

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

**DETERMINACIÓN DE LAS ÁREAS PRINCIPALES DE RECARGA HÍDRICA NATURAL
DE LA SUBCUENCA DEL RÍO BELEJEYÁ DEL MUNICIPIO DE GRANADOS,
BAJA VERAPAZ.**

OSCAR ALEJANDRO AVALOS CAMBRANES

GUATEMALA, JULIO DE 2008

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

**DETERMINACIÓN DE LAS ÁREAS PRINCIPALES DE RECARGA HÍDRICA
NATURAL DE LA SUBCUENCA DEL RÍO BELEJEYÁ DEL MUNICIPIO DE GRANADOS,
BAJA VERAPAZ.**

TESIS:

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

POR

OSCAR ALEJANDRO AVALOS CAMBRANES

**EN EL ACTO DE INVESTIDURA COMO
INGENIERO AGRÓNOMO
EN
RECURSOS NATURALES RENOVABLES
EN EL GRADO ACADEMICO DE LICENCIADO**

GUATEMALA, JULIO DE 2008

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA

RECTOR

LIC. CARLOS ESTUARDO GÁLVEZ BARRIOS

JUNTA DIRECTIVA DE LA FACULTAD DE AGRONOMÍA

DECANO

VOCAL PRIMERO

VOCAL SEGUNDO

VOCAL TERCERO

VOCAL CUARTO

VOCAL QUINTO

SECRETARIO

MSc. Franciso Javier Vásquez Vásquez

Ing. Agr. Waldemar Nufio Reyes

Ing. Agr. Walter Arnoldo Reyes Sanabria

MSc Danilo Ernesto Dardón Ávila

Br. Mirna Regina Valiente

Br. Nery Boanerges Guzmán Aquino

MSc Edwin Enrique Cano Morales

Guatemala, Julio de 2008

Guatemala, julio de 2008

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

Honorables Miembros:

De conformidad con las normas establecidas por la Ley Orgánica de la Universidad de San Carlos de Guatemala, tengo el honor de someter a vuestra consideración, la investigación titulada:

DETERMINACIÓN DE LAS ÁREAS PRINCIPALES DE RECARGA HÍDRICA NATURAL DE LA SUBCUENCA RÍO BELEJEYÁ DEL MUNICIPIO DE GRANADOS, BAJA VERAPAZ.

Como requisito previo a optar el título de Ingeniero Agrónomo en Recursos Naturales Renovables, en el grado académico de Licenciado.

Esperando que el mismo llene los requisitos necesarios para su aprobación, me es grato suscribirme,

Atentamente,

“ID Y ENSEÑAD A TODOS”

Oscar Alejandro Avalos Cambranes

ACTO QUE DEDICO:

A Dios: A el que todo lo puede, el que me ha brindado salud e inteligencia para poder conducirme en el camino del bien y el saber, al todo poderoso.

A:

Mis padres: Oscar Lorenzo Avalos Martínez
Lesvia Haydeé Cambranes Valdez
“Con eterna gratitud”

Mi esposa: Por ser la mujer que es.

Mi hija: Estímulo para alcanzar este éxito, para alcanzar nuevos y buscar otros.

Mis hermanos: Alvaro Iván
Josué Estuardo y familia.
“Que sea ejemplo para ellos”

Mis abuelos: Marta Cleotilde Valdez Chan Q.E.P.D.
Cruz Alejandro Cambranes Corzo
Ana Graciela Martínez
Oscar Filemon Avalos Q.E.P.D.
“Gracias por sus sabios consejos y que este éxito sea una oración en su sueño eterno”

Mis primos en especial: Eric, Vinicio y familia.

Todas aquellas personas, que en el transcurso de mi vida me han enriquecido con su amistad, en especial a: Carlos Archila Cardona, Edwin Vaidés, Roberto Moya, Otoniel Castillo, Enrique Hum, Juan Carlos Rosito Monzón, Edwin Cano y Enrique Castillo.

A mis compañeros del Instituto Nacional de Bosque –INAB-, Fondo del Agua y Fundación Defensores de la Naturaleza.

A los guatemaltecos que luchan por la protección, conservación y manejo sostenible de los recursos naturales del país.

