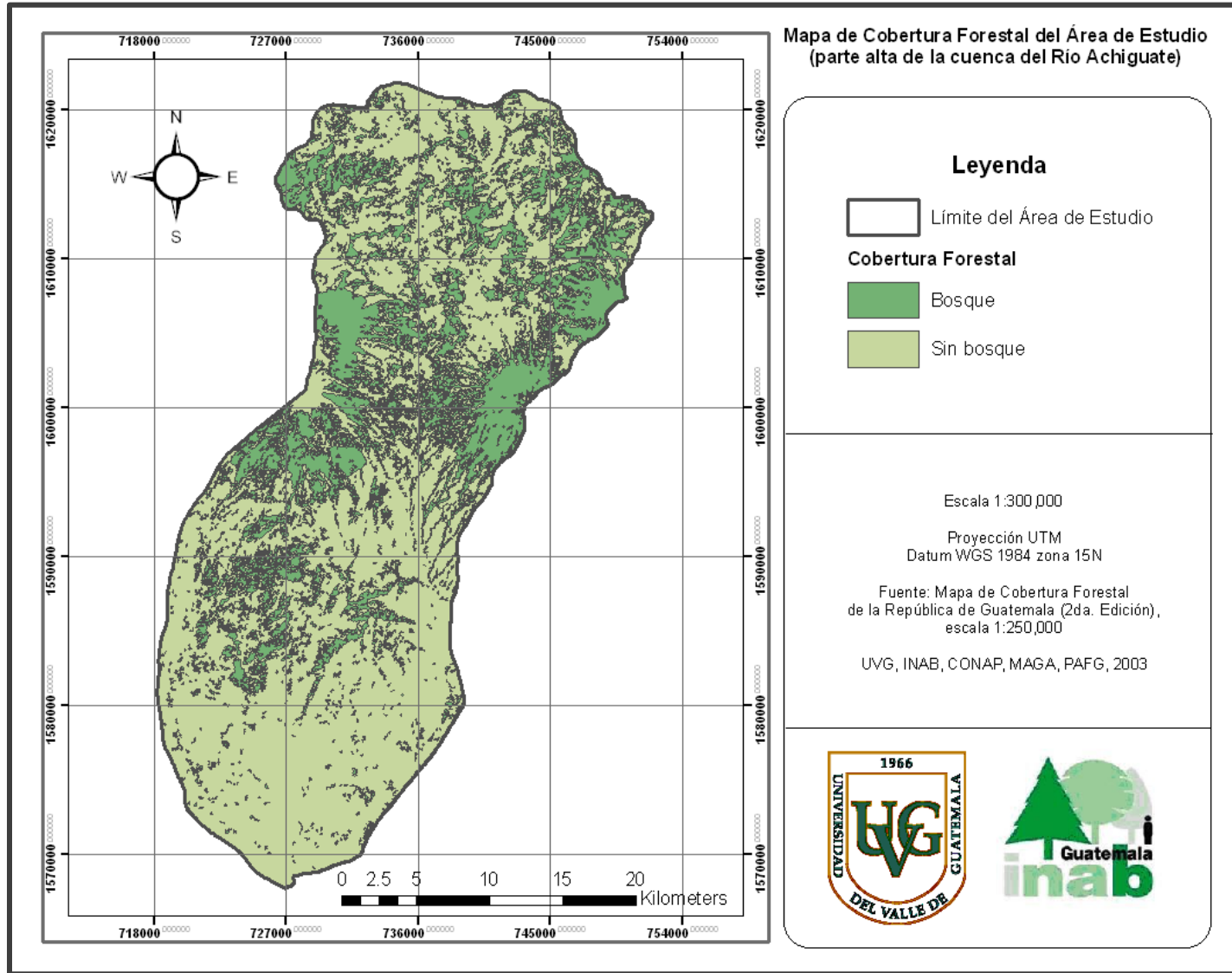
Cuadro 3. Cobertura forestal en el área de estudio.

Cobertura	Área (Km ²)	Porcentaje del área de estudio (%)
Bosque	265.44	27.52
Sin bosque	699.05	72.48

Fuente: Elaboración propia en base a UVG, INAB, CONAP, MAGA y PAFG (2003).

La cobertura forestal básicamente se encuentra dispersa en toda el área de estudio pero ésta se ubica principalmente en las laderas de los volcanes y a lo largo de la parte media y alta. Se puede observar también una presencia significativa en la parte baja central.

Figura 9. Cobertura forestal del área de estudio.



IV. METODOLOGÍA

Este estudio se elaboró utilizando como base, la Metodología para la Delimitación de Tierras Forestales de Captación y Regulación Hídrica del Instituto Nacional de Bosques (INAB) (2004), validada por Pineda en el 2005. A continuación se describe esta metodología y las modificaciones que se realizaron para efectos de este estudio.

A. Fase de gabinete inicial

La metodología que se utilizó propone una fase de campo, sin embargo, para este estudio ésta consistió únicamente en el reconocimiento del área a estudiar. Es por ello que toda la información requerida que resulta de la toma de datos y mediciones durante esta fase, se obtuvo de diversas bases o fuentes de datos existentes.

1. Recopilación de información. Existe información disponible a nivel nacional y regional que abarca de forma general el área bajo estudio, sin embargo, también se han realizado estudios más específicos que se han trabajado a nivel de sub-cuencas o incluso poblados. Esta información fue recopilada para contar con las características generales de la cuenca principalmente como antecedentes.

Debido a que el estudio se desarrolló con base a información existente y mediante el empleo de Sistemas de Información Geográfica, Arc View 3.3, la recopilación de información en este formato fue necesaria. Para ello se adquirieron y consultaron los mapas temáticos de la República de Guatemala en formato Arc View tales como Geología, Clasificación Taxonómica de Suelos, Zonas de Vida de Holdridge, Cobertura Forestal, Cuencas y Subcuencas Hidrográficas, Estaciones Meteorológicas, Precipitación y Temperatura Promedio Mensual, Curvas a Nivel, Pendientes, Cobertura Forestal, Capacidad de Uso de la Tierra, Tierras Forestales de Captación y Regulación Hidrológica (TFCRH), entre otros. Es importante mencionar que para la realización propiamente de los mapas finales se utilizó el software Arc Map versión 9.3.

Además, se adquirieron en el INSIVUMEH y en el Portal de Recursos Hídricos de Guatemala los registros de las diferentes estaciones climáticas que se ubican dentro del área bajo análisis. También fue necesario contar con algunas propiedades físicas del suelo en función a su textura, para lo cual se consideraron los datos propuestos y adaptados de Israelsen y Hansen (1979) citados por Sandoval (2007).

2. Definición de la cuenca. El criterio general para la definición de la cuenca a analizar se basó en identificar las tierras forestales de alta y muy alta captación y regulación hidrológica, en donde se concentra el mayor número de proyectos PINFOR. Inicialmente se procedió a identificar el área o zona más representativa en el país y luego propiamente la cuenca dentro del área seleccionada. Para ello se utilizó el Mapa de Tierras Forestales de Captación y Regulación Hidrológica (TFCRH) Primera Aproximación (INAB, 2005), escala 1:250,000. También los datos registrados de los proyectos del Programa de Incentivos Forestales (PINFOR)³ y el Mapa de Cuencas Hidrográficas de la República de Guatemala (UPEI, PEDN y MAGA, 2001), escala 1:250,000.

Al analizar estas tres capas de información en Arc View 3.3 una de las áreas más significativas se identificó en la zona volcánica del país, dentro de la cual se seleccionó específicamente la cuenca del Río Achiguate.

³ Los datos registrados de los proyectos PINFOR se obtuvieron consultando la base de datos digital del departamento de Estadística Forestal del INAB.

La zona volcánica se priorizó en función a estudios que se han realizado en el área que podrían servir como referencia y debido a que cuenta con un fácil acceso desde la ciudad capital. La cuenca se determinó considerando la mayor cantidad de proyectos PINFOR presentes, específicamente de conservación y manejo de bosques naturales.

El área de estudio quedó finalmente definida como toda la parte alta de la cuenca del Río Achiguate hasta el punto de convergencia entre las subcuencas Guacalate, Achiguate, Ceniza y Mazate. Fue necesario definir aún más el área debido a que una parte de la cuenca seleccionada se localiza en las áreas planas de la costa sur, las cuales no están consideradas dentro del mapa de TFCRH. Además, porque considerando el criterio general para la definición de la cuenca, los proyectos en las tierras de alta y muy alta captación y regulación hidrológica se concentran principalmente en el área finalmente delimitada.

3. Definición de unidades cartográficas para el mapeo. Para obtener las unidades de mapeo se tomaron en cuenta las características que influyen en el proceso de recarga hídrica como geología, taxonomía de suelos y cobertura forestal. Esta información se traslapó utilizando Arc View 3.3 lo que generó las áreas homogéneas a considerar en el análisis del balance hídrico de suelos. El proceso a detalle consistió en utilizar el Mapa Geológico de la República de Guatemala (UPEI, PEDN, y MAGA, 2001), escala 1:250,000, como la primera capa del análisis. Luego se sobrepuso como segunda capa el Mapa de Clasificación Taxonómica de Suelos Primera Aproximación de la República de Guatemala (UPEI, PEDN, y MAGA, 2001), escala 1:250,000, lo que permitió obtener al combinar ambas capas, las diferentes unidades de mapeo que comparten el mismo material geológico pero diferente tipo de suelo.

Finalmente, se sobrepuso como tercer capa de análisis el Mapa de Cobertura Forestal de la Republica de Guatemala (UVG, INAB, CONAP, MAGA, PAFG, 2003), escala 1:250,000, para distinguir entre las unidades de mapeo que comparten el mismo material geológico y tipo de suelo pero diferente cobertura (“Bosque” o “Sin Bosque”).

4. Escala y tamaño de las unidades de mapeo. La definición de las unidades de mapeo fueron analizadas en base a un mapa a la escala de 1:100,000 y las unidades más pequeñas, tienen una superficie mayor a 25 hectáreas. Esta superficie corresponde a 0.0025 centímetros cuadrados en el mapa (INAB, 2005:30).

Por lo tanto, se tomaron como unidades a considerar en el análisis de balance hídrico, las unidades mayores a 25 hectáreas. Es por ello que después de definidas las unidades de mapeo, todas aquellas menores a 25 hectáreas se unieron a las unidades adyacentes; y cuando estas unidades pequeñas eran de “Bosque” y no habían unidades adyacentes con “Bosque”, entonces se convirtieron en una unidad “Sin Bosque”.

Todo lo anterior resultó en 65 unidades de mapeo finales y de esta manera se obtuvo el Mapa de las Unidades de Mapeo en la parte alta de la cuenca del Río Achiguate (Figura 10). A continuación se presenta en el Cuadro 4 la descripción de las mismas.

Cuadro 4. Unidades de mapeo definidas en la parte alta de la cuenca del Río Achiguate.

No. unidad de mapeo	Características de la unidad de mapeo			Ubicación aproximada
	Geología	Taxonomía de suelos	Cobertura	
1	Qa	Dd-Ds	Bosque	Antigua Guatemala
2	Qa	Dd-Ds	Sin bosque	Jocotenango y Antigua Guatemala
3	Qp	Dd-Ds	Bosque	Sumpango, Santa Lucía Milpas Altas y Magdalena Milpas Altas

Continuación Cuadro 4

No. unidad de mapeo	Características de la unidad de mapeo			Ubicación aproximada
	Geología	Taxonomía de suelos	Cobertura	
4	Qp	Dd-Ds	Sin bosque	El Tejar, Sumpango, Pastores, Santa Lucía Milpas Altas y Magdalena Milpas Altas
5	Qv	Dd-Ds	Bosque	Antigua Guatemala y Santa María de Jesús
6	Qv	Dd-Ds	Sin bosque	Antigua Guatemala y Santa María de Jesús
7	Tv	Dd-Ds	Bosque	Pastores, Sumpango, Jocotenango, San Bartolomé Milpas Altas, Antigua Guatemala, Santa Lucía Milpas Altas, Magdalena Milpas Altas y Santa María de Jesús
8	Tv	Dd-Ds	Sin bosque	Sumpango, Pastores, Jocotenango, Antigua Guatemala, San Bartolomé Milpas Altas, San Lucas Sacatepéquez, Santa Lucía Milpas Altas, Villa Nueva, Magdalena Milpas Altas y Santa María de Jesús
9	Qa	Dd	Bosque	Siquinalá
10	Qa	Dd	Sin bosque	Siquinalá, La Democracia, Escuintla y Masagua
11	Qp	Dd	Sin bosque	San Andrés Itzapa y Chimaltenango
12	Qv	Dd	Bosque	San Juan Alotenango y Escuintla
13	Qv	Dd	Sin bosque	San Juan Alotenango y Escuintla
14	Tv	Dd	Bosque	San Andrés Itzapa, Magdalena Milpas Altas y Antigua Guatemala
15	Tv	Dd	Sin bosque	Chimaltenango, San Andrés Itzapa, Siquinalá y Escuintla
16	Qp	Ds-Ls	Sin bosque	San Andrés Itzapa, Sumpango y Santiago Sacatepéquez
17	Tv	Ds-Ls	Sin bosque	Sumpango, San Andrés Itzapa, Santiago Sacatepéquez, San Bartolomé Milpas Altas, Antigua Guatemala, San Lucas Sacatepéquez, Santa Lucía Milpas Altas, Villa Nueva y Magdalena Milpas Altas
18	Qv	Dv-Dd	Sin bosque	Santa María de Jesús y Escuintla
19	Tv	Dv-Dd	Bosque	Antigua Guatemala y Santa María de Jesús
20	Qv	Dv-Ds-Ep	Bosque	Siquinalá, San Juan Alotenango y Escuintla
21	Qv	Dv-Ds-Ep	Sin bosque	Siquinalá, San Juan Alotenango y Escuintla
22	Tv	Dv-Ds-Ep	Sin bosque	San Andrés Itzapa
23	Qp	Dv-Ls	Sin bosque	Chimaltenango, El Tejar, Parramos, Pastores y Sumpango
24	Qa	Dv	Bosque	San Juan Alotenango, San Miguel Dueñas, Ciudad Vieja, Santa Catarina Barahona, San Antonio Aguas Calientes, Antigua Guatemala, Jocotenango y Pastores

Continuación Cuadro 4

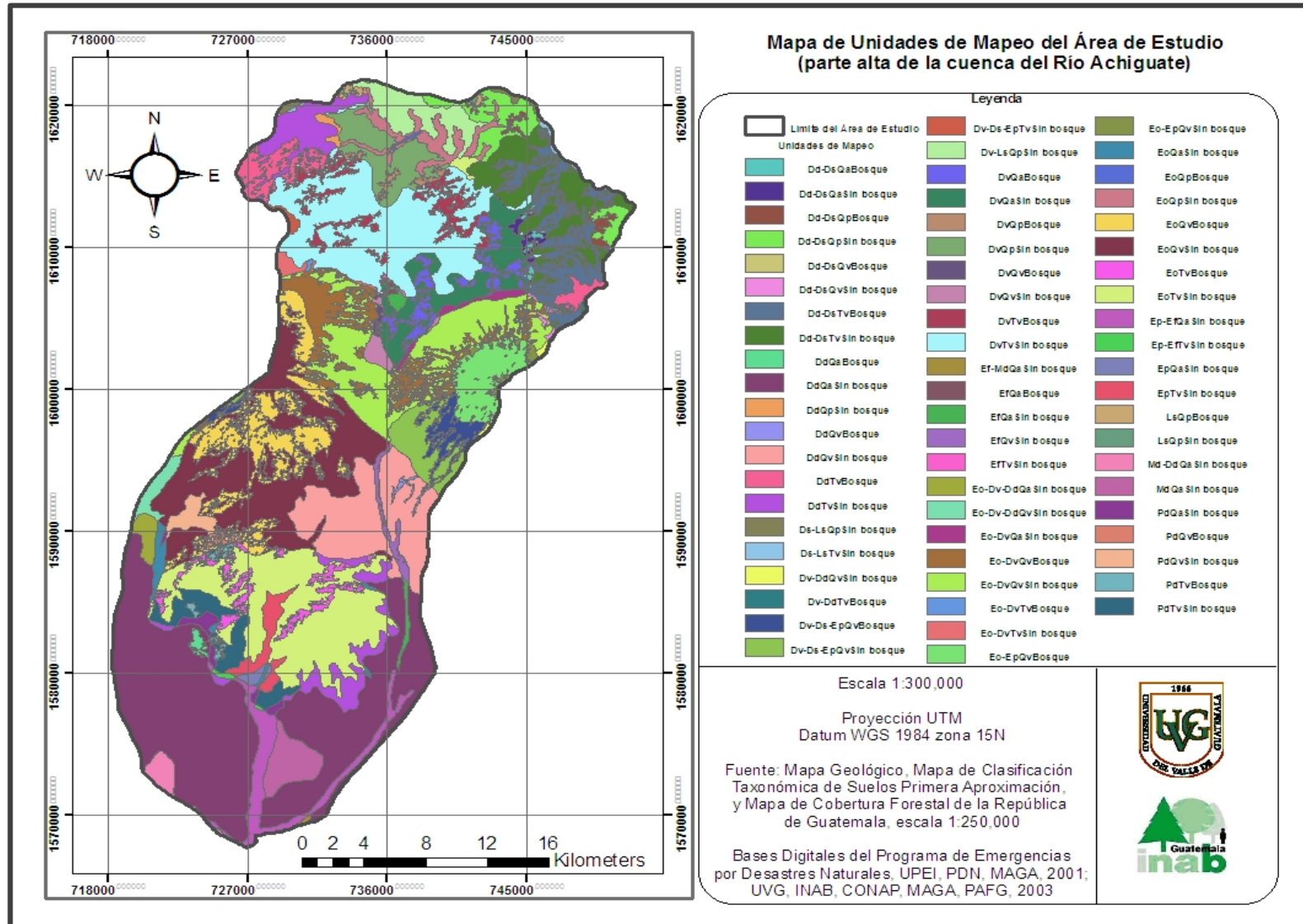
No. unidad de mapeo	Características de la unidad de mapeo			Ubicación aproximada
	Geología	Taxonomía de suelos	Cobertura	
25	Qa	Dv	Sin bosque	San Juan Alotenango, San Miguel Dueñas, Ciudad Vieja, San Antonio Aguas Calientes, Santa Catarina Barahona, Antigua Guatemala, Jocotenango y Pastores
26	Qp	Dv	Bosque	San Andrés Itzapa, Parramos y Pastores
27	Qp	Dv	Sin bosque	San Andrés Itzapa, Chimaltenango, El Tejar, Parramos y Pastores
28	Qv	Dv	Bosque	San Miguel Dueñas y Ciudad Vieja
29	Qv	Dv	Sin bosque	San Miguel Dueñas, Ciudad Vieja y San Juan Alotenango
30	Tv	Dv	Bosque	San Andrés Itzapa, Parramos, San Miguel Dueñas, Santa Catarina Barahona, Pastores, San Antonio Aguas Calientes, Antigua Guatemala y Jocotenango
31	Tv	Dv	Sin bosque	San Andrés Itzapa, Chimaltenango, Parramos, San Miguel Dueñas, Santa Catarina Barahona, Pastores, San Antonio Aguas Calientes, Ciudad Vieja, Antigua Guatemala y Jocotenango
32	Qa	Ef-Md	Sin bosque	La Democracia y Masagua
33	Qa	Ef	Bosque	San Miguel Dueñas
34	Qa	Ef	Sin bosque	San Miguel Dueñas y Escuintla
35	Qv	Ef	Sin bosque	San Juan Alotenango y Escuintla
36	Tv	Ef	Sin bosque	San Miguel Dueñas
37	Qa	Eo-Dv-Dd	Sin bosque	Siquinalá
38	Qv	Eo-Dv-Dd	Sin bosque	Siquinalá
39	Qa	Eo-Dv	Sin bosque	San Juan Alotenango, Ciudad Vieja y Antigua Guatemala
40	Qv	Eo-Dv	Bosque	Siquinalá, San Juan Alotenango, San Miguel Dueñas, Acatenango, Ciudad Vieja, Antigua Guatemala y Santa María de Jesús
41	Qv	Eo-Dv	Sin bosque	Siquinalá, San Pedro Yepocapa, San Juan Alotenango, San Miguel Dueñas, Acatenango, Ciudad Vieja, Antigua Guatemala y Santa María de Jesús
42	Tv	Eo-Dv	Bosque	San Miguel Dueñas y Antigua Guatemala
43	Tv	Eo-Dv	Sin bosque	Acatenango, San Miguel Dueñas y Antigua Guatemala
44	Qv	Eo-Ep	Bosque	Escuintla, San Juan Alotenango, Ciudad Vieja, Antigua Guatemala y Santa María de Jesús
45	Qv	Eo-Ep	Sin bosque	Escuintla, San Juan Alotenango, Ciudad Vieja, Antigua Guatemala y Santa María de Jesús
46	Qa	Eo	Sin bosque	Siquinalá y Escuintla
47	Qp	Eo	Bosque	Parramos y Pastores

Continuación Cuadro 4

No. unidad de mapeo	Características de la unidad de mapeo			Ubicación aproximada
	Geología	Taxonomía de suelos	Cobertura	
48	Qp	Eo	Sin bosque	San Andrés Itzapa, Chimaltenango, el Tejar, Parramos, Pastores y Sumpango
49	Qv	Eo	Bosque	Siquinalá, Escuintla, San Juan Alotenango, San Miguel Dueñas y Acatenango
50	Qv	Eo	Sin bosque	Siquinalá, Escuintla, San Juan Alotenango, San Pedro Yepocapa y San Miguel Dueñas
51	Tv	Eo	Bosque	Siquinalá y Escuintla
52	Tv	Eo	Sin bosque	Siquinalá, Escuintla y Pastores
53	Qa	Ep-Ef	Sin bosque	La Democracia, Masagua y Escuintla
54	Tv	Ep-Ef	Sin bosque	Escuintla
55	Qa	Ep	Sin bosque	Escuintla
56	Tv	Ep	Sin bosque	Siquinalá y Escuintla
57	Qp	Ls	Bosque	Chimaltenango y Sumpango
58	Qp	Ls	Sin bosque	Chimaltenango y Sumpango
59	Qa	Md-Dd	Sin bosque	La Democracia
60	Qa	Md	Sin bosque	Escuintla
61	Qa	Pd	Sin bosque	Siquinalá y Escuintla
62	Qv	Pd	Bosque	Siquinalá
63	Qv	Pd	Sin bosque	Siquinalá
64	Tv	Pd	Bosque	Siquinalá y Escuintla
65	Tv	Pd	Sin bosque	Siquinalá y Escuintla

Fuente: Elaboración propia en base a UPEI, PEDN y MAGA (2001); UVG, INAB, CONAP, MAGA, PAFG (2003).

Figura 10. Unidades de mapeo del área de estudio.



5. Generación de información edáfica. Existen factores edáficos que deben considerarse para llevar a cabo un balance hídrico. Entre éstos se encuentran algunas propiedades físicas del suelo como la Capacidad de Campo (CC), el Punto de Marchitez Permanente (PMP), la Densidad Aparente y la Infiltración Básica. Todos éstos se pueden determinar en campo o ya sea mediante pruebas de laboratorio de algunas muestras de suelo del área a analizar. Sin embargo, como la fase de campo consistió únicamente en el reconocimiento del área a estudiar, entonces la información concerniente a las propiedades físicas del suelo se obtuvo a través de consultas bibliográficas e información existente.

Israelsen y Hansen (1979) citados por Jorge Sandoval (2007:90) proponen una serie de valores promedio de Capacidad de Campo, Punto de Marchitez Permanente, Densidad Aparente e Infiltración Básica, basándose en la textura del suelo (ver Cuadro 5). Jorge Sandoval (2007:89) establece que estos valores pueden usarse cuando no se justifique económicamente o por razones de tiempo, el uso de métodos más complicados.

Por lo tanto, para efectos de este estudio se determinó la textura superficial más representativa de cada unidad de mapeo, mediante la sobreposición del Mapa de Clasificación de Reconocimiento de los Suelos de la República de Guatemala (UPEI, PEDN, y MAGA, 2001), escala 1:250,000, en el Mapa de Unidades de Mapeo y luego a cada unidad se le asignó utilizando las texturas obtenidas y en base al Cuadro 5, los valores correspondientes de cada propiedad física.

Cuadro 5. Propiedades físicas del suelo en función a su textura.

Textura	Capacidad de campo (%)	Punto de marchitez permanente (%)	Densidad aparente (gr/cm ³)	Infiltración básica (cm/hora)
Arenoso	9	4	1.65	5
Arena-Franca	11.5	5	1.575	3.75
Franco-Arenoso	14	6	1.50	2.5
Franco	22	10	1.40	1.3
Franco-Areno-Arcilloso	24.5	11.5	1.375	1.05
Franco-Arcilloso	27	13	1.35	0.8
Arcillo-Arenoso	31	15	1.30	0.25
Arcilloso	35	17	1.25	0.5
Franco-Limoso	20.5	9.5	1.425	1.65

Fuente: Israelsen y Hansen 1979 adaptado por Jorge Sandoval (2007:90).

Es importante mencionar que los cuadros para la estimación de CC, PMP, Infiltración, etc. en función a texturas del suelo mostradas en Sandoval (2007:90), no presentan valores para todas las clases texturales según el triángulo de textura.

Por lo tanto, para la clase Arena-Franca (que no estaba presente) se obtuvieron valores promediando los datos de las categorías inmediatas superior e inferior, a saber Arena y Franco-Arenoso respectivamente. Lo mismo para el caso de la categoría Franca-Areno-Arcillosa para la cual se promediaron los datos o valores de las categorías Franco y Franco-Arcillosa. Para la obtención de la categoría Franco-Limoso se promediaron los valores de las categorías Franco-Arcilloso y Franco-Arenoso.

6. Generación de información climática. Existen varios factores climáticos además de los factores edáficos, que deben también considerarse para realizar un balance hídrico. Entre ellos están la Precipitación Media y Efectiva Mensual, la Temperatura Media Mensual, la Evapotranspiración Potencial y Real, la Radiación Solar Incidente Mensual, la Radiación Mensual Extraterrestre, Brillo Medio Mensual, Humedad Relativa Media, entre otras.

Sin embargo, la red de estaciones climáticas y meteorológicas en el país es deficiente ya que éstas no se encuentran distribuidas adecuadamente y tampoco existe una densidad apropiada, la mayoría no se encuentran en operación actualmente y en general existen muy pocas estaciones de tipo A y B. Este último aspecto es importante ya que por el tipo de estaciones climáticas y meteorológicas que se encuentran en el país, prácticamente solo se cuentan principalmente con datos y registros de precipitación y temperatura y en un segundo plano de humedad relativa y evaporación.

Entonces debido a esto solo fue posible contar con datos y registros de precipitación y temperatura. A continuación se describe cómo se obtuvieron los datos promedio mensuales de estos factores para cada unidad de mapeo, además cómo a partir de estos se determinaron o calcularon otros factores climáticos (específicamente la evapotranspiración potencial y real) y cómo se calcularon o determinaron el resto de factores climáticos.

a. Determinación de la precipitación media. La precipitación media mensual para las unidades de mapeo, se obtuvo al sobreponer con Arc View 3.3 cada Mapa de Precipitación Promedio Mensual de la República de Guatemala (UPEI, PEDN, y MAGA, 2001), escala 1:250,000, en el mapa de las Unidades de Mapeo. Así, de cada uno de éstos mapas se tomó el valor de la isoyeta que interceptara el área más representativa de cada una de las unidades de mapeo, y en los casos en los cuales la unidad se encontrara entre dos isoyetas se le asignó a la unidad el valor promedio entre éstas. Los mapas de Precipitación Promedio Mensual fueron elaborados en base a datos promedio mensuales del período 1970-2000, registrados por la red de estaciones meteorológicas del país.

b. Determinación de la precipitación efectiva. Para determinar la precipitación efectiva se utilizó el método de Schosinsky & Losilla (2000) descrito por Pedro Pineda (2005:9). De acuerdo a esta fuente el método se basa en la utilización de una ecuación resultante de correlación estadística en análisis de bandas de pluviógrafo, y considera la velocidad de infiltración del suelo como el factor principal que condiciona la cantidad de precipitación pluvial que puede infiltrarse.

La fórmula general generada por Schosinsky y Losilla (2000) mostrada por Pedro Pineda (2005:9) para la determinación de la precipitación efectiva es la siguiente:

$$P_{ef} = (1-K_i) \times C_i \times P$$

Donde P_{ef} es la Precipitación Efectiva (precipitación que infiltra), P es la Precipitación Mensual, C_i el Coeficiente de Infiltración, y K_i el valor de Retención Vegetal (para bosque la retención es de 0.20; para cultivos en general 0.12 y para techos de casas, caminos y áreas construidas, es de 0.1 a 0.05).

Según Pedro Pineda (2005:9) el método se basa en los tres siguientes aspectos:

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

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

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

Donde C_i es el Coeficiente de Infiltración, K_{fc} el Factor de Infiltración por Efecto del Suelo, K_p el Factor de Infiltración por Efecto de la Pendiente, y K_v el Factor de Infiltración por Efecto de la Cobertura Vegetal.

Para el valor del factor de infiltración por efecto del suelo Schosinsky & Losilla (2000) según menciona Pedro Pineda (2005:10), obtuvieron una ecuación que relaciona la capacidad de infiltración de agua en el suelo (infiltración básica) con la intensidad de la lluvia, y es la siguiente:

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

Donde K_{fc} es el Factor de Infiltración de Agua en el Suelo e Intensidad de Lluvia, \ln el Logaritmo Neperiano (natural), y fc es el Valor de Infiltración Básica en mm/día. INAB (2005:40) menciona además que esta ecuación tiene un rango de funcionamiento de $16 \leq fc \leq 1,568$. Para un valor de fc de 16 entonces $K_{fc} = 0.0148$, valores menores son negativos para lo cual se utiliza la siguiente fórmula:

—

Para valores de fc mayores de 1,568 los valores de K_{fc} serán inicialmente mayores que uno; luego K_{fc} comienza a ser menor que uno, a partir de $K_{fc} > 1,910$ lo que no es posible. Por lo tanto, $K_{fc} = 1$ para valores de fc mayores de 1,568. Los valores del factor de infiltración por efecto de la pendiente (K_p) y el factor de infiltración por efecto de la cobertura vegetal (K_v), propuestos por Schosinsky y Losilla (2000) citados por Pedro Pineda (2005:10) se presentan a continuación:

Cuadro 6. Valores de infiltración por efecto de la pendiente (K_p).

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

Fuente: Schosinsky y Losilla 2000 citados por Pedro Pineda (2005:10).

Cuadro 7. Valores de infiltración por efecto de la cobertura vegetal (K_v).

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

Fuente: Schosinsky y Losilla 2000 citados por Pedro Pineda (2005:11).

El valor de retención vegetal (K_i) en cada unidad de mapeo se obtuvo en base al uso del suelo, mediante la sobreposición del Mapa de Cobertura Vegetal de la República de Guatemala (UPEI, PEDN, y MAGA, 2001), escala 1:250,000, en el Mapa de Unidades de Mapeo. Se seleccionó el tipo de cobertura que interceptara más significativamente el área de cada unidad asignado el valor 0.20 para Bosques y 0.12 para otros. A cada unidad de mapeo se le determinaron los valores correspondientes de los tres factores de infiltración para obtener el coeficiente de infiltración, para luego junto con la precipitación mensual promedio previamente determinada (ver inciso anterior), se pudiera entonces calcular la precipitación efectiva.

Hay que mencionar que para la determinación del factor de infiltración por efecto de la Pendiente (K_p), al mapa de las Unidades de Mapeo se le sobrepuso el Mapa de Pendientes de la República de Guatemala (UPEI, PEDN, y MAGA, 2001), escala 1:250,000. Esto para asignarle a las unidades su pendiente promedio en función al valor del polígono de pendiente que interceptara más significativamente el área de cada unidad. Luego con base a las pendientes obtenidas y considerando los rangos de las diferentes categorías propuestas en el Cuadro 6, se clasificó cada unidad y entonces así se le asignó su respectivo valor de K_p . Para determinar el factor de infiltración por efecto de la cobertura vegetal se utilizó también este último procedimiento, pero a diferencia se tomó como referencia el uso de suelo obtenido para cada unidad y el Cuadro 7.

c. Determinación de la temperatura media. Para determinar la temperatura media mensual en cada unidad de mapeo se realizó otro procedimiento debido a que los mapas de isotermas mensuales promedio para el país están disponibles únicamente en formato JPG. Los mapas de Isoyetas a diferencia se encuentran disponibles en formatos que pueden ser utilizados en Arc View 3.3 y por ello se pudieron sobreponer en el Mapa de Unidades de Mapeo. Por lo tanto, para determinar las temperaturas mensuales promedio de cada unidad se interpolaron a cada 100 msnm los datos de las estaciones climáticas ubicadas dentro de la cuenca (ver Cuadro 8), para obtener a diferentes altitudes temperaturas promedio mensuales. Una vez hecho esto con Arc View 3.3 al Mapa de Unidades de Mapeo se le sobrepuso el Mapa de Curvas a Nivel de la República de Guatemala (UPEI, PEDN, y MAGA, 2001), escala 1:250,000, y se seleccionaron las curvas a 70, 170, 570, 860, 1260, 1660, 2080 y 3280 msnm.

Como ya se contaba con los valores de temperatura promedio mensual a diferentes altitudes y por ende de las curvas seleccionadas, entonces se le asignó a cada unidad de mapeo el valor de temperatura promedio mensual, correspondiente a la curva seleccionada que coincidiera con su área más representativa. Si la unidad se encontraba entre dos curvas seleccionadas entonces se le asignó el valor promedio.

Cuadro 8. Ubicación geográfica y altitud de las estaciones climáticas situadas en la cuenca.

Estación	Coordenadas UTM		Altitud (msnm)
	X	Y	
Alameda ICTA	736610.166	1618549.030	1776
Florenia	749632.022	1609823.341	1980
El Potrero	740731.447	1607367.071	1518
La Reunión	733584.022	1596752.906	1432
San Andrés Osuna	724657.650	1589907.027	760
Sabana Grande	734012.190	1589470.607	730
El Chupadero	738162.262	1578564.890	270
Obispo	720042.132	1576339.635	220
Sta. María Fegua	733149.595	1572676.512	125

Fuente: Elaboración propia en base a UPEI, PEDN y MAGA (2001).

Las interpolaciones para lo anterior se realizaron entre la estación climática San Andrés Osuna y la estación climática Florencia, también entre la primera estación mencionada y la estación El Chupadero, y entre ésta última con respecto a la parte más baja de la cuenca. Para la determinación de los datos entre la estación climática El Chupadero y la parte más baja de la cuenca, debido a que en este punto no se contaban con registros de alguna otra estación, entonces se utilizó para determinar la temperatura mensual cada 100 msnm entre ambos puntos, la misma diferencia que se obtuvo para cada mes en la interpolación de los datos entre la estación El Chupadero y San Andrés Osuna.

Además, se realizó una interpolación de datos entre la estación climática Florencia con respecto a la parte más alta de los volcanes que se encuentran dentro de la cuenca, para lo cual se utilizaron los Mapas de Temperaturas Promedio Mensuales de la República de Guatemala (UPEI, PEDN, y MAGA, 2001), escala 1:250,000. Al igual que los mapas de precipitación los mapas de temperatura fueron elaborados en base a datos promedio mensuales del período 1970-2000. Para su efecto se identificaron las coordenadas UTM de los puntos más altos de los dos volcanes en el mapa de las Unidades de Mapeo, las cuales son x: 728,370.21; y: 1,601,030.41 para el Volcán de Fuego, y x: 743,436.83; y: 1,600,207.81 para el Volcán de Agua.

Luego en cada uno de los mapas temáticos de temperaturas promedio mensuales se ubicaron dichas coordenadas, y se anotó el valor de las isotermas que interceptaran dichos puntos, para obtener los valores de temperatura promedio mensuales en la parte más alta de los volcanes. En el caso de que las coordenadas se ubicaran entre dos isotermas se utilizó el valor promedio entre las éstas últimas. Esto se realizó porque tampoco se contaba con alguna estación climática que pudiera proporcionar información en estos puntos, y se utilizó dicho procedimiento porque como ya se mencionó, los mapas de Isotermas mensuales se encuentran disponibles únicamente en formato JPG.

La interpolación no se hizo como en el caso de la estación climática El Chupadero y la parte baja de la cuenca, porque a diferencia en estas áreas volcánicas el rango altitudinal es mucho más amplio (por lo que los valores de temperatura varían más y entonces era necesario contar con información más representativa). Además, porque en estos mapas si se registraban isoyetas para estas áreas.

d. Determinación de la evapotranspiración potencial y real. Como ya se había señalado anteriormente algunos de los factores climáticos necesarios para llevar a cabo el balance hídrico, se calcularon a partir de los dos factores de los cuales si se obtuvieron datos (temperatura y precipitación) ya sea de las estaciones climáticas o de mapas existentes. Este es el caso de la evapotranspiración potencial y real, pero debe denotarse que a su vez éstos dependen también de otros factores climáticos. Como se verá a continuación los valores de algunos de estos otros factores pueden obtenerse o resultan del método empleado para determinar propiamente la evapotranspiración potencial, sin embargo, para ello es necesario contar con registros de al menos dos factores climáticos (Humedad relativa y Radiación solar), y por lo tanto, también se describe cómo o de dónde éstos se obtuvieron.

Se debe señalar que la evapotranspiración depende entre otros, de dos factores muy variables y difíciles de medir, como lo son el contenido de humedad del suelo y el desarrollo vegetal de la planta. Es por ello que Thornthwaite introdujo el concepto de evapotranspiración potencial, en donde se optimizan ambos en el doble supuesto de un desarrollo vegetal óptimo y una capacidad de campo constante; por lo que la evapotranspiración potencial será el máximo de agua que puedan transpirar las plantas y el máximo que se pueda evaporar (Noriega, 2005:30).