Al gremio profesional que se dedica a la investigación técnico – científico en Guatemala en especial al Grupo de Hidrología Forestal.

AGRADECIMIENTOS

A:

Mis asesores Ing. Agr. Msc. Tomas Antonio Padilla Cambara e Ing. Juan Carlos Rosito Monzón, por su valiosa colaboración en la asesoría de la presente investigación.

Mis compañeros del Instituto Nacional de Bosques –INAB-: Ingenieros Agrónomos Gilberto Cifuentes, Alfredo Coc, Juan Pablo Noriega, Jacobo Cotto, Enrique Castillo, Raúl Calderón, Ana Lorena Córdoba, Jorge Mario Monzón y José Antonio López por el incondicional apoyo moral y logístico brindado en la realización del estudio.

Todas aquellas personas que de una u otra forma colaboraron en la realización del presente estudio.

A mi familia y amigos en general.

ÍNDICE GENERAL

Contenido	Pag.
Índice de Cuadros.....	iii
Índice de Figuras.....	iv
Índice de Anexos.....	iv
RESUMEN.....	vi
1. INTRODUCCIÓN.....	1
2. DEFINICIÓN DEL PROBLEMA.....	2
3. JUSTIFICACIÓN DEL PROBLEMA.....	4
4. MARCO TEÓRICO.....	6
4.1. MARCO CONCEPTUAL.....	6
4.1.1. El ciclo hidrológico.....	6
4.1.2. Sistema hidrológico general.....	7
4.1.3. Procesos de almacenamiento.....	7
4.1.3.1. Almacenamiento en la atmósfera.....	7
4.1.3.2. Almacenamiento de intercepción.....	7
4.1.3.3. Almacenamiento en depresiones.....	7
4.1.3.4. Almacenamiento de detención superficial.....	8
4.1.3.5. Almacenamiento en cauces.....	8
4.1.3.6. Almacenamiento en lagos y embalses.....	8
4.1.3.7. Humedad del suelo.....	8
4.1.3.8. Depósito de agua subterránea.....	8
4.1.4. Procesos de transferencia.....	9
4.1.4.1. Precipitación.....	9
4.1.4.2. Infiltración.....	9
4.1.4.3. Velocidad de infiltración de agua en el suelo.....	9
4.1.4.4. Percolación.....	10
4.1.4.5. Escurrimiento.....	10
4.1.4.6. Escorrentía.....	11
4.1.4.7. Flujo subsuperficial.....	12
4.1.4.8. Flujo base.....	12
4.1.4.9. Flujo subterráneo.....	12
4.1.4.10. Evaporación.....	12
4.1.4.11. Transpiración.....	12
4.1.5. Recarga hídrica.....	13
4.1.5.1. Recarga por infiltración de la lluvia (recarga natural).....	14
4.1.5.2. Proceso de recarga hídrica.....	14
4.1.6. Factores que afectan la cantidad de agua que puede recargar a un acuífero.....	15
4.1.6.1. Factores de clima.....	16
4.1.6.2. Factores de suelo.....	24
4.1.6.3. Factores de cobertura vegetal.....	29
4.1.7. Determinación de la lámina de humedad en el suelo.....	30
4.1.8. Aforo.....	31
4.1.8.1. Aforo de corrientes.....	31
4.1.8.2. Aforos diferenciales.....	31
4.1.8.3. Secciones de control de aforo.....	32
4.1.8.4. Métodos para el cálculo de aforos de agua superficial.....	33
4.1.9. Método de porchet o cilindro invertido.....	36

4.1.10. Marco legal	37
4.1.10.1. Constitución Política de la República de Guatemala	37
4.1.10.2. Ley forestal (decreto 101-96)	38
4.1.10.3. Código de salud (decreto 90-97)	38
4.1.10.4. Ley de protección y mejoramiento del medio ambiente	39
4.2. MARCO REFERENCIAL	40
4.2.1. Descripción biofísica	40
4.2.1.1. Ubicación geográfica y altitud	40
4.2.1.2. Ubicación administrativa	40
4.2.1.3. Vías de acceso	43
4.2.1.4. Extensión	43
4.2.1.5. Fisiografía	44
4.2.1.6. Geología	44
4.2.1.7. Suelos	49
4.2.1.8. Zonas de vida	51
4.2.1.9. Hidrología	52
5. OBJETIVOS	53
6. METODOLOGÍA	54
6.1. Fase preliminar (gabinete inicial)	54
6.2. Fase de campo	56
6.2.1. Información geológica	56
6.2.2. Información climática	56
6.2.3. Análisis de la información recopilada	58
6.2.4. Identificación y mapeo de áreas de recarga hídrica	58
6.2.5. Aforos diferenciales	61
6.3. Fase gabinete final	62
6.3.1. Determinación de la precipitación efectiva	62
6.3.2. Relación entre infiltración del agua en suelos y la intensidad de lluvia (Kfc)	63
6.3.3. Factor de pendiente del terreno (Kp)	64
6.3.4. Factor de cobertura vegetal del terreno (Kv)	64
6.3.5. Cálculo de la recarga hídrica natural	65
6.3.6. Determinación de la evapotranspiración potencial y real	65
6.3.7. Determinación de la infiltración básica	67
6.3.8. Determinación de las zonas de mayor recarga hídrica natural	68
6.3.9. Cálculo del balance hídrico de suelos	68
6.3.10. Elaboración del mapa de recarga hídrica natural	69
6.3.11. Áreas críticas de recarga hídrica natural	69
7. RESULTADOS	72
7.1. Unidades de mapeo	72
7.2. Información climática	74
7.3. Datos de infiltración básica	81
7.4. Balance Hídrico de Suelos	89
7.5. Elaboración del Mapa de Recarga Hídrica	91
7.6. Elaboración del Mapa de Áreas Críticas de Recarga Hídrica	91
7.7. Análisis de usuarios de los recursos hídricos de la Subcuenca Río Belejeyá	95
8. CONCLUSIONES	97
9. RECOMENDACIONES	99
10. BIBLIOGRAFIA	100
11. ANEXOS	102

ÍNDICE DE CUADROS

Contenido	Pag.
Cuadro 1. Profundidad de raíz en cm, para diferentes usos de la tierra.....	29
Cuadro 2. Consideraciones a tomar para medir caudales en ríos.....	34
Cuadro 3. Extensión de las unidades geológicas de la subcuenca río Belejeyá.....	49
Cuadro 4. Ubicación de las estaciones climáticas del área de estudio para los años 2003-2005	57
Cuadro 5. Unidades de mapeo de la subcuenca río Belejeyá, realizados en la fase de gabinete durante el año 2004.....	60
Cuadro 6. Valores de coeficientes (Kp) según valores de pendientes	64
Cuadro 7. Valores de coeficientes (Kv) según tipo de cobertura vegetal	64
Cuadro 8. Radiación solar extraterrestre, RMM, expresada en evaporación equivalente a mm/día para los meses del año de acuerdo a Herrera, 1995	66
Cuadro 9. Duración máxima media diaria en horas de brillo solar para diferentes meses del año en latitud 15° Norte de acuerdo a Herrera 1995	67
Cuadro 10. Clasificación de las zonas de mayor recarga hídrica natural por medio de la lamina de recarga anual de acuerdo a Herrera 2002.....	68
Cuadro 11. Matriz de criterios de pendiente en base a las características geológicas de cada unidad de mapeo de la subcuenca.....	70
Cuadro 12. Matriz de criterios de infiltración básica en cm/hora para cada unidad de mapeo de la subcuenca.....	70
Cuadro 13. Matriz de criterios de recarga anual en lámina y volumen para cada unidad de mapeo de la subcuenca	70
Cuadro 14. Matriz de criterios de pendiente en porcentaje para cada unidad de mapeo de la subcuenca.....	71
Cuadro 15. Criterio de susceptibilidad para la determinación de áreas de recarga hídrica natural para cada unidad de mapeo de la subcuenca.....	71
Cuadro 16. Ubicación de las pruebas de infiltración realizadas en la subcuenca del río Belejeyá de acuerdo al análisis realizado en la fase de gabinete 2004.....	72
Cuadro 17. Extensión de las unidades de mapeo de acuerdo a la geología y su cobertura vegetal y no. de prueba de infiltración	73
Cuadro 18. Precipitación pluvial promedio mensual (mm) de la estación Concuá de INSIVUMEH, para los años 1968 - 1977	74
Cuadro 19. Días de lluvia de la estación Concuá de INSIVUMEH, para los años 1968 - 1977	74
Cuadro 20. Precipitación pluvial mensual (mm) de las estaciones del Instituto Nacional de Bosques en el Cerro Tuncaj para los años 2003 - 2005	75
Cuadro 21. Días de lluvia de las estaciones del Instituto Nacional de Bosques en el Cerro Tuncaj, para los años 2003 - 2005	75
Cuadro 22. Datos de temperaturas (máxima, mínima y media) mensual (°C) de la estación Don Pedro del Instituto Nacional de Bosques en el Cerro Tuncaj para los años 2003 - 2005.....	76
Cuadro 23. Datos de temperaturas (máxima, mínima y media) mensual (°C) de la estación Medio Monte del Instituto Nacional de Bosques en el Cerro Tuncaj para los años 2003 - 2005.....	76
Cuadro 24. Datos de precipitación (mm) de acuerdo al cálculo de isoyetas.	77
Cuadro 25. Datos de temperatura media °C de acuerdo al cálculo de isotermas.....	79
Cuadro 26. Valores de recarga hídrica en mm/día para cada prueba de infiltración realizada en la subcuenca para el año 2005	81
Cuadro 27. Valores de la lámina de recarga hídrica y precipitación de cada unidad de mapeo, de acuerdo a su superficie total por geología y cobertura de la subcuenca para el año 2005	82
Cuadro 28. Análisis físico de suelos de las muestras de las pruebas de infiltración de la subcuenca para el 2005.....	83