Entonces uno de los pasos previos para determinar la evapotranspiración potencial en el área de estudio, fue asignarle a cada unidad de mapeo los valores mensuales promedio de temperatura (ver inciso III.A.6.c). Luego para el cálculo de la evapotranspiración potencial propiamente se utilizó el método diseñado por Hargreaves, descrito en INAB (2005:36), el cual es una ecuación específica para la región Centroamericana, y de los métodos más prácticos y confiables. La ecuación se describe a continuación de acuerdo a INAB (2005:36):

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

Donde *ETP* es la Evapotranspiración Potencial en mm/mes, *TMF* es la Temperatura Media Mensual en grados Fahrenheit y *RSM* es la Radiación Solar Incidente Mensual.

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

Donde *RMM* es la Radiación mensual extraterrestre en mm/mes y *S* es el Brillo medio mensual en (%).

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

Donde *RS* es la Radiación Solar (Apéndice 1). Para la estimación de la radiación solar se tomó como referencia la Latitud Norte no. 14.

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

Donde *Ks* es la constante para Centroamérica igual a 12.5 y *HR* es la Humedad Relativa media en %. Como no se contaba con los datos de humedad media, entonces el brillo medio mensual se calculó por medio de la tabla de duración máxima media diaria de horas de brillo solar para diferentes meses y latitudes (Apéndice 2), tomando como referencia la Latitud Norte no.15.

Por otro lado, en lo que respecta a la estimación de evaporación real existen dos opciones, a saber:

a) Variación constante: supone que las plantas siempre tienen la misma habilidad para extraer agua independientemente de la cantidad de humedad presente en el suelo. Se asume que la evaporación real (*ETR*) es igual a la evaporación potencial (*ETP*) o sea $ETR = ETP$ (INAB, 2005:37).

b) Variación lineal: se basa en el criterio de que cuando más se acerque el punto de humedad al punto de marchitez, mayor es la dificultad para que las raíces tomen agua del suelo. Los poros pequeños son los que tienen agua y la fuerza capilar es mayor para sacar agua para la planta, además las plantas cierran sus estomas para retener humedad en su organismo (INAB, 2005:37).

De acuerdo a INAB (2005:37) por ser ésta una situación más real, se utilizó en el balance hídrico de suelos, ya que a mayor déficit de humedad más le cuesta a la planta transpirar. Para su efecto, se asume que la evaporación real es igual a la evaporación potencial, conjuntamente con los factores del suelo. Schosinsky y Losilla (2000) citados por INAB (2005:37) proponen las siguientes fórmulas para la estimación de la evapotranspiración real, y éstas por tanto se aplicaron a cada unidad de mapeo:

Donde ETR es la Evapotranspiración Real, ETP es la Evapotranspiración Potencial y $C1$ y $C2$ se calculan de la siguiente forma:

$$\frac{C1}{C2} = \frac{PMP - H_i}{PMP - H_f}$$

Donde H_i es la Humedad Inicial del Suelo, PMP el Punto de Marchitez Permanente, CC la Capacidad de Campo, PI la Precipitación Infiltrada y ETP la Evapotranspiración Potencial. Por último, es de mucha importancia también tomar en cuenta lo siguiente:

Si $C1 > 1$ entonces $C1 = 1$
 Si $C1 < 0$ entonces $C1 = 0$
 Si $C2 > 1$ entonces $C2 = 1$
 Si $C2 < 0$ entonces $C2 = 0$

B. Fase de gabinete final

Esta fase consistió básicamente en el análisis de la información recopilada y obtenida en la fase de gabinete inicial, con la finalidad de realizar el balance hídrico de suelos; la priorización de las Tierras Forestales de Captación y Regulación Hídrica; y el análisis del efecto de los Proyectos PINFOR en la regulación hidrológica. A continuación se describe como se llevó a cabo.

1. Cálculo de la recarga hídrica natural. Para el cálculo de la recarga hídrica natural de cada unidad de mapeo, se utilizó la siguiente ecuación descrita por Pedro Pineda (2005:11):

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

Donde Rh es la Recarga Hídrica, P_{ef} la Precipitación Efectiva, HIS la Humedad Inicial del Suelo, HFS la Humedad Final del Suelo y ETR la Evapotranspiración Real.

2. Realización del balance hídrico de suelos de la cuenca. El cálculo del balance hídrico de suelos se realizó por medio de la siguiente ecuación descrita por Pedro Pineda (2005:11):

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

Donde Pp es la Precipitación Pluvial, ETR la Evapotranspiración Real, esc la Escorrentía Superficial, ret la Retención Vegetal y rec la Recarga Hídrica.

La escorrentía superficial se calcula utilizando la ecuación siguiente:

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

3. Identificación de las tierras forestales de captación y regulación hidrológica. Las TFCRH se identificaron en base a la metodología descrita por Pedro Pineda (2005:12), a través de la sumatoria de los valores que se asignaron según las siguientes matrices en cada entidad cartográfica (unidad de mapeo):

- Geología
- Capacidad de uso de la tierra (metodología propuesta por INAB 2002)
- Tasa de infiltración (cm/hr)
- Recarga hídrica potencial anual (mm/año)
- Ubicación espacial (área de recarga o área de descarga hídrica)

Se debe señalar que para realizar la valoración con base a la matriz de capacidad de uso de la tierra fue necesario sobreponer con Arc View 3.3, el Mapa de Clasificación de Tierras por Capacidad de Uso (INAB, 2002), escala 1:250,000, en el Mapa de las Unidades de Mapeo, para obtener las diferentes capacidades de usos que se presentan en cada unidad. Esto permitió llegar a definir subunidades dentro de las unidades de mapeo, y entonces a cada una de éstas se les asignó su respectivo valor según el Cuadro 9. De esta manera los resultados de categoría de TFCRH se obtuvieron por categoría de capacidad de uso que se encontró en cada una de las unidades de mapeo.

Cuadro 9. Matriz de criterios de capacidad de uso de la tierra para la determinación de TFCRH.

Capacidad de uso	Valor
Tierras Forestales de Protección (Fp)	8
Tierras Forestales de Producción (F)	7
Agroforestería con Cultivos Permanentes (Ap)	5
Sistemas Silvopastoriles (Ss)	5
Agroforestería con Cultivos Anuales (Aa)	3
Agricultura con Mejoras (Am)	1
Agricultura sin Limitaciones (A)	0

Fuente: Pedro Pineda (2005:13).

Para la asignación de valores con base a la matriz geológica, a cada subunidad se le asignó el valor de la categoría que le corresponde, según el Cuadro 10 y el respectivo tipo de geología de la unidad de mapeo a la que pertenece.

El mismo procedimiento se realizó para la asignación de valores en base a la matriz de criterios de infiltración, pero a diferencia se utilizó el Cuadro 11 y los valores de infiltración básica previamente determinados para cada unidad de mapeo (ver inciso III.A.5.). Igualmente se utilizó dicho proceso para la asignación de valores en base a la matriz de recarga anual, pero considerando el Cuadro 12 y los valores de recarga hídrica natural que se obtuvieron en cada unidad.

Cuadro 10. Matriz de criterios de geología para la determinación de TFCRH.

Geología	Valor
Rocas ígneas o metamórficas no fracturadas (I, TV)	0
Rocas ígneas o metamórficas fracturadas (Qv, Qp)	1
Rocas sedimentarias carbonatadas (KTs, KTsb, Ksd, Tic, Tpe, Tsd, Tsp)	2
Rocas volcánicas (Qa)	3

Fuente: Pedro Pineda (2005:12).

Cuadro 11. Matriz de criterios de infiltración básica para la determinación de TFCRH.

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

Fuente: Pedro Pineda (2005:12).

Cuadro 12. Matriz de criterios de recarga anual para la determinación de TFCRH.

Recarga anual (mm/año)	Valor
0 – 150	0
150 – 350	1
350 – 650	2
650 – 1000	3
>1000	4

Fuente: Pedro Pineda (2005:12).

La asignación de valores con base a la matriz de criterios de ubicación espacial se realizó un tanto diferente. Este procedimiento consistió en sobreponer con Arc View 3.3 el Mapa de Curvas a Nivel de la República de Guatemala (UPEI, PEDN, y MAGA, 2001), escala 1:250,000, en el Mapa de las Unidades de Mapeo, para asignarle a las unidades de mapeo su altitud, mediante la selección del valor de la curva a nivel que interceptara el área más significativa de cada unidad. En caso que el área más representativa de la unidad se encontrara entre dos curvas, entonces se le asignó el valor promedio de altitud entre éstas.

Utilizando como referencia el Cuadro 13 a cada unidad se le asignó su respectivo valor, considerando que para todas aquellas unidades ubicadas arriba de los 2,700 msnm se les asignó el valor 4, para aquellas entre 2,700-2000 msnm, 3, entre 1500-2000 msnm, 2, y debajo de 1500 msnm, 1.

Cuadro 13. Matriz de criterios de ubicación espacial (área de recarga o área de descarga hídrica) para la determinación de TFCRH.

Ubicación relativa potencial	Valor
Recarga de un acuífero colgado (potencialmente en la parte alta de una cuenca)	4
Área de descarga (variable)	3
Recarga de un acuífero confinado o zona saturada aprovechable. (variable)	2
Recarga de acuíferos a bajas altitudes, en partes muy bajas de la cuenca (potencialmente acuíferos muy profundos con dificultad de aprovechamiento)	1

Fuente: Pedro Pineda (2005:13).

Finalmente, se sumaron para cada unidad los valores obtenidos en cada matriz, para que en base al valor resultante, se determinará la categoría de captación y recarga a la que pertenece según la siguiente ponderación:

TF de baja captación y regulación hidrológica	TF de moderada captación y regulación hidrológica	TF de alta captación y regulación hidrológica	TF muy alta captación y regulación hidrológica
<= 10	11-14	15-18	19-23

Fuente: Pedro Pineda (2005:14).

4. Análisis de los efectos de los proyectos PINFOR en la regulación de los servicios hidrológicos. Para la realización del análisis de los efectos que tiene el Programa de Incentivos Forestales (PINFOR), en cuanto a la regulación de los servicios hidrológicos, fue necesario primero contar con la información de todos los proyectos aprobados y luego seleccionar únicamente los que se ubican dentro del área de estudio.

La información acerca de todos los proyectos PINFOR se obtuvo consultando la base de datos del INAB (MIF-PINFOR). Este proceso específicamente consistió en seleccionar únicamente los municipios que se encuentran total o parcialmente dentro del área de estudio, y asignando un filtro de manera que la información de cada proyecto especificara el No. de solicitud, fecha de aprobación, propietario, finca, área aprobada, tipo de proyecto, especie, área solicitada, y coordenadas geográficas (latitud, longitud).

Esta base de datos es dinámica ya que constantemente está cambiando, ya sea porque se van ingresando más datos o se realizan algunas actualizaciones, y es por ello que es importante mencionar también la fecha en la cual se obtuvo la información. La base de datos se consultó el 9/12/2008 y esto quiere decir que los proyectos considerados en el área de estudio, son todos aquellos aprobados e ingresados desde el año 1997 hasta esa fecha.

Para conocer los proyectos ubicados específicamente dentro del área de estudio, fue necesario calcular las coordenadas UTM de cada uno de ellos. En base a estas coordenadas se elaboró un mapa con la ubicación geográfica de los proyectos empleando Arc View versión 3.3, para que al sobreponer el Mapa de las Unidades de Mapeo se pudieran seleccionar únicamente los proyectos dentro del área de interés. Sin embargo, en este proceso se identificaron algunos proyectos que debían estar dentro del área de estudio pero geográficamente estaban ubicados en otros puntos, es decir, sus coordenadas contenían algún error. Para corregir estos errores se consultaron los expedientes físicos de cada uno de estos proyectos, así como también, algunas hojas cartográficas. Únicamente los proyectos ubicados en la Finca Florencia, en la Finca Sigüampar-Cumbre de Cerro Pavo y en el Parque Municipal Los Aposentos, se pudieron corregir por lo que el resto (equivalentes a un 23% del total de proyectos que potencialmente entran en el área de estudio) no fueron considerados.

Entonces con base al Mapa de las Unidades de Mapeo y al mapa generado de los proyectos PINFOR (corregidos o sin error), se identificaron las unidades en las cuales los proyectos de protección y reforestación se ubican, respectivamente. Para realizar el análisis del efecto de los proyectos PINFOR en la regulación del servicio hidrológico, se consideró la recarga hídrica promedio obtenida en las unidades de mapeo con Bosque como la "ideal" o la que "se espera alcanzar". Además, que los proyectos PINFOR de protección, los cuales se caracterizan por una cobertura del tipo bosque natural, están asegurando por lo tanto una recarga hídrica equivalente a la promedio obtenida en las unidades con Bosque.

Sin embargo, no se puede establecer lo mismo para los proyectos de reforestación ubicados en estas áreas, ya que realmente no se puede asumir el efecto que tiene una plantación en la recarga hídrica, por el hecho que una plantación no se comporta necesariamente similar a un bosque natural. Por lo tanto, para analizar los efectos en la regulación de los servicios hídricos de los proyectos de reforestación, se procedió a identificar las unidades Sin Bosque en las cuales éstos se ubican.

Se identificaron estas unidades para recalcular la recarga hídrica cambiando algunos parámetros, a manera de recrear un escenario que eventualmente se puede desarrollar, por la presencia de una "cobertura forestal" como resultado de las plantaciones establecidas. Los valores de recarga hídrica obtenidos con este procedimiento y su comparación con los obtenidos inicialmente, pueden establecer alguna tendencia a partir de la cual se pueden entonces analizar los efectos que tiene el PINFOR de reforestación en los servicios hidrológicos.

Los parámetros a modificar fueron propiamente: Kv (factor por vegetación)→ 0.20, PR (profundidad de raíces)→ 1,500 mm, Lluvia Retenida→ 0.20, y el N° de mes que inicia la Humedad del Suelo→ varía en cada unidad. Se consideraron estos parámetros debido a que de los diferentes factores considerados en el análisis de recarga hídrica, son los que esencialmente se ven influenciados por un cambio en el tipo de cobertura.

V. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

A. Generación de información hidrológica del área de estudio.

1. **Información climática.** Los datos meteorológicos como se mencionó en la metodología, fueron obtenidos a partir de mapas y de las estaciones meteorológicas (administradas o manejadas por el INSIVUMEH y el PLAMAR) ubicadas dentro del área de estudio (ver Apéndices 3 y 4; Figura 11). En el siguiente cuadro se puede observar el resumen de los datos meteorológicos registrados por las estaciones.

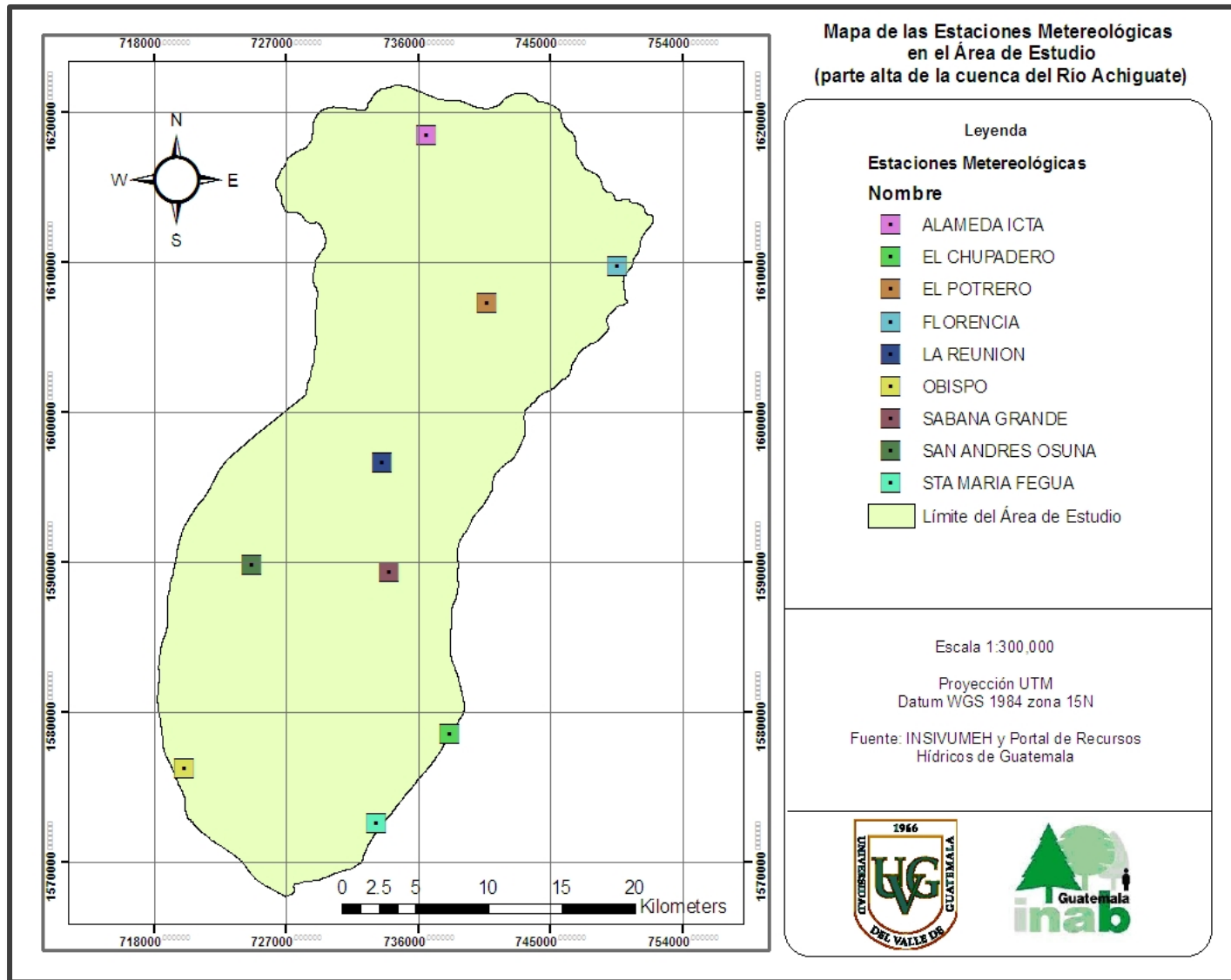
Cuadro 14. Precipitación pluvial media anual (mm) y Temperatura media anual (°C) de las estaciones climáticas situadas dentro del área de estudio.

Estación	Coordenadas UTM		Altitud (msnm)	Temperaturas medias anuales (C°)		Precipitación anual (mm)
	X	Y		T° max	T° med	
Alameda ICTA	736610.17	1618549.03	1776	T° max	23.2	1000
				T° med	15.1	
				T° min	10.2	
Florencia	749632.02	1609823.34	1980	T° max	22.4	1116
				T° med	17.6	
				T° min	12.8	
El Potrero	740731.45	1607367.07	1518	T° max	29.2	880
				T° med	25.9	
				T° min	22.5	
La Reunión	733584.02	1596752.91	1432	T° max	-	3013
				T° med	-	
				T° min	-	
San Andrés Osuna	724657.65	1589907.03	760	T° max	27.8	4132
				T° med	24.8	
				T° min	21.8	
Sabana Grande	734012.19	1589470.61	730	T° max	29.5	3107
				T° med	24.3	
				T° min	18.4	
El Chupadero	738162.26	1578564.89	270	T° max	33.6	2867
				T° med	26.4	
				T° min	21.2	
Obispo	720042.13	1576339.64	220	T° max	-	2699
				T° med	-	
				T° min	-	
Sta. María Fegua	733149.59	1572676.51	125	T° max	-	2146
				T° med	-	
				T° min	-	

Fuente: Elaboración propia en base a INSIVUMEH y Portal de Recursos Hídricos de Guatemala.

Se puede observar que no se cuentan con los valores de temperatura media anual en algunas estaciones y esto se debe a que en ellas no existían registros de este parámetro. Además, hay que mencionar que los registros de la estación Florencia corresponden al año hidrológico 1977 y los de la estación El Potrero al año 1989. Para el resto de estaciones se desconoce el año hidrológico al cual pertenecen sus registros, ya que la fuente de la cual éstos se obtuvieron no lo especifica.

Figura 11. Localización de las estaciones meteorológicas dentro del área de estudio.



Por cuestiones de tiempo y recursos no se pudo colocar estaciones meteorológicas en el área de estudio, y es por ello entonces que a pesar de que los datos que proveen las estaciones del INSIVUMEH y del PLAMAR son de muchos años atrás y deficientes en algunos casos, se utilizaron porque son los únicos registros disponibles y accesibles. A esto se debe en parte el que se hayan utilizado también mapas existentes de isoyetas e isotermas para generar la información climática del área bajo estudio.

Todas las estaciones mostradas en el Cuadro 14 de acuerdo al INSIVUMEH actualmente se encuentran descontinuadas o fuera de uso. Esto denota que existe una deficiencia en la red hidrológica ubicada dentro del área de estudio, ya que la información disponible es desactualizada o inexistente. Por lo tanto, es de gran urgencia habilitar, reparar o incluso modernizar las estaciones, por la importancia, uso y gran aplicación que tiene la información que éstas proveen.

2. Cálculo de la infiltración básica. Los datos de infiltración básica de cada unidad de mapeo se presentan en el Cuadro 15. En él se puede ver que el rango de infiltración básica en el área de estudio es muy amplio, ya que se encuentran valores desde los 192 mm/día hasta los 900 mm/día.

Las unidades de mapeo en las cuales la infiltración alcanza los valores más altos (900 mm/día) se caracterizan porque tienen una textura arenosa-franca gruesa o franca-arenosa a arena gravosa. Por su parte, las unidades en las que se encontró una infiltración básica igual a los 600 mm/día, tienen una textura franco-arenosa o franco-arenosa-fina. Las unidades con una infiltración de 312 mm/día tienen una textura franca, franca a franca-arcillosa, o franca a franca-arcillo-arenosa, y las unidades con una infiltración de 192 mm/día tienen una textura franca-arcillosa o franca-arcillo-arenosa. El hecho de mencionar los tipos de textura asociados a los diferentes valores de infiltración que se obtuvieron en el área de estudio se debe a que, como se sabe, la velocidad de infiltración depende entre otros factores de la textura. Es decir, en gran medida de acuerdo a las características de la textura en un suelo, éste tendrá ya sea una poca, moderada o alta capacidad de retención de agua.

Esto explica porqué en el área de estudio los valores de infiltración en general no son muy altos, ya que como predominan las clases texturales del tipo franca-arenosa y franca, entonces los suelos tienen una capacidad de retener relativamente una moderada cantidad de agua.

Cuadro 15. Infiltración básica de las unidades de mapeo en el área de estudio.

Unidad de mapeo	Características de la unidad de mapeo			Coordenadas UTM		Infiltración básica (mm/día)
	Geología	Taxonomía de suelos	Cobertura	X	Y	
1	Qa	Dd-Ds	Bosque natural secundario (arbustal)	745362.64	1610293.63	600.00
2	Qa	Dd-Ds	Centros poblados	745246.85	1610116.02	600.00
3	Qp	Dd-DsQ	Bosque natural/latifoliadas	749835.68	1611648.21	312.00
4	Qp	Dd-Ds	Cultivos anuales/hortalizas	742738.86	1619524.58	312.00
5	Qv	Dd-Ds	Bosque natural/latifoliadas	746144.88	9605103.12	600.00
6	Qv	Dd-Ds	Cultivos anuales/agricultura limpia anual	746086.39	1604870.84	600.00
7	Tv	Dd-Ds	Bosque natural	747671.10	1610476.04	312.00
8	Tv	Dd-Ds	Cultivos anuales/agricultura limpia anual	746665.83	1613211.66	312.00
9	Qa	Dd	Bosque natural/latifoliadas	723776.02	1582094.73	192.00

Continuación Cuadro 15

Unidad de mapeo	Características de la unidad de mapeo			Coordenadas UTM		Infiltración básica (mm/día)
	Geología	Taxonomía de suelos	Cobertura	X	Y	
10	Qa	Dd	Cultivos perennes/caña	726039.85	1574996.34	312.00
11	Qp	Dd	Cultivos anuales/agricultura limpia anual	732770.16	1618488.79	192.00
12	Qv	Dd	Bosque natural	737387.57	1593283.95	600.00
13	Qv	Dd	Cultivos perennes/caña	735099.62	1591209.04	600.00
14	Tv	Dd	Bosque natural/latifoliadas	728187.62	1615609.85	600.00
15	Tv	Dd	Cultivos anuales/agricultura limpia anual	730512.55	1618551.46	600.00
16	Qp	Ds-Ls	Cultivos anuales/agricultura limpia anual	729596.44	1619917.64	312.00
17	Tv	Ds-Ls	Cultivos anuales/agricultura limpia anual	748178.42	1615584.99	312.00
18	Qv	Dv-Dd	Cultivos anuales/agricultura limpia anual	746164.04	1,602,802.165	600.00
19	Tv	Dv-Dd	Bosque natural/latifoliadas	748650.83	1605880.98	600.00
20	Qv	Dv-Ds-Ep	Bosque natural/coníferas	740152.85	1597016.94	600.00
21	Qv	Dv-Ds-Ep	Cultivos perennes/café	738286.19	1595903.26	600.00
22	Tv	Dv-Ds-Ep	Cultivos anuales/agricultura limpia anual	729873.10	1611842.60	600.00
23	Qp	Dv-Ls	Cultivos anuales/agricultura limpia anual	738311.22	1619639.08	192.00
24	Qa	Dv	Bosque natural	738431.74	1605933.42	600.00
25	Qa	Dv	Centros poblados	741314.43	1606874.48	600.00
26	Qp	Dv	Bosque natural secundario (arbustal)	736144.97	1614784.35	600.00
27	Qp	Dv	Cultivos anuales/agricultura limpia anual	735837.81	1616400.58	192.00
28	Qv	Dv	Bosque natural	735527.38	1604946.14	600.00
29	Qv	Dv	Cultivos perennes/café	735137.27	1602671.05	600.00
30	Tv	Dv	Bosque natural secundario (arbustal)	740027.54	1612424.34	600.00
31	Tv	Dv	Cultivos anuales/agricultura limpia anual	735276.63	1610847.03	600.00
32	Qa	Ef-Md	Cultivos perennes/caña	730126.05	15692116.83	600.00
33	Qa	Ef	Bosque natural	736226.16	1607146.77	600.00
34	Qa	Ef	Cultivos anuales/agricultura limpia anual	737312.60	1583621.31	600.00
35	Qv	Ef	Cultivos perennes/caña	735779.32	1590860.62	312.00
36	Tv	Ef	Cultivos perennes/caña	736464.99	1607348.29	600.00
37	Qa	Eo-Dv-Dd	Otros cultivos/pastos cultivados	720520.54	1589686.94	900.00

Continuación Cuadro 15

Unidad de mapeo	Características de la unidad de mapeo			Coordenadas UTM		Infiltración básica (mm/día)
	Geología	Taxonomía de suelos	Cobertura	X	Y	
38	Qv	Eo-Dv-Dd	Otros cultivos/pastos cultivados	720964.60	1593114.86	900.00
39	Qa	Eo-Dv	Cultivos anuales/agricultura limpia anual	740858.36	1605956.95	600.00
40	Qv	Eo-Dv	Bosque natural/coníferas	732230.77	1605735.34	600.00
41	Qv	Eo-Dv	Cultivos anuales/agricultura limpia anual	735576.19	1600865.90	600.00
42	Tv	Eo-Dv	Bosque natural/latifoliadas	730967.29	1608710.37	600.00
43	Tv	Eo-Dv	Cultivos anuales/agricultura limpia anual	729505.30	1608714.86	600.00
44	Qv	Eo-Ep	Bosque natural/coníferas	742065.40	1601020.35	600.00
45	Qv	Eo-Ep	Cultivos anuales/agricultura limpia anual	743246.31	1600287.04	600.00
46	Qa	Eo	Otros cultivos/pastos cultivados	721225.62	1587969.86	600.00
47	Qp	Eo	Bosque natural	737223.93	1617533.39	192.00
48	Qp	Eo	Cultivos anuales/agricultura limpia anual	738882.25	1617444.94	192.00
49	Qv	Eo	Bosque natural/coníferas	728707.48	1596374.72	600.00
50	Qv	Eo	Cultivos perennes/café	728439.99	1595197.51	600.00
51	Tv	Eo	Bosque natural	731688.25	1584655.38	312.00
52	Tv	Eo	Cultivos anuales/agricultura limpia anual	729930.50	1584990.19	312.00
53	Qa	Ep-Ef	Cultivos perennes/caña	727726.34	1573327.67	312.00
54	Tv	Ep-Ef	Cultivos anuales/agricultura limpia anual	725368.55	1579801.32	192.00
55	Qa	Ep	Cultivos anuales/agricultura limpia anual	727425.32	1579694.48	312.00
56	Tv	Ep	Cultivos anuales/agricultura limpia anual	727292.74	1580467.83	312.00
57	Qp	Ls	Bosque natural/coníferas	733813.03	1621012.64	600.00
58	Qp	Ls	Cultivos anuales/agricultura limpia anual	741551.68	1620363.58	192.00
59	Qa	Md-Dd	Cultivos perennes/caña	721395.63	1573143.29	600.00
60	Qa	Md	Cultivos perennes/caña	729740.07	1573596.26	312.00
61	Qa	Pd	Cultivos perennes/caña	724093.18	1583605.91	312.00
62	Qv	Pd	Bosque natural	725341.19	1589548.04	192.00
63	Qv	Pd	Otros cultivos/pastos cultivados	723463.48	1590978.10	900.00
64	Tv	Pd	Bosque natural secundario (arbustal)	723440.46	1584533.02	312.00

Continuación Cuadro 15

Unidad de mapeo	Características de la unidad de mapeo			Coordenadas UTM		Infiltración básica (mm/día)
	Geología	Taxonomía de suelos	Cobertura	X	Y	
65	Tv	Pd	Cultivos anuales/agricultura limpia anual	725193.50	1584485.40	312.00

Fuente: Elaboración propia en base a Israelsen y Hansen 1979 adaptado por Jorge Sandoval (2007:90).

La infiltración en más del 90% del área es en promedio igual a 400 mm/día. Además, apenas solo aproximadamente 1% del área total tiene una infiltración de 900 mm/día (ver Cuadro 16).

Cuadro 16. Porcentaje del área total que representan los distintos valores de infiltración.

Infiltración (mm/día)	Porcentaje del área total (%)
192	5.49
312	40.20
600	52.87
900	1.44
Total	100

Fuente: Elaboración propia.

3. Densidad aparente, textura y constantes de humedad. Los datos de densidad aparente, textura y de las constantes de humedad [capacidad de campo (CC) y punto de marchitez permanente (PMP)] de cada unidad de mapeo, se presentan en el siguiente cuadro. En él se puede observar que los valores de capacidad de campo se encuentran entre un 11.5-27%, los valores del punto de marchitez permanente oscilan entre 5 y 13%, los valores de densidad aparente entre 1.35-1.575 gr/cc, y las texturas encontradas van de arena-franca gruesa a texturas francas y francas-arcillosas.

Cuadro 17. Constantes de humedad, densidad aparente y textura de las unidades de mapeo en el área de estudio.

Unidad de mapeo	Humedad (%)		Densidad aparente (gr/cc)	Textura
	CC	PMP		
1	14	6	1.5	Franco-arenosa
2	14	6	1.5	Franco-arenosa
3	22	10	1.4	Franca a franco-arcillo-arenosa
4	22	10	1.4	Franca a franco-arcillo-arenosa
5	14	6	1.5	Franco-arenosa
6	14	6	1.5	Franco-arenosa
7	22	10	1.4	Franca a franco-arcillo-arenosa
8	22	10	1.4	Franca a franco-arcillo-arenosa
9	27	13	1.35	Franco-arcillosa
10	22	10	1.4	Franca
11	27	13	1.35	Franco-arcillo-arenosa
12	14	6	1.5	Franco-arenosa
13	14	6	1.5	Franco-arenosa
14	14	6	1.5	Franco-arenosa
15	14	6	1.5	Franco-arenosa
16	22	10	1.4	Franca a franco-arcillo-arenosa

Continuación Cuadro 17

Unidad de mapeo	Humedad (%)		Densidad aparente (gr/cc)	Textura
	CC	PMP		
17	22	10	1.4	Franca a franco-arcillo-arenosa
18	14	6	1.5	Franco-arenosa
19	14	6	1.5	Franco-arenosa
20	14	6	1.5	Franco-arenosa
21	14	6	1.5	Franco-arenosa
22	14	6	1.5	Franco-arenosa
23	27	13	1.35	Franco-arcillosa
24	14	6	1.5	Franco-arenosa
25	14	6	1.5	Franco-arenosa
26	14	6	1.5	Franco-arenosa
27	27	13	1.35	Franco-arcilla-arenosa
28	14	6	1.5	Franco-arenosa
29	14	6	1.5	Franco-arenosa
30	14	6	1.5	Franco-arenosa
31	14	6	1.5	Franco-arenosa
32	14	6	1.5	Franco-arenosa o franco-arenosa-fina
33	14	6	1.5	Franco-arenosa
34	14	6	1.5	Franco-arenosa
35	22	10	1.4	Franca
36	14	6	1.5	Franco-arenosa
37	11.5	5	1.575	Arena-franca gruesa o franco-arenosa a arena gravosa
38	11.5	5	1.575	Arena-franca gruesa o franco-arenosa a arena gravosa
39	14	6	1.5	Franco-arenosa
40	14	6	1.5	Franco-arenosa
41	14	6	1.5	Franco-arenosa
42	14	6	1.5	Franco-arenosa
43	14	6	1.5	Franco-arenosa
44	14	6	1.5	Franco-arenosa
45	14	6	1.5	Franco-arenosa
46	14	6	1.5	Franco-arenosa
47	27	13	1.35	Franco-arcillo-arenosa
48	27	13	1.35	Franco-arcillo-arenosa
49	14	6	1.5	Franco-arenosa
50	14	6	1.5	Franco-arenosa
51	22	10	1.4	Franca
52	22	10	1.4	Franca
53	22	10	1.4	Franca
54	27	13	1.35	Franco-arcillosa
55	22	10	1.4	Franca
56	22	10	1.4	Franca
57	14	6	1.5	Franco-arenosa
58	27	13	1.35	Franco-arcilla-arenosa
59	14	6	1.5	Franco-arenosa
60	22	10	1.4	Franca a franca-arcillosa
61	22	10	1.4	Franca
62	27	13	1.35	Franco-arcillosa

Continuación Cuadro 17

Unidad de mapeo	Humedad (%)		Densidad aparente (gr/cc)	Textura
	CC	PMP		
63	11.5	5	1.575	Arena-franca gruesa o franco-arenosa a arena gravosa
64	22	10	1.4	Franca
65	22	10	1.4	Franca

Fuente: Elaboración propia en base a Israelsen y Hansen 1979 adaptado por Jorge Sandoval (2007:90).

Cuadro 18. Porcentaje del área total que representan las distintas texturas.

Textura	Porcentaje del área total (%)
Franco-arenosa	62.52
Franca	12.57
Franca a franca-arcillosa	8.50
Franca-arenosa o franco-arenosa-fina	4.95
Franca a franca-arcillo-arenosa	4.35
Arena-franca gruesa o franca-arenosa a arena gravosa	3.11
Franca-arcilla-arenosa	2.25
Franco-arcillosa	1.74
Total	100

Fuente: Elaboración propia.

En el área de estudio predomina una textura franco-arenosa seguida por una textura franca, y franca a franca-arcillosa (ver Cuadro 18). Estos resultados eran de esperarse ya que es común encontrar este tipo de texturas en suelos de origen volcánico.

Por su parte, en el área de estudio domina en un 67% una capacidad de campo del 14%, un punto de marchitez permanente igual al 6%, y una densidad aparente de 1.5 gr/cc (ver Cuadro 19). En general, se puede discutir que el hecho de que se hayan obtenido básicamente valores promedio de densidad aparente, se debe a que las texturas que dominan en el área de estudio son principalmente francas a francas arenosas, y como se sabe, éstas texturas se caracterizan por tener una cantidad de poros promedio comparado con texturas arcillosas (muchos poros) y texturas arenosas (pocos poros). En lo que respecta a la CC y el PMP existe una relación entre estos parámetros con la textura del suelo. La textura junto con la transpiración, el tipo de cultivo, y contenido de sales en el suelo, varían la tensión a la cual el agua está retenida en un suelo. Jorge Sandoval (2007:75) básicamente expresa que el agua en los suelos arenosos está retenida a una menor tensión. Esto probablemente explica porque los suelos en el área bajo estudio tienen entonces porcentajes moderadamente bajos de CC y PMP.

Cuadro 19. Porcentaje del área total que representan los valores de capacidad de campo, punto de marchitez permanente y densidad aparente.

Capacidad de campo (%)	Punto de marchitez permanente (%)	Densidad aparente (gr/cc)	Porcentaje del área total (%)
14	6	1.5	67.47
22	10	1.4	25.43
27	13	1.35	3.99
11.5	5	1.575	3.11
Total			100

Fuente: Elaboración propia.

B. Cuantificación de la recarga hídrica natural de la parte alta de la cuenca del Río Achiguate.

1. Evapotranspiración potencial (ETP) y Evapotranspiración real (ETR). En el siguiente cuadro se presenta un resumen de la ETP y ETR total anual de cada unidad de mapeo. Se puede ver que los valores oscilan entre los 649.91 mm/año y 836.79 mm/año en la evapotranspiración potencial, mientras que en la evapotranspiración real los valores van de los 472.69 mm/año a los 785.27 mm/año.

Cuadro 20. Evapotranspiración potencial y evapotranspiración real para cada unidad de mapeo en el área de estudio.