Cuadro 29. Valores de láminas en mm/día de acuerdo a su geología y cobertura de los factores evapotranspiración real, escorrentía y retención, de acuerdo a su recarga hídrica y la precipitación anual de la subcuenca para el año 2005.....	85
Cuadro 30. Volúmenes totales en m ³ /año, en base a la extensión de su geología y cobertura para la precipitación, recarga hídrica, evapotranspiración real, escorrentía y retención de la subcuenca para el año 2005.....	87
Cuadro 31. Aportes en volumen m ³ /año de cada factor del sistema de acuerdo a su geología y cobertura de la subcuenca para el año 2005.....	88
Cuadro 32. Balance hídrico de suelos de la subcuenca del río Belejeyá para el año 2005.....	89

ÍNDICE DE FIGURAS

Contenido	Pag.
Figura 1. Ubicación e Hipsometría de la Subcuenca Río Belejeyá, Granados, Baja Verapaz.....	41
Figura 2. Mapa de Centros Poblados y Vías de Acceso de la Subcuenca Río Belejeyá.....	42
Figura 3. Unidades Geológicas de la Subcuenca Río Belejeyá.....	50
Figura 4. Mapa Cobertura Forestal 2,001 de la Subcuenca Río Belejeyá.....	55
Figura 5. Mapa de Isoyetas de la Subcuenca Río Belejeyá.....	78
Figura 6. Mapa de Isotermas (Temperaturas Máximas, Media y Mínima) de la Subcuenca Río Belejeyá.....	80
Figura 7. Mapa de Unidades de Mapeo y Pruebas de Infiltración de la Subcuenca del Río Belejeyá.....	84
Figura 8. Mapa de Clasificación de la Recarga Hídrica Natural de la Subcuenca del Río Belejeyá.....	92
Figura 9. Mapa de Areas Críticas de Recarga Hídrica Natural de la Subcuenca del Río Belejeyá.....	94

ÍNDICE DE ANEXOS

Contenido	Pag.
Anexo 1. Prueba de Infiltración No 1.....	102
Anexo 2. Prueba de Infiltración No 2.....	103
Anexo 3. Prueba de Infiltración No 3.....	104
Anexo 4. Prueba de Infiltración No 4.....	105
Anexo 5. Prueba de Infiltración No 5.....	106
Anexo 6. Prueba de Infiltración No 6.....	107
Anexo 7. Prueba de Infiltración No 7.....	108
Anexo 8. Prueba de Infiltración No 8.....	109
Anexo 9. Prueba de Infiltración No 9.....	110
Anexo 10. Prueba de Infiltración No 10.....	111
Anexo 11. Prueba de Infiltración No 11.....	112
Anexo 12. Prueba de Infiltración No 12.....	113
Anexo 13. Prueba de Infiltración No 13.....	114
Anexo 14. Prueba de Infiltración No 14.....	115
Anexo 15. Prueba de Infiltración No 15.....	116