Unidad de mapeo	Evapotranspiración potencial (mm/año)	Evapotranspiración real (mm/año)
1	721.23	518.25
2	721.23	493.72
3	676.46	565.39
4	676.46	473.19
5	676.46	542.56
6	676.46	485.01
7	676.46	596.78
8	676.46	487.24
9	827.47	770.47
10	836.48	633.49
11	676.46	500.07
12	770.38	712.16
13	806.70	708.23
14	649.91	532.33
15	676.46	483.42
16	649.91	478.46
17	649.91	481.73
18	649.91	474.72
19	649.91	529.10
20	721.23	640.31
21	770.38	642.90
22	649.91	492.36
23	676.46	498.29
24	721.23	598.86
25	721.23	497.93
26	676.46	502.87
27	676.46	498.29
28	721.23	608.65
29	676.46	537.66
30	770.50	564.71
31	656.27	472.69
32	836.79	629.36
33	721.23	747.15
34	827.47	730.91
35	806.70	686.67
36	721.23	495.35
37	806.70	728.55

Continuación Cuadro 20

Unidad de mapeo	Evapotranspiración potencial (mm/año)	Evapotranspiración real (mm/año)
38	770.38	706.19
39	721.23	497.93
40	649.91	573.88
41	676.46	514.37
42	649.91	539.81
43	649.91	494.68
44	649.91	572.44
45	649.91	474.72
46	806.70	719.68
47	676.46	599.26
48	676.46	498.29
49	676.46	655.79
50	770.38	705.50
51	806.70	769.16
52	827.47	728.63
53	836.79	629.00
54	836.79	716.06
55	836.79	725.76
56	827.47	729.44
57	676.46	573.44
58	676.46	493.75
59	836.79	599.77
60	836.79	629.00
61	827.47	701.07
62	806.70	785.27
63	806.70	728.70
64	827.47	749.35
65	827.47	723.38
Promedio	732.63	598.06

Fuente: Elaboración propia.

En el área de estudio predomina en un 42.55%, una evapotranspiración potencial entre los 600-700 mm/año. Además, se puede decir que un 55% del área total, la evapotranspiración real es de 600-800 mm/año (ver Cuadro 21).

Cuadro 21. Porcentaje del área total que representan los rangos de evapotranspiración real y evapotranspiración potencial.

Evapotranspiración potencial		Evapotranspiración real	
Rangos (mm/año)	Porcentaje del área total (%)	Rangos (mm/año)	Porcentaje del área total (%)
600-700	42.55	400-500	25.37
700-800	18.14	500-600	19.39
800-900	39.31	600-700	27.34
Total	100	700-800	27.90
		Total	100

Fuente: Elaboración propia.

2. Precipitación media y precipitación efectiva. En el siguiente cuadro se presenta un resumen de la Precipitación Media y Efectiva total anual de cada unidad de mapeo. La precipitación efectiva al igual que los valores de evapotranspiración presentados en el inciso anterior, se calcularon en base a una hoja electrónica de Excel elaborada por Schosinsky & Losilla (2000), la cual incluye las fórmulas descritas en la metodología. En el Cuadro 22 se pueden observar valores de precipitación media entre los 1,130 mm/año y los 4,290 mm/año, y valores de precipitación efectiva entre los 806.32 mm/año y los 3,773.60 mm/año.

Cuadro 22. Precipitación media y precipitación efectiva para cada unidad de mapeo en el área de estudio.

Unidad de mapeo	Precipitación media (mm/año)	Precipitación efectiva (mm/año)
1	1130.00	890.00
2	1130.00	974.00
3	1167.50	920.00
4	1155.00	918.64
5	1195.00	942.50
6	1195.00	1033.00
7	1142.50	900.00
8	1130.00	898.35
9	3542.50	2691.85
10	2915.00	2456.84
11	1202.50	844.04
12	3162.50	2526.00
13	3412.50	2996.10
14	1265.00	1000.00
15	1202.50	1040.50
16	1165.00	927.87
17	1200.00	957.38
18	1302.50	1128.50
19	1327.50	1050.00
20	2655.00	2117.50
21	2667.50	2337.50
22	1455.00	1266.00
23	1200.00	842.01
24	1412.50	1117.50
25	1412.50	1223.50
26	1175.00	927.50
27	1175.00	824.16
28	1842.50	1464.00
29	2140.00	1870.00
30	1150.00	907.50
31	1352.50	1172.50
32	2395.00	2093.00
33	1527.50	1210.00
34	3080.00	2705.60
35	3512.50	2967.93
36	1527.50	1326.50
37	4185.00	3680.60
38	4290.00	3773.60
39	1287.50	1113.50

Continuación Cuadro 22

Unidad de mapeo	Precipitación media (mm/año)	Precipitación efectiva (mm/año)
40	1940.00	1544.00
41	2187.50	1911.50
42	1555.00	1234.00
43	1657.50	1444.50
44	1862.50	1481.50
45	1452.50	1260.50
46	3875.00	3403.60
47	1175.00	845.12
48	1150.00	806.32
49	3477.50	2781.00
50	3827.50	3363.10
51	3712.50	2966.00
52	3562.50	2885.15
53	2610.00	2197.97
54	3365.00	2394.61
55	3385.00	2859.09
56	3460.00	2923.19
57	1177.50	930.00
58	1162.50	814.02
59	2557.50	2235.50
60	2610.00	2197.97
61	3687.50	3115.56
62	4085.00	3108.47
63	4135.00	3636.60
64	3712.50	2966.00
65	3692.50	3120.37
Promedio	2207.08	1822.49

Fuente: Elaboración Propia en base a UPEI, PEDN, y MAGA (2001).

No se puede decir que en el área de estudio predomina principalmente una determinada precipitación media, ya que como se puede ver en el Cuadro 23, el porcentaje del área cubierta por determinado rango de precipitación media es muy variable. El porcentaje más alto encontrado equivale a un 33% del área aproximadamente, al cual le corresponde una precipitación entre los 1,000-1,500 mm/año. En el caso de la precipitación real se puede observar el mismo comportamiento variable, aunque se puede decir que aproximadamente un 43% del área total tiene una precipitación real entre los 2,000-3,000 mm/año. En general se puede ver además que la precipitación real promedio es menor a la precipitación media, y esto es de esperarse ya que la precipitación efectiva se refiere a aquella que puede infiltrarse en el suelo.

Por su ubicación geográfica en la vertiente del pacífico y relieve de plano a accidentado, la precipitación en el área analizada es eminentemente del tipo orográfica. Esto quiere decir que las masas de aire que vienen del sur y arrastran humedad, al entrar a la superficie se ven obligadas a ascender por la topografía accidentada y debido a una mayor fricción, compresión y una ganancia de humedad (p.e. a través de la evapotranspiración de la vegetación), encuentran el punto óptimo para la condensación, forman nubes y eventualmente precipita. El gradiente de precipitación por lo tanto no es uniforme y es cada vez menor en la medida que el área se acerca al océano.

Debido a la gran extensión que cubre la cuenca analizada (parte de la costa sur, de la bocacosta, los volcanes y del altiplano), el proceso de la precipitación orográfica se manifiesta en el área casi en su totalidad, y a ello se debe el que los rangos de precipitación son bastante variados. El tipo de precipitación explica porqué los rangos más altos de precipitación se dan en la bocacosta y en las áreas cercanas a las faldas de los volcanes, en las planicies la precipitación disminuye gradualmente, mientras que en el altiplano la precipitación también disminuye como consecuencia de que parte de la humedad en las masas de aire ya se ha condensado y precipitado, más el efecto de cañón que se produce entre el volcán de Agua y los volcanes de Acatenango y Fuego, en donde el movimiento de aire ascendente tiende a reducirse y la formación de nubes se hace difícil.

Cuadro 23. Porcentaje del área total que representan los rangos de precipitación media y precipitación efectiva.

Precipitación media		Precipitación real	
Rangos (mm/año)	Porcentaje del área total (%)	Rangos (mm/año)	Porcentaje del área total (%)
1,000-1,500	33.12	500-1,000	17.30
1,500-2,000	5.60	1,000-1,500	18.17
2,000-2,500	5.80	1,500-2,000	8.98
2,500-3,000	22.85	2,000-2,500	22.97
3,000-3,500	10.80	2,500-3,000	20.25
3,500-4,000	20.29	3,000-3,500	10.87
4,000-4,500	1.55	3,500-4,000	1.44
Total	100	Total	100

Fuente: Elaboración propia.

Es importante mencionar además que la precipitación promedio calculada en la cuenca es de 2,207.08 mm/año, y que a partir de ésta se obtuvo una precipitación efectiva promedio de 1,822.49 mm/año. La precipitación real representa un 82.57% de la precipitación media, siendo por tanto, el resto cantidad de agua que no pudo infiltrarse en el suelo para estar disponible a las raíces de las plantas y abastecer a los acuíferos.

3. Cálculo de la recarga hídrica natural. De la misma manera en que se obtuvieron los datos para los incisos anteriores, el cálculo de la recarga hídrica natural de cada unidad de mapeo se realizó utilizando una hoja electrónica de Excel elaborada por Schosinsky & Losilla (2000). Los resultados de precipitación, evapotranspiración real, escorrentía superficial, retención vegetal y recarga hídrica natural para cada unidad se muestran en el siguiente cuadro. En él se puede observar que la recarga hídrica natural en el área de estudio varía desde los 378.92 mm/año hasta los 3,069.40 mm/año, y en total es igual a 83,857.20 mm/año lo que equivale al 58.45% de la precipitación total recibida en el área de estudio.

Cuadro 24. Recarga hídrica natural de las unidades de mapeo en el área de estudio.

Unidad de mapeo	Precipitación (mm/año)	Evapotranspiración real (mm/año)	Escorrentía superficial (mm/año)	Retención (mm/año)	Recarga hídrica natural (mm/año)
Dd-DsQa Bosque secundario	1130.00	518.25	0.00	240.00	447.15
Dd-DsQa Centros poblados	1130.00	493.72	0.00	156.00	531.15

Continuación Cuadro 24

Unidad de mapeo	Precipitación (mm/año)	Evapotranspiración real (mm/año)	Escorrentía superficial (mm/año)	Retención (mm/año)	Recarga hídrica natural (mm/año)
Dd-DsQp Bosque latifoliadas	1167.50	565.39	0.00	247.50	489.38
Dd-DsQp Hortalizas	1155.00	473.19	77.36	159.00	501.91
Dd-DsQv Bosque latifoliadas	1195.00	542.56	0.00	252.50	509.38
Dd-DsQv Cultivos anuales	1195.00	485.01	0.00	162.00	597.38
Dd-DsTv Bosque natural	1142.50	596.78	0.00	242.50	469.38
Dd-DsTv Cultivos anuales	1130.00	487.24	75.65	156.00	481.62
DdQa Bosque latifoliadas	3542.50	770.47	138.15	712.50	2023.11
DdQa Caña	2915.00	633.49	96.16	362.00	1837.94
DdQp Cultivos anuales	1202.50	500.07	196.46	162.00	414.61
DdQv Bosque natural	3162.50	712.16	0.00	636.50	1889.00
DdQv Caña	3412.50	708.23	0.00	416.40	2317.06
DdTv Bosque latifoliadas	1265.00	532.33	0.00	265.00	562.72
DdTv Cultivos anuales	1202.50	483.42	0.00	162.00	597.38
Ds-LsQp Cultivos anuales	1165.00	478.46	78.13	159.00	515.25
Ds-LsTv Cultivos anuales	1200.00	481.73	80.62	162.00	535.54
Dv-DdQv Cultivos anuales	1302.50	474.72	0.00	174.00	698.72
Dv-DdTv Bosque latifoliadas	1327.50	529.10	0.00	277.50	622.72
Dv-Ds-EpQv Bosque coníferas	2655.00	640.31	0.00	537.50	1567.15
Dv-Ds-EpQv Café	2667.50	642.90	0.00	330.00	1729.00
Dv-Ds-EpTv Cultivos anuales	1455.00	492.36	0.00	189.00	808.72
Dv-LsQp Cultivos anuales	1200.00	498.29	195.99	162.00	414.61
DvQa Bosque natural	1412.50	598.86	0.00	295.00	667.15
DvQa Centros poblados	1412.50	497.93	0.00	189.00	773.15
DvQp Bosque secundario	1175.00	502.87	0.00	247.50	489.38
DvQp Cultivos anuales	1175.00	498.29	191.84	159.00	396.76
DvQv Bosque naturales	1842.50	608.65	0.00	378.50	987.15
DvQv Café	2140.00	537.66	0.00	270.00	1389.38

Continuación Cuadro 24

Unidad de mapeo	Precipitación (mm/año)	Evapotranspiración real (mm/año)	Escorrentía superficial (mm/año)	Retención (mm/año)	Recarga hídrica natural (mm/año)
DvTv Bosque secundario	1150.00	564.71	0.00	242.50	409.61
DvTv Cultivos anuales	1352.50	472.69	0.00	180.00	739.42
Ef-MdQa Caña	2395.00	629.36	0.00	302.00	1493.64
EfQa Bosque natural	1527.50	747.15	0.00	317.50	747.15
EfQa Cultivos anuales	3080.00	730.91	0.00	374.40	1990.87
EfQv Caña	3512.50	686.67	116.17	428.40	2291.26
EfTv Caña	1527.50	495.35	0.00	201.00	861.15
Eo-Dv-DdQa Pastos	4185.00	728.55	0.00	504.40	2960.43
Eo-Dv-DdQv Pastos	4290.00	706.19	0.00	516.40	3069.40
Eo-DvQa Cultivos anuales	1287.50	497.93	0.00	174.00	663.15
Eo-DvQv Bosque coníferas	1940.00	573.88	0.00	396.00	1082.72
Eo-DvQv Cultivos anuales	2187.50	514.37	0.00	276.00	1433.38
Eo-DvTv Bosque latifoliadas	1555.00	539.81	0.00	321.00	782.72
Eo-DvTv Cultivos anuales	1657.50	494.68	0.00	213.00	984.72
Eo-EpQv Bosque coníferas	1862.50	572.44	0.00	381.00	1022.72
Eo-EpQv Cultivos anuales	1452.50	474.72	0.00	192.00	830.72
EoQa Pastos	3875.00	719.68	0.00	471.40	2713.06
EoQp Bosque natural	1175.00	599.26	82.38	247.50	413.00
EoQp Cultivos anuales	1150.00	498.29	187.68	156.00	378.92
EoQv Bosque coníferas	3477.50	655.79	0.00	696.50	2179.39
EoQv Café	3827.50	705.50	0.00	464.40	2691.92
EoTv Bosque natural	3712.50	769.16	0.00	746.50	2293.13
EoTv Cultivos anuales	3562.50	728.63	242.95	434.40	2196.78
Ep-EfQa Caña	2610.00	629.00	86.03	326.00	1583.69
Ep-EfTv Cultivos anuales	3365.00	716.06	557.39	413.00	1746.94
EpQa Cultivos anuales	3385.00	725.76	111.91	414.00	2182.55
EpTv Cultivos anuales	3460.00	729.44	114.41	422.40	2232.66
LsQp Bosque coníferas	1177.50	573.44	0.00	247.50	489.38
LsQp Cultivos anuales	1162.50	493.75	189.48	159.00	396.76
Md-DdQa Caña	2557.50	599.77	0.00	322.00	1665.73

Continuación Cuadro 24

Unidad de mapeo	Precipitación (mm/año)	Evapotranspiración real (mm/año)	Escorrentía superficial (mm/año)	Retención (mm/año)	Recarga hídrica natural (mm/año)
MdQa Caña	2610.00	629.00	86.03	326.00	1583.69
PdQa Caña	3687.50	701.07	121.94	450.00	2444.37
PdQv Bosque natural	4085.00	785.27	159.53	817.00	2400.82
PdQv Pastos	4135.00	728.70	0.00	498.40	2916.27
PdTv Bosque secundario	3712.50	749.35	0.00	746.50	2276.87
PdTv Cultivos anuales	3692.50	723.38	122.13	450.00	2444.37
Total	143460.00	38874.13	3308.39	21690.00	83857.20

Fuente: Elaboración propia.

Es importante mencionar que un 23.33% del área bajo estudio tiene una recarga hídrica entre 1,500-2,000 mm/año; 21.81% entre 2,000-2,500 mm/año; 20.03% entre 500-1,000 mm/año; 13.61% entre 100-500 mm/año; 10.87% entre 1,000-1,500 mm/año; y 10.35% del área una recarga hídrica entre 2,500-3,100 mm/año.

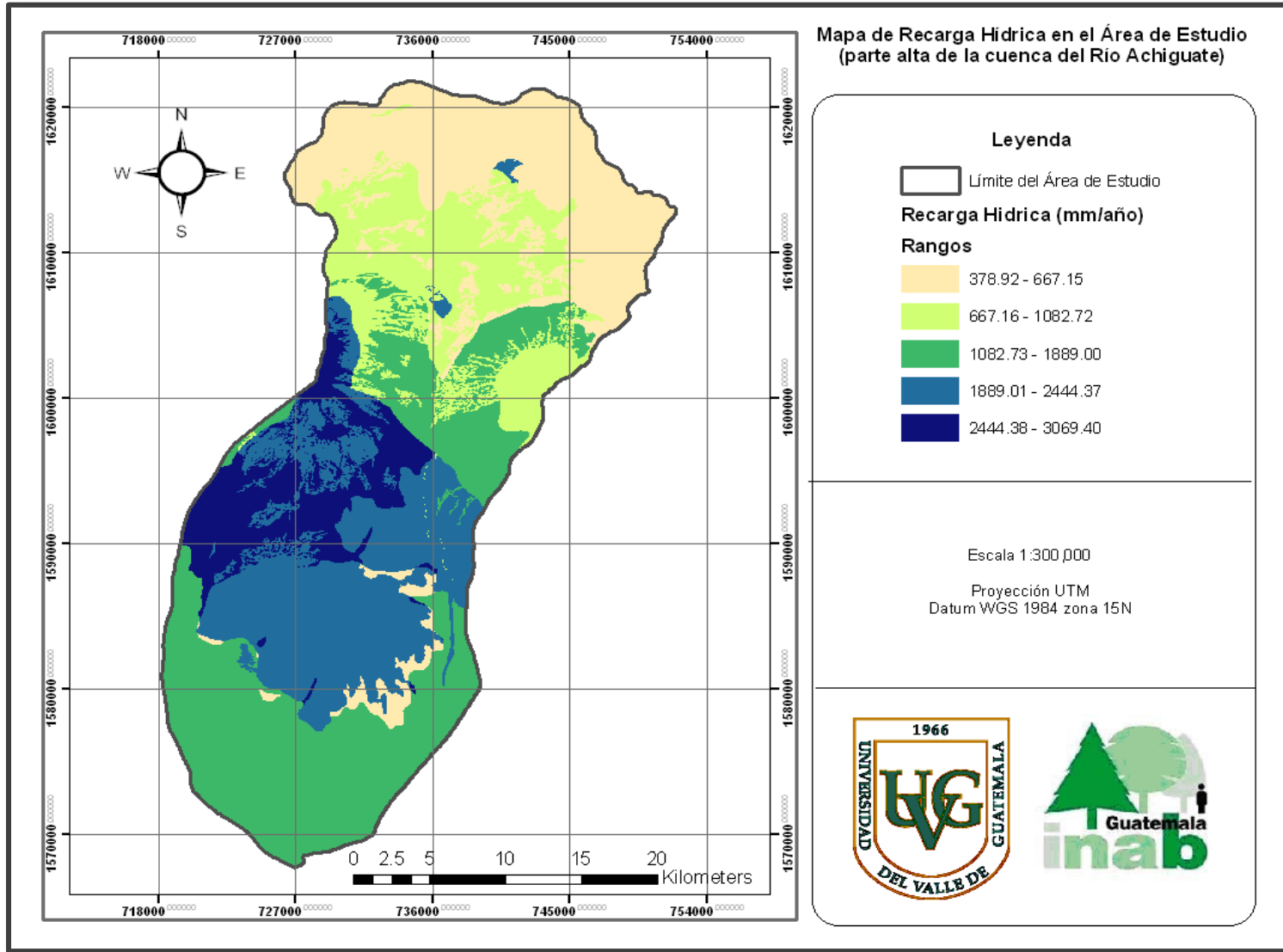
En la Figura 12 se puede observar la distribución y ubicación de los diferentes rangos de recarga hídrica. Se observa que la mayor recarga ocurre principalmente en la zona media y en la parte superior de la zona baja de la cuenca, mientras que la menor recarga se da principalmente en la parte alta. Los rangos de recarga hídrica moderada se presentan principalmente en la zona más baja y en algunas áreas de la zona media de la cuenca. Esta distribución refleja lo que se recarga mas no necesariamente la magnitud de lo que las diferentes regiones dentro del área de estudio deberían de estar recargando. Esto último podría estar reflejado en el mapa de Tierras Forestales de Captación y Regulación Hidrológica de la cuenca (ver Figura 13).

Los rangos de recarga hídrica varían según las condiciones que resultan de la combinación de diferentes factores como precipitación, pendiente, textura, cobertura, etc. Debido a que estos factores independientemente son muy diversos en toda el área de estudio, el análisis de recarga se facilita si se divide la cuenca en zonas que compartan cierto grado de similitud.

Al considerar únicamente la zona baja de la cuenca la pendiente es plana (>8%) y la precipitación es relativamente alta (3,000 mm/año en promedio), condiciones que en general favorecen el proceso de recarga hídrica. Sin embargo, la recarga en la parte central superior de esta zona es mucho más alta que en el resto (1,889-2,444 mm/año en comparación con 1082-1889 mm/año) a pesar de que la topografía es moderadamente accidentada.

Probablemente esto se deba a que la textura en los suelos (arena-franca y franca) favorecen una mayor infiltración en comparación con texturas franca-arcillosas y franca-limosas que predominan en el resto de la zona. El tipo de cobertura no tiene tanta influencia ya que aunque si existen áreas representativas de bosque en la parte central superior, los bosques se encuentran bastante dispersos en toda la zona y existen otros usos del suelo aún más representativos como la caña y cultivos agrícolas anuales. El factor más determinante en la recarga de esta zona es quizá la geología, ya que es evidente que el área con mayor recarga coincide en forma y ubicación con parte de la unidad litológica "Rocas Volcánicas sin dividir del Terciario (Tv)", así como la unidad litológica "Cenizas Volcánicas Cuaternarias (Qa) con el resto del área. Ambas unidades constituyen acuíferos de muy buena productividad pero la unidad TV se caracteriza por una alta permeabilidad y un alto rango de propiedades hidrogeológicas.

Figura 12. Distribución de la recarga hídrica dentro del área de estudio.



En la zona media se concentra la mayor recarga hídrica (2,444-3,069 mm/año) sobretodo en la parte oeste central en la planicie que antecede las faldas del volcán de Fuego. En esta área la precipitación es bastante alta (alrededor de los 4,000 mm/año en promedio), la topografía es relativamente plana, y la textura de los suelos varía de arena-franca gruesa, a franco-gravosa y franco-arenosa principalmente. Cada una de estas condiciones independientemente es ideal en el proceso de recarga hídrica, por lo que al combinarse o al estar todas presentes su efecto positivo se magnifica. A estos factores se suma también el tipo de cobertura compuesta principalmente por cafetales a los cuales se les atribuye un gran potencial hidrológico. También existe una presencia significativa de pastos por lo que probablemente en general la cobertura no tenga el mismo efecto positivo que los demás factores. Igualmente la geología ya que dentro de esta zona algunas áreas muestran un recarga hídrica considerablemente mucho menor a pesar de contar con la misma unidad litológica.

En la parte inferior Este y central de la zona media también es evidente una recarga hídrica alta. La textura de suelos en esta área es principalmente franca y la precipitación es un poco menor (3,000 mm/año en promedio). La topografía específicamente en la parte inferior central es moderadamente accidentada, el principal uso de suelo lo constituyen los bosques y nuevamente coincide en forma y ubicación con parte de la unidad litológica Tv. La recarga es aún alta debido a que a pesar de la topografía, la precipitación, textura y sobretodo la geología y cobertura en conjunto generan condiciones adecuadas que favorecen dicho proceso. La topografía en la parte inferior Este se caracteriza por la presencia de un pequeño valle antes que inicien las pendientes elevadas del volcán de Agua y porque el principal uso es la caña. En esta área los rangos altos de recarga se mantienen a pesar de la cobertura por la pendiente plana, la textura y precipitación las cuales son favorables.

En el volcán de Fuego también existen recargas altas y muy altas. En esta área la precipitación en promedio es de 2,500 mm/año, la topografía cambia gradualmente haciéndose cada vez más accidentada en las partes más altas (las pendientes varían entre 26-55%), la textura es franca-arenosa y la cobertura está compuesta principalmente por bosques naturales. El factor clave en el área es la cobertura ya que los bosques al reducir la escorrentía y aumentar la intercepción, favorecen la recarga a pesar de las demás condiciones.

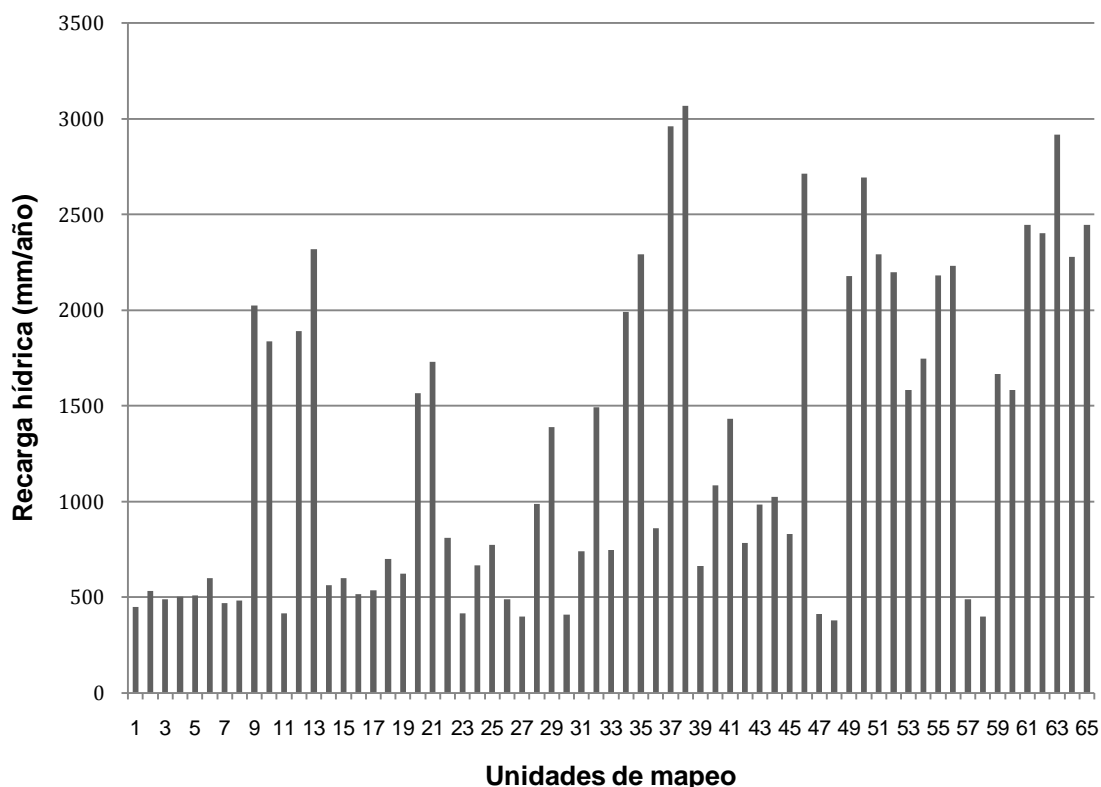
El resto de la zona media donde se localiza parte del volcán de Agua y Acatenango se caracteriza por una recarga hídrica media relativamente baja. Sin considerar la precipitación y cobertura el resto de condiciones son similares al caso anterior y se extienden a lo largo de todo el cono de los volcanes. La precipitación decrece gradualmente hacia la zona alta de la cuenca y predominan los cultivos agrícolas anuales, la caña, en algunas partes cafetales y en una mucho menor proporción los bosques. Los menores rangos de precipitación y el tipo de cobertura con las condiciones topográficas, no necesariamente favorecen una mayor infiltración y como consecuencia la recarga en esta área es menor.

La zona alta de la cuenca se caracteriza por altiplanicies y por un relieve montañoso bastante accidentado en algunas áreas. El suelo tiene una textura principalmente franca-arenosa, arena-franca gruesa y franco-arcillo-arenosa. Los rangos más bajos de precipitación ocurren en esta zona (1,000 mm/año en promedio) y los cultivos agrícolas anuales predominan aunque la cobertura forestal a pesar de estar muy dispersa es también bastante representativa. En esta zona se concentran los menores rangos de recarga hídrica al igual que en el caso anterior, por la combinación de una relativa baja precipitación y el tipo de cobertura en un relieve ondulado. A pesar de que la geología aporta un efecto positivo al estar presentes las unidades litológicas Qp, Qa y Tv, al parecer no se contrarresta el efecto de los demás factores.

Específicamente las unidades de mapeo (ver Gráfica 1) que más recargan son la 38, 63 y 37 (equivalentes a 1.44% del área total), en donde la recarga hídrica natural representa el 10.67% de la recarga total y aproximadamente una lamina de 2,982.03 mm/año. Estas unidades se caracterizan porque su cobertura es principalmente pastos.

La mayor recarga en estas unidades se debe a que se ubican en la parte baja del área de estudio, en donde las pendientes no son mayores al 8%, por lo que la escorrentía es menor aumentando así las posibilidades de infiltrar. Pero también, estas unidades se caracterizan porque la textura de los suelos es arenosa-franca gruesa y la precipitación es incluso la más alta en el área (4,000 mm/año), condiciones que también favorecen una mayor oportunidad de infiltración y por tanto de recarga hídrica con respecto al resto.

Gráfica 1. Comportamiento de la recarga hídrica natural en las unidades de mapeo.



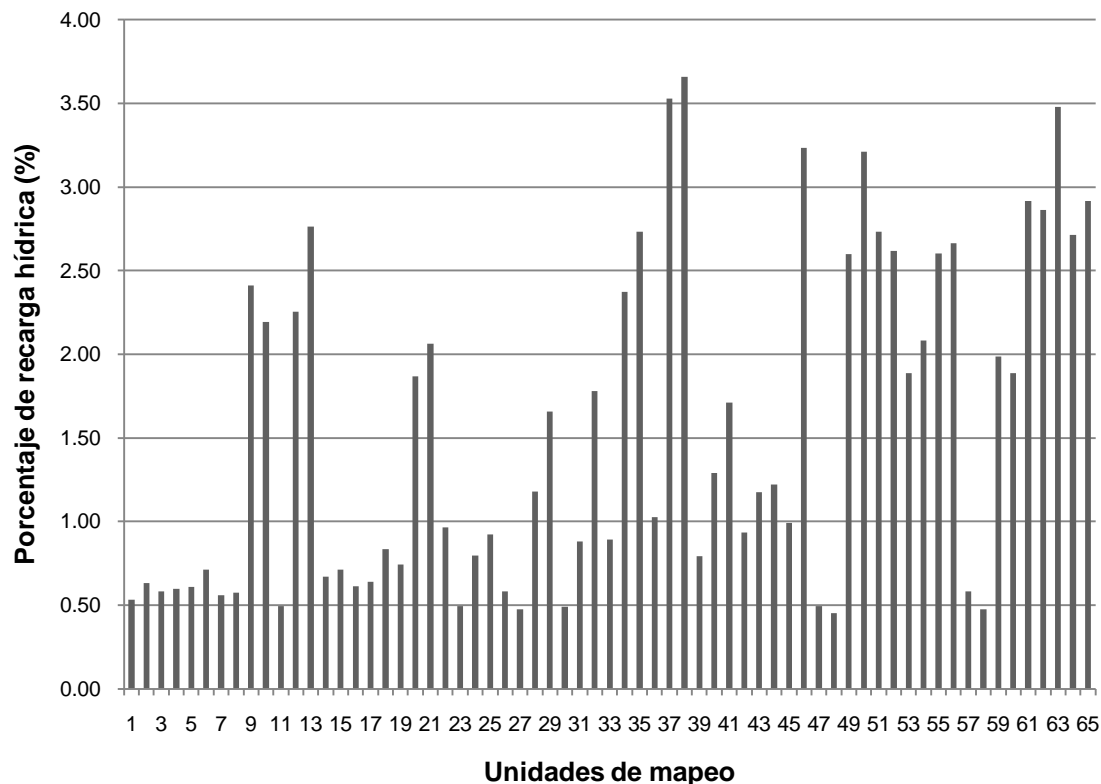
Fuente: Elaboración propia.

Otro análisis más general de la recarga hídrica se puede hacer considerando el porcentaje de recarga que representa cada unidad de la recarga hídrica total (ver Gráfica 2). Básicamente si se comparan la siguiente gráfica con la anterior se puede ver el mismo comportamiento en las diferentes unidades de mapeo.

Ahora bien, lo importante de la Gráfica 2 es que se puede apreciar mejor el hecho que no existe una o varias unidades que contribuyan grandemente o en un gran porcentaje a la recarga hídrica total de la cuenca. Se puede apreciar que los porcentajes de cada unidad en cuanto a su contribución en la recarga hídrica total son bajos. Los porcentajes más altos (alrededor del 3%) corresponden nuevamente a las unidades de mapeo discutidas anteriormente, y se puede apreciar que la mayoría de las unidades, cada una contribuye a la recarga hídrica natural total en un 0-2%.

Las unidades que contribuyen a la recarga hídrica total en más del 2% son la 9, 10, 12, 13, 21, 34, 35, 37, 38, 46, 49, 50, 51, 52, 54, 55, 56, y de la 61-65. La cobertura vegetal que predomina en estas unidades varía de cultivos anuales, caña y pastos, a café, bosque secundario, bosque de coníferas, bosque de latifoliadas y bosque natural.

Gráfica 2. Porcentaje de recarga hídrica natural que representa cada unidad de mapeo, de la recarga hídrica total del área de estudio.



Fuente: Elaboración propia.

Nuevamente estas unidades recargan más debido a que las condiciones con las que cuentan de precipitación, pendiente, textura y tipo de cobertura, son más favorables para que este proceso se lleve a cabo. El hecho que la recarga hídrica es relativamente alta en algunas de estas unidades cuya cobertura vegetal es el bosque y que además algunas tienen una pendiente alta, probablemente se deba por el efecto de intercepción ante un evento de precipitación que tiene este tipo de cobertura vegetal, entre otros factores, lo cual reduce la escorrentía y aumenta las posibilidades de infiltración.

Si se analiza la recarga hídrica en el área de estudio en base al tipo de cobertura que predomina en cada unidad (Bosque o Sin Bosque), resulta que las unidades con Bosque contribuyen en un 29.60% a la recarga hídrica total, mientras que las unidades Sin Bosque contribuyen con el 70.40% restante. Sin embargo, se debe notar que las unidades con Bosque cubren apenas un 20.46% y las unidades Sin Bosque cubren un 79.52% del área total.

Por lo tanto, para hacer un mejor análisis de la representatividad de la recarga hídrica bajo este punto de vista, al determinar la recarga hídrica promedio en mm/año/ha para las unidades con Bosque y para las unidades Sin bosque, respectivamente, se encontró que las unidades con Bosque recargan en promedio 7.07 mm/año/ha (70.7 m³/año/ha), mientras que las unidades Sin Bosque recargan 4.76 mm/año/ha (47.6 m³/año/ha). A pesar de que son varios factores los que interactúan en el proceso de recarga hídrica, en este estudio interesa principalmente el factor cobertura vegetal, de manera que los resultados anteriores denotan la importancia que una cobertura forestal tiene en el balance hídrico, al ésta representar una recarga hídrica mayor comparada con cualquier otro tipo de cobertura.

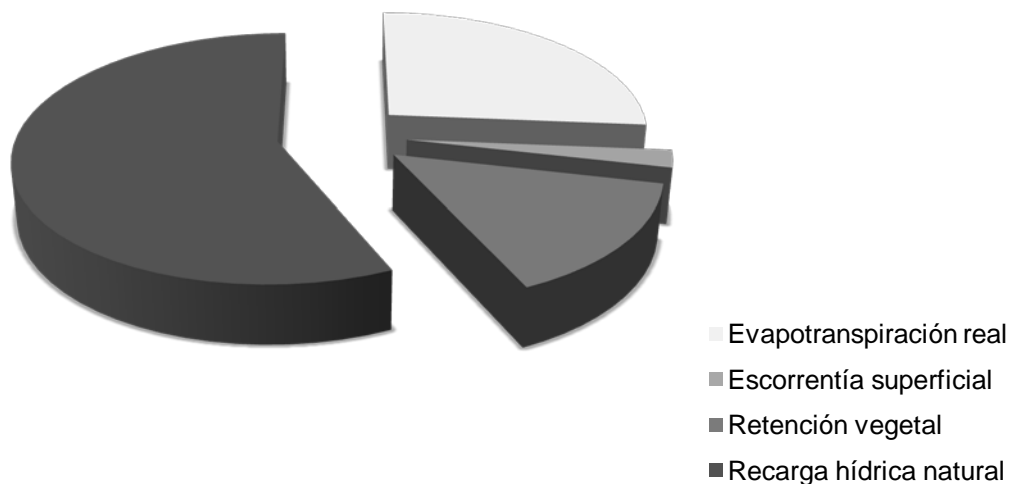
4. **Balance hídrico de suelos.** En el siguiente cuadro se presenta el resumen del balance hídrico de suelos de la parte alta de la cuenca del Río Achiguate. Se observa que el volumen de los factores de salida del sistema (evapotranspiración real, escorrentía superficial, retención vegetal y recarga hídrica) es ligeramente mayor al volumen de entrada (expresado por la precipitación). La diferencia entre ambos es de 65.60 mm/año lo cual equivale a un 2.98% de error en el cálculo del balance hídrico. También se aprecia el factor que representa la principal salida de agua en el sistema. Para el caso del área bajo estudio se obtuvo que dicho factor es la recarga hídrica, ya que ésta representa un 58.45% del total de salidas, seguido por la evapotranspiración real con un 27.10%. Por su parte, el factor que representa la menor salida de agua es la escorrentía superficial con un 2.31%. El comportamiento de todas las salidas de agua del sistema se puede apreciar mejor en la Gráfica 3.

Cuadro 25. Balance hídrico de suelos de la parte alta de la cuenca del Río Achiguate.

Entrada		Salidas		Porcentaje (%)
Factor	mm/año	Factor	mm/año	
Precipitación pluvial	2207.08	Evapotranspiración real	598.06	27.10
		Escorrentía superficial	50.90	2.31
		Retención vegetal	333.69	15.12
		Recarga hídrica natural	1290.11	58.45
Sumatoria	2207.08	Sumatoria	2272.76	102.98

Fuente: Elaboración propia.

Gráfica 3. Distribución de las pérdidas de agua en el sistema.



Fuente: Elaboración propia.

El hecho que la recarga hídrica sea la principal salida de agua en el área de estudio es interesante ya que normalmente es la evapotranspiración la principal salida. Probablemente esto se deba a una subestimación de la evapotranspiración, que como se sabe es un factor muy difícil de medir, o que incluso en este caso sea la recarga hídrica el factor sobrestimado, viéndose afectados por lo tanto el resto de factores como la escorrentía específicamente.

5. Identificación de las tierras forestales de captación y regulación hidrológica (TFCRH). En el siguiente cuadro se pueden observar las subunidades identificadas en cada unidad de mapeo, para cada una de ellas los valores de las matrices (geología, capacidad de uso de la tierra, tasa de infiltración, recarga potencial anual y ubicación espacial) para identificar las TFCRH, y la categoría de TFCRH a la que pertenecen.

Cuadro 26. Identificación de las Tierras Forestales de Captación y Regulación Hidrológica de la parte alta de la cuenca del Río Achiguate.

Unidad de mapeo	Geología	Infiltración básica	Recarga anual	Ubicación relativa	Capacidad de uso	Valor	TRCH
1	3	2	2	2	0	9	Baja
	3	2	2	2	1	10	Baja
	3	2	2	2	3	12	Moderada
	3	2	2	2	5	14	Moderada
	3	2	2	2	7	16	Alta
2	3	2	2	2	0	9	Baja
	3	2	2	2	1	10	Baja
	3	2	2	2	3	12	Moderada
	3	2	2	2	5	14	Moderada
	3	2	2	2	7	16	Alta
3	1	1	2	2	0	6	Baja
	1	1	2	2	3	9	Baja
	1	1	2	2	5	11	Moderada
	1	1	2	2	7	13	Moderada
4	1	1	2	2	0	6	Baja
	1	1	2	2	3	9	Baja
	1	1	2	2	5	11	Moderada
	1	1	2	2	7	13	Moderada
5	1	2	2	2	3	10	Baja
	1	2	2	2	5	12	Moderada
	1	2	2	2	7	14	Moderada
6	1	2	2	2	0	7	Baja
	1	2	2	2	1	8	Baja
	1	2	2	2	3	10	Baja
	1	2	2	2	5	12	Moderada
	1	2	2	2	7	14	Moderada
7	0	1	2	3	0	6	Baja
	0	1	2	3	1	7	Baja
	0	1	2	3	3	9	Baja
	0	1	2	3	5	11	Moderada
	0	1	2	3	7	13	Moderada
8	0	1	2	2	0	5	Baja
	0	1	2	2	1	6	Baja
	0	1	2	2	3	8	Baja
	0	1	2	2	5	10	Baja
	0	1	2	2	7	12	Moderada
9	3	1	4	1	0	9	Baja

Continuación Cuadro 26

Unidad de mapeo	Geología	Infiltración básica	Recarga anual	Ubicación relativa	Capacidad de uso	Valor	TRCH
9	3	1	4	1	3	12	Moderada
	3	1	4	1	5	14	Moderada
10	3	1	4	1	0	9	Baja
	3	1	4	1	1	10	Baja
	3	1	4	1	3	12	Moderada
	3	1	4	1	5	14	Moderada
	3	1	4	1	7	16	Alta
	3	1	4	1	8	17	Alta
11	1	1	2	2	0	6	Baja
	1	1	2	2	3	9	Baja
12	1	2	4	1	0	8	Baja
	1	2	4	1	3	11	Moderada
	1	2	4	1	7	15	Alta
13	1	2	4	1	0	8	Baja
	1	2	4	1	3	11	Moderada
	1	2	4	1	5	13	Moderada
	1	2	4	1	7	15	Alta
	1	2	4	1	8	16	Alta
14	0	2	2	3	0	7	Baja
	0	2	2	3	3	10	Baja
	0	2	2	3	5	12	Moderada
	0	2	2	3	7	14	Moderada
15	0	2	2	2	0	6	Baja
	0	2	2	2	3	9	Baja
	0	2	2	2	5	11	Moderada
	0	2	2	2	7	13	Moderada
	0	2	2	2	8	14	Moderada
16	1	1	2	2	0	6	Baja
	1	1	2	2	3	9	Baja
17	0	1	2	3	0	6	Baja
	0	1	2	3	3	9	Baja
	0	1	2	3	5	11	Moderada
	0	1	2	3	7	13	Moderada
18	1	2	3	3	0	9	Baja
	1	2	3	3	5	14	Moderada
	1	2	3	3	8	17	Alta
	1	2	3	3	7	16	Alta
19	0	2	2	3	5	12	Moderada
	0	2	2	3	7	14	Moderada
20	1	2	4	2	3	12	Moderada
	1	2	4	2	5	14	Moderada
	1	2	4	2	7	16	Alta
	1	2	4	2	8	17	Alta

Continuación Cuadro 26

Unidad de mapeo	Geología	Infiltración básica	Recarga anual	Ubicación relativa	Capacidad de uso	Valor	TRCH
21	1	2	4	1	0	8	Baja
	1	2	4	1	3	11	Moderada
	1	2	4	1	5	13	Moderada
	1	2	4	1	7	15	Alta
	1	2	4	1	8	16	Alta
22	0	2	3	3	0	8	Baja
	0	2	3	3	3	11	Moderada
	0	2	3	3	5	13	Moderada
22	0	2	3	3	7	15	Alta
23	1	1	2	2	0	6	Baja
	1	1	2	2	3	9	Baja
24	3	2	3	2	0	10	Baja
	3	2	3	2	1	11	Moderada
	3	2	3	2	3	13	Moderada
	3	2	3	2	5	15	Alta
	3	2	3	2	7	17	Alta
25	3	2	3	2	0	10	Baja
	3	2	3	2	1	11	Moderada
	3	2	3	2	3	13	Moderada
	3	2	3	2	5	15	Alta
	3	2	3	2	7	17	Alta
26	1	2	2	2	0	7	Baja
	1	2	2	2	3	10	Baja
	1	2	2	2	5	12	Moderada
	1	2	2	2	7	14	Moderada
27	1	1	2	2	0	6	Baja
	1	1	2	2	3	9	Baja
	1	1	2	2	5	11	Moderada
	1	1	2	2	7	13	Moderada
28	1	2	3	1	0	7	Baja
	1	2	3	1	3	10	Baja
29	1	2	4	1	0	8	Baja
	1	2	4	1	1	9	Baja
	1	2	4	1	3	11	Moderada
	1	2	4	1	5	13	Moderada
30	0	2	2	0	0	4	Baja
	0	2	2	0	1	5	Baja
	0	2	2	0	3	7	Baja
	0	2	2	0	5	9	Baja
	0	2	2	0	7	11	Moderada
31	0	2	3	0	0	5	Baja
	0	2	3	0	1	6	Baja
	0	2	3	0	3	8	Baja
	0	2	3	0	5	10	Baja

Continuación Cuadro 26

Unidad de mapeo	Geología	Infiltración básica	Recarga anual	Ubicación relativa	Capacidad de uso	Valor	TRCH
31	0	2	3	0	7	12	Moderada
32	3	2	4	1	0	10	Baja
	3	2	4	1	1	11	Moderada
	3	2	4	1	3	13	Moderada
	3	2	4	1	5	15	Alta
33	3	2	3	1	0	9	Baja
	3	2	3	1	1	10	Baja
	3	2	3	1	3	12	Moderada
	3	2	3	1	7	16	Alta
34	3	2	4	1	0	10	Baja
	3	2	4	1	1	11	Moderada
	3	2	4	1	3	13	Moderada
	3	2	4	1	5	15	Alta
	3	2	4	1	7	17	Alta
35	1	1	4	1	3	10	Baja
	1	1	4	1	7	14	Moderada
36	0	2	3	2	0	7	Baja
	0	2	3	2	1	8	Baja
	0	2	3	2	3	10	Baja
	0	2	3	2	5	12	Moderada
	0	2	3	2	7	14	Moderada
37	3	2	4	1	3	13	Moderada
	3	2	4	1	5	15	Alta
	3	2	4	1	7	17	Alta
38	1	2	4	1	3	11	Moderada
	1	2	4	1	7	15	Alta
39	3	2	3	2	0	10	Baja
	3	2	3	2	1	11	Moderada
	3	2	3	2	3	13	Moderada
	3	2	3	2	5	15	Alta
40	1	2	4	2	0	9	Baja
	1	2	4	2	1	10	Baja
	1	2	4	2	3	12	Moderada
	1	2	4	2	5	14	Moderada
	1	2	4	2	7	16	Alta
	1	2	4	2	8	17	Alta
41	1	2	4	2	0	9	Baja
	1	2	4	2	1	10	Baja
	1	2	4	2	3	12	Moderada
	1	2	4	2	5	14	Moderada
	1	2	4	2	7	16	Alta
	1	2	4	2	8	17	Alta
42	0	2	3	3	3	11	Moderada

Continuación Cuadro 26

Unidad de mapeo	Geología	Infiltración básica	Recarga anual	Ubicación relativa	Capacidad de uso	Valor	TRCH
42	0	2	3	3	5	13	Moderada
	0	2	3	3	7	15	Alta
43	0	2	3	3	0	8	Baja
	0	2	3	3	3	11	Moderada
	0	2	3	3	5	13	Moderada
	0	2	3	3	7	15	Alta
44	1	2	4	4	3	14	Moderada
	1	2	4	4	5	16	Alta
	1	2	4	4	7	18	Alta
	1	2	4	4	8	19	Muy Alta
45	1	2	3	4	3	13	Moderada
	1	2	3	4	5	15	Alta
	1	2	3	4	7	17	Alta
	1	2	3	4	8	18	Alta
46	3	2	4	1	0	10	Baja
	3	2	4	1	1	11	Moderada
	3	2	4	1	3	13	Moderada
	3	2	4	1	5	15	Alta
	3	2	4	1	7	17	Alta
	3	2	4	1	8	18	Alta
47	1	1	2	2	0	6	Baja
	1	1	2	2	3	9	Baja
48	1	1	2	2	0	6	Baja
	1	1	2	2	3	9	Baja
	1	1	2	2	7	13	Moderada
49	1	2	4	3	0	10	Baja
	1	2	4	3	3	13	Moderada
	1	2	4	3	5	15	Alta
	1	2	4	3	7	17	Alta
	1	2	4	3	8	18	Alta
50	1	2	4	1	0	8	Baja
	1	2	4	1	3	11	Moderada
	1	2	4	1	5	13	Moderada
	1	2	4	1	7	15	Alta
	1	2	4	1	8	16	Alta
51	0	1	4	1	0	6	Baja
	0	1	4	1	3	9	Baja
	0	1	4	1	5	11	Moderada
	0	1	4	1	7	13	Moderada
	0	1	4	1	8	14	Moderada
52	0	1	4	1	0	6	Baja
	0	1	4	1	1	7	Baja
	0	1	4	1	3	9	Baja

Continuación Cuadro 26

Unidad de mapeo	Geología	Infiltración básica	Recarga anual	Ubicación relativa	Capacidad de uso	Valor	TRCH
52	0	1	4	1	5	11	Moderada
	0	1	4	1	7	13	Moderada
53	3	1	4	1	0	9	Baja
	3	1	4	1	1	10	Baja
	3	1	4	1	3	12	Moderada
	3	1	4	1	5	14	Moderada
	3	1	4	1	7	16	Alta
	3	1	4	1	8	17	Alta
54	0	1	4	1	0	6	Baja
	0	1	4	1	1	7	Baja
	0	1	4	1	3	9	Baja
	0	1	4	1	5	11	Moderada
	0	1	4	1	7	13	Moderada
	0	1	4	1	8	14	Moderada
55	3	1	4	1	0	9	Baja
	3	1	4	1	1	10	Baja
	3	1	4	1	5	14	Moderada
	3	1	4	1	7	16	Alta
	3	1	4	1	8	17	Alta
56	0	1	4	1	0	6	Baja
	0	1	4	1	1	7	Baja
	0	1	4	1	3	9	Baja
	0	1	4	1	5	11	Moderada
	0	1	4	1	7	13	Moderada
	0	1	4	1	8	14	Moderada
57	1	2	2	2	0	7	Baja
	1	2	2	2	3	10	Baja
	1	2	2	2	7	14	Moderada
58	1	1	2	2	0	6	Baja
	1	1	2	2	3	9	Baja
	1	1	2	2	7	13	Moderada
59	3	2	4	1	0	10	Baja
	3	2	4	1	1	11	Moderada
	3	2	4	1	3	13	Moderada
60	3	1	4	1	0	9	Baja
	3	1	4	1	1	10	Baja
	3	1	4	1	5	14	Moderada
61	3	1	4	1	0	9	Baja
	3	1	4	1	1	10	Baja
	3	1	4	1	3	12	Moderada
	3	1	4	1	5	14	Moderada
	3	1	4	1	7	16	Alta
	3	1	4	1	8	17	Alta

Continuación Cuadro 26

Unidad de mapeo	Geología	Infiltración básica	Recarga anual	Ubicación relativa	Capacidad de uso	Valor	TRCH
62	1	1	4	1	3	10	Baja
	1	1	4	1	5	12	Moderada
63	1	2	4	1	3	11	Moderada
	1	2	4	1	5	13	Moderada
	1	2	4	1	8	16	Alta
	1	2	4	1	7	15	Alta
64	0	1	4	1	3	9	Baja
	0	1	4	1	5	11	Moderada
	0	1	4	1	7	13	Moderada
	0	1	4	1	8	14	Moderada
65	0	1	4	1	0	6	Baja
	0	1	4	1	1	7	Baja
	0	1	4	1	3	9	Baja
	0	1	4	1	5	11	Moderada
	0	1	4	1	7	13	Moderada
	0	1	4	1	8	14	Moderada

Fuente: Elaboración propia.

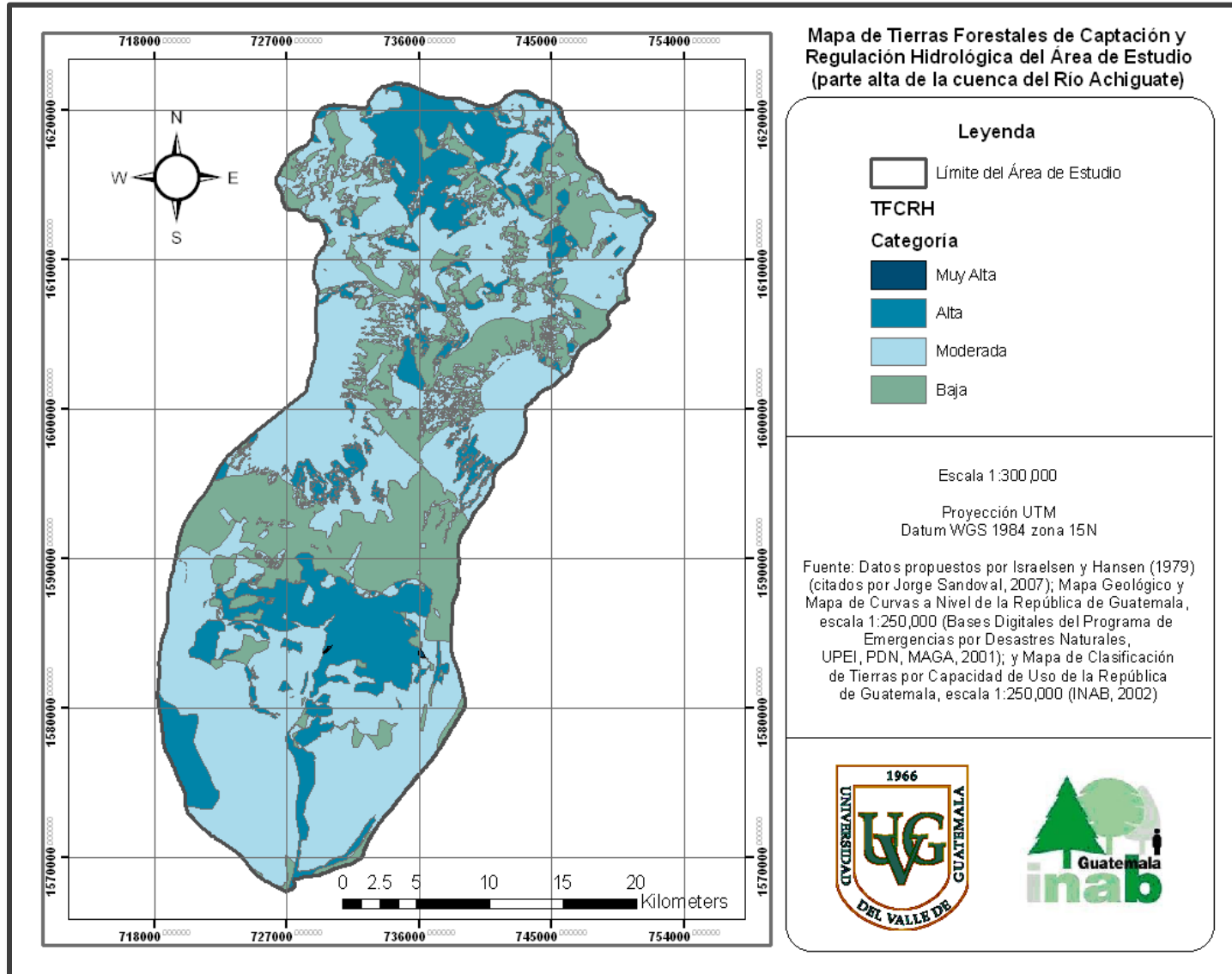
En el cuadro anterior se puede observar que las categorías de Tierras Forestales de Captación y Regulación Hídrica (TFCRH) encontradas en el área de estudio fueron: Baja, Moderada, Alta y Muy Alta. Se puede apreciar además que prácticamente es la matriz Capacidad de Uso la que principalmente determina la categoría que se asigna a cada subunidad, aunque en algunas subunidades son también determinantes la matriz Recarga Hídrica y la matriz de Ubicación Relativa.

La categoría "Alta" se identificó en algunas subunidades de mapeo, en donde la capacidad de uso es agroforestería con cultivos permanentes o sistemas silvopastoriles (valor 5 en la columna Capacidad de Uso). Pero también las categorías "Alta" y "Muy Alta" se identificaron en la mayoría de las subunidades donde la capacidad de uso es forestal de producción o forestal de protección (valor 7 y 8 respectivamente en la columna Capacidad de Uso), y en todas las subunidades donde la capacidad de uso es áreas protegidas (valor 8).

Estos resultados muestran una relación entre una determinada capacidad de uso en el suelo con respecto a las TFCRH. Básicamente porque capacidades de uso del tipo forestal de producción, forestal de protección y áreas protegidas, pueden ser consideradas en el área de estudio como Tierras Forestales de Alta y Muy Alta Captación y Regulación Hidrológica.

En el Cuadro 27 se presenta un resumen del área total y el porcentaje que cubren las diferentes categorías de TFCRH identificadas en el área de estudio. La categoría "Moderada" es la que cubre en un mayor porcentaje el área total (55.27%) y se encuentra distribuida en toda el área principalmente en la parte más baja, en la parte media y alta de los volcanes, y a lo largo de la parte alta (ver Figura 13). Así también, es importante mencionar que la categoría "Alta" se ubica principalmente en la parte central media baja, en la parte central más alta, y en algunas partes de las faldas de los volcanes del área analizada.

Figura 13. Tierras forestales de captación y regulación hidrológica (TFCRH) en el área de estudio.



Cuadro 27. Extensión y recarga hídrica de las diferentes categorías de TFCRH en el área de estudio.

Categoría de TFCRH	Área (ha)	Porcentaje del área total (%)
Baja	24,160.48	25.05
Moderada	53,306.12	55.27
Alta	18,962.28	19.66
Muy alta	20.29	0.02
Total	96,449.17	100

Fuente: Elaboración propia.

Es difícil que en las unidades de mapeo donde se identificaron las tierras de alta y muy alta regulación y captación hidrológica, se puedan identificar valores de precipitación, altura, características de suelo, etc. similares o en común. Esto se debe a que en general las condiciones y los diferentes factores analizados son bastante variables y heterogéneos (a excepción tal vez de las texturas del suelo) y sus respectivos valores o rangos se encuentran distribuidos y dispersos a lo largo de toda el área. Es por ello también que es difícil identificar en la cuenca áreas o regiones con características similares específicamente para cada uno de ellos.

C. Análisis de los efectos de los proyectos PINFOR en la regulación de los servicios hidrológicos.

Para la realización del análisis de los efectos de los proyectos PINFOR como se detalla en la metodología, fue necesario primero ubicar los diferentes proyectos en las unidades de mapeo (ver Cuadros 28 y 29). En total se identificaron 97 proyectos PINFOR en 22 unidades de mapeo distintas.

Propiamente en el área de estudio se identificaron 16 proyectos PINFOR de Protección los cuales se ubican en diez unidades de mapeo diferentes. Estos proyectos se localizan principalmente en la parte alta y media del área bajo estudio, a excepción de uno que se localiza en la parte baja (ver Figura 14). Además, de estos proyectos dos se ubican dentro de una unidad con Bosque. Es importante mencionar que bajo el concepto de proyectos PINFOR de Protección que se maneja en este estudio, se entiende que son todos los proyectos de Manejo de Bosque Natural de Producción y Protección.

Por su parte, los proyectos PINFOR de Reforestación identificados en el área de estudio fueron en total 81, los cuales se ubican en 19 unidades de mapeo distintas. Estos proyectos se concentran principalmente en la parte alta y media baja del área de estudio, y además de estos proyectos 23 se ubican en 6 diferentes unidades con Bosque.

Considerando que en el área bajo estudio la recarga hídrica promedio en las unidades con Bosque es de 7.07 mm/año/ha, mientras que en las unidades Sin Bosque es de 4.76 mm/año/ha, entonces se consideró el bosque y su aporte como el "ideal" para favorecer los procesos de recarga hídrica dentro del área de estudio. Es por ello que automáticamente se consideró que todos los proyectos de protección, por tener éstos una cobertura forestal del tipo bosque natural, contribuyen o más bien ayudan a mantener y asegurar en promedio, una recarga hídrica equivalente a la considerada como la "ideal".

Cuadro 28. Detalle de los proyectos PINFOR de protección dentro del área de estudio y unidad de mapeo en la que se ubican.

Unidad de mapeo	Municipio	No. solicitud	Fecha aprobación	Tipo proyecto	Área aprobada (ha)	Especie	Latitud	Longitud
Dd-DsTvBosque	Santa Lucía Milpas Altas	V-1-0002-MBN-97-Pt	6/29/97	M.B.N. Producción	297.00	LATIFOLIADAS	14°33'36"	90°41'24"
	Antigua	DSR-V-1-002-2003-MBNPt-PINFOR	8/10/05	M.B.N. Protección	315.00	LATIFOLIADAS	14°31'13.6"	90°42'33.91"
DdTvSin Bosque	San Andrés Itzapa	S/N	8/26/01	M.B.N. Producción	8.56	LATIFOLIADAS	14°38'43.81"	90°51'9.6"
	San Andrés Itzapa	S/N	8/26/01	M.B.N. Producción	8.56	CONIFERAS	14°38'43.81"	90°51'9.6"
Dd-DsTvSin Bosque	Antigua	DSR-V-1-001-2003-MBNPt-PINFOR	8/10/05	M.B.N. Protección	30.29	LATIFOLIADAS	14°32'05"	90°43'03"
DdQaSin Bosque	Escuintla	IX-2-013-2007-MBNprot-Pinfor-Inab	7/2/07	M.B.N. Protección	22.00	LATIFOLIADAS	14°15'30"	90°52'28"
DdQvSin Bosque	Escuintla	DSR-IX-2MBN-PROT-052-2004	7/16/02	M.B.N. Protección	226.00	LATIFOLIADAS	14°23'26"	90°50'36"
	Escuintla	DSR-IX-2-005-2007-MBNprot-PINFOR	8/8/06	M.B.N. Protección	225.00	LATIFOLIADAS	14°23'26"	90°50'36"
Dv-Ds-EpQvSin Bosque	San Juan Alotenango	DSR-V-1-001-2006-MBNPt-PINFOR	8/14/05	M.B.N. Protección	8.26	LATIFOLIADAS	14°26'11.5"	90°48'33.07"
DvTvSin Bosque	San Miguel Dueñas	DSR-V-1-008-2006-MBNP-PINFOR-INAB	11/12/07	M.B.N. Protección	60.70	LATIFOLIADAS	14°32'20"	90°50'00"
	San Miguel Dueñas	DSR-V-1-007-2006-MBNP-PINFOR-INAB	11/12/07	M.B.N. Protección	60.11	LATIFOLIADAS	14°31'49"	90°49'08"
Eo-DvTvSin Bosque	San Miguel Dueñas	DSR-V-1-006-2006-MBNP-PINFOR-INAB	11/12/07	M.B.N. Protección	67.74	LATIFOLIADAS	14°32'03"	90°50'04"
	Acatenango			M.B.N.	10.50		14°32'12"	90°52'17"
EoQpSin Bosque	Chimaltenango	S/N	2/15/02	M.B.N. Protección	20.00	CONIFERAS	14°38'00"	90°48'53"
EoQvSin Bosque	San Juan Alotenango	DSR-V-1-001-PINFOR-2005-PROT	8/23/05	M.B.N. Protección	21.00	LATIFOLIADAS	14°25'48.7"	90°49'11.07"
	Escuintla	DSR-IX-2-005-MBN-PROT-2005	11/14/04	M.B.N. Protección	447.97	LATIFOLIADAS	14°22'59"	90°52'34"

Fuente: Elaboración propia en base a INAB/MIF-PINFOR (2008).

Cuadro 29. Detalle de los proyectos PINFOR de reforestación dentro del área de estudio y unidad de mapeo en la que se ubican.

Unidad de mapeo	Municipio	No. solicitud	Fecha aprobación	Tipo proyecto	Área aprobada (ha)	Especie	Latitud	Longitud
Dd-DsTvSin bosque	Jocotenango	DSR-V-1-003-PINFOR-2005-REF-c	10/30/05	Reforestación	7.50	CUPRLU	14°35'35.62"	90°43'10.81"
	Jocotenango	DR-51-005-2001-R	8/26/01	Reforestación	35.00	PINUMI	14°35'05"	90°43'52"
	Jocotenango	DR-51-005-2001-R	8/26/01	Reforestación	35.00	CUPRLU	14°35'05"	90°43'52"
	Pastores	52-504-00	8/29/01	Reforestación	2.00	MIXTAS	14°35'36"	90°45'26"
	Pastores	V-2-015-R-98-a	7/9/98	Reforestación	2.00	CUPRLU	14°35'36"	90°45'26"
	Pastores	V-2-015-R-98-b	9/22/99	Reforestación	0.83	PINUMI	14°35'36"	90°45'26"
	Pastores	V-2-016-R-98-b	7/10/99	Reforestación	0.83	PINUMI	14°35'36"	90°45'26"
	Pastores	V-2-016-R-98-a	7/9/98	Reforestación	2.00	CUPRLU	14°35'36"	90°45'26"
Dd-DsTvBoque	Jocotenango	51-016-2001-D.V.	8/26/01	Reforestación	70.12	CUPRLU	14°36'08"	90°43'01"
	Santa Lucía Milpas Altas	DSR-V-1-02-PINFOR-2000	8/26/01	Reforestación	5.50	CUPRLU	14°33'36"	90°41'24"
	Santa Lucía Milpas Altas	V-1-0002-R-97	6/29/97	Reforestación	14.01	PINUPS	14°33'36"	90°41'24"
	Santa Lucía Milpas Altas	V-1-0002-R-97	6/29/97	Reforestación	14.01	GRAVRO	14°33'36"	90°41'24"
	Santa Lucía Milpas Altas	V-1-0002-R-97	6/29/97	Reforestación	14.01	EUCACA	14°33'36"	90°41'24"
	Santa Lucía Milpas Altas	V-1-0002-R-97	6/29/97	Reforestación	14.01	CUPRLU	14°33'36"	90°41'24"
	Santa Lucía Milpas Altas	V-1-007-R-98	7/9/98	Reforestación	10.00	PINUPS	14°33'36"	90°41'24"
	Santa Lucía Milpas Altas	V-1-007-R-98	7/9/98	Reforestación	10.00	CUPRLU	14°33'36"	90°41'24"
DdQaSin bosque	Escuintla	IX-2-031-2007-REF. PINFOR-INAB	6/28/07	Reforestación	40.00	MIXTAS	14°15'30"	90°52'28"
	Siquinalá	DSR-IX-2-005-R-2000	6/13/00	Reforestación	134.00	PINUCH	14°20'00"	90°58'15"
	Siquinalá	DSR-IX-2-005-R-2000	6/13/00	Reforestación	134.00	MIXTAS	14°20'00"	90°58'15"
	Siquinalá	DSR-IX-2-036-R-2001	8/6/01	Reforestación	95.65	MIXTAS	14°21'30"	90°58'00"
	Siquinalá	DSR-IX-2-061-R-2002	7/16/02	Reforestación	112.00	MIXTAS	14°20'56.1"	90°58'00.6"
	Siquinalá	DSR-IX-2-041-R-2003	7/26/03	Reforestación	70.00	MIXTAS	14°19'20.5"	90°58'08.8"
	Siquinalá	DSR-IX-2-053-R-2002	8/25/04	Reforestación	74.00	MIXTAS	14°22'00.9"	90°57'47.2"

Continuación Cuadro 29

Unidad de mapeo	Municipio	No. solicitud	Fecha aprobación	Tipo proyecto	Área aprobada (ha)	Especie	Latitud	Longitud
DdQvSin bosque	San Juan Alotenango	DSR-V-1-003-2003-REF-PINFOR-B	8/13/06	Reforestación	70.12	MIXTAS	14°24'46"	90°48'30"
	Escuintla	DSR-IX-2-002-R-1999	7/7/99	Reforestación	40.00	EUCACA	14°23'00"	90°48'00"
	Escuintla	DSR-IX-2-002-R-1999	7/7/99	Reforestación	40.00	CIBYDO	14°23'00"	90°48'00"
	Escuintla	DSR-IX-2-004-R-2000	7/3/00	Reforestación	76.00	MIXTAS	14°24'00"	90°47'15"
	Escuintla	IX-2-037-R-2003	7/8/05	Reforestación	3.40	PINUOO	14°23'18.5"	90°49'58.5"
	Escuintla	DSR-IX-2-001-R-1999	7/6/99	Reforestación	36.00	TECTGR	14°21'33"	90°50'51"
	Escuintla	DSR-IX-2-001-R-1999	7/6/99	Reforestación	36.00	EUCATO	14°21'33"	90°50'51"
	Escuintla	DSR-IX-2-028-R-2001	8/2/01	Reforestación	15.00	TECTGR	14°21'27"	90°50'00"
DdTvBosque	San Andrés Itzapa	DSR-V-2-037-2005-PINFOR-REF	8/1/04	Reforestación	9.50	MIXTAS	14°36'25.80"	90°52'16.60"
DdTvSin bosque	Escuintla	DSR-IX-2-056-R-2002	7/16/02	Reforestación	18.00	TECTGR	14°21'13.8"	90°50'42.4"
Dv-Ds-EpQvSin bosque	San Juan Alotenango	DSR-V-1-003-2003-REF	7/19/05	Reforestación	37.85	MIXTAS	14°25'25"	90°48'5"
	Escuintla	DSR-IX-2-043-R-2003	8/2/03	Reforestación	20.00	PINUOO	14°24'50"	90°47'31"
	Escuintla	DSR-IX-2-050-R-2002	7/26/03	Reforestación	35.00	PINUOO	14°24'51"	90°45'59"
	Escuintla	IX-2-010-R-2005	6/27/05	Reforestación	28.71	PINUOO	14°24'50.8"	90°47'36"
	Escuintla	IX-2-038-2006-REF-PINFOR-INAB	10/6/05	Reforestación	57.13	EUCAUO	14°24'51.41"	90°45'57"
DvQpBosque	Pastores	DSR-V-1-005-2006-REF-PINFOR-INAB	7/10/07	Reforestación	12.55	CUPRLU	14°35'35.3"	90°47'25.5"
	Pastores	DSR-V-1-005-2006-REF-PINFOR-INAB	7/10/07	Reforestación	12.55	PINUTE	14°35'35.3"	90°47'25.5"
	Pastores	DSR-V-1-003-PINFOR-2004	8/25/05	Reforestación	8.00	PINUMI	14°36'10"	90°46'49"
DvTvBosque	Pastores	DSR-51-005-2001-R	8/12/03	Reforestación	8.30	PINUMA	14°35'9"	90°47'22"

Continuación Cuadro 29

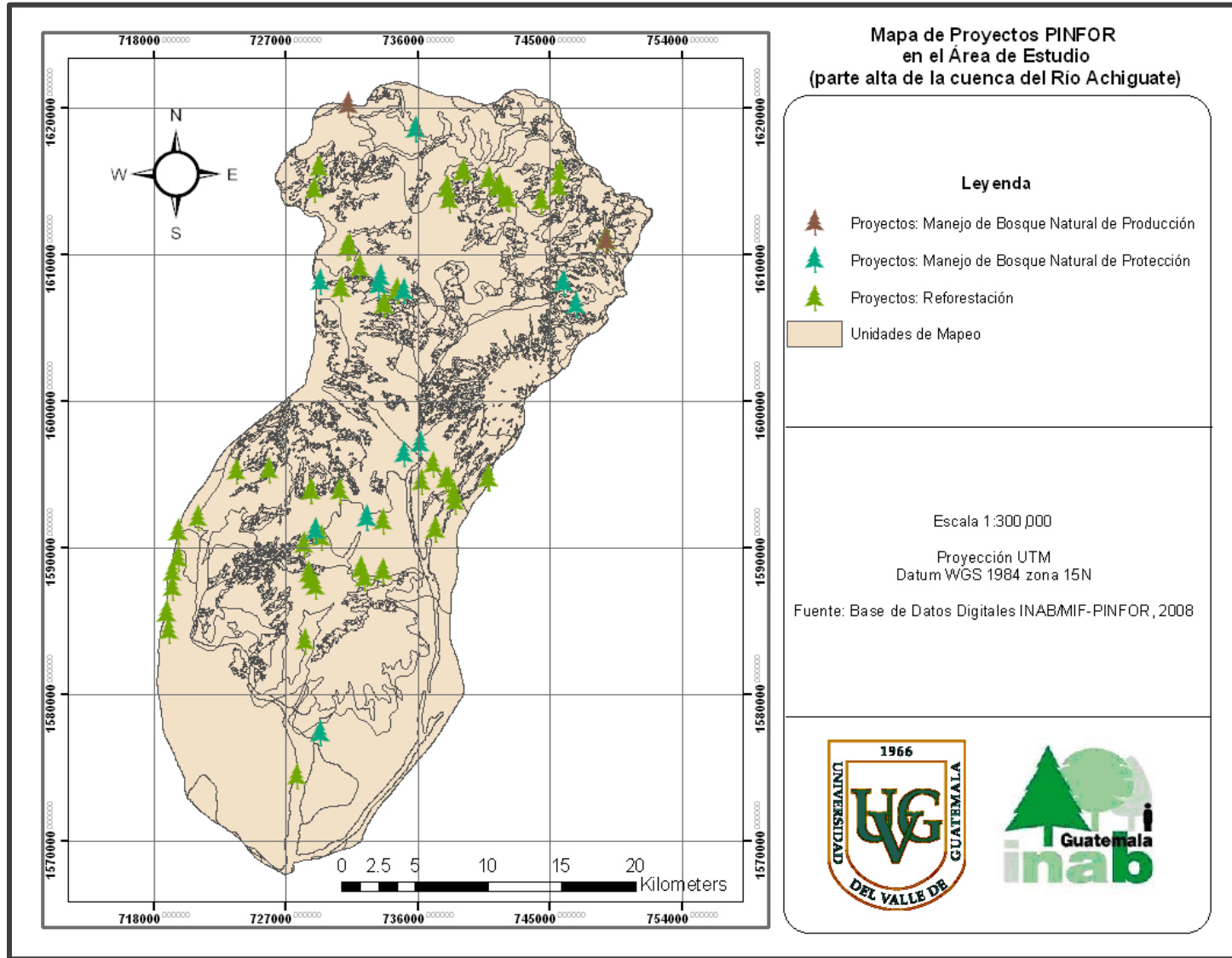
Unidad de mapeo	Municipio	No. solicitud	Fecha aprobación	Tipo proyecto	Área aprobada (ha)	Especie	Latitud	Longitud
DvTvBosque	San Miguel Dueñas	DSR-V-1-001-PINFOR-2005	2/15/06	Reforestación	20.00	PINUMI	14°33'27.9"	90°51'11.6"
	San Miguel Dueñas	DSR-V-1-001-PINFOR-2005	2/15/06	Reforestación	20.00	CUPRLU	14°33'27.9"	90°51'11.6"
DvTvBosque	San Miguel Dueñas	DR-50-52-PINFOREF-002-2002	8/26/01	Reforestación	50.00	CUPRLU	14°33'25"	90°51'17"
DvTvSin bosque	Pastores	DSR-51-003-2001-R-b	8/31/03	Reforestación	8.00	CUPRLU	14°35'10"	90°45'07"
	Pastores	DSR-51-003-2001-R-a	7/7/02	Reforestación	8.00	MIXTAS	14°35'10"	90°45'07"
	Pastores	DSR-V-1-003-PINFOR-2003	7/19/06	Reforestación	20.00	CUPRLU	14°35'14.7"	90°45'12.5"
	Pastores	DSR-V-1-001-PINFOR-2001-a	8/26/01	Reforestación	25.00	CUPRLU	14°35'56"	90°45'51"
	Pastores	DSR-V-1-001-PINFOR-2001-b	7/7/02	Reforestación	25.00	CUPRLU	14°35'56"	90°45'51"
	San Miguel Dueñas	DSR-V-1-002-PINFOR-2004	7/8/05	Reforestación	36.58	PINUMI	14°32'42"	90°50'47"
	San Miguel Dueñas	DSR-V-1-002-PINFOR-2004	7/8/05	Reforestación	36.58	CUPRLU	14°32'42"	90°50'47"
	San Miguel Dueñas	DSR-V-1-004-2006-REF-PINFOR-INAB	11/29/07	Reforestación	4.75	CEDROD	14°31'50"	90°49'22"
	San Miguel Dueñas	DSR-V-1-004-2006-REF-PINFOR-INAB	11/29/07	Reforestación	4.75	CUPRLU	14°31'50"	90°49'22"
	San Andrés Itzapa	003-02	8/26/01	Reforestación	10.00	MIXTAS	14°35'35"	90°52'30"
Eo-Dv-DdQvSin bosque	Siquinalá	DSR-IX-2-038-R-2001	8/7/01	Reforestación	140.00	PINUCH	14°23'00"	90°57'45"
	Siquinalá	DSR-IX-2-038-R-2001	8/7/01	Reforestación	140.00	MIXTAS	14°23'00"	90°57'45"
Eo-DvQvBosque	San Miguel Dueñas	DSR-V-1-002-2006-REF-PINFOR-INAB	12/26/07	Reforestación	32.00	ALNUJO	14°31'55"	90°51'30"
	San Miguel Dueñas	DSR-V-1-002-2006-REF-PINFOR-INAB	12/26/07	Reforestación	32.00	CHIRPE	14°31'55"	90°51'30"
	San Miguel Dueñas	DSR-V-1-002-2006-REF-PINFOR-INAB	12/26/07	Reforestación	32.00	CUPRLU	14°31'55"	90°51'30"

Continuación Cuadro 29

Unidad de mapeo	Municipio	No. solicitud	Fecha aprobación	Tipo proyecto	Área aprobada (ha)	Especie	Latitud	Longitud
Eo-DvQvSin bosque	San Miguel Dueñas	V-I-005-R-99	8/26/01	Reforestación	29.00	PINUMI	14°31'17.5"	90°49'51"
	San Miguel Dueñas	V-I-005-R-99	8/26/01	Reforestación	29.00	MIXTAS	14°31'17.5"	90°49'51"
	San Miguel Dueñas	V-I-005-R-99	8/26/01	Reforestación	29.00	CUPRLU	14°31'17.5"	90°49'51"
EoQpSin bosque	Pastores	DSR-V-1-009-2006-REF-PINFOR-INAB	3/13/07	Reforestación	15.00	PINUMI	14°36'15"	90°47'16.3"
	Chimaltenango	S/N	8/26/01	Reforestación	7.00	PINUMI	14°38'00"	90°48'53"
EoQvBosque	Escuintla	IX-2-003-2007-REF-PINFOR-INAB	3/5/07	Reforestación	20.66	TECTGR	14°24'26.4"	90°52'42.5"
EoQvBosque	Escuintla	IX-2-003-2007-REF-PINFOR-INAB	3/5/07	Reforestación	20.66	CIBYDO	14°24'26.4"	90°52'42.5"
	Escuintla	DSR-IX-2-017-R-1998	6/22/98	Reforestación	20.00	PINUOO	14°22'29"	90°53'00"
	Siquinalá	IX-2-022-R-2005	7/17/05	Reforestación	2.02	CIBYDO	14°25'12"	90°55'32"
EoQvSin bosque	Escuintla	DSR-IX-2-035-R-2003	8/9/03	Reforestación	9.14	CIBYDO	14°24'26"	90°51'36"
	Escuintla	IX-2-007-R-2007-REF-PINFOR	8/10/06	Reforestación	25.55	MIXTAS	14°22'44.95"	90°52'19.87"
	Escuintla	IX-2-010-2007-REF-PINFOR	1/10/07	Reforestación	103.49	CIBYDO	14°22'59"	90°52'34"
	Siquinalá	DSR-IX-2-037-R-2001	8/2/01	Reforestación	126.90	MIXTAS	14°23'30"	90°57'00"
	Siquinalá	IX-2-023-R-2005	7/17/05	Reforestación	0.75	CIBYDO	14°25'15"	90°54'19"
	Escuintla	DSR-IX-2-055-R-2004	7/18/04	Reforestación	13.68	CIBYDO	14°21'08.7"	90°52'44.4"
EoTvSin bosque	Escuintla	IX-2-069-R-2006-REF-PINFOR	9/20/06	Reforestación	15.89	CIBYDO	14°21'23"	90°52'49"
	Escuintla	DSR-IX-2-047-R-2004	7/14/04	Reforestación	25.00	TECTGR	14°20'56"	90°52'33.9"
	La Democracia	IX-2-049-R-2007-REF-PINFOR	3/21/07	Reforestación	72.82	EUCACA	14°13'55.4"	90°53'20"
EpTvSin bosque	Escuintla	DSR-IX-2-054-R-2002	7/16/02	Reforestación	32.27	MIXTAS	14°18'55"	90°53'0"

Fuente: Elaboración propia en base a INAB/MIF-PINFOR (2008).

Figura 14. Proyectos PINFOR en el área de estudio.



En este estudio se asume que los proyectos de manejo de bosque natural de producción y protección contribuyen a una recarga hídrica equivalente al promedio encontrado en las unidades con Bosque. Los propietarios de estos proyectos además del incentivo forestal que reciben, podrían beneficiarse de un crédito o pago especial por mantener dicha cobertura, en el sentido que ésta contribuye con la recarga hídrica. Esta perspectiva podría utilizarse también para atraer y estimular tanto a usuarios del programa a inscribir más área de bosque así como atraer a nuevos. El pago podría hacerse anual por hectárea inscrita y aprobada, y el valor podría asignarse en función a la valoración del servicio ambiental hídrico que se provee en el área, entre otros.

En la práctica existen varios factores que podrían tener un efecto negativo o positivo en la recarga hídrica. Entre ellos: el tipo de bosque (coníferas, mixto o latifoliado), el grado de madurez y desarrollo, la ecología, su estado y calidad (deterioro, degradación, daño, plaga o enfermedad presente), y en el caso de los proyectos de producción las prácticas de manejo, etc. Es por ello que el incentivo podría orientarse a que sea utilizado para mantener estos factores óptimos para que tengan un efecto positivo en la recarga, y por lo tanto, que año con año se evalúen como requisito de calificación para hacer extensión del crédito. En resumen, se podría desarrollar una estrategia similar a la del PINFOR pero orientada a la regulación de los servicios hidrológicos. Ahora bien, es preciso realizar estudios que evalúen específicamente estos factores para determinar realmente cual es su efecto en los procesos hidrológicos y en base a ello elaborar la estrategia.

Los proyectos de reforestación debido a que son plantaciones forestales y en base a que varios estudios realizados en áreas tropicales han demostrado que su hidrología es distinta en comparación a un bosque natural, entonces se analizaron de una manera distinta. Básicamente según muchos estudios y según L.A. Sampurno (1997:50) el incremento en el rendimiento hídrico de la cuenca tiende a ser más alto, usualmente hasta que el dosel de copas de la plantación se cierra, y aunque la información en este aspecto es escasa se puede obtener.

Para conocer el efecto que tiene una plantación en el ciclo hidrológico de un área, igualmente se precisan realizar estudios específicos que evalúen desde las diferentes etapas de desarrollo de la plantación, las prácticas de manejo, hasta el efecto que tienen incluso de por sí las especies establecidas. Desde el punto de vista fisiológico no todas las especies se comportan igual o tienen las mismas características en cuanto a la demanda o consumo de agua y nutrientes, crecimiento, ciclos de floración y reproducción, características fenológicas, etc., lo cual en determinado momento puede llegar a afectar el ciclo hidrológico.

Estas son algunas de las variables a analizar en este tipo de estudios, pero eso no quiere decir que no existan otras igual de importantes e interesantes que formen parte de la dinámica de las plantaciones forestales y que se relacionen con su hidrología. Todas estas variables además pueden ser medidas y analizadas pero estos estudios tienden a ser complejos, costosos y pueden durar largos períodos de tiempo.

Debido a las limitaciones para poder realizar este tipo de estudios más profundos que requieren de muchos recursos, más que se deben de realizar por lo menos durante un período de rotación de la plantación, en esta investigación se plantea entonces que independientemente la especie o estado de desarrollo de la plantación, éstas en algún momento llegarán a aportar la recarga hídrica "ideal", una vez alcancen su máximo rendimiento hídrico. Sin embargo, para determinar de alguna manera, aunque indirectamente el efecto de una plantación en la recarga hídrica, se identificaron los proyectos de reforestación ubicados en las unidades Sin Bosque (ver Cuadro 30). Esto con el fin de analizar la recarga hídrica obtenida al cambiar algunas variables, para recrear en esas unidades un escenario el cual eventualmente se podría desarrollar con la presencia de una cobertura forestal, resultado de las plantaciones establecidas.

Entonces propiamente para la evaluación del comportamiento de la recarga hídrica como consecuencia de un cambio en la cobertura vegetal (hacia una dada por las plantaciones), se le atribuyó a la infiltración una gran importancia. Por tanto, el factor por vegetación fue considerado ya que según la metodología empleada, se refiere a la relación que existe entre la infiltración y la cobertura vegetal o la fracción que infiltra por efecto de la vegetación.

Por su parte, la profundidad de raíces al igual que la intercepción en una cobertura forestal difiere a la de un cultivo anual u otro tipo de cobertura, y es por ello que también para el recalcu de la recarga hídrica se consideraron y cambiaron estas variables. Finalmente, el N° de mes que inicia la humedad del suelo fue además considerado debido a que de acuerdo a la metodología, esta variable al depender en gran medida de las anteriores cambia en la medida que éstas se modifican.

Cuadro 30. Proyectos PINFOR de reforestación ubicados en las unidades Sin bosque dentro del área de estudio.

Unidad de mapeo	No. solicitud	Fecha aprobación	Área aprobada (ha)	Especie
Dd-DsTvSin bosque	DSR-V-1-003-PINFOR-2005-REF-c	10/30/05	7.50	CUPRLU
	DR-51-005-2001-R	8/26/01	35.00	PINUMI
	DR-51-005-2001-R	8/26/01	35.00	CUPRLU
Dd-DsTvSin bosque	52-504-00	8/29/01	2.00	MIXTAS
	V-2-015-R-98-a	7/9/98	2.00	CUPRLU
	V-2-015-R-98-b	9/22/99	0.83	PINUMI
	V-2-016-R-98-b	7/10/99	0.83	PINUMI
	V-2-016-R-98-a	7/9/98	2.00	CUPRLU
DdQaSin bosque	IX-2-031-2007-REF. PINFOR-INAB	6/28/07	40.00	MIXTAS
	DSR-IX-2-005-R-2000	6/13/00	134.00	PINUCH
	DSR-IX-2-005-R-2000	6/13/00	134.00	MIXTAS
	DSR-IX-2-036-R-2001	8/6/01	95.65	MIXTAS
	DSR-IX-2-061-R-2002	7/16/02	112.00	MIXTAS
	DSR-IX-2-041-R-2003	7/26/03	70.00	MIXTAS
	DSR-IX-2-053-R-2002	8/25/04	74.00	MIXTAS
DdQvSin bosque	DSR-V-1-003-2003-REF-PINFOR-B	8/13/06	70.12	MIXTAS
	DSR-IX-2-002-R-1999	7/7/99	40.00	EUCACA
	DSR-IX-2-002-R-1999	7/7/99	40.00	CIBYDO
	DSR-IX-2-004-R-2000	7/3/00	76.00	MIXTAS
	IX-2-037-R-2003	7/8/05	3.40	PINUOO
	DSR-IX-2-001-R-1999	7/6/99	36.00	TECTGR
	DSR-IX-2-001-R-1999	7/6/99	36.00	EUCATO
	DSR-IX-2-028-R-2001	8/2/01	15.00	TECTGR
	DSR-IX-2-028-R-2001	8/2/01	15.00	EUCATO
DdTvSin bosque	DSR-IX-2-056-R-2002	7/16/02	18.00	TECTGR
Dv-Ds-EpQvSin bosque	DSR-V-1-003-2003-REF	7/19/05	37.85	MIXTAS
	DSR-IX-2-043-R-2003	8/2/03	20.00	PINUOO
	DSR-IX-2-050-R-2002	7/26/03	35.00	PINUOO
	IX-2-010-R-2005	6/27/05	28.71	PINUOO
	IX-2-038-2006-REF-PINFOR-INAB	10/6/05	57.13	EUCAUO
	IX-2-052-2007-Ref-Pinfor-Inab	6/28/07	180.00	EUCAUO
DvTvSin bosque	DSR-51-003-2001-R-b	8/31/03	8.00	CUPRLU

Continuación Cuadro 30

Unidad de mapeo	No. solicitud	Fecha aprobación	Área aprobada (ha)	Especie
DvTvSin bosque	DSR-51-003-2001-R-a	7/7/02	8.00	MIXTAS
	DSR-V-1-003-PINFOR-2003	7/19/06	20.00	CUPRLU
DvTvSin bosque	DSR-V-1-001-PINFOR-2001-a	8/26/01	25.00	CUPRLU
	DSR-V-1-001-PINFOR-2001-b	7/7/02	25.00	CUPRLU
	DSR-V-1-002-PINFOR-2004	7/8/05	36.58	PINUMI
	DSR-V-1-002-PINFOR-2004	7/8/05	36.58	CUPRLU
	DSR-V-1-004-2006-REF-PINFOR-INAB	11/29/07	4.75	CEDROD
	DSR-V-1-004-2006-REF-PINFOR-INAB	11/29/07	4.75	CUPRLU
	003-02	8/26/01	10.00	MIXTAS
Eo-Dv-DdQvSin bosque	DSR-IX-2-038-R-2001	8/7/01	140.00	PINUCH
	DSR-IX-2-038-R-2001	8/7/01	140.00	MIXTAS
Eo-DvQvSin bosque	V-I-005-R-99	8/26/01	29.00	PINUMI
	V-I-005-R-99	8/26/01	29.00	MIXTAS
	V-I-005-R-99	8/26/01	29.00	CUPRLU
EoQpSin bosque	DSR-V-1-009-2006-REF-PINFOR-INAB	3/13/07	15.00	PINUMI
	S/N	8/26/01	7.00	PINUMI
EoQvSin bosque	DSR-IX-2-035-R-2003	8/9/03	9.14	CIBYDO
	IX-2-007-R-2007-REF-PINFOR	8/10/06	25.55	MIXTAS
	IX-2-010-2007-REF-PINFOR	1/10/07	103.49	CIBYDO
	DSR-IX-2-037-R-2001	8/2/01	126.90	MIXTAS
	IX-2-023-R-2005	7/17/05	0.75	CIBYDO
EoTvSin bosque	DSR-IX-2-055-R-2004	7/18/04	13.68	CIBYDO
	IX-2-069-R-2006-REF-PINFOR	9/20/06	15.89	CIBYDO
	DSR-IX-2-047-R-2004	7/14/04	25.00	TECTGR
Ep-EfQaSin bosque	IX-2-049-R-2007-REF-PINFOR	3/21/07	72.82	EUCACA
EpTvSin bosque	DSR-IX-2-054-R-2002	7/16/02	32.27	MIXTAS

Fuente: Elaboración propia en base a INAB/MIF-PINFOR (2008).

En el cuadro anterior se puede observar que en total son 58 proyectos de reforestación los que se ubican en 14 unidades Sin Bosque diferentes. Los valores de recarga hídrica obtenidos en dichas unidades, como resultado del cambio de las variables anteriormente mencionadas se presentan en el Cuadro 31. Además, en el mismo cuadro se incluyen los valores de recarga hídrica obtenidos con base a la cobertura vegetal original. Se puede observar que, en general, los valores recalculados de recarga hídrica en las unidades van de los 394.78 mm/año hasta los 2,397.92 mm/año. Estos valores son menores a los valores de recarga hídrica obtenidos en base a la cobertura vegetal original, a excepción de la unidad EoQpSin Bosque.

El hecho que en esta unidad la recarga hídrica recalculada es mayor a la original, se debe a que el Coeficiente de Infiltración (C_i) para ambos casos es menor al 100%. Cuando esto sucede se puede apreciar una diferencia en la infiltración como consecuencia en este caso de un cambio en la cobertura (entre cultivos anuales y una plantación forestal), y se puede ver que ésta es mayor para la cobertura forestal. Esto conlleva consecuentemente a la modificación de otros parámetros que favorecen la recarga hídrica, lo cual explica entonces el porqué de su aumento.

Cuadro 31. Recarga hídrica original y recalculada en las unidades Sin bosque donde se ubican PINFOR de reforestación.

Unidad de mapeo	Evapotranspiración real (mm/año)		Escorrentía superficial (mm/año)		Retención (mm/año)		Recarga hídrica Natural (mm/año)	
	*CVO	*CF(P)	CVO	CF(P)	CVO	CF(P)	CVO	CF(P)
Dd-DsTvSin bosque	487.24	571.46	75.65	0.00	156.00	240.00	481.62	469.38
DdQaSin bosque	633.49	732.84	96.16	0.00	362.00	591.00	1837.94	1707.92
DdQvSin bosque	708.23	746.98	0.00	0.00	416.40	686.50	2317.06	2053.13
DdTvSin bosque	483.42	537.83	0.00	0.00	162.00	252.50	597.38	474.04
Dv-Ds-EpQvSin bosque	642.90	675.39	0.00	0.00	330.00	540.00	1729.00	1529.00
DvTvSin bosque	472.69	540.64	0.00	0.00	180.00	282.50	739.42	639.42
Eo-Dv-DdQvSin bosque	706.19	738.95	0.00	0.00	516.40	858.00	3069.40	2693.05
Eo-DvQvSin bosque	514.37	573.54	0.00	0.00	276.00	446.00	1433.38	1269.38
EoQpSin bosque	498.29	580.93	187.68	80.60	156.00	242.50	378.92	394.78
EoQvSin bosque	705.50	726.90	0.00	0.00	464.40	766.50	2691.92	2397.92
EoTvSin bosque	728.63	778.33	242.95	0.00	434.40	716.50	2196.78	2156.87
Ep-EfQaSin bosque	629.00	730.04	86.03	0.00	326.00	531.00	1583.69	1467.73
EpTvSin bosque	729.44	777.02	114.41	0.00	422.40	696.50	2232.66	2076.87

Fuente: Elaboración propia.

* CVO: Cobertura Vegetal Original; *CF(P): Cobertura Forestal (Plantación)

Schosinsky & Losilla (2000) establecen que la sumatoria de los factores K_{fc} , K_p y K_v no debe ser mayor al 100%, y esto se debe a que en la realidad la infiltración no puede superar dicho porcentaje. Cuando esto sucede estos autores sostienen que debe considerarse 1 como valor para C_i lo cual equivale al 100%. Este fue el caso coincidentemente para las unidades consideradas dentro de este análisis particularmente, incluso en el cálculo de la recarga hídrica inicial y en el recalcu que se realizó posteriormente a excepción de la unidad anterior y es por ello que en ella si se pudo apreciar una diferencia.

Lo anterior hace notar que las fórmulas desarrolladas por estos autores para la determinación de la infiltración, las cuales se utilizaron en el estudio, hacen el intento de considerar este parámetro y los factores más importantes que lo determinan. Sin embargo, en algunos casos esta distinción o diferenciación se ve anulada al asumir un 100% de infiltración cuando la sumatoria de los diferentes factores es mayor o igual a dicho porcentaje.

Esto quiere decir que aunque en las unidades se tengan diferencias en la precipitación, cobertura y pendiente, si la suma de dichos factores excede el 100%, de igual manera y sin distinción o diferenciación alguna, se considera para todas un valor igual a 1 en la infiltración. Esto conlleva a pensar entonces que probablemente no se puede evaluar en este estudio, realmente el efecto que tiene específicamente un cambio de la cobertura vegetal en la infiltración. En base a esto surge la posibilidad que en las unidades donde se encontró esta condición, los resultados probablemente podrían ser distintos, incluso inversos a los obtenidos siguiendo quizá una tendencia como la que se dio en la unidad EoQpSin Bosque.

Sin embargo, la recarga hídrica analizándola solo desde el punto de vista del efecto que tiene la cobertura, no solo depende de la infiltración que pueda darse como consecuencia del tipo de vegetación que este establecida, sino también de la interceptación que ésta tenga y de la profundidad de raíces que se puedan llegar a desarrollar, entre otros factores.

Por lo tanto, asumiendo una infiltración “constante” pues realmente esta condición es la que nos genera la metodología, de igual manera los resultados obtenidos son valiosos debido a que para este análisis se consideraron además otros parámetros. Ahora bien, es necesario realizar o llevar a cabo un estudio similar pero que involucre alguna otra metodología para la estimación de la recarga, que no considere quizá las fórmulas de Schosinsky & Losilla, para evitar esta condición y que por supuesto permita analizar con mejor detalle este aspecto. Esto porque así se podrá realmente corroborar la tendencia encontrada en este estudio en cuanto a una disminución en la recarga hídrica, o incluso comprobar lo contrario ya que puede ser que el efecto de la infiltración que en este caso se hizo “nulo”, sea realmente lo suficientemente significativo para invertir los resultados obtenidos.

Independientemente de estas circunstancias, de cualquier manera en este estudio se procedió a realizar el análisis en base a la tendencia encontrada, pues como ya se ha mencionado anteriormente, aunque “potencialmente” las plantaciones forestales tengan al inicio un efecto negativo en la recarga hídrica, éste efecto eventualmente se verá invertido. También porque hasta no tener la certeza o no comprobarse lo contrario con estudios más profundos para evaluar si realmente son las condiciones que se generan con el establecimiento de las plantaciones forestales las que tienen este efecto, o si mas bien son las fórmulas en sí que propone la metodología empleada las limitantes y las cuales llevan a determinar esta condición, éstos resultados pueden utilizarse como referencia.

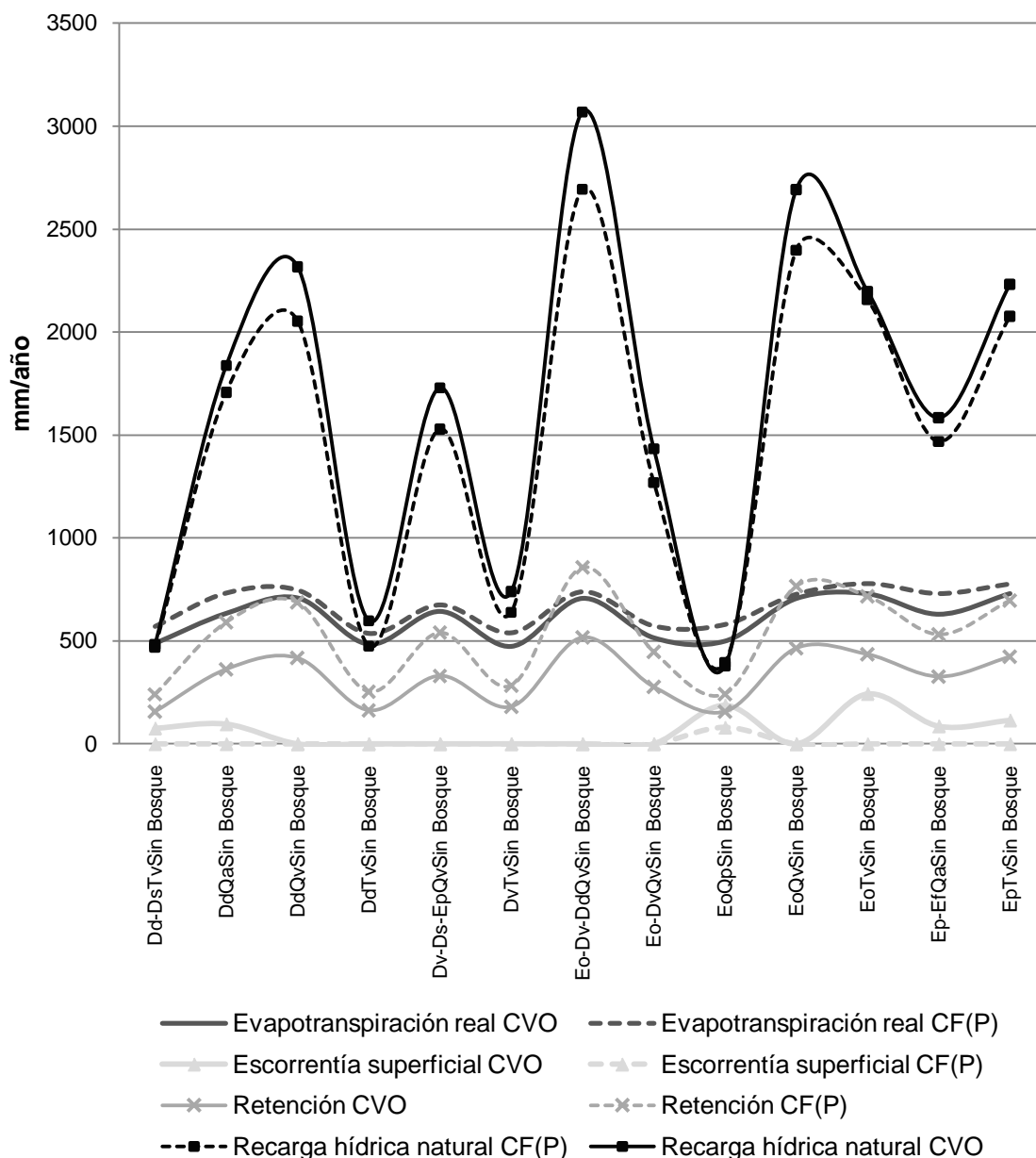
Entonces continuando con la discusión, en lo que respecta a la evapotranspiración real los valores obtenidos a partir del recalcu oscilan entre los 540.64-778.33 mm/año, siendo éstos en general mayores a los obtenidos originalmente. Los valores en la escorrentía van de los 0-80.60 mm/año y éstos son menores a los originales, y para la retención vegetal los valores se encuentran entre los 240-766.50 mm/año siendo estos valores mayores con respecto a los obtenidos inicialmente. En la siguiente gráfica se puede apreciar mejor lo descrito anteriormente, es decir las diferencias y tendencias entre los valores obtenidos originalmente con respecto a los recalculados.

En promedio las unidades Sin Bosque donde se ubican proyectos PINFOR de reforestación recargan originalmente 1.06 mm/año/ha. Después del recalcu cambiando algunas variables se encontró que en dichas unidades la recarga disminuyó en promedio a 0.96 mm/año/ha.

Se puede decir entonces que con base a la metodología empleada para realizar este análisis, el cambio hacia una cobertura forestal dada por las plantaciones forestales establecidas por el Programa de Incentivos Forestales en las unidades de mapeo, conlleva a una disminución promedio en la recarga hídrica igual a 0.11 mm/año/ha ($1.1 \text{ m}^3/\text{año/ha}$). Es importante mencionar nuevamente que a pesar de estos resultados se espera que en algún momento, cuando las diferentes plantaciones alcancen su máximo rendimiento hídrico, este comportamiento se invierta y se asemeje al de un bosque natural y por lo tanto que la recarga hídrica aumente. No se debe descartar el hecho que esta tendencia puede ser también resultado de la metodología propiamente utilizada.

Por otro lado, es importante discutir también a que se debe esta disminución en la recarga hídrica, además del posible efecto que puede tener una “consideración constante en la infiltración”. Como puede verse en la Gráfica 4 existe un aumento en la evapotranspiración y retención. Esto es lógico ya que como se sabe la demanda de agua en un árbol es mayor que la de un cultivo agrícola, y por lo tanto, este consumirá más agua como parte de todos sus procesos fisiológicos. Entonces probablemente los resultados obtenidos se deban al cambio que se dio en estos parámetros, pero debe tenerse en cuenta que éstos no necesariamente son los únicos ya que pueden existir otras salidas de agua en el sistema que también tengan algún efecto y que no se consideraron o que incluso se encuentran subestimadas.

Gráfica 4. Comportamiento de la recarga hídrica original y recalculada en las unidades de mapeo Sin bosque con proyectos PINFOR de reforestación.



Fuente: Elaboración propia.

Además, algo muy interesante que analizar es el hecho que independientemente que sea una plantación, bajo una cobertura forestal se desarrolla o se forma una capa en el suelo de materia orgánica, la cual actúa como una esponja almacenando agua que eventualmente puede infiltrarse. Este aspecto puede en determinado momento llegar a favorecer la recarga hídrica, cambiando así los resultados obtenidos. La metodología empleada no considera estas condiciones, de manera que incluso en las unidades con Bosque la recarga hídrica podría incluso ser mayor a la estimada.

El efecto que tienen los proyectos del Programa de Incentivos Forestales (PINFOR) en la regulación de los servicios hidrológicos en la parte alta de la cuenca del Río Achiguate, en resumen tiene dos enfoques. El primero dado por los proyectos de protección los cuales desde el momento en que se establecen contribuyen a asegurar una recarga hídrica “ideal”, por lo que tienen un efecto directo positivo en la regulación hidrológica al favorecer la recarga hídrica, disminuir la erosión, y al conservar los suelos. No está demás mencionar que éstos proyectos pueden llegar incluso a aportar más servicios ambientales además de los hidrológicos, como por ejemplo paisaje, biodiversidad, control de inundaciones, etc.

El segundo enfoque está dado por los proyectos de reforestación, los cuales en las áreas donde se establezcan, tendrán un efecto negativo en la recarga hídrica ya que la “disminuirán”. Sin embargo, a pesar de esto los proyectos en algún momento dado llegarán a aportar una recarga hídrica “ideal”, pero se precisa realizar estudios específicos que permitan determinar en qué momento y bajo qué condiciones esto ocurrirá. A pesar que la recarga hídrica se verá afectada, las plantaciones establecidas pueden contribuir a un control de la erosión y conservación de suelos, ya que como puede verse en los resultados (Gráfica 4), disminuyen la escorrentía superficial. En base a esto se puede decir que lo que puede pensarse que se pierde en cuanto a la regulación de los servicios hidrológicos con el establecimiento de las plantaciones, en realidad se compensa con la ganancia en otros servicios ambientales, que al no existir este tipo de cobertura, no se podrían asegurar o incluso talvez hasta obtener. En este sentido las plantaciones forestales pueden contribuir con otra serie de servicios ambientales como la fijación de carbono, entre otros.

Se deben realizar estudios más profundos que relacionen por ejemplo la escorrentía con el tipo de cobertura vegetal, ya que para este caso se obtuvo que con la presencia de una plantación forestal en un área donde ésta no existía, la escorrentía disminuyó. En estudios que se han realizado en otras áreas tropicales se ha encontrado que las plantaciones en los primeros años aumentan la escorrentía, y que no es sino hasta varios años después que ésta se estabiliza y se comporta similar a la que resulta cuando existe una cobertura del tipo bosque natural. Es por ello que en general se deben de realizar estudios más específicos en el país, que permitan tener una mejor idea o un concepto más claro no solo de las interacciones entre una plantación forestal y el ciclo hidrológico, sino también, de los diferentes servicios ambientales que de ellas se puedan derivar.

Al igual que los propietarios de los proyectos de protección y producción de bosques naturales, los propietarios de los proyectos de reforestación podrían beneficiarse de algún incentivo en relación con los servicios ambientales. Esta perspectiva podría también atraer a más propietarios así como estimular a los usuarios del PINFOR a inscribir más tierra. El pago podría hacerse anual por hectárea inscrita y aprobada, y el valor podría asignarse en función al servicio ambiental al que está contribuyendo la plantación según su etapa de desarrollo. Esto significa que al inicio el incentivo podría estar orientado a la conservación de suelos y a la fijación de carbono, y luego una vez la plantación alcance su máximo desarrollo y su mayor contribución en la recarga hídrica podría enfocarse a los servicios hidrológicos. El pago podría enfocarse a que sea utilizado para mantener óptimos en las plantaciones, algunos de los factores más esenciales que influyen en estos servicios ambientales. Sin embargo, para poder establecer una estrategia se deberán realizar estudios como ya se ha mencionado mucho más profundos y específicos para determinar qué factores y cómo éstos se deberán considerar y evaluar. Al igual que para los proyectos de protección y producción estos estudios podrían tomar muchos años y recursos, sin embargo, en base a información existe o a estudios piloto se podría idear alguna estrategia que entre vigencia a un mediano plazo. Finalmente, se puede discutir que es importante el vínculo entre las TFCRH y los proyectos PINFOR, ya que en las unidades de “alta” y “muy alta” captación y regulación hidrológica, se deben orientar principalmente el establecimiento de proyectos de protección, al éstos garantizar una recarga hídrica “ideal” la cual a su vez no solo será potencializada sino también garantizada por ubicarse en dichas áreas. Esto evidencia la importancia de las TFCRH en el ciclo hidrológico y además cómo a través del PINFOR se pueden restaurar, mantener, y proteger dichas áreas.

VI. CONCLUSIONES

En la parte alta de la cuenca del Río Achiguate, la recarga hídrica constituye el 58.45% de la precipitación pluvial total (2,207.88 mm/año) y es la principal salida de agua en el sistema. Por su parte, las unidades que más contribuyen a la recarga hídrica representan un 10.67% de la recarga total, cubren apenas el 1.44% del área, y su cobertura se caracteriza por ser principalmente pastos. En el área de estudio se encontraron algunas unidades de mapeo que aunque contribuyen en menor medida a la recarga, su aporte puede considerarse representativo, en las cuales predominan otras coberturas vegetales como cultivos anuales, caña, café, y bosque.

En el balance hídrico de suelos las otras salidas de agua en el sistema están dadas por la evapotranspiración (27.10%), la retención vegetal (15.12%), y la escorrentía superficial (2.31%), y se obtuvo una diferencia igual a 65.60 mm/año entre el total de las salidas en comparación con las entradas, lo que equivale o representa un 2.98% de error en el cálculo del balance hídrico.

La recarga hídrica promedio en las unidades con Bosque es mayor (7.07 mm/año/ha) en comparación con las unidades Sin Bosque (4.76 mm/año/ha), de tal manera que se evidencia que la vegetación es determinante en los procesos de recarga hídrica, y es la cobertura forestal la que principalmente los favorece.

Se puede establecer una relación importante entre la capacidad de uso del suelo y las Tierras Forestales de Captación y Regulación Hidrológica (TFCRH) en el área de estudio, ya que principalmente capacidades de uso del tipo forestal de producción, protección y áreas protegidas, pueden llegar a ser consideradas Tierras Forestales de Alta y Muy Alta Regulación y Captación Hidrológica. En el área predomina la categoría "Moderada" al cubrir un 55.27% del área total y las categorías "Alta y Muy Alta" ambas cubren un 19.68% del territorio.

En general, es difícil identificar y por lo tanto establecer algunas características que describan a las Tierras de Alta y Muy Alta Captación y Regulación Hidrológica, por la heterogeneidad que existe entre las unidades donde éstas se encuentran, la cual es resultado de la gran variación que hay en los parámetros o factores dentro del área de estudio, que se utilizaron para realizar dicho análisis.

En el área de estudio la recarga hídrica promedio "ideal" es igual a 7.07 mm/año/ha, de acuerdo con la estimación obtenida en las unidades con Bosque. Como la magnitud de la recarga hídrica depende también del estado o desarrollo fenológico de los árboles, no es válido suponer que los proyectos PINFOR de reforestación están actualmente aportando en recarga el valor "ideal". Pero por el contrario la estimación de recarga dada por estas unidades se puede aplicar directamente en los proyectos de conservación ubicados dentro del área de estudio.

Los proyectos de reforestación ubicados en el área de estudio disminuyen en promedio la recarga hídrica en 0.11 mm/año/ha en áreas cuyas condiciones iniciales son distintas a las que se llegan a desarrollar eventualmente como consecuencia del establecimiento de una plantación forestal, sin embargo, se espera que este efecto se invierta una vez las plantaciones establecidas alcancen su máximo rendimiento hídrico. Estas condiciones conllevan además a una disminución de la escorrentía, y a un aumento de la evapotranspiración y retención de lluvia.

Las fórmulas de infiltración propuestas en la metodología empleada tienden a anular el efecto que tiene la cobertura vegetal, el suelo y la intensidad de la precipitación en algunas unidades, lo cual puede consecuentemente afectar el cálculo o estimación de la recarga hídrica.

En el área de estudio los proyectos PINFOR de protección tienen un efecto directo positivo en la regulación hidrológica, mientras que los proyectos PINFOR de reforestación tendrán en principio un efecto negativo pero podrán principalmente contribuir con la regulación de los servicios hidrológicos, a través de una reducción en la escorrentía.

VII. RECOMENDACIONES

Se recomienda para estudios de este tipo bajar el detalle de la información en la mayor medida posible, ya que cuando se trabaja incluso con escalas 1:250,000 la información queda muy subjetiva y general.

Es de urgencia contar con una base actualizada y eficiente de datos climáticos en el área de estudio, por lo que se recomienda una reactivación de las estaciones establecidas o incluso la instalación de nuevas. En caso de no contar con datos de clima y suelos del área analizar, si se utiliza información existente ésta debe corroborarse y corregirse en campo en la mayor medida posible.

Se recomienda que las áreas identificadas como Tierras Forestales de Alta y Muy Alta Captación y Regulación Hídrica en el área de estudio, deben ser evaluadas para determinar el estado de los recursos, y entonces tomar las acciones necesarias que aseguren su calidad, mantenimiento y protección. En este sentido los Proyectos PINFOR de Protección podrían favorecer la conservación de estas áreas.

Se recomienda revisar la Metodología para la Delimitación de Tierras Forestales de Captación y Regulación Hídrica del Instituto Nacional de Bosques (INAB) (2004), ya que ésta no considera una condición bastante importante dada por la capa orgánica que se forma bajo una cobertura forestal, y es limitante o deficiente en cuanto a la estimación de la infiltración, lo cual puede afectar las estimaciones de la recarga hídrica en las áreas o zonas donde se realicen este tipo de estudios y se utilice esta metodología.

Se recomienda también llevar a cabo más estudios que permitan identificar las características, o qué circunstancias y condiciones determinan el que algunas áreas sean consideradas Tierras Forestales de Alta y Muy Alta Regulación y Captación Hidrológica. Esto porque así se podrán establecer parámetros o estándares que permitan una más fácil y rápida identificación, y no se tenga por tanto que invertir tantos recursos y esfuerzos en realizar estudios más complejos.

Se recomienda realizar o llevar a cabo estudios más profundos y específicos que analicen los efectos en los procesos de la recarga hídrica, que tienen la cobertura vegetal, un cambio en la misma, y las intervenciones humanas en el manejo de dicha vegetación, en el tiempo y en diferentes espacios geográficos. Esto permitirá no solo mejorar y ampliar los conocimientos, sino también reducir la incertidumbre que se tiene al respecto y eventualmente podría incluso servir, para orientar a los organismos encargados de la administración, control, manejo y conservación de los recursos naturales.

Es importante mencionar además que se deben modificar o elaborar nuevas metodologías que permitan llegar a obtener una mejor estimación del efecto que tiene específicamente la cobertura forestal en el ciclo hidrológico. Bajo este sentido, se recomienda realizar estudios en plantaciones forestales que permitan establecer por tipo de bosque y especie, la recarga hídrica según el estado o desarrollo fenológico de los árboles y el manejo que se le ha dado, bajo diferentes condiciones climáticas y edáficas. Se recomienda también realizar un estudio alterno que considere una metodología que permita realmente evaluar el efecto que tiene la cobertura vegetal en la infiltración, para determinar si el efecto negativo encontrado en la recarga hídrica por parte de las plantaciones forestales, se debe realmente a la cobertura en sí o propiamente a las fórmulas y la metodología utilizada.

Se recomienda realizar estudios correspondientes para identificar en las plantaciones forestales, qué otros servicios ambientales pueden aprovecharse y en qué medida, además de la fijación de carbono y conservación de suelos.

Finalmente, se recomienda que se tomen las medidas necesarias y adecuadas por que se mantenga y conserve la cobertura forestal, al ser ésta la que principalmente contribuye con el ciclo hidrológico; que el apoyo o los incentivos a los proyectos PINFOR en relación a los servicios hidrológicos esté enfocado principalmente en los proyectos de protección y manejo de bosque natural, y que en los proyectos de reforestación los servicios incentivados sean inicialmente más bien del tipo conservación de suelos y fijación de carbono, mientras se genera y obtiene mayor información al respecto.

VIII. BIBLIOGRAFÍA

Alvarado, Susana. 2003. *Caracterización de las plantaciones de Tectona grandis y Gmelina arborea establecidas con el Programa de Incentivos Forestales (PINFOR)*. Tesis Universidad del Valle de Guatemala. Guatemala, Guatemala. 83 págs.

Ávalos, Oscar y J.C. Rosito. 2007. *Evaluación hidrológica de las subcuencas Pasabién y Pueblo Viejo*. Compensación Equitativa por Servicios Hidrológicos. Guatemala, Programa de Comunicaciones WWF Centroamérica. 108 págs.

Bases digitales del programa de emergencias por desastres naturales. 2001. UPEI, PEDN, MAGA. Guatemala.

Clasificación de tierras por capacidad de uso, aplicación de una metodología para tierras de la República de Guatemala. 2000. Instituto Nacional de Bosques –INAB-. Guatemala. 96 págs.

Cruz, R. 1982. *Clasificación de zonas de vida de Guatemala a nivel de reconocimiento*. Ministerio de Agricultura, Ganadería y Alimentación, Sector Público Agropecuario y de Alimentación, Instituto Nacional Forestal, Unidad de Evaluación y Promoción, Dirección General de Servicios Agrícolas. Guatemala. 42 págs.

García, Salvador. 2004. *Identificación de áreas de recarga hídrica natural en la microcuenca del Río Tzulbá, Joyabaj, El Quiché*. Ejercicio profesional supervisado Universidad de San Carlos de Guatemala. Guatemala, Guatemala. 57 págs.

Identificación de las tierras forestales de captación y regulación hidrológica, de la subcuenca Los Vados, Cuenca Río Los Esclavos. 2005. Instituto Nacional de Bosques -INAB-, Proyecto Conservación de Ecosistemas Forestales Estratégicos –CEFE-. Guatemala. 69 págs.

Instituto Nacional de Bosques (INAB). 2009. *Programa de Incentivos Forestales (PINFOR)*. Guatemala, Guatemala. <http://portal.inab.gob.gt/pinfor.html>

Kiersch, Benjamin. 2004. *Pagos por servicios ambientales: ¿instrumento financiero innovador o viejos incentivos en nuevas envolturas?* Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO), Oficina Regional para América Latina y el Caribe. <http://www.fao.org/regional/lamerica/opinion/anterior/2004/kiersch.htm>

Ley Forestal. 1996. Congreso de la República de Guatemala, Decreto Legislativo Número 101-96. Guatemala, Guatemala. 36 págs.

Manual de campo para la ordenación de cuencas hidrográficas. 1992. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación -FAO-, Guía FAO Conservación 13/6. Roma. 185 págs. <http://www.fao.org/DOCREP/006/T0165S/T0165S00.HTM>

Mapa de cobertura forestal de la República de Guatemala. 2003. 2da. Edición. UVG, INAB, CONAP, MAGA, PAFG. Guatemala.

Metodología para la determinación de áreas críticas de recarga hídrica natural. 2004. Instituto Nacional de Bosques -INAB-, Proyecto de Investigación Forestal y Departamento de Ecosistemas Forestales Estratégicos y Áreas Protegidas del Instituto Nacional de Bosques. Guatemala. 106 págs.

Muñoz, Rafael y A.R. Rodríguez. 2005. *Hidrología agroforestal.* Gobierno de Canarias, Dirección General de Universidades e Investigación. España, Mundi-Prensa. 348 págs.

Noriega, Juan Pablo. 2005. *Determinación de las áreas principales de recarga hídrica natural en la microcuenca del Río Sibacá, Chinique, Quiché.* Tesis Universidad de San Carlos de Guatemala. Guatemala, Guatemala. 83 págs.

Pineda, Pedro. 2005. *Validación de la metodología para la delimitación de tierras forestales de captación y regulación hídrica y la elaboración y primer vaciado de información de una base de datos de tierras forestales de captación y regulación hídrica.* Instituto Nacional de Bosques (INAB). Guatemala. 23 págs.

Portal de Recursos Hídricos de Guatemala. *Mapa de red hidrometeorológica.* http://www.guateagua.org.gt/subtemas/4/cuenca/mapas/achiguate/4est_met/index.html

Primera Aproximación al mapa de clasificación taxonómica de los suelos de la República de Guatemala, escala 1:250,000 –Memoria Técnica-. 2000. Ministerio de Agricultura, Ganadería y Alimentación –MAGA-, Unidad de Políticas e Información Estratégica (UPIE-MAGA), Programa de Emergencia por Desastres Naturales (MAGA-BID), Consultores: Hugo Tobías y Estuardo Lira. Guatemala. 49 págs.

Ramírez, Orsibal. 2007. *Cuantificación de la recarga hídrica natural y determinación de las principales áreas de regulación hidrológica de la subcuenca del Río Xequijel, Cuenca del Río Samalá, departamento de Quetzaltenango.* Tesis Universidad Rafael Landívar. Cede Verapaz, Guatemala. 119 págs.

Regalado, Herbert. 2004. *Impactos socioeconómicos de los mecanismos financieros para plantaciones forestales: El caso del programa de incentivos forestales (PINFOR) en Petén, Guatemala.* Universidad del Valle de Guatemala. Guatemala, Guatemala. 69 págs.

Reglamento del Programa de Incentivos Forestales. 2004. La Junta Directiva del Instituto Nacional de Bosques (INAB), Resolución 02.12.2004. Guatemala, Guatemala. 15 págs.

Sampurno, L.A. 1997. *Management of soil, nutrients and water in tropical plantation forests.* Hidrología de las Plantaciones Forestales en los Trópicos, Capítulo 5. Traducido por Grupo de Hidrología (R-1010), Carrera de Ingeniería Forestal, Semestre 01, 2001-06-02, y Luis Gonzaga Giraldo López. Departamento de Ciencias Forestales. Universidad Nacional de Colombia. Australia, CSIRO. 571 págs.

Sandoval, Jorge. 2007. *Principios de riego y drenaje.* Guatemala, Editorial Universitaria (Universidad de San Carlos de Guatemala). 361 págs.

Situación del recurso hídrico en Guatemala (documento técnico del perfil ambiental de Guatemala). 2005. Universidad Rafael Landívar, Facultad de Ciencias Ambientales y Agrícolas –FCAA-, e Instituto de Agricultura, Recursos Naturales y Ambiente –IARNA-. Guatemala. 30 págs.

Strickler, Annie y G. Knier. 2002. *Brujería de agua en el espacio*. Portal de Internet de Ciencia@NASA.

http://ciencia.nasa.gov/headlines/images/Soil_Hydro_Story/hydrocycle1_sm_span.jpg

IX. APÉNDICES

Apéndice 1. Radiación solar extraterrestre (RMM) expresada en evaporación equivalente en mm/día, para diferentes meses y latitudes.

LATITUD	Norte	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
	0	13.0	15.5	15.7	15.3	14.4	13.9	14.1	14.8	15.3	15.4	15.1	14.8
	2	14.7	15.3	15.6	15.3	14.6	14.2	14.3	14.9	15.3	15.3	14.8	14.4
	4	14.3	15.0	15.5	15.5	14.9	14.4	14.6	15.1	15.3	15.1	14.5	14.1
	6	13.9	14.8	15.4	15.4	15.1	14.7	14.9	15.2	15.3	15.0	14.2	13.7
	8	13.6	14.5	15.3	15.6	15.2	15.0	15.1	15.4	15.3	14.8	13.9	13.3
	10	13.2	14.2	15.3	15.7	15.5	15.3	15.3	15.5	15.3	14.7	13.9	12.9
	12	12.8	13.9	15.1	15.7	15.7	15.5	15.5	15.6	15.2	14.4	13.3	12.5
	14	12.4	13.6	14.9	15.7	15.0	15.7	15.7	15.7	15.1	14.1	12.8	12.0
	16	12.0	13.3	14.7	15.6	16.0	15.9	15.9	15.7	15.0	13.9	12.4	11.6
	18	11.6	13.0	14.6	15.6	16.1	16.1	16.1	15.8	14.9	13.6	12.0	11.1
	20	11.2	12.7	14.4	15.6	16.3	16.4	16.3	15.9	14.8	13.3	11.6	10.7

Fuente: INAB 2004 tomado de INAB, 2005.

Apéndice 2. Duración máxima media diaria de horas de brillo solar para diferentes meses y latitudes.

LATITUD	Norte	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
	0	12.1	12.1	12.1	12.1	12.1	12.1	12.1	12.1	12.1	12.1	12.1	12.1
	5	11.8	11.9	12.0	12.2	12.3	12.4	12.3	12.3	12.1	12.0	11.9	11.8
	10	11.6	11.8	12.0	12.3	12.6	12.7	12.6	12.4	12.1	11.8	11.6	11.5
	15	11.3	11.6	12.0	12.5	12.8	13.0	12.9	12.6	12.2	11.8	11.4	11.2
	20	11.0	11.5	12.0	12.6	13.1	13.3	13.2	12.8	12.3	11.7	11.2	10.9
	25	10.7	11.3	12.0	12.7	13.3	13.7	13.5	13.0	12.3	11.6	10.9	10.6

Fuente: INAB 2004 tomado de INAB, 2005.

Apéndice 3. Precipitación pluvial mensual (mm) registrada e interpolada de las estaciones ubicadas en la parte alta de la cuenca del Río Achiguate.

Estación	Altura (msnm)	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Total
Santa María FEGUA	125	3.000	2.000	23.000	60.000	240.000	395.000	294.000	296.000	389.000	347.000	78.000	18.000	2145.000
	175	1.235	0.824	12.412	48.235	231.765	361.471	333.412	308.941	414.882	322.294	49.765	8.000	2093.235
Las Mercedes	210	0.000	0.000	5.000	40.000	226.000	338.000	361.000	318.000	433.000	305.000	30.000	1.000	2057.000
Obispo	220	9.000	3.000	21.000	79.000	336.000	436.000	372.000	354.000	502.000	480.000	92.000	13.000	2697.000
El Chupadero	270	8.000	54.000	42.000	140.000	400.000	444.000	312.000	377.000	536.000	416.000	114.000	24.000	2867.000
	320	8.543	49.870	44.283	141.739	401.630	452.152	319.174	384.065	536.326	414.804	115.413	24.978	2892.978
	370	9.087	45.739	46.565	143.478	403.261	460.304	326.348	391.130	536.652	413.609	116.826	25.957	2918.957
	420	9.630	41.609	48.848	145.217	404.891	468.457	333.522	398.196	536.978	412.413	118.239	26.935	2944.935
	470	10.174	37.478	51.130	146.957	406.522	476.609	340.696	405.261	537.304	411.217	119.652	27.913	2970.913
	520	10.717	33.348	53.413	148.696	408.152	484.761	347.870	412.326	537.630	410.022	121.065	28.891	2996.891
	570	11.261	29.217	55.696	150.435	409.783	492.913	355.043	419.391	537.957	408.826	122.478	29.870	3022.870
	620	11.804	25.087	57.978	152.174	411.413	501.065	362.217	426.457	538.283	407.630	123.891	30.848	3048.848
	670	12.348	20.957	60.261	153.913	413.043	509.217	369.391	433.522	538.609	406.435	125.304	31.826	3074.826
	720	12.891	16.826	62.543	155.652	414.674	517.370	376.565	440.587	538.935	405.239	126.717	32.804	3100.804
Sabana Grande	730	13.000	16.000	63.000	156.000	415.000	519.000	378.000	442.000	539.000	405.000	127.000	33.000	3106.000
San Andrés Osuna	760	24.000	40.000	74.000	210.000	522.000	685.000	522.000	601.000	665.000	560.000	183.000	47.000	4133.000
	810	23.702	38.140	71.991	199.435	502.283	677.783	512.625	592.146	669.167	543.705	173.699	44.991	4049.667
	860	23.405	36.280	69.982	188.869	482.565	670.565	503.250	583.292	673.333	527.411	164.399	42.982	3966.333
	910	23.107	34.420	67.973	178.304	462.848	663.348	493.875	574.438	677.500	511.116	155.098	40.973	3883.000
	960	22.810	32.560	65.964	167.738	443.131	656.131	484.500	565.583	681.667	494.821	145.798	38.964	3799.667
	1010	22.512	30.699	63.955	157.173	423.414	648.914	475.125	556.729	685.833	478.527	136.497	36.955	3716.333
	1060	22.214	28.839	61.946	146.607	403.696	641.696	465.750	547.875	690.000	462.232	127.196	34.946	3633.000
	1110	21.917	26.979	59.938	136.042	383.979	634.479	456.375	539.021	694.167	445.938	117.896	32.938	3549.667

Continuación Apéndice 3

Estación	Altura (msnm)	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Total
	1160	21.619	25.119	57.929	125.476	364.262	627.262	447.000	530.167	698.333	429.643	108.595	30.929	3466.333
	1210	21.321	23.259	55.920	114.911	344.545	620.045	437.625	521.313	702.500	413.348	99.295	28.920	3383.000
	1260	21.024	21.399	53.911	104.345	324.827	612.827	428.250	512.458	706.667	397.054	89.994	26.911	3299.667
	1310	20.726	19.539	51.902	93.780	305.110	605.610	418.875	503.604	710.833	380.759	80.693	24.902	3216.333
	1360	20.429	17.679	49.893	83.214	285.393	598.393	409.500	494.750	715.000	364.464	71.393	22.893	3133.000
	1410	20.131	15.818	47.884	72.649	265.676	591.176	400.125	485.896	719.167	348.170	62.092	20.884	3049.667
La Reunión	1432	20.000	15.000	47.000	68.000	257.000	588.000	396.000	482.000	721.000	341.000	58.000	20.000	3013.000
	1482	10.698	10.349	27.814	41.837	157.000	358.930	243.093	279.093	415.186	185.767	34.744	9.535	1774.047
El Potrero	1518	4.000	7.000	14.000	23.000	85.000	194.000	133.000	133.000	195.000	74.000	18.000	2.000	882.000
	1568	3.612	6.612	14.000	22.419	88.682	198.651	134.938	137.264	194.806	82.140	18.581	2.969	904.674
	1618	3.225	6.225	14.000	21.837	92.364	203.302	136.876	141.527	194.612	90.279	19.163	3.938	927.349
	1668	2.837	5.837	14.000	21.256	96.047	207.953	138.814	145.791	194.419	98.419	19.744	4.907	950.023
	1718	2.450	5.450	14.000	20.674	99.729	212.605	140.752	150.054	194.225	106.558	20.326	5.876	972.698
	1768	2.062	5.062	14.000	20.093	103.411	217.256	142.690	154.318	194.031	114.698	20.907	6.845	995.372
Alameda ICTA	1776	2.000	5.000	14.000	20.000	104.000	218.000	143.000	155.000	194.000	116.000	21.000	7.000	999.000
	1826	2.735	5.245	12.775	23.676	100.814	225.108	154.275	159.902	195.716	113.794	24.676	8.716	1027.431
	1876	3.471	5.490	11.549	27.353	97.627	232.216	165.549	164.804	197.431	111.588	28.353	10.431	1055.863
	1926	4.206	5.735	10.324	31.029	94.441	239.324	176.824	169.706	199.147	109.382	32.029	12.147	1084.294
	1976	4.941	5.980	9.098	34.706	91.255	246.431	188.098	174.608	200.863	107.176	35.706	13.863	1112.725
Florencia	1980	5.000	6.000	9.000	35.000	91.000	247.000	189.000	175.000	201.000	107.000	36.000	14.000	1115.000
Datos entre La Reunión y los Volcanes	1482	19.822	14.867	46.583	67.396	254.719	582.781	392.485	477.722	714.601	337.973	57.485	19.822	2986.258
	1532	19.645	14.734	46.166	66.793	252.438	577.563	388.971	473.444	708.202	334.947	56.970	19.645	2959.517
	1582	19.467	14.601	45.749	66.189	250.157	572.344	385.456	469.166	701.802	331.920	56.456	19.467	2932.775
	1632	19.290	14.467	45.331	65.586	247.876	567.125	381.941	464.888	695.403	328.894	55.941	19.290	2906.034

Continuación Apéndice 3

Estación	Altura (msnm)	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Total
Datos entre La Reunión y los Volcanes	1682	19.112	14.334	44.914	64.982	245.595	561.906	378.427	460.610	689.004	325.867	55.426	19.112	2879.292
	1732	18.935	14.201	44.497	64.379	243.314	556.688	374.912	456.332	682.605	322.841	54.911	18.935	2852.550
Datos entre La Reunión y los Volcanes	1782	18.757	14.068	44.080	63.775	241.033	551.469	371.397	452.054	676.206	319.814	54.397	18.757	2825.809
	1832	18.580	13.935	43.663	63.172	238.752	546.250	367.883	447.776	669.807	316.788	53.882	18.580	2799.067
	1882	18.402	13.802	43.246	62.568	236.471	541.031	364.368	443.498	663.407	313.761	53.367	18.402	2772.325
	1932	18.225	13.669	42.829	61.965	234.190	535.813	360.853	439.221	657.008	310.735	52.852	18.225	2745.584
	1982	18.047	13.536	42.411	61.361	231.909	530.594	357.339	434.943	650.609	307.708	52.337	18.047	2718.842
	2032	17.870	13.402	41.994	60.758	229.628	525.375	353.824	430.665	644.210	304.682	51.823	17.870	2692.101
	2082	17.692	13.269	41.577	60.154	227.347	520.156	350.309	426.387	637.811	301.655	51.308	17.692	2665.359
	2132	17.515	13.136	41.160	59.551	225.066	514.938	346.795	422.109	631.412	298.629	50.793	17.515	2638.617
	2182	17.337	13.003	40.743	58.947	222.785	509.719	343.280	417.831	625.012	295.602	50.278	17.337	2611.876
	2232	17.160	12.870	40.326	58.344	220.504	504.500	339.765	413.553	618.613	292.576	49.764	17.160	2585.134
	2282	16.982	12.737	39.909	57.740	218.223	499.281	336.251	409.275	612.214	289.549	49.249	16.982	2558.392
	2332	16.805	12.604	39.491	57.136	215.942	494.063	332.736	404.997	605.815	286.523	48.734	16.805	2531.651
	2382	16.627	12.471	39.074	56.533	213.661	488.844	329.221	400.719	599.416	283.496	48.219	16.627	2504.909
	2432	16.450	12.337	38.657	55.929	211.380	483.625	325.707	396.441	593.017	280.470	47.705	16.450	2478.168
	2482	16.272	12.204	38.240	55.326	209.099	478.406	322.192	392.163	586.617	277.443	47.190	16.272	2451.426
	2532	16.095	12.071	37.823	54.722	206.818	473.188	318.677	387.885	580.218	274.417	46.675	16.095	2424.684
	2582	15.917	11.938	37.406	54.119	204.537	467.969	315.163	383.607	573.819	271.390	46.160	15.917	2397.943
	2632	15.740	11.805	36.989	53.515	202.256	462.750	311.648	379.329	567.420	268.364	45.645	15.740	2371.201
	2682	15.562	11.672	36.571	52.912	199.975	457.531	308.133	375.051	561.021	265.337	45.131	15.562	2344.459
	2732	15.385	11.539	36.154	52.308	197.694	452.313	304.619	370.773	554.621	262.311	44.616	15.385	2317.718
2782	15.207	11.405	35.737	51.705	195.414	447.094	301.104	366.495	548.222	259.284	44.101	15.207	2290.976	
2832	15.030	11.272	35.320	51.101	193.133	441.875	297.589	362.217	541.823	256.258	43.586	15.030	2264.235	

Continuación Apéndice 3

Estación	Altura (msnm)	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Total
Datos entre La Reunión y los Volcanes	2882	14.852	11.139	34.903	50.498	190.852	436.656	294.075	357.939	535.424	253.231	43.072	14.852	2237.493
	2932	14.675	11.006	34.486	49.894	188.571	431.438	290.560	353.662	529.025	250.205	42.557	14.675	2210.751
	2982	14.497	10.873	34.069	49.291	186.290	426.219	287.045	349.384	522.626	247.178	42.042	14.497	2184.010
	3032	14.320	10.740	33.651	48.687	184.009	421.000	283.531	345.106	516.226	244.151	41.527	14.320	2157.268
	3082	14.142	10.607	33.234	48.084	181.728	415.781	280.016	340.828	509.827	241.125	41.012	14.142	2130.526
Datos entre La Reunión y los Volcanes	3132	13.965	10.474	32.817	47.480	179.447	410.563	276.501	336.550	503.428	238.098	40.498	13.965	2103.785
	3182	13.787	10.340	32.400	46.877	177.166	405.344	272.987	332.272	497.029	235.072	39.983	13.787	2077.043
	3232	13.610	10.207	31.983	46.273	174.885	400.125	269.472	327.994	490.630	232.045	39.468	13.610	2050.302
	3282	13.432	10.074	31.566	45.669	172.604	394.906	265.957	323.716	484.231	229.019	38.953	13.432	2023.560
	3332	13.255	9.941	31.149	45.066	170.323	389.688	262.443	319.438	477.831	225.992	38.439	13.255	1996.818
	3382	13.077	9.808	30.731	44.462	168.042	384.469	258.928	315.160	471.432	222.966	37.924	13.077	1970.077
	3432	12.900	9.675	30.314	43.859	165.761	379.250	255.413	310.882	465.033	219.939	37.409	12.900	1943.335
	3482	12.722	9.542	29.897	43.255	163.480	374.032	251.899	306.604	458.634	216.913	36.894	12.722	1916.593
	3532	12.545	9.408	29.480	42.652	161.199	368.813	248.384	302.326	452.235	213.886	36.379	12.545	1889.852
	3582	12.367	9.275	29.063	42.048	158.918	363.594	244.869	298.048	445.836	210.860	35.865	12.367	1863.110
Parte Alta Volcanes	3632	12.190	9.142	28.646	41.445	156.637	358.375	241.355	293.770	439.436	207.833	35.350	12.190	1836.369
	3682	12.012	9.009	28.228	40.841	154.356	353.157	237.840	289.492	433.037	204.807	34.835	12.012	1809.627
	3700	11.948	8.961	28.078	40.624	153.535	351.278	236.575	287.952	430.733	203.717	34.650	11.948	1800.000

Fuente: Elaboración propia en base al INSIVUMEH y el Portal de Recursos Hídricos de Guatemala.



Registros de las estaciones del INSIVUMEH



Registros de las estaciones del PLAMAR

Apéndice 4. Temperatura máxima, mínima y promedio mensual (°C) registrada en las estaciones ubicadas en la parte alta de la cuenca del Río Achiguate, e interpolaciones entre los registros de temperatura media en algunas estaciones.

Estación	Altura (msnm)	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Promedio Anual
El Chupadero	270													
Máxima		33.700	34.940	35.550	35.640	34.090	32.970	33.389	32.990	29.420	32.260	32.480	32.680	33.342
Mínima		19.910	20.740	21.430	22.290	22.480	22.220	21.800	21.910	21.640	20.830	20.520	19.910	21.307
Media		26.805	27.840	28.490	28.965	28.285	27.595	27.594	27.450	25.530	26.545	26.500	26.295	27.325
San Andrés Osuna	760													
Máxima		30.511	30.288	30.167	29.888	29.544	28.778	28.867	28.260	28.256	26.913	29.533	29.522	29.210
Mínima		22.933	23.038	23.222	22.475	21.933	22.333	22.344	22.340	22.278	21.625	22.744	22.856	22.510
Media		26.722	26.663	26.694	26.181	25.739	25.556	25.606	25.300	25.267	24.269	26.139	26.189	25.860
Florencia	1980													
Máxima		21.543	22.350	24.467	25.383	23.100	22.167	22.117	22.450	21.550	21.817	21.100	21.150	22.433
Mínima		11.071	11.417	12.800	13.450	13.817	13.700	13.467	13.783	13.833	13.500	12.267	10.533	12.803
Media		16.307	16.883	18.633	19.417	18.458	17.933	17.792	18.117	17.692	17.658	16.683	15.842	17.618
Parte Alta Volcanes	3700													
Media		19.500	20.000	21.500	21.000	21.000	21.000	21.500	21.000	21.000	20.500	20.000	20.000	20.667
Datos entre San Andrés Osuna y Florencia	860	25.869	25.861	26.034	25.627	25.142	24.931	24.965	24.711	24.646	23.727	25.364	25.341	25.185
	960	25.015	25.059	25.373	25.072	24.545	24.306	24.325	24.122	24.025	23.185	24.589	24.493	24.509
	1060	24.161	24.258	24.712	24.518	23.949	23.681	23.684	23.534	23.404	22.643	23.814	23.644	23.833
	1160	23.307	23.456	24.051	23.963	23.352	23.056	23.044	22.945	22.783	22.101	23.039	22.796	23.158
	1260	22.454	22.655	23.391	23.409	22.755	22.432	22.403	22.356	22.162	21.560	22.264	21.948	22.482
	1360	21.600	21.853	22.730	22.854	22.158	21.807	21.763	21.767	21.541	21.018	21.489	21.100	21.807
	1460	20.746	21.052	22.069	22.300	21.562	21.182	21.122	21.178	20.920	20.476	20.714	20.252	21.131
1560	19.893	20.250	21.408	21.745	20.965	20.557	20.482	20.590	20.299	19.934	19.939	19.404	20.455	

Continuación Apéndice 4

Estación	Altura (msnm)	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Promedio Anual
Datos entre San Andrés Osuna y Florencia	1660	19.039	19.448	20.748	21.191	20.368	19.933	19.841	20.001	19.679	19.392	19.163	18.556	19.780
	1760	18.185	18.647	20.087	20.637	19.771	19.308	19.201	19.412	19.058	18.850	18.388	17.708	19.104
	1860	17.332	17.845	19.426	20.082	19.174	18.683	18.560	18.823	18.437	18.309	17.613	16.859	18.429
	1960	16.478	17.044	18.765	19.528	18.578	18.058	17.920	18.234	17.816	17.767	16.838	16.011	17.753
Datos entre El Chupadero y San Andrés Osuna	370	26.788	27.600	28.124	28.397	27.765	27.179	27.189	27.011	25.476	26.080	26.426	26.273	27.026
	470	26.771	27.359	27.757	27.829	27.246	26.763	26.783	26.572	25.423	25.616	26.353	26.252	26.727
	570	26.754	27.119	27.391	27.261	26.726	26.346	26.377	26.134	25.369	25.151	26.279	26.230	26.428
	670	26.737	26.879	27.024	26.693	26.207	25.930	25.971	25.695	25.315	24.687	26.205	26.208	26.129
Datos entre Parte más Baja Cuenca y El Chupadero	70	26.856	27.891	28.541	29.016	28.336	27.646	27.645	27.501	25.581	26.596	26.551	26.346	27.375
	100	26.839	27.874	28.524	28.999	28.319	27.629	27.628	27.484	25.564	26.579	26.534	26.329	27.358
	170	26.822	27.857	28.507	28.982	28.302	27.612	27.611	27.467	25.547	26.562	26.517	26.312	27.341
	270	26.805	27.840	28.490	28.965	28.285	27.595	27.594	27.450	25.530	26.545	26.500	26.295	27.325
Datos entre Florencia y los Volcanes	2080	16.260	16.832	18.567	19.276	18.374	17.879	17.775	18.052	17.651	17.591	16.644	15.851	17.563
	2180	16.213	16.781	18.502	19.136	18.289	17.825	17.758	17.987	17.611	17.524	16.604	15.860	17.507
	2280	16.166	16.729	18.436	18.995	18.204	17.771	17.741	17.922	17.571	17.456	16.564	15.869	17.452
	2380	16.119	16.678	18.370	18.855	18.119	17.716	17.724	17.857	17.531	17.389	16.524	15.878	17.397
	2480	16.073	16.627	18.304	18.714	18.034	17.662	17.707	17.792	17.491	17.322	16.485	15.888	17.341
	2580	16.026	16.575	18.238	18.574	17.950	17.608	17.690	17.727	17.450	17.254	16.445	15.897	17.286
	2680	15.979	16.524	18.172	18.433	17.865	17.553	17.673	17.662	17.410	17.187	16.405	15.906	17.231
	2780	15.932	16.472	18.106	18.293	17.780	17.499	17.656	17.597	17.370	17.120	16.366	15.915	17.175
	2880	15.885	16.421	18.040	18.152	17.695	17.445	17.639	17.532	17.330	17.052	16.326	15.925	17.120
	2980	15.838	16.370	17.974	18.012	17.610	17.391	17.622	17.467	17.290	16.985	16.286	15.934	17.065
	3080	15.791	16.318	17.909	17.871	17.526	17.336	17.605	17.403	17.249	16.918	16.246	15.943	17.010
	3180	15.744	16.267	17.843	17.731	17.441	17.282	17.588	17.338	17.209	16.850	16.207	15.952	16.954

Continuación Apéndice 4

Estación	Altura (msnm)	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Promedio Anual
Datos entre Florencia y los Volcanes	3280	15.697	16.216	17.777	17.590	17.356	17.228	17.571	17.273	17.169	16.783	16.167	15.961	16.899
	3380	15.650	16.164	17.711	17.450	17.271	17.174	17.554	17.208	17.129	16.716	16.127	15.971	16.844
	3480	15.603	16.113	17.645	17.309	17.187	17.119	17.537	17.143	17.088	16.648	16.087	15.980	16.788
	3580	15.556	16.062	17.579	17.169	17.102	17.065	17.520	17.078	17.048	16.581	16.048	15.989	16.733
	3680	15.509	16.010	17.513	17.028	17.017	17.011	17.503	17.013	17.008	16.513	16.008	15.998	16.678
Datos entre los Volcanes y la parte más Alta de los Volcanes	3800	15.500	16.000	17.500	17.000	17.000	17.000	17.500	17.000	17.000	16.500	16.000	16.000	16.667

Fuente: Elaboración propia en base a INSIVUMEH; UPEI, PEDN, MAGA (2001).

Registros de las estaciones del INSIVUMEH
 Registros en los Mapas de Temperaturas Promedio Mensuales de la República de Guatemala

Apéndice 5. Figuras de las hojas electrónicas de Excel de balance hídrico de suelos, de las unidades de mapeo consideradas en el análisis de recarga hídrica de los proyectos de reforestación (cálculo inicial).⁴

Unidad de Muestreo No. 8													
Dd-DsTv Anuales													
Zona de Estudio: Cuenca Río Achiguate													
Uso del Suelo: Cultivos Anuales/Agricultura Limpia Annual													
Textura de Suelo: Franca a Franco-Arcillo-Arenosa													
Simbología													
fc: Capacidad de Infiltración.													
I: Infiltración.													
CC: Capacidad de Campo.													
PM: Punto de Marchitez.													
PR: Profundidad de Raíces.													
(CC-PM): Rango de Agua Disponible.													
DS: Densidad de Suelo.													
C1: Factor de ETP, por cierre de estomas, antes que ocurra ETR													
C2: Factor de ETP, por cierre de estomas, después que ocurre ETR													
Kp: Factor por pendiente (ver léame)													
Kv: Factor por vegetación (ver léame)													
Kfc: Factor estimado con base a la prueba de infiltración													
P: Precipitación Media Mensual.													
Pi: Precipitación que infiltra.													
ESC: Escorrentía Superficial													
ETP: Evapotranspiración Potencial.													
ETR: Evapotranspiración Real.													
HSi: Humedad de Suelo Inicial.													
HD: Humedad Disponible													
HSf: Humedad de Suelo Final.													
DCC: Déficit de Capacidad de Campo.													
Rp: Recarga Potencial													
NR: Necesidad de Riego.													
Ret: Retención de lluvia													
fc [mm/d]	312.00												
Kp [0.01%]	0.06												
Kv [0.01%]	0.10												
Kfc [0.01%]	0.76233												
I [0.01%]	0.92233												
DS (g/cm ³):	1.40												
PR (mm)	500.00												
HSi (mm)	154.00												
Nº de mes con que inicia HSi;1,2,3...12?	5												
Lluvia retenida [0.01%] : Bosques=0.2, otros=0.12	0.12												
	por peso (%) (mm)												
	CC 22.00 154.00												
	PM 10.00 70.00												
	(CC-PM) 12.00 84.00												
Concepto	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Total
P (mm)	5	7.5	15	17.5	100	250	175	150	225	150	25	10	1130.00
Ret [mm]	5.00	5.00	5.00	5.00	12.00	30.00	21.00	18.00	27.00	18.00	5.00	5.00	156.00
Pi (mm)	0.00	2.31	9.22	11.53	81.17	202.91	142.04	121.75	182.62	121.75	18.45	4.61	898.35
ESC (mm)	0.00	0.19	0.78	0.97	6.83	17.09	11.96	10.25	15.38	10.25	1.55	0.39	75.65
ETP (mm)	45.6031	46.6462	60.2408	63.885	64.6599	63.4771	65.1659	64.378	58.1894	54.7477	46.1084	43.3591	676.46
HSi (mm)	112.29	95.57	86.69	83.99	154.00	154.00	154.00	154.00	154.00	154.00	154.00	133.93	
C1	0.50	0.33	0.31	0.30	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.82	
C2	0.23	0.15	0.09	0.07	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.67	0.39	
HD (mm)	42.29	27.87	25.91	25.52	165.17	286.91	226.04	205.75	266.62	205.75	102.45	68.54	
ETR (mm)	16.73	11.18	11.92	12.03	64.66	63.48	65.17	64.38	58.19	54.75	38.52	26.25	487.24
HSf (mm)	95.57	86.69	83.99	83.49	154.00	154.00	154.00	154.00	154.00	154.00	133.93	112.29	
DCC (mm)	58.43	67.31	70.01	70.51	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	20.07	41.71	
Rp (mm)	0.00	0.00	0.00	0.00	16.51	139.44	76.87	57.37	124.43	67.00	0.00	0.00	481.62
NR (mm)	87.31	102.78	118.33	122.36	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	27.66	58.82	517.25

⁴ Todas las unidades de mapeo cuentan con su respectiva hoja de cálculo electrónica de Excel de balance hídrico de suelos. Sin embargo, por motivos demostrativos únicamente se muestran las figuras de las hojas electrónicas de las unidades de mapeo consideradas en el análisis de recarga hídrica de los proyectos de reforestación.

Unidad de Muestreo No. 10													
DdQa Caña													
Zona de Estudio: Cuenca Río Achiguate													
Uso del Suelo: Cultivos Perennes/Caña													
Textura de Suelo: Franca													
Simbología													
fc: Capacidad de Infiltración.							P: Precipitación Media Mensual.						
I: Infiltración.							Pi: Precipitación que infiltra.						
CC: Capacidad de Campo.							ESC: Escorrentía Superficial						
PM: Punto de Marchitez.							ETP: Evapotranspiración Potencial.						
PR: Profundidad de Raíces.							ETR: Evapotranspiración Real.						
(CC-PM): Rango de Agua Disponible.							HSi: Humedad de Suelo Inicial.						
DS: Densidad de Suelo.							HD: Humedad Disponible						
C1: Factor de ETP, por cierre de estomas, antes que ocurra ETR							HSf: Humedad de Suelo Final.						
C2: Factor de ETP, por cierre de estomas, después que ocurre ETR							DCC: Déficit de Capacidad de Campo.						
Kp: Factor por pendiente (ver léame)							Rp: Recarga Potencial						
Kv: Factor por vegetación (ver léame)							NR: Necesidad de Riego.						
Kfc: Factor estimado con base a la prueba de infiltración							Ret: Retención de lluvia						
fc [mm/d]	312.00												
Kp [0.01%]	0.10												
Kv [0.01%]	0.10												
Kfc [0.01%]	0.76233						por peso						
I [0.01%]	0.96233						(%) (mm)						
DS (g/cm ³):	1.40						CC	22.00	77.00				
PR (mm)	250.00						PM	10.00	35.00				
HSi (mm)	77.00						(CC-PM)	12.00	42.00				
Nº de mes con que inicia HSi;1,2,3...12?	5												
Lluvia retenida [0.01%] : Bosques=0.2, otros=0.12	0.12												
Concepto	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Total
P (mm)	7.5	10	30	75	450	450	350	450	550	450	75	17.5	2915.00
Ret [mm]	5.00	5.00	5.00	9.00	54.00	54.00	42.00	54.00	66.00	54.00	9.00	5.00	362.00
Pi (mm)	2.41	4.81	24.06	63.51	381.08	381.08	296.40	381.08	465.77	381.08	63.51	12.03	2456.84
ESC (mm)	0.09	0.19	0.94	2.49	14.92	14.92	11.60	14.92	18.23	14.92	2.49	0.47	96.16
ETP (mm)	57.41	59.2651	74.4811	78.5882	80.2052	78.542	80.8463	79.1424	69.178	66.9296	57.2388	54.6493	836.48
HSi (mm)	61.70	44.21	39.13	38.19	77.00	77.00	77.00	77.00	77.00	77.00	77.00	77.00	77.00
C1	0.69	0.33	0.67	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
C2	0.00	0.00	0.00	0.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.00
HD (mm)	29.11	14.03	28.19	66.71	423.08	423.08	338.40	423.08	507.77	423.08	105.51	54.03	
ETR (mm)	19.90	9.90	24.99	39.29	80.21	78.54	80.85	79.14	69.18	66.93	57.24	27.32	633.49
HSf (mm)	44.21	39.13	38.19	62.41	77.00	77.00	77.00	77.00	77.00	77.00	77.00	61.70	
DCC (mm)	32.79	37.87	38.81	14.59	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	15.30
Rp (mm)	0.00	0.00	0.00	0.00	300.88	302.54	215.55	301.94	396.59	314.15	6.28	0.00	1837.94
NR (mm)	70.30	87.24	88.29	53.88	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	42.62	342.33

Unidad de Muestreo No. 13													
DdQv Caña													
Zona de Estudio: Cuenca Río Achiguate													
Uso del Suelo: Cultivos Perennes/Caña													
Textura de Suelo: Franco-Arenosa													
Simbología													
fc: Capacidad de Infiltración.							P: Precipitación Media Mensual.						
I: Infiltración.							Pi: Precipitación que infiltra.						
CC: Capacidad de Campo.							ESC: Escorrentía Superficial						
PM: Punto de Marchitez.							ETP: Evapotranspiración Potencial.						
PR: Profundidad de Raíces.							ETR: Evapotranspiración Real.						
(CC-PM): Rango de Agua Disponible.							HSi: Humedad de Suelo Inicial.						
DS: Densidad de Suelo.							HD: Humedad Disponible						
C1: Factor de ETP, por cierre de estomas, antes que ocurra ETR							HSf: Humedad de Suelo Final.						
C2: Factor de ETP, por cierre de estomas, después que ocurre ETR							DCC: Déficit de Capacidad de Campo.						
Kp: Factor por pendiente (ver léame)							Rp: Recarga Potencial						
Kv: Factor por vegetación (ver léame)							NR: Necesidad de Riego.						
Kfc: Factor estimado con base a la prueba de infiltración							Ret: Retención de lluvia						
fc [mm/d]	600.00												
Kp [0.01%]	0.10												
Kv [0.01%]	0.10												
Kfc [0.01%]	0.89258												
I [0.01%]	1												
DS (g/cm ³):	1.50						CC	14.00	52.50				
PR (mm)	250.00						PM	6.00	22.50				
HSi (mm)	52.50						(CC-PM)	8.00	30.00				
Nº de mes con que inicia HSi;1,2,3...12?	3												
Lluvia retenida [0.01%] : Bosques=0.2, otros=0.12	0.12												
Concepto	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Total
P (mm)	10	20	70	125	450	600	350	450	700	450	150	37.5	3412.50
Ret [mm]	5.00	5.00	8.40	15.00	54.00	72.00	42.00	54.00	84.00	54.00	18.00	5.00	416.40
Pi (mm)	5.00	15.00	61.60	110.00	396.00	528.00	308.00	396.00	616.00	396.00	132.00	32.50	2996.10
ESC (mm)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
ETP (mm)	56.7529	57.49	71.5931	74.3223	76.084	75.1274	77.3901	75.5662	68.3164	63.7254	56.3401	53.9967	806.70
HSi (mm)	50.35	26.97	52.50	52.50	52.50	52.50	52.50	52.50	52.50	52.50	52.50	52.50	52.50
C1	1.00	0.65	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
C2	0.00	0.00	0.67	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.28
HD (mm)	32.85	19.47	91.60	140.00	426.00	558.00	338.00	426.00	646.00	426.00	162.00	62.50	708.23
ETR (mm)	28.38	18.66	59.67	74.32	76.08	75.13	77.39	75.57	68.32	63.73	56.34	34.65	708.23
HSf (mm)	26.97	23.31	52.50	52.50	52.50	52.50	52.50	52.50	52.50	52.50	52.50	50.35	50.35
DCC (mm)	25.53	29.19	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	2.15
Rp (mm)	0.00	0.00	1.93	35.68	319.92	452.87	230.61	320.43	547.68	332.27	75.66	0.00	2317.06
NR (mm)	53.90	68.02	11.92	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	21.50	155.34

Unidad de Muestreo No. 15														
DdTv Cultivos Anuales														
Zona de Estudio: Cuenca Río Achiguate														
Uso del Suelo: Cultivos Anuales/Agricultura Limpia Annual														
Textura de Suelo: Franco-Arenosa														
Simbología														
fc: Capacidad de Infiltración.							P: Precipitación Media Mensual.							
I: Infiltración.							Pi: Precipitación que infiltra.							
CC: Capacidad de Campo.							ESC: Escorrentía Superficial							
PM: Punto de Marchitez.							ETP: Evapotranspiración Potencial.							
PR: Profundidad de Raíces.							ETR: Evapotranspiración Real.							
(CC-PM): Rango de Agua Disponible.							HSi: Humedad de Suelo Inicial.							
DS: Densidad de Suelo.							HD: Humedad Disponible							
C1: Factor de ETP, por cierre de estomas, antes que ocurra ETR							HSf: Humedad de Suelo Final.							
C2: Factor de ETP, por cierre de estomas, después que ocurre ETR							DCC: Déficit de Capacidad de Campo.							
Kp: Factor por pendiente (ver léame)							Rp: Recarga Potencial							
Kv: Factor por vegetación (ver léame)							NR: Necesidad de Riego.							
Kfc: Factor estimado con base a la prueba de infiltración							Ret: Retención de lluvia							
fc [mm/d]	600.00													
Kp [0.01%]	0.06													
Kv [0.01%]	0.10													
Kfc [0.01%]	0.89258													
I [0.01%]	1													
DS (g/cm ³):	1.50						CC		14.00		105.00			
PR (mm)	500.00						PM		6.00		45.00			
HSi (mm)	105.00						(CC-PM)		8.00		60.00			
Nº de mes con que inicia HSi;1,2,3...12?	5													
Lluvia retenida [0.01%] : Bosques=0.2, otros=0.12	0.12													
Concepto	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Total	
P (mm)	7.5	7.5	15	37.5	125	250	175	175	225	150	25	10	1202.50	
Ret [mm]	5.00	5.00	5.00	5.00	15.00	30.00	21.00	21.00	27.00	18.00	5.00	5.00	162.00	
Pi (mm)	2.50	2.50	10.00	32.50	110.00	220.00	154.00	154.00	198.00	132.00	20.00	5.00	1040.50	
ESC (mm)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
ETP (mm)	45.6031	46.6462	60.2408	63.885	64.6599	63.4771	65.1659	64.378	58.1894	54.7477	46.1084	43.3591	676.46	
HSi (mm)	71.34	60.25	54.32	54.62	105.00	105.00	105.00	105.00	105.00	105.00	105.00	88.92		
C1	0.48	0.30	0.32	0.70	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.82		
C2	0.12	0.07	0.00	0.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.56	0.23		
HD (mm)	28.84	17.75	19.32	42.12	170.00	280.00	214.00	214.00	258.00	192.00	80.00	48.92		
ETR (mm)	13.59	8.44	9.70	22.42	64.66	63.48	65.17	64.38	58.19	54.75	36.08	22.58	483.42	
HSf (mm)	60.25	54.32	54.62	64.70	105.00	105.00	105.00	105.00	105.00	105.00	88.92	71.34		
DCC (mm)	44.75	50.68	50.38	40.30	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	16.08	33.66		
Rp (mm)	0.00	0.00	0.00	0.00	45.34	156.52	88.83	89.62	139.81	77.25	0.00	0.00	597.38	
NR (mm)	76.76	88.89	100.93	81.77	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	26.11	54.44	428.89	

Unidad de Muestreo No. 21													
Dv-Ds-EpQv Café													
Zona de Estudio: Cuenca Río Achiguate													
Uso del Suelo: Cultivos Perennes/Café													
Textura de Suelo: Franco-Arenosa													
Simbología													
fc: Capacidad de Infiltración.							P: Precipitación Media Mensual.						
I: Infiltración.							Pi: Precipitación que infiltra.						
CC: Capacidad de Campo.							ESC: Escorrentía Superficial						
PM: Punto de Marchitez.							ETP: Evapotranspiración Potencial.						
PR: Profundidad de Raíces.							ETR: Evapotranspiración Real.						
(CC-PM): Rango de Agua Disponible.							HSi: Humedad de Suelo Inicial.						
DS: Densidad de Suelo.							HD: Humedad Disponible						
C1: Factor de ETP, por cierre de estomas, antes que ocurra ETR							HSf: Humedad de Suelo Final.						
C2: Factor de ETP, por cierre de estomas, después que ocurre ETR							DCC: Déficit de Capacidad de Campo.						
Kp: Factor por pendiente (ver léame)							Rp: Recarga Potencial						
Kv: Factor por vegetación (ver léame)							NR: Necesidad de Riego.						
Kfc: Factor estimado con base a la prueba de infiltración							Ret: Retención de lluvia						
fc [mm/d]	600.00												
Kp [0.01%]	0.06												
Kv [0.01%]	0.10												
Kfc [0.01%]	0.89258												
I [0.01%]	1												
DS (g/cm ³):	1.50						CC	14.00	157.50				
PR (mm)	750.00						PM	6.00	67.50				
HSi (mm)	157.50						(CC-PM)	8.00	90.00				
Nº de mes con que inicia HSi;1,2,3...12?	5												
Lluvia retenida [0.01%] : Bosques=0.2, otros=0.12	0.12												
Concepto	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Total
P (mm)	10	15	50	75	125	550	350	350	700	350	75	17.5	2667.50
Ret [mm]	5.00	5.00	6.00	9.00	15.00	66.00	42.00	42.00	84.00	42.00	9.00	5.00	330.00
Pi (mm)	5.00	10.00	44.00	66.00	110.00	484.00	308.00	308.00	616.00	308.00	66.00	12.50	2337.50
ESC (mm)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
ETP (mm)	53.985	54.591	68.3747	71.0855	72.628	71.7404	73.8512	72.2622	65.7563	61.0145	53.7458	51.343	770.38
HSi (mm)	129.74	106.50	95.79	105.73	157.50	157.50	157.50	157.50	157.50	157.50	157.50	157.50	157.50
C1	0.75	0.54	0.80	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
C2	0.30	0.21	0.19	0.37	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.57
HD (mm)	67.24	49.00	72.29	104.23	200.00	574.00	398.00	398.00	706.00	398.00	156.00	102.50	642.90
ETR (mm)	28.23	20.71	34.06	48.63	72.63	71.74	73.85	72.26	65.76	61.01	53.75	40.26	642.90
HSf (mm)	106.50	95.79	105.73	123.10	157.50	157.50	157.50	157.50	157.50	157.50	157.50	129.74	129.74
DCC (mm)	51.00	61.71	51.77	34.40	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	27.76
Rp (mm)	0.00	0.00	0.00	0.00	37.37	412.26	234.15	235.74	550.24	246.99	12.25	0.00	1729.00
NR (mm)	76.75	95.59	86.08	56.85	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	38.84	354.11

Unidad de Muestreo No. 31													
DvTv Cultivos Anuales													
Zona de Estudio: Cuenca Río Achiguate													
Uso del Suelo: Cultivos Anuales/Agricultura Limpia Annual													
Textura de Suelo: Franco-Arenosa													
Simbología													
fc: Capacidad de Infiltración.							P: Precipitación Media Mensual.						
I: Infiltración.							Pi: Precipitación que infiltra.						
CC: Capacidad de Campo.							ESC: Escorrentía Superficial						
PM: Punto de Marchitez.							ETP: Evapotranspiración Potencial.						
PR: Profundidad de Raíces.							ETR: Evapotranspiración Real.						
(CC-PM): Rango de Agua Disponible.							HSi: Humedad de Suelo Inicial.						
DS: Densidad de Suelo.							HD: Humedad Disponible						
C1: Factor de ETP, por cierre de estomas, antes que ocurra ETR							HSf: Humedad de Suelo Final.						
C2: Factor de ETP, por cierre de estomas, después que ocurre ETR							DCC: Déficit de Capacidad de Campo.						
Kp: Factor por pendiente (ver léame)							Rp: Recarga Potencial						
Kv: Factor por vegetación (ver léame)							NR: Necesidad de Riego.						
Kfc: Factor estimado con base a la prueba de infiltración							Ret: Retención de lluvia						
fc [mm/d]	600.00												
Kp [0.01%]	0.06												
Kv [0.01%]	0.10												
Kfc [0.01%]	0.89258												
I [0.01%]	1												
DS (g/cm ³):	1.50						CC	14.00	105.00				
PR (mm)	500.00						PM	6.00	45.00				
HSi (mm)	105.00						(CC-PM)	8.00	60.00				
Nº de mes con que inicia HSi;1,2,3...12?	5												
Lluvia retenida [0.01%] : Bosques=0.2, otros=0.12	0.12												
Concepto	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Total
P (mm)	7.5	7.5	15	37.5	125	275	175	175	350	150	25	10	1352.50
Ret [mm]	5.00	5.00	5.00	5.00	15.00	33.00	21.00	21.00	42.00	18.00	5.00	5.00	180.00
Pi (mm)	2.50	2.50	10.00	32.50	110.00	242.00	154.00	154.00	308.00	132.00	20.00	5.00	1172.50
ESC (mm)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
ETP (mm)	43.8147	44.9472	58.4866	62.2759	62.9242	61.7004	63.3255	62.6733	56.5711	53.3882	44.4803	41.6828	656.27
HSi (mm)	72.11	60.88	54.77	54.89	105.00	105.00	105.00	105.00	105.00	105.00	105.00	89.59	89.59
C1	0.49	0.31	0.33	0.71	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.83	0.83
C2	0.13	0.08	0.01	0.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.59	0.25	0.25
HD (mm)	29.61	18.38	19.77	42.39	170.00	302.00	214.00	214.00	368.00	192.00	80.00	49.59	49.59
ETR (mm)	13.73	8.61	9.88	22.00	62.92	61.70	63.33	62.67	56.57	53.39	35.41	22.49	472.69
HSf (mm)	60.88	54.77	54.89	65.39	105.00	105.00	105.00	105.00	105.00	105.00	89.59	72.11	72.11
DCC (mm)	44.12	50.23	50.11	39.61	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	15.41	32.89	32.89
Rp (mm)	0.00	0.00	0.00	0.00	47.08	180.30	90.67	91.33	251.43	78.61	0.00	0.00	739.42
NR (mm)	74.21	86.57	98.72	79.89	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	24.48	52.09	415.94

Unidad de Muestreo No. 38													
Eo-Dv-DdQv Pastos													
Zona de Estudio: Cuenca Río Achiguate													
Uso del Suelo: Otros Cultivos/Pastos Cultivados													
Textura de Suelo: Arena-Franca Gruesa o Franco-Arenosa a Arena Gruesa													
Simbología													
fc: Capacidad de Infiltración.							P: Precipitación Media Mensual.						
I: Infiltración.							Pi: Precipitación que infiltra.						
CC: Capacidad de Campo.							ESC: Escorrentía Superficial						
PM: Punto de Marchitez.							ETP: Evapotranspiración Potencial.						
PR: Profundidad de Raíces.							ETR: Evapotranspiración Real.						
(CC-PM): Rango de Agua Disponible.							HSi: Humedad de Suelo Inicial.						
DS: Densidad de Suelo.							HD: Humedad Disponible						
C1: Factor de ETP, por cierre de estomas, antes que ocurra ETR							HSf: Humedad de Suelo Final.						
C2: Factor de ETP, por cierre de estomas, después que ocurre ETR							DCC: Déficit de Capacidad de Campo.						
Kp: Factor por pendiente (ver léame)							Rp: Recarga Potencial						
Kv: Factor por vegetación (ver léame)							NR: Necesidad de Riego.						
Kfc: Factor estimado con base a la prueba de infiltración							Ret: Retención de lluvia						
fc [mm/d]	900.00												
Kp [0.01%]	0.10												
Kv [0.01%]	0.18												
Kfc [0.01%]	0.95464												
I [0.01%]	1												
DS (g/cm ³):	1.58						CC	11.50	45.43				
PR (mm)	250.00						PM	5.00	19.75				
HSi (mm)	45.42						(CC-PM)	6.50	25.68				
Nº de mes con que inicia HSi;1,2,3...12?	2												
Lluvia retenida [0.01%] : Bosques=0.2, otros=0.12	0.12												
Concepto	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Total
P (mm)	30	40	70	200	500	700	500	600	800	600	200	50	4290.00
Ret [mm]	5.00	5.00	8.40	24.00	60.00	84.00	60.00	72.00	96.00	72.00	24.00	6.00	516.40
Pi (mm)	25.00	35.00	61.60	176.00	440.00	616.00	440.00	528.00	704.00	528.00	176.00	44.00	3773.60
ESC (mm)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
ETP (mm)	53.985	54.591	68.3747	71.0855	72.628	71.7404	73.8512	72.2622	65.7563	61.0145	53.7458	51.343	770.38
HSi (mm)	45.42	45.42	45.43	45.43	45.43	45.43	45.43	45.43	45.43	45.43	45.43	45.43	45.43
C1	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
C2	0.00	0.24	0.74	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.71
HD (mm)	50.67	60.67	87.28	201.68	465.68	641.68	465.68	553.68	729.68	553.68	201.68	69.68	
ETR (mm)	26.99	33.76	59.35	71.09	72.63	71.74	73.85	72.26	65.76	61.01	53.75	44.00	706.19
HSf (mm)	43.43	45.43	45.43	45.43	45.43	45.43	45.43	45.43	45.43	45.43	45.43	45.42	
DCC (mm)	1.99	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
Rp (mm)	0.00	1.24	2.25	104.91	367.37	544.26	366.15	455.74	638.24	466.99	122.25	0.00	3069.40
NR (mm)	28.99	20.83	9.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	7.34	66.18

Unidad de Muestreo No. 41														
Eo-DvQv Cultivos Anuales														
Zona de Estudio: Cuenca Río Achiguate														
Uso del Suelo: Cultivos Anuales/Agricultura Limpia Annual														
Textura de Suelo: Franco-Arenosa														
Simbología														
fc: Capacidad de Infiltración.							P: Precipitación Media Mensual.							
I: Infiltración.							Pi: Precipitación que infiltra.							
CC: Capacidad de Campo.							ESC: Escorrentía Superficial							
PM: Punto de Marchitez.							ETP: Evapotranspiración Potencial.							
PR: Profundidad de Raíces.							ETR: Evapotranspiración Real.							
(CC-PM): Rango de Agua Disponible.							HSi: Humedad de Suelo Inicial.							
DS: Densidad de Suelo.							HD: Humedad Disponible							
C1: Factor de ETP, por cierre de estomas, antes que ocurra ETR							HSf: Humedad de Suelo Final.							
C2: Factor de ETP, por cierre de estomas, después que ocurre ETR							DCC: Déficit de Capacidad de Campo.							
Kp: Factor por pendiente (ver léame)							Rp: Recarga Potencial							
Kv: Factor por vegetación (ver léame)							NR: Necesidad de Riego.							
Kfc: Factor estimado con base a la prueba de infiltración							Ret: Retención de lluvia							
fc [mm/d]	600.00													
Kp [0.01%]	0.06													
Kv [0.01%]	0.10													
Kfc [0.01%]	0.89258													
I [0.01%]	1													
DS (g/cm ³):	1.50						CC		14.00		105.00			
PR (mm)	500.00						PM		6.00		45.00			
HSi (mm)	105.00						(CC-PM)		8.00		60.00			
Nº de mes con que inicia HSi;1,2,3...12?	5													
Lluvia retenida [0.01%] : Bosques=0.2, otros=0.12	0.12													
Concepto	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Total	
P (mm)	7.5	7.5	30	37.5	125	550	175	250	700	250	37.5	17.5	2187.50	
Ret [mm]	5.00	5.00	5.00	5.00	15.00	66.00	21.00	30.00	84.00	30.00	5.00	5.00	276.00	
Pi (mm)	2.50	2.50	25.00	32.50	110.00	484.00	154.00	220.00	616.00	220.00	32.50	12.50	1911.50	
ESC (mm)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
ETP (mm)	45.6031	46.6462	60.2408	63.885	64.6599	63.4771	65.1659	64.378	58.1894	54.7477	46.1084	43.3591	676.46	
HSi (mm)	79.94	64.80	56.70	63.28	105.00	105.00	105.00	105.00	105.00	105.00	105.00	96.62		
C1	0.62	0.37	0.61	0.85	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00		
C2	0.15	0.08	0.00	0.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.77	0.35		
HD (mm)	37.44	22.30	36.70	50.78	170.00	544.00	214.00	280.00	676.00	280.00	92.50	64.12		
ETR (mm)	17.64	10.60	18.42	27.03	64.66	63.48	65.17	64.38	58.19	54.75	40.88	29.18	514.37	
HSf (mm)	64.80	56.70	63.28	68.74	105.00	105.00	105.00	105.00	105.00	105.00	96.62	79.94		
DCC (mm)	40.20	48.30	41.72	36.26	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	8.38	25.06		
Rp (mm)	0.00	0.00	0.00	0.00	45.34	420.52	88.83	155.62	557.81	165.25	0.00	0.00	1433.38	
NR (mm)	68.16	84.35	83.54	73.11	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	13.61	39.24	362.01	

Unidad de Muestreo No. 48														
EoQp Cultivos Anuales														
Zona de Estudio: Cuenca Río Achiguate														
Uso del Suelo: Cultivos Anuales/Agricultura Limpia Annual														
Textura de Suelo: Franco-Arcillo-Arenosa														
Simbología														
fc: Capacidad de Infiltración.							P: Precipitación Media Mensual.							
I: Infiltración.							Pi: Precipitación que infiltra.							
CC: Capacidad de Campo.							ESC: Escorrentía Superficial							
PM: Punto de Marchitez.							ETP: Evapotranspiración Potencial.							
PR: Profundidad de Raíces.							ETR: Evapotranspiración Real.							
(CC-PM): Rango de Agua Disponible.							HSi: Humedad de Suelo Inicial.							
DS: Densidad de Suelo.							HD: Humedad Disponible							
C1: Factor de ETP, por cierre de estomas, antes que ocurra ETR							HSf: Humedad de Suelo Final.							
C2: Factor de ETP, por cierre de estomas, después que ocurre ETR							DCC: Déficit de Capacidad de Campo.							
Kp: Factor por pendiente (ver léame)							Rp: Recarga Potencial							
Kv: Factor por vegetación (ver léame)							NR: Necesidad de Riego.							
Kfc: Factor estimado con base a la prueba de infiltración							Ret: Retención de lluvia							
fc [mm/d]	192.00													
Kp [0.01%]	0.06													
Kv [0.01%]	0.10													
Kfc [0.01%]	0.65118													
I [0.01%]	0.81118													
DS (g/cm ³):	1.35						CC		27.00		182.25			
PR (mm)	500.00						PM		13.00		87.75			
HSi (mm)	182.25						(CC-PM)		14.00		94.50			
Nº de mes con que inicia HSi;1,2,3...12?	5													
Lluvia retenida [0.01%] : Bosques=0.2, otros=0.12	0.12													
Concepto	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Total	
P (mm)	5	7.5	15	37.5	100	250	175	150	225	150	25	10	1150.00	
Ret [mm]	5.00	5.00	5.00	5.00	12.00	30.00	21.00	18.00	27.00	18.00	5.00	5.00	156.00	
Pi (mm)	0.00	2.03	8.11	26.36	71.38	178.46	124.92	107.08	160.61	107.08	16.22	4.06	806.32	
ESC (mm)	0.00	0.47	1.89	6.14	16.62	41.54	29.08	24.92	37.39	24.92	3.78	0.94	187.68	
ETP (mm)	45.6031	46.6462	60.2408	63.885	64.6599	63.4771	65.1659	64.378	58.1894	54.7477	46.1084	43.3591	676.46	
HSi (mm)	136.85	118.88	108.58	104.12	182.25	182.25	182.25	182.25	182.25	182.25	182.25	159.66		
C1	0.52	0.35	0.31	0.45	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.80		
C2	0.27	0.18	0.11	0.15	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.68	0.44		
HD (mm)	49.10	33.15	28.94	42.73	165.88	272.96	219.42	201.58	255.11	201.58	110.72	75.96		
ETR (mm)	17.98	12.33	12.57	19.12	64.66	63.48	65.17	64.38	58.19	54.75	38.82	26.86	498.29	
HSf (mm)	118.88	108.58	104.12	111.36	182.25	182.25	182.25	182.25	182.25	182.25	159.66	136.85		
DCC (mm)	63.37	73.67	78.13	70.89	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	22.59	45.40		
Rp (mm)	0.00	0.00	0.00	0.00	6.72	114.98	59.76	42.70	102.42	52.33	0.00	0.00	378.92	
NR (mm)	91.00	107.99	125.80	115.65	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	29.88	61.90	532.23	

Unidad de Muestreo No. 50														
EoQv Café														
Zona de Estudio: Cuenca Río Achiguate														
Uso del Suelo: Cultivos Perennes/Café														
Textura de Suelo: Franco-Arenosa														
Simbología														
fc: Capacidad de Infiltración.							P: Precipitación Media Mensual.							
I: Infiltración.							Pi: Precipitación que infiltra.							
CC: Capacidad de Campo.							ESC: Escorrentía Superficial							
PM: Punto de Marchitez.							ETP: Evapotranspiración Potencial.							
PR: Profundidad de Raíces.							ETR: Evapotranspiración Real.							
(CC-PM): Rango de Agua Disponible.							HSi: Humedad de Suelo Inicial.							
DS: Densidad de Suelo.							HD: Humedad Disponible							
C1: Factor de ETP, por cierre de estomas, antes que ocurra ETR							HSf: Humedad de Suelo Final.							
C2: Factor de ETP, por cierre de estomas, después que ocurre ETR							DCC: Déficit de Capacidad de Campo.							
Kp: Factor por pendiente (ver léame)							Rp: Recarga Potencial							
Kv: Factor por vegetación (ver léame)							NR: Necesidad de Riego.							
Kfc: Factor estimado con base a la prueba de infiltración							Ret: Retención de lluvia							
fc [mm/d]	600.00													
Kp [0.01%]	0.06													
Kv [0.01%]	0.10													
Kfc [0.01%]	0.89258													
I [0.01%]	1													
DS (g/cm ³):	1.50						CC		14.00		157.50			
PR (mm)	750.00						PM		6.00		67.50			
HSi (mm)	157.50						(CC-PM)		8.00		90.00			
Nº de mes con que inicia HSi;1,2,3...12?	4													
Lluvia retenida [0.01%] : Bosques=0.2, otros=0.12	0.12													
Concepto	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Total	
P (mm)	25	20	70	125	500	650	400	550	700	600	150	37.5	3827.50	
Ret [mm]	5.00	5.00	8.40	15.00	60.00	78.00	48.00	66.00	84.00	72.00	18.00	5.00	464.40	
Pi (mm)	20.00	15.00	61.60	110.00	440.00	572.00	352.00	484.00	616.00	528.00	132.00	32.50	3363.10	
ESC (mm)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
ETP (mm)	53.985	54.591	68.3747	71.0855	72.628	71.7404	73.8512	72.2622	65.7563	61.0145	53.7458	51.343	770.38	
HSi (mm)	144.03	124.28	108.94	157.50	157.50	157.50	157.50	157.50	157.50	157.50	157.50	157.50	157.50	
C1	1.00	0.80	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	
C2	0.47	0.31	0.39	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.79	
HD (mm)	96.53	71.78	103.04	200.00	530.00	662.00	442.00	574.00	706.00	618.00	222.00	122.50	705.50	
ETR (mm)	39.75	30.33	47.36	71.09	72.63	71.74	73.85	72.26	65.76	61.01	53.75	45.97	705.50	
HSf (mm)	124.28	108.94	123.19	157.50	157.50	157.50	157.50	157.50	157.50	157.50	157.50	144.03	144.03	
DCC (mm)	33.22	48.56	34.31	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	13.47	
Rp (mm)	0.00	0.00	0.00	38.91	367.37	500.26	278.15	411.74	550.24	466.99	78.25	0.00	2691.92	
NR (mm)	47.45	72.81	55.33	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	18.84	194.44	

Unidad de Muestreo No. 52													
EoTv Cultivos Anuales													
Zona de Estudio: Cuenca Río Achiguate													
Uso del Suelo: Cultivos Anuales/Agricultura Limpia Anual													
Textura de Suelo: Franca													
Simbología													
fc: Capacidad de Infiltración.							P: Precipitación Media Mensual.						
I: Infiltración.							Pi: Precipitación que infiltra.						
CC: Capacidad de Campo.							ESC: Escorrentía Superficial						
PM: Punto de Marchitez.							ETP: Evapotranspiración Potencial.						
PR: Profundidad de Raíces.							ETR: Evapotranspiración Real.						
(CC-PM): Rango de Agua Disponible.							HSi: Humedad de Suelo Inicial.						
DS: Densidad de Suelo.							HD: Humedad Disponible						
C1: Factor de ETP, por cierre de estomas, antes que ocurra ETR							HSf: Humedad de Suelo Final.						
C2: Factor de ETP, por cierre de estomas, después que ocurre ETR							DCC: Déficit de Capacidad de Campo.						
Kp: Factor por pendiente (ver léame)							Rp: Recarga Potencial						
Kv: Factor por vegetación (ver léame)							NR: Necesidad de Riego.						
Kfc: Factor estimado con base a la prueba de infiltración							Ret: Retención de lluvia						
fc [mm/d]	312.00												
Kp [0.01%]	0.06												
Kv [0.01%]	0.10												
Kfc [0.01%]	0.76233						por peso						
I [0.01%]	0.92233						(%)						
DS (g/cm ³):	1.40						(mm)						
PR (mm)	500.00						CC	22.00	154.00				
HSi (mm)	154.00						PM	10.00	70.00				
Nº de mes con que inicia HSi;1,2,3...12?	4						(CC-PM)	12.00	84.00				
Lluvia retenida [0.01%] : Bosques=0.2, otros=0.12	0.12												
Concepto	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Total
P (mm)	10	20	70	175	450	650	450	450	550	550	150	37.5	3562.50
Ret [mm]	5.00	5.00	8.40	21.00	54.00	78.00	54.00	54.00	66.00	66.00	18.00	5.00	434.40
Pi (mm)	4.61	13.84	56.82	142.04	365.24	527.57	365.24	365.24	446.41	446.41	121.75	29.98	2885.15
ESC (mm)	0.39	1.16	4.78	11.96	30.76	44.43	30.76	30.76	37.59	37.59	10.25	2.52	242.95
ETP (mm)	57.37	58.786	73.583	77.1417	78.8339	77.4471	79.7468	77.9763	69.0358	65.865	57.0851	54.5986	827.47
HSi (mm)	137.38	109.61	99.13	154.00	154.00	154.00	154.00	154.00	154.00	154.00	154.00	154.00	154.00
C1	0.86	0.64	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
C2	0.27	0.19	0.15	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.71
HD (mm)	71.99	53.45	85.95	226.04	449.24	611.57	449.24	449.24	530.41	530.41	205.75	113.98	
ETR (mm)	32.38	24.32	42.21	77.14	78.83	77.45	79.75	77.98	69.04	65.87	57.09	46.60	728.63
HSf (mm)	109.61	99.13	113.74	154.00	154.00	154.00	154.00	154.00	154.00	154.00	154.00	137.38	
DCC (mm)	44.39	54.87	40.26	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	16.62
Rp (mm)	0.00	0.00	0.00	64.90	286.41	450.13	285.50	287.27	377.37	380.54	64.66	0.00	2196.78
NR (mm)	69.38	89.34	71.63	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	24.62	254.97

Unidad de Muestreo No. 53													
Ep-EfQa Caña													
Zona de Estudio: Cuenca Río Achiguate													
Uso del Suelo: Cultivos Perennes/Caña													
Textura de Suelo: Franca													
Simbología													
fc: Capacidad de Infiltración.							P: Precipitación Media Mensual.						
I: Infiltración.							Pi: Precipitación que infiltra.						
CC: Capacidad de Campo.							ESC: Escorrentía Superficial						
PM: Punto de Marchitez.							ETP: Evapotranspiración Potencial.						
PR: Profundidad de Raíces.							ETR: Evapotranspiración Real.						
(CC-PM): Rango de Agua Disponible.							HSi: Humedad de Suelo Inicial.						
DS: Densidad de Suelo.							HD: Humedad Disponible						
C1: Factor de ETP, por cierre de estomas, antes que ocurra ETR							HSf: Humedad de Suelo Final.						
C2: Factor de ETP, por cierre de estomas, después que ocurre ETR							DCC: Déficit de Capacidad de Campo.						
Kp: Factor por pendiente (ver léame)							Rp: Recarga Potencial						
Kv: Factor por vegetación (ver léame)							NR: Necesidad de Riego.						
Kfc: Factor estimado con base a la prueba de infiltración							Ret: Retención de lluvia						
fc [mm/d]	312.00												
Kp [0.01%]	0.10												
Kv [0.01%]	0.10												
Kfc [0.01%]	0.76233						por peso						
I [0.01%]	0.96233						(%) (mm)						
DS (g/cm ³):	1.40						CC	22.00	77.00				
PR (mm)	250.00						PM	10.00	35.00				
HSi (mm)	77.00						(CC-PM)	12.00	42.00				
Nº de mes con que inicia HSi;1,2,3...12?	5												
Lluvia retenida [0.01%] : Bosques=0.2, otros=0.12	0.12												
Concepto	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Total
P (mm)	5	7.5	30	75	350	450	350	350	450	450	75	17.5	2610.00
Ret [mm]	5.00	5.00	5.00	9.00	42.00	54.00	42.00	42.00	54.00	54.00	9.00	5.00	326.00
Pi (mm)	0.00	2.41	24.06	63.51	296.40	381.08	296.40	296.40	381.08	381.08	63.51	12.03	2197.97
ESC (mm)	0.00	0.09	0.94	2.49	11.60	14.92	11.60	11.60	14.92	14.92	2.49	0.47	86.03
ETP (mm)	57.4317	59.2871	74.5083	78.6165	80.2347	78.5713	80.8764	79.1719	69.205	66.9551	57.2607	54.6702	836.79
HSi (mm)	61.69	43.44	38.19	38.08	77.00	77.00	77.00	77.00	77.00	77.00	77.00	77.00	77.00
C1	0.64	0.26	0.65	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
C2	0.00	0.00	0.00	0.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.00
HD (mm)	26.69	10.85	27.25	66.59	338.40	423.08	338.40	338.40	423.08	423.08	105.51	54.03	
ETR (mm)	18.25	7.66	24.17	39.31	80.23	78.57	80.88	79.17	69.20	66.96	57.26	27.34	629.00
HSf (mm)	43.44	38.19	38.08	62.28	77.00	77.00	77.00	77.00	77.00	77.00	77.00	61.69	
DCC (mm)	33.56	38.81	38.92	14.72	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	15.31
Rp (mm)	0.00	0.00	0.00	0.00	216.16	302.51	215.52	217.23	311.88	314.13	6.25	0.00	1583.69
NR (mm)	72.74	90.44	89.26	54.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	42.64	349.10

Unidad de Muestreo No. 56														
EpTv Cultivos Anuales														
Zona de Estudio: Cuenca Río Achiguate														
Uso del Suelo: Cultivos Anuales/Agricultura Limpia Anual														
Textura de Suelo: Franca														
Simbología														
fc: Capacidad de Infiltración.							P: Precipitación Media Mensual.							
I: Infiltración.							Pi: Precipitación que infiltra.							
CC: Capacidad de Campo.							ESC: Escorrentía Superficial							
PM: Punto de Marchitez.							ETP: Evapotranspiración Potencial.							
PR: Profundidad de Raíces.							ETR: Evapotranspiración Real.							
(CC-PM): Rango de Agua Disponible.							HSi: Humedad de Suelo Inicial.							
DS: Densidad de Suelo.							HD: Humedad Disponible							
C1: Factor de ETP, por cierre de estomas, antes que ocurra ETR							HSf: Humedad de Suelo Final.							
C2: Factor de ETP, por cierre de estomas, después que ocurre ETR							DCC: Déficit de Capacidad de Campo.							
Kp: Factor por pendiente (ver léame)							Rp: Recarga Potencial							
Kv: Factor por vegetación (ver léame)							NR: Necesidad de Riego.							
Kfc: Factor estimado con base a la prueba de infiltración							Ret: Retención de lluvia							
fc [mm/d]				312.00										
Kp [0.01%]				0.10										
Kv [0.01%]				0.10										
Kfc [0.01%]				0.76233										
I [0.01%]				0.96233										
DS (g/cm ³):				1.40			CC		22.00		154.00			
PR (mm)				500.00			PM		10.00		70.00			
HSi (mm)				154.00			(CC-PM)		12.00		84.00			
Nº de mes con que inicia HSi;1,2,3...12?				4										
Lluvia retenida [0.01%] : Bosques=0.2, otros=0.12				0.12										
Concepto	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Total	
P (mm)	7.5	20	70	175	450	550	450	450	550	550	150	37.5	3460.00	
Ret [mm]	5.00	5.00	8.40	21.00	54.00	66.00	54.00	54.00	66.00	66.00	18.00	5.00	422.40	
Pi (mm)	2.41	14.44	59.28	148.20	381.08	465.77	381.08	381.08	465.77	465.77	127.03	31.28	2923.19	
ESC (mm)	0.09	0.56	2.32	5.80	14.92	18.23	14.92	14.92	18.23	18.23	4.97	1.22	114.41	
ETP (mm)	57.37	58.786	73.583	77.1417	78.8339	77.4471	79.7468	77.9763	69.0358	65.865	57.0851	54.5986	827.47	
HSi (mm)	138.26	108.88	99.06	154.00	154.00	154.00	154.00	154.00	154.00	154.00	154.00	154.00	154.00	
C1	0.84	0.63	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	
C2	0.27	0.19	0.18	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.72	
HD (mm)	70.66	53.32	88.34	232.20	465.08	549.77	465.08	465.08	549.77	549.77	211.03	115.28		
ETR (mm)	31.78	24.26	43.26	77.14	78.83	77.45	79.75	77.98	69.04	65.87	57.09	47.02	729.44	
HSf (mm)	108.88	99.06	115.09	154.00	154.00	154.00	154.00	154.00	154.00	154.00	154.00	138.26		
DCC (mm)	45.12	54.94	38.91	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	15.74	
Rp (mm)	0.00	0.00	0.00	71.06	302.25	388.32	301.34	303.11	396.73	399.90	69.94	0.00	2232.66	
NR (mm)	70.70	89.47	69.24	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	23.32	252.74	

Apéndice 6. Figuras de las hojas electrónicas de Excel de balance hídrico de suelos, de las unidades de mapeo consideradas en el análisis de recarga hídrica de los proyectos de reforestación (recálculo).

Unidad de Muestreo No. 8														
Zona de Estudio: Cuenca Río Achiguate														
Uso del Suelo: Cultivos Anuales/Agricultura Limpia Annual														
Textura de Suelo: Franca a Franco-Arcillo-Arenosa														
Simbología														
fc: Capacidad de Infiltración.							P: Precipitación Media Mensual.							
I: Infiltración.							Pi: Precipitación que infiltra.							
CC: Capacidad de Campo.							ESC: Escorrentía Superficial							
PM: Punto de Marchitez.							ETP: Evapotranspiración Potencial.							
PR: Profundidad de Raíces.							ETR: Evapotranspiración Real.							
(CC-PM): Rango de Agua Disponible.							HSi: Humedad de Suelo Inicial.							
DS: Densidad de Suelo.							HD: Humedad Disponible							
C1: Factor de ETP, por cierre de estomas, antes que ocurra ETR							HSf: Humedad de Suelo Final.							
C2: Factor de ETP, por cierre de estomas, después que ocurre ETR							DCC: Déficit de Capacidad de Campo.							
Kp: Factor por pendiente (ver léame)							Rp: Recarga Potencial							
Kv: Factor por vegetación (ver léame)							NR: Necesidad de Riego.							
Kfc: Factor estimado con base a la prueba de infiltración							Ret: Retención de lluvia							
fc [mm/d]	312.00						por peso							
Kp [0.01%]	0.06						(%)	(mm)						
Kv [0.01%]	0.20						CC	22.00	462.00					
Kfc [0.01%]	0.76233						PM	10.00	210.00					
I [0.01%]	1						(CC-PM)	12.00	252.00					
DS (g/cm ³):	1.40													
PR (mm)	1500.00													
HSi (mm)	462.00													
Nº de mes con que inicia HSi;1,2,3...12?	5													
Lluvia retenida [0.01%] : Bosques=0.2, otros=0.12	0.20													
Concepto	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Total	
P (mm)	5	7.5	15	17.5	100	250	175	150	225	150	25	10	1130.00	
Ret [mm]	5.00	5.00	5.00	5.00	20.00	50.00	35.00	30.00	45.00	30.00	5.00	5.00	240.00	
Pi (mm)	0.00	2.50	10.00	12.50	80.00	200.00	140.00	120.00	180.00	120.00	20.00	5.00	890.00	
ESC (mm)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
ETP (mm)	45.6031	46.6462	60.2408	63.885	64.6599	63.4771	65.1659	64.378	58.1894	54.7477	46.1084	43.3591	676.46	
HSi (mm)	406.60	374.24	348.73	327.43	462.00	462.00	462.00	462.00	462.00	462.00	462.00	438.28		
C1	0.78	0.66	0.59	0.52	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.93		
C2	0.64	0.54	0.45	0.38	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.90	0.77		
HD (mm)	196.60	166.74	148.73	129.93	332.00	452.00	392.00	372.00	432.00	372.00	272.00	233.28		
ETR (mm)	32.36	28.01	31.30	28.76	64.66	63.48	65.17	64.38	58.19	54.75	43.72	36.69	571.46	
HSf (mm)	374.24	348.73	327.43	311.16	462.00	462.00	462.00	462.00	462.00	462.00	438.28	406.60		
DCC (mm)	87.76	113.27	134.57	150.84	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	23.72	55.40		
Rp (mm)	0.00	0.00	0.00	0.00	15.34	136.52	74.83	55.62	121.81	65.25	0.00	0.00	469.38	
NR (mm)	101.01	131.91	163.51	185.96	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	26.11	62.08	670.57	

Unidad de Muestreo No. 10

Zona de Estudio: Cuenca Río Achiguate

Uso del Suelo: Cultivos Perennes/Caña

Textura de Suelo: Franca

Simbología

fc: Capacidad de Infiltración.

I: Infiltración.

CC: Capacidad de Campo.

PM: Punto de Marchitez.

PR: Profundidad de Raíces.

(CC-PM): Rango de Agua Disponible.

DS: Densidad de Suelo.

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

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

Kp: Factor por pendiente (ver léame)

Kv: Factor por vegetación (ver léame)

Kfc: Factor estimado con base a la prueba de infiltración

P: Precipitación Media Mensual.

Pi: Precipitación que infiltra.

ESC: Escorrentía Superficial

ETP: Evapotranspiración Potencial.

ETR: Evapotranspiración Real.

HSi: Humedad de Suelo Inicial.

HD: Humedad Disponible

HSf: Humedad de Suelo Final.

DCC: Déficit de Capacidad de Campo.

Rp: Recarga Potencial

NR: Necesidad de Riego.

Ret: Retención de lluvia

fc [mm/d]

312.00

Kp [0.01%]

0.10

Kv [0.01%]

0.20

Kfc [0.01%]

0.76233

I [0.01%]

1

DS (g/cm³):

1.40

PR (mm)

1500.00

HSi (mm)

462.00

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

5

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

0.20

por peso

(%)

(mm)

CC 22.00 462.00

PM 10.00 210.00

(CC-PM) 12.00 252.00

Concepto	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Total
P (mm)	7.5	10	30	75	450	450	350	450	550	450	75	17.5	2915.00
Ret [mm]	5.00	5.00	6.00	15.00	90.00	90.00	70.00	90.00	110.00	90.00	15.00	5.00	591.00
Pi (mm)	2.50	5.00	24.00	60.00	360.00	360.00	280.00	360.00	440.00	360.00	60.00	12.50	2324.00
ESC (mm)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
ETP (mm)	57.41	59.2651	74.4811	78.5882	80.2052	78.542	80.8463	79.1424	69.178	66.9296	57.2388	54.6493	836.48
HSi (mm)	424.42	383.13	351.17	333.56	462.00	462.00	462.00	462.00	462.00	462.00	462.00	462.00	462.00
C1	0.86	0.71	0.66	0.73	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
C2	0.66	0.54	0.46	0.50	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.83
HD (mm)	216.92	178.13	165.17	183.56	612.00	612.00	532.00	612.00	692.00	612.00	312.00	264.50	
ETR (mm)	43.79	36.97	41.60	48.32	80.21	78.54	80.85	79.14	69.18	66.93	57.24	50.08	732.84
HSf (mm)	383.13	351.17	333.56	345.24	462.00	462.00	462.00	462.00	462.00	462.00	462.00	424.42	
DCC (mm)	78.87	110.83	128.44	116.76	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	37.58
Rp (mm)	0.00	0.00	0.00	0.00	279.79	281.46	199.15	280.86	370.82	293.07	2.76	0.00	1707.92
NR (mm)	92.49	133.13	161.32	147.03	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	42.15	576.11

Unidad de Muestreo No. 13

Zona de Estudio: Cuenca Río Achiguate

Uso del Suelo: Cultivos Perennes/Caña

Textura de Suelo: Franco-Arenosa

Simbología

fc: Capacidad de Infiltración.

I: Infiltración.

CC: Capacidad de Campo.

PM: Punto de Marchitez.

PR: Profundidad de Raíces.

(CC-PM): Rango de Agua Disponible.

DS: Densidad de Suelo.

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

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

Kp: Factor por pendiente (ver léame)

Kv: Factor por vegetación (ver léame)

Kfc: Factor estimado con base a la prueba de infiltración

P: Precipitación Media Mensual.

Pi: Precipitación que infiltra.

ESC: Escorrentía Superficial

ETP: Evapotranspiración Potencial.

ETR: Evapotranspiración Real.

HSi: Humedad de Suelo Inicial.

HD: Humedad Disponible

HSf: Humedad de Suelo Final.

DCC: Déficit de Capacidad de Campo.

Rp: Recarga Potencial

NR: Necesidad de Riego.

Ret: Retención de lluvia

fc [mm/d]

600.00

Kp [0.01%]

0.10

Kv [0.01%]

0.20

Kfc [0.01%]

0.89258

I [0.01%]

1

DS (g/cm³):

1.50

PR (mm)

1500.00

HSi (mm)

315.00

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

4

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

0.20

por peso

(%)

(mm)

CC 14.00 315.00

PM 6.00 135.00

(CC-PM) 8.00 180.00

Concepto	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Total
P (mm)	10	20	70	125	450	600	350	450	700	450	150	37.5	3412.50
Ret [mm]	5.00	5.00	14.00	25.00	90.00	120.00	70.00	90.00	140.00	90.00	30.00	7.50	686.50
Pi (mm)	5.00	15.00	56.00	100.00	360.00	480.00	280.00	360.00	560.00	360.00	120.00	30.00	2726.00
ESC (mm)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
ETP (mm)	56.7529	57.49	71.5931	74.3223	76.084	75.1274	77.3901	75.5662	68.3164	63.7254	56.3401	53.9967	806.70
HSi (mm)	294.60	255.89	234.42	315.00	315.00	315.00	315.00	315.00	315.00	315.00	315.00	315.00	315.00
C1	0.91	0.75	0.86	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
C2	0.63	0.51	0.52	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.87
HD (mm)	164.60	135.89	155.42	280.00	540.00	660.00	460.00	540.00	740.00	540.00	300.00	210.00	
ETR (mm)	43.72	36.47	49.52	74.32	76.08	75.13	77.39	75.57	68.32	63.73	56.34	50.40	746.98
HSf (mm)	255.89	234.42	240.89	315.00	315.00	315.00	315.00	315.00	315.00	315.00	315.00	294.60	
DCC (mm)	59.11	80.58	74.11	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	20.40
Rp (mm)	0.00	0.00	0.00	25.68	283.92	404.87	202.61	284.43	491.68	296.27	63.66	0.00	2053.13
NR (mm)	72.15	101.60	96.18	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	24.00	293.93

Unidad de Muestreo No. 15

Zona de Estudio: Cuenca Río Achiguate

Uso del Suelo: Cultivos Anuales/Agricultura Limpia Anual

Textura de Suelo: Franco-Arenosa

Simbología

fc: Capacidad de Infiltración.

I: Infiltración.

CC: Capacidad de Campo.

PM: Punto de Marchitez.

PR: Profundidad de Raíces.

(CC-PM): Rango de Agua Disponible.

DS: Densidad de Suelo.

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

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

Kp: Factor por pendiente (ver léame)

Kv: Factor por vegetación (ver léame)

Kfc: Factor estimado con base a la prueba de infiltración

P: Precipitación Media Mensual.

Pi: Precipitación que infiltra.

ESC: Escorrentía Superficial

ETP: Evapotranspiración Potencial.

ETR: Evapotranspiración Real.

HSi: Humedad de Suelo Inicial.

HD: Humedad Disponible

HSf: Humedad de Suelo Final.

DCC: Déficit de Capacidad de Campo.

Rp: Recarga Potencial

NR: Necesidad de Riego.

Ret: Retención de lluvia

fc [mm/d]

600.00

Kp [0.01%]

0.06

Kv [0.01%]

0.20

Kfc [0.01%]

0.89258

I [0.01%]

1

DS (g/cm³):

1.50

PR (mm)

1500.00

HSi (mm)

315.00

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

6

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

0.20

por peso

(%)

(mm)

CC 14.00 315.00

PM 6.00 135.00

(CC-PM) 8.00 180.00

Concepto	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Total
P (mm)	7.5	7.5	15	37.5	125	250	175	175	225	150	25	10	1202.50
Ret [mm]	5.00	5.00	5.00	7.50	25.00	50.00	35.00	35.00	45.00	30.00	5.00	5.00	252.50
Pi (mm)	2.50	2.50	10.00	30.00	100.00	200.00	140.00	140.00	180.00	120.00	20.00	5.00	950.00
ESC (mm)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
ETP (mm)	45.6031	46.6462	60.2408	63.885	64.6599	63.4771	65.1659	64.378	58.1894	54.7477	46.1084	43.3591	676.46
HSi (mm)	262.86	236.52	215.56	200.32	202.49	315.00	315.00	315.00	315.00	315.00	315.00	292.24	
C1	0.72	0.58	0.50	0.53	0.93	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.90	
C2	0.54	0.43	0.33	0.34	0.60	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.85	0.68	
HD (mm)	130.36	104.02	90.56	95.32	167.49	380.00	320.00	320.00	360.00	300.00	200.00	162.24	
ETR (mm)	28.84	23.46	25.24	27.83	49.36	63.48	65.17	64.38	58.19	54.75	42.76	34.37	537.83
HSf (mm)	236.52	215.56	200.32	202.49	253.13	315.00	315.00	315.00	315.00	315.00	292.24	262.86	
DCC (mm)	78.48	99.44	114.68	112.51	61.87	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	22.76	52.14	
Rp (mm)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	136.52	74.83	75.62	121.81	65.25	0.00	0.00	474.04
NR (mm)	95.24	122.63	149.69	148.56	77.17	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	26.11	61.12	680.52

Unidad de Muestreo No. 21

Zona de Estudio: Cuenca Río Achiguate

Uso del Suelo: Cultivos Perennes/Café

Textura de Suelo: Franco-Arenosa

Simbología

fc: Capacidad de Infiltración.

I: Infiltración.

CC: Capacidad de Campo.

PM: Punto de Marchitez.

PR: Profundidad de Raíces.

(CC-PM): Rango de Agua Disponible.

DS: Densidad de Suelo.

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

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

Kp: Factor por pendiente (ver léame)

Kv: Factor por vegetación (ver léame)

Kfc: Factor estimado con base a la prueba de infiltración

P: Precipitación Media Mensual.

Pi: Precipitación que infiltra.

ESC: Escorrentía Superficial

ETP: Evapotranspiración Potencial.

ETR: Evapotranspiración Real.

HSi: Humedad de Suelo Inicial.

HD: Humedad Disponible

HSf: Humedad de Suelo Final.

DCC: Déficit de Capacidad de Campo.

Rp: Recarga Potencial

NR: Necesidad de Riego.

Ret: Retención de lluvia

fc [mm/d]

600.00

Kp [0.01%]

0.06

Kv [0.01%]

0.20

Kfc [0.01%]

0.89258

I [0.01%]

1

DS (g/cm³):

1.50

PR (mm)

1500.00

HSi (mm)

315.00

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

5

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

0.20

por peso

(%)

(mm)

CC 14.00 315.00

PM 6.00 135.00

(CC-PM) 8.00 180.00

Concepto	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Total
P (mm)	10	15	50	75	125	550	350	350	700	350	75	17.5	2667.50
Ret [mm]	5.00	5.00	10.00	15.00	25.00	110.00	70.00	70.00	140.00	70.00	15.00	5.00	540.00
Pi (mm)	5.00	10.00	40.00	60.00	100.00	440.00	280.00	280.00	560.00	280.00	60.00	12.50	2127.50
ESC (mm)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
ETP (mm)	53.985	54.591	68.3747	71.0855	72.628	71.7404	73.8512	72.2622	65.7563	61.0145	53.7458	51.343	770.38
HSi (mm)	281.70	248.02	226.37	225.95	315.00	315.00	315.00	315.00	315.00	315.00	315.00	315.00	315.00
C1	0.84	0.68	0.73	0.84	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
C2	0.59	0.48	0.45	0.51	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.78
HD (mm)	151.70	123.02	131.37	150.95	280.00	620.00	460.00	460.00	740.00	460.00	240.00	192.50	
ETR (mm)	38.67	31.65	40.42	47.84	72.63	71.74	73.85	72.26	65.76	61.01	53.75	45.80	675.39
HSf (mm)	248.02	226.37	225.95	238.11	315.00	315.00	315.00	315.00	315.00	315.00	315.00	281.70	
DCC (mm)	66.98	88.63	89.05	76.89	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	33.30
Rp (mm)	0.00	0.00	0.00	0.00	27.37	368.26	206.15	207.74	494.24	218.99	6.25	0.00	1529.00
NR (mm)	82.29	111.57	117.00	100.14	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	38.84	449.84

Unidad de Muestreo No. 31

Zona de Estudio: Cuenca Río Achiguate

Uso del Suelo: Cultivos Anuales/Agricultura Limpia Anual

Textura de Suelo: Franco-Arenosa

Simbología

fc: Capacidad de Infiltración.

I: Infiltración.

CC: Capacidad de Campo.

PM: Punto de Marchitez.

PR: Profundidad de Raíces.

(CC-PM): Rango de Agua Disponible.

DS: Densidad de Suelo.

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

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

Kp: Factor por pendiente (ver léame)

Kv: Factor por vegetación (ver léame)

Kfc: Factor estimado con base a la prueba de infiltración

P: Precipitación Media Mensual.

Pi: Precipitación que infiltra.

ESC: Escorrentía Superficial

ETP: Evapotranspiración Potencial.

ETR: Evapotranspiración Real.

HSi: Humedad de Suelo Inicial.

HD: Humedad Disponible

HSf: Humedad de Suelo Final.

DCC: Déficit de Capacidad de Campo.

Rp: Recarga Potencial

NR: Necesidad de Riego.

Ret: Retención de lluvia

fc [mm/d]

600.00

Kp [0.01%]

0.06

Kv [0.01%]

0.20

Kfc [0.01%]

0.89258

I [0.01%]

1

DS (g/cm³):

1.50

PR (mm)

1500.00

HSi (mm)

315.00

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

5

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

0.20

por peso

(%)

(mm)

CC 14.00 315.00

PM 6.00 135.00

(CC-PM) 8.00 180.00

Concepto	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Total
P (mm)	7.5	7.5	15	37.5	125	275	175	175	350	150	25	10	1352.50
Ret [mm]	5.00	5.00	5.00	7.50	25.00	55.00	35.00	35.00	70.00	30.00	5.00	5.00	282.50
Pi (mm)	2.50	2.50	10.00	30.00	100.00	220.00	140.00	140.00	280.00	120.00	20.00	5.00	1070.00
ESC (mm)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
ETP (mm)	43.8147	44.9472	58.4866	62.2759	62.9242	61.7004	63.3255	62.6733	56.5711	53.3882	44.4803	41.6828	656.27
HSi (mm)	265.06	239.22	218.40	202.98	315.00	315.00	315.00	315.00	315.00	315.00	315.00	293.54	
C1	0.74	0.59	0.52	0.54	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.91	
C2	0.56	0.44	0.35	0.36	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.86	0.70	
HD (mm)	132.56	106.72	93.40	97.98	280.00	400.00	320.00	320.00	460.00	300.00	200.00	163.54	
ETR (mm)	28.34	23.32	25.42	28.03	62.92	61.70	63.33	62.67	56.57	53.39	41.46	33.49	540.64
HSf (mm)	239.22	218.40	202.98	204.95	315.00	315.00	315.00	315.00	315.00	315.00	293.54	265.06	
DCC (mm)	75.78	96.60	112.02	110.05	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	21.46	49.94	
Rp (mm)	0.00	0.00	0.00	0.00	37.08	158.30	76.67	77.33	223.43	66.61	0.00	0.00	639.42
NR (mm)	91.26	118.23	145.09	144.30	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	24.48	58.14	581.49

Unidad de Muestreo No. 41

Zona de Estudio: Cuenca Río Achiguate

Uso del Suelo: Cultivos Anuales/Agricultura Limpia Anual

Textura de Suelo: Franco-Arenosa

Simbología

fc: Capacidad de Infiltración.

I: Infiltración.

CC: Capacidad de Campo.

PM: Punto de Marchitez.

PR: Profundidad de Raíces.

(CC-PM): Rango de Agua Disponible.

DS: Densidad de Suelo.

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

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

Kp: Factor por pendiente (ver léame)

Kv: Factor por vegetación (ver léame)

Kfc: Factor estimado con base a la prueba de infiltración

P: Precipitación Media Mensual.

Pi: Precipitación que infiltra.

ESC: Escorrentía Superficial

ETP: Evapotranspiración Potencial.

ETR: Evapotranspiración Real.

HSi: Humedad de Suelo Inicial.

HD: Humedad Disponible

HSf: Humedad de Suelo Final.

DCC: Déficit de Capacidad de Campo.

Rp: Recarga Potencial

NR: Necesidad de Riego.

Ret: Retención de lluvia

fc [mm/d]

600.00

Kp [0.01%]

0.06

Kv [0.01%]

0.20

Kfc [0.01%]

0.89258

I [0.01%]

1

DS (g/cm³):

1.50

PR (mm)

1500.00

HSi (mm)

315.00

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

5

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

0.20

por peso

(%)

(mm)

CC 14.00 315.00

PM 6.00 135.00

(CC-PM) 8.00 180.00

Concepto	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Total
P (mm)	7.5	7.5	30	37.5	125	550	175	250	700	250	37.5	17.5	2187.50
Ret [mm]	5.00	5.00	6.00	7.50	25.00	110.00	35.00	50.00	140.00	50.00	7.50	5.00	446.00
Pi (mm)	2.50	2.50	24.00	30.00	100.00	440.00	140.00	200.00	560.00	200.00	30.00	12.50	1741.50
ESC (mm)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
ETP (mm)	45.6031	46.6462	60.2408	63.885	64.6599	63.4771	65.1659	64.378	58.1894	54.7477	46.1084	43.3591	676.46
HSi (mm)	275.65	246.47	223.26	215.98	315.00	315.00	315.00	315.00	315.00	315.00	315.00	300.95	
C1	0.80	0.63	0.62	0.62	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.99	
C2	0.59	0.47	0.41	0.40	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.91	0.75	
HD (mm)	143.15	113.97	112.26	110.98	280.00	620.00	320.00	380.00	740.00	380.00	210.00	178.45	
ETR (mm)	31.67	25.71	31.28	32.40	64.66	63.48	65.17	64.38	58.19	54.75	44.05	37.81	573.54
HSf (mm)	246.47	223.26	215.98	213.58	315.00	315.00	315.00	315.00	315.00	315.00	300.95	275.65	
DCC (mm)	68.53	91.74	99.02	101.42	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	14.05	39.35	
Rp (mm)	0.00	0.00	0.00	0.00	35.34	376.52	74.83	135.62	501.81	145.25	0.00	0.00	1269.38
NR (mm)	82.46	112.67	127.98	132.91	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	16.11	44.90	517.02

Unidad de Muestreo No. 48														
Zona de Estudio: Cuenca Río Achiguate														
Uso del Suelo: Cultivos Anuales/Agricultura Limpia Anual														
Textura de Suelo: Franco-Arcillo-Arenosa														
Simbología														
fc: Capacidad de Infiltración.							P: Precipitación Media Mensual.							
I: Infiltración.							Pi: Precipitación que infiltra.							
CC: Capacidad de Campo.							ESC: Escorrentía Superficial							
PM: Punto de Marchitez.							ETP: Evapotranspiración Potencial.							
PR: Profundidad de Raíces.							ETR: Evapotranspiración Real.							
(CC-PM): Rango de Agua Disponible.							HSi: Humedad de Suelo Inicial.							
DS: Densidad de Suelo.							HD: Humedad Disponible							
C1: Factor de ETP, por cierre de estomas, antes que ocurra ETR							HSf: Humedad de Suelo Final.							
C2: Factor de ETP, por cierre de estomas, después que ocurre ETR							DCC: Déficit de Capacidad de Campo.							
Kp: Factor por pendiente (ver léame)							Rp: Recarga Potencial							
Kv: Factor por vegetación (ver léame)							NR: Necesidad de Riego.							
Kfc: Factor estimado con base a la prueba de infiltración							Ret: Retención de lluvia							
fc [mm/d]														
Kp [0.01%]														
Kv [0.01%]														
Kfc [0.01%]														
I [0.01%]														
DS (g/cm ³):														
PR (mm)														
HSi (mm)														
Nº de mes con que inicia HSi;1,2,3...12?														
Lluvia retenida [0.01%] : Bosques=0.2, otros=0.12														
Concepto	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Total	
P (mm)	5	7.5	15	37.5	100	250	175	150	225	150	25	10	1150.00	
Ret [mm]	5.00	5.00	5.00	7.50	20.00	50.00	35.00	30.00	45.00	30.00	5.00	5.00	242.50	
Pi (mm)	0.00	2.28	9.11	27.34	72.89	182.24	127.57	109.34	164.01	109.34	18.22	4.56	826.90	
ESC (mm)	0.00	0.22	0.89	2.66	7.11	17.76	12.43	10.66	15.99	10.66	1.78	0.44	80.60	
ETP (mm)	45.6031	46.6462	60.2408	63.885	64.6599	63.4771	65.1659	64.378	58.1894	54.7477	46.1084	43.3591	676.46	
HSi (mm)	488.62	455.28	428.22	404.27	546.75	546.75	546.75	546.75	546.75	546.75	546.75	521.13		
C1	0.79	0.69	0.61	0.59	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.93		
C2	0.67	0.57	0.48	0.46	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.90	0.78		
HD (mm)	225.37	194.31	174.08	168.36	356.39	465.74	411.07	392.84	447.51	392.84	301.72	262.44		
ETR (mm)	33.34	29.34	33.06	33.66	64.66	63.48	65.17	64.38	58.19	54.75	43.84	37.07	580.93	
HSf (mm)	455.28	428.22	404.27	397.94	546.75	546.75	546.75	546.75	546.75	546.75	521.13	488.62		
DCC (mm)	91.47	118.53	142.48	148.81	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	25.62	58.13		
Rp (mm)	0.00	0.00	0.00	0.00	8.23	118.76	62.40	44.96	105.82	54.59	0.00	0.00	394.78	
NR (mm)	103.73	135.83	169.66	179.03	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	27.88	64.42	680.56	

Unidad de Muestreo No. 50

Zona de Estudio: Cuenca Río Achiguate

Uso del Suelo: Cultivos Perennes/Café

Textura de Suelo: Franco-Arenosa

Simbología

fc: Capacidad de Infiltración.

I: Infiltración.

CC: Capacidad de Campo.

PM: Punto de Marchitez.

PR: Profundidad de Raíces.

(CC-PM): Rango de Agua Disponible.

DS: Densidad de Suelo.

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

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

Kp: Factor por pendiente (ver léame)

Kv: Factor por vegetación (ver léame)

Kfc: Factor estimado con base a la prueba de infiltración

P: Precipitación Media Mensual.

Pi: Precipitación que infiltra.

ESC: Escorrentía Superficial

ETP: Evapotranspiración Potencial.

ETR: Evapotranspiración Real.

HSi: Humedad de Suelo Inicial.

HD: Humedad Disponible

HSf: Humedad de Suelo Final.

DCC: Déficit de Capacidad de Campo.

Rp: Recarga Potencial

NR: Necesidad de Riego.

Ret: Retención de lluvia

fc [mm/d]

600.00

Kp [0.01%]

0.06

Kv [0.01%]

0.20

Kfc [0.01%]

0.89258

I [0.01%]

1

DS (g/cm³):

1.50

PR (mm)

1500.00

HSi (mm)

315.00

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

4

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

0.20

por peso

(%)

(mm)

CC 14.00 315.00

PM 6.00 135.00

(CC-PM) 8.00 180.00

Concepto	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Total
P (mm)	25	20	70	125	500	650	400	550	700	600	150	37.5	3827.50
Ret [mm]	5.00	5.00	14.00	25.00	100.00	130.00	80.00	110.00	140.00	120.00	30.00	7.50	766.50
Pi (mm)	20.00	15.00	56.00	100.00	400.00	520.00	320.00	440.00	560.00	480.00	120.00	30.00	3061.00
ESC (mm)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
ETP (mm)	53.985	54.591	68.3747	71.0855	72.628	71.7404	73.8512	72.2622	65.7563	61.0145	53.7458	51.343	770.38
HSi (mm)	296.70	270.56	246.82	315.00	315.00	315.00	315.00	315.00	315.00	315.00	315.00	315.00	315.00
C1	1.00	0.84	0.93	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
C2	0.71	0.58	0.58	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.88
HD (mm)	181.70	150.56	167.82	280.00	580.00	700.00	500.00	620.00	740.00	660.00	300.00	210.00	
ETR (mm)	46.14	38.74	51.64	71.09	72.63	71.74	73.85	72.26	65.76	61.01	53.75	48.30	726.90
HSf (mm)	270.56	246.82	251.18	315.00	315.00	315.00	315.00	315.00	315.00	315.00	315.00	296.70	
DCC (mm)	44.44	68.18	63.82	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	18.30
Rp (mm)	0.00	0.00	0.00	28.91	327.37	448.26	246.15	367.74	494.24	418.99	66.25	0.00	2397.92
NR (mm)	52.28	84.03	80.56	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	21.34	238.22

Unidad de Muestreo No. 52

Zona de Estudio: Cuenca Río Achiguate
Uso del Suelo: Cultivos Anuales/Agricultura Limpia Anual
Textura de Suelo: Franca

Simbología

fc: Capacidad de Infiltración.	P: Precipitación Media Mensual.
I: Infiltración.	Pi: Precipitación que infiltra.
CC: Capacidad de Campo.	ESC: Escorrentía Superficial
PM: Punto de Marchitez.	ETP: Evapotranspiración Potencial.
PR: Profundidad de Raíces.	ETR: Evapotranspiración Real.
(CC-PM): Rango de Agua Disponible.	HSi: Humedad de Suelo Inicial.
DS: Densidad de Suelo.	HD: Humedad Disponible
C1: Factor de ETP, por cierre de estomas, antes que ocurra ETR	HSf: Humedad de Suelo Final.
C2: Factor de ETP, por cierre de estomas, después que ocurre ETR	DCC: Déficit de Capacidad de Campo.
Kp: Factor por pendiente (ver léame)	Rp: Recarga Potencial
Kv: Factor por vegetación (ver léame)	NR: Necesidad de Riego.
Kfc: Factor estimado con base a la prueba de infiltración	Ret: Retención de lluvia

fc [mm/d]	312.00		
Kp [0.01%]	0.06		
Kv [0.01%]	0.20		
Kfc [0.01%]	0.76233	por peso	
I [0.01%]	1	(%)	(mm)
DS (g/cm ³):	1.40	CC	22.00 462.00
PR (mm)	1500.00	PM	10.00 210.00
HSi (mm)	462.00	(CC-PM)	12.00 252.00
Nº de mes con que inicia HSi;1,2,3...12?	4		
Lluvia retenida [0.01%] : Bosques=0.2, otros=0.12	0.20		

Concepto	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Total
P (mm)	10	20	70	175	450	650	450	450	550	550	150	37.5	3562.50
Ret [mm]	5.00	5.00	14.00	35.00	90.00	130.00	90.00	90.00	110.00	110.00	30.00	7.50	716.50
Pi (mm)	5.00	15.00	56.00	140.00	360.00	520.00	360.00	360.00	440.00	440.00	120.00	30.00	2846.00
ESC (mm)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
ETP (mm)	57.37	58.786	73.583	77.1417	78.8339	77.4471	79.7468	77.9763	69.0358	65.865	57.0851	54.5986	827.47
HSi (mm)	440.07	397.65	370.89	462.00	462.00	462.00	462.00	462.00	462.00	462.00	462.00	462.00	462.00
C1	0.93	0.80	0.86	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
C2	0.72	0.62	0.61	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.90
HD (mm)	235.07	202.65	216.89	392.00	612.00	772.00	612.00	612.00	692.00	692.00	372.00	282.00	778.33
ETR (mm)	47.42	41.76	54.08	77.14	78.83	77.45	79.75	77.98	69.04	65.87	57.09	51.93	778.33
HSf (mm)	397.65	370.89	372.80	462.00	462.00	462.00	462.00	462.00	462.00	462.00	462.00	440.07	440.07
DCC (mm)	64.35	91.11	89.20	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	21.93
Rp (mm)	0.00	0.00	0.00	62.86	281.17	442.55	280.25	282.02	370.96	374.13	62.91	0.00	2156.87
NR (mm)	74.30	108.14	108.70	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	24.60	315.74

Unidad de Muestreo No. 53

Zona de Estudio: Cuenca Río Achiguate

Uso del Suelo: Cultivos Perennes/Caña

Textura de Suelo: Franca

Simbología

fc: Capacidad de Infiltración.

I: Infiltración.

CC: Capacidad de Campo.

PM: Punto de Marchitez.

PR: Profundidad de Raíces.

(CC-PM): Rango de Agua Disponible.

DS: Densidad de Suelo.

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

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

Kp: Factor por pendiente (ver léame)

Kv: Factor por vegetación (ver léame)

Kfc: Factor estimado con base a la prueba de infiltración

P: Precipitación Media Mensual.

Pi: Precipitación que infiltra.

ESC: Escorrentía Superficial

ETP: Evapotranspiración Potencial.

ETR: Evapotranspiración Real.

HSi: Humedad de Suelo Inicial.

HD: Humedad Disponible

HSf: Humedad de Suelo Final.

DCC: Déficit de Capacidad de Campo.

Rp: Recarga Potencial

NR: Necesidad de Riego.

Ret: Retención de lluvia

fc [mm/d]

312.00

Kp [0.01%]

0.10

Kv [0.01%]

0.20

Kfc [0.01%]

0.76233

I [0.01%]

1

DS (g/cm³):

1.40

PR (mm)

1500.00

HSi (mm)

462.00

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

5

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

0.20

por peso

(%)

(mm)

CC 22.00 462.00

PM 10.00 210.00

(CC-PM) 12.00 252.00

Concepto	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Total
P (mm)	5	7.5	30	75	350	450	350	350	450	450	75	17.5	2610.00
Ret [mm]	5.00	5.00	6.00	15.00	70.00	90.00	70.00	70.00	90.00	90.00	15.00	5.00	531.00
Pi (mm)	0.00	2.50	24.00	60.00	280.00	360.00	280.00	280.00	360.00	360.00	60.00	12.50	2079.00
ESC (mm)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
ETP (mm)	57.4317	59.2871	74.5083	78.6165	80.2347	78.5713	80.8764	79.1719	69.205	66.9551	57.2607	54.6702	836.79
HSi (mm)	424.40	381.11	347.57	330.86	462.00	462.00	462.00	462.00	462.00	462.00	462.00	462.00	462.00
C1	0.85	0.69	0.64	0.72	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
C2	0.66	0.53	0.45	0.49	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.83
HD (mm)	214.40	173.61	161.57	180.86	532.00	612.00	532.00	532.00	612.00	612.00	312.00	264.50	
ETR (mm)	43.30	36.04	40.71	47.62	80.23	78.57	80.88	79.17	69.20	66.96	57.26	50.10	730.04
HSf (mm)	381.11	347.57	330.86	343.24	462.00	462.00	462.00	462.00	462.00	462.00	462.00	424.40	
DCC (mm)	80.89	114.43	131.14	118.76	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	37.60
Rp (mm)	0.00	0.00	0.00	0.00	199.77	281.43	199.12	200.83	290.80	293.04	2.74	0.00	1467.73
NR (mm)	95.03	137.68	164.94	149.76	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	42.17	589.57

Unidad de Muestreo No. 56

Zona de Estudio: Cuenca Río Achiguate
Uso del Suelo: Cultivos Anuales/Agricultura Limpia Anual
Textura de Suelo: Franca

Simbología

fc: Capacidad de Infiltración.	P: Precipitación Media Mensual.
I: Infiltración.	Pi: Precipitación que infiltra.
CC: Capacidad de Campo.	ESC: Escorrentía Superficial
PM: Punto de Marchitez.	ETP: Evapotranspiración Potencial.
PR: Profundidad de Raíces.	ETR: Evapotranspiración Real.
(CC-PM): Rango de Agua Disponible.	HSi: Humedad de Suelo Inicial.
DS: Densidad de Suelo.	HD: Humedad Disponible
C1: Factor de ETP, por cierre de estomas, antes que ocurra ETR	HSf: Humedad de Suelo Final.
C2: Factor de ETP, por cierre de estomas, después que ocurre ETR	DCC: Déficit de Capacidad de Campo.
Kp: Factor por pendiente (ver léame)	Rp: Recarga Potencial
Kv: Factor por vegetación (ver léame)	NR: Necesidad de Riego.
Kfc: Factor estimado con base a la prueba de infiltración	Ret: Retención de lluvia

fc [mm/d]	312.00		
Kp [0.01%]	0.10		
Kv [0.01%]	0.20		
Kfc [0.01%]	0.76233		
I [0.01%]	1		
DS (g/cm ³):	1.40		
PR (mm)	1500.00		
HSi (mm)	462.00		
Nº de mes con que inicia HSi;1,2,3...12?	4		
Lluvia retenida [0.01%] : Bosques=0.2, otros=0.12	0.20		

		por peso	
		(%)	(mm)
CC	22.00		462.00
PM	10.00		210.00
(CC-PM)	12.00		252.00

Concepto	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Total
P (mm)	7.5	20	70	175	450	550	450	450	550	550	150	37.5	3460.00
Ret [mm]	5.00	5.00	14.00	35.00	90.00	110.00	90.00	90.00	110.00	110.00	30.00	7.50	696.50
Pi (mm)	2.50	15.00	56.00	140.00	360.00	440.00	360.00	360.00	440.00	440.00	120.00	30.00	2763.50
ESC (mm)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
ETP (mm)	57.37	58.786	73.583	77.1417	78.8339	77.4471	79.7468	77.9763	69.0358	65.865	57.0851	54.5986	827.47
HSi (mm)	440.07	395.65	369.30	462.00	462.00	462.00	462.00	462.00	462.00	462.00	462.00	462.00	
C1	0.92	0.80	0.85	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	
C2	0.71	0.61	0.60	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	
HD (mm)	232.57	200.65	215.30	392.00	612.00	692.00	612.00	612.00	692.00	692.00	372.00	282.00	
ETR (mm)	46.92	41.35	53.69	77.14	78.83	77.45	79.75	77.98	69.04	65.87	57.09	51.93	777.02
HSf (mm)	395.65	369.30	371.61	462.00	462.00	462.00	462.00	462.00	462.00	462.00	462.00	440.07	
DCC (mm)	66.35	92.70	90.39	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	21.93	
Rp (mm)	0.00	0.00	0.00	62.86	281.17	362.55	280.25	282.02	370.96	374.13	62.91	0.00	2076.87
NR (mm)	76.80	110.14	110.28	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	24.60	321.82