Anexo 16. Prueba de Infiltración No 16	117
Anexo 17. Prueba de Infiltración No 17	118
Anexo 18. Balance Hídrico de Suelos de la Prueba de Infiltración No 1	119
Anexo 19. Balance Hídrico de Suelos de la Prueba de Infiltración No 2	120
Anexo 20. Balance Hídrico de Suelos de la Prueba de Infiltración No 3	121
Anexo 21. Balance Hídrico de Suelos de la Prueba de Infiltración No 4	122
Anexo 22. Balance Hídrico de Suelos de la Prueba de Infiltración No 5	123
Anexo 23. Balance Hídrico de Suelos de la Prueba de Infiltración No 6	124
Anexo 24. Balance Hídrico de Suelos de la Prueba de Infiltración No 7	125
Anexo 25. Balance Hídrico de Suelos de la Prueba de Infiltración No 8	126
Anexo 26. Balance Hídrico de Suelos de la Prueba de Infiltración No 9	127
Anexo 27. Balance Hídrico de Suelos de la Prueba de Infiltración No 10	128
Anexo 28. Balance Hídrico de Suelos de la Prueba de Infiltración No 11	129
Anexo 29. Balance Hídrico de Suelos de la Prueba de Infiltración No 12	130
Anexo 30. Balance Hídrico de Suelos de la Prueba de Infiltración No 13	131
Anexo 31. Balance Hídrico de Suelos de la Prueba de Infiltración No 14	132
Anexo 32. Balance Hídrico de Suelos de la Prueba de Infiltración No 15	133
Anexo 33. Balance Hídrico de Suelos de la Prueba de Infiltración No 16	134
Anexo 34. Balance Hídrico de Suelos de la Prueba de Infiltración No 17	135
Anexo 35. Glosario de Términos	136

Determinación de las áreas principales de recarga hídrica natural de la subcuenca Río Belejeyá del municipio de Granados, Baja Verapaz.

Determination of the main areas of natural water recharge of the basin Belejeyá River in the municipality of Granados, Baja Verapaz.

RESUMEN

Según FAO 2,002, la situación a nivel mundial es crítica por el recurso hídrico, en algunas áreas marginales del mundo se considera que podrían existir guerras por el vital líquido que por alimentos o tierras.

Las comunidades de la Subcuenca están preocupadas por la conservación de sus recursos naturales pero no conocen las alternativas de uso del bosque o los servicios que estos prestan, aduciendo que la actividad forestal de la parte alta esta reduciendo sus fuentes de agua, sin considerar el manejo y aprovechamiento inadecuado que le dan al recurso hídrico, esto se puede observar en actividades de riego a horas no aptas.

Ubicada en el municipio de Granados, Baja Verapaz, la subcuenca del Río Belejeyá, tiene una extensión de 35.36 km², con un 20.85 % de cobertura boscosa para el 2,001 en diferentes grados de deterioro.

Para obtener datos con mayor precisión se realizó un monitoreo climático por 2 años, midiendo variables como precipitación y temperaturas (máximas y mínimas), estas estaciones climáticas se ubicaron a 1,609 y 2,111 msnm; además que se contaban con datos históricos a una altitud de 607 msnm.

El presente estudio identificó las principales áreas de recarga hídrica, con el objetivo de ubicarlas para que las comunidades y gobierno local implementen actividades para la recuperación de áreas deforestadas,

además la información servirá a las autoridades locales para la toma de decisiones en la conservación de sus fuentes de agua y en proponer mecanismos viables en el manejo de sus recursos naturales renovables.

El agua en el área en época seca es un recurso escaso y ha provocado impacto en los diferentes sectores de la población. Esta es una problemática a nivel nacional en donde las autoridades encargadas por el suministro del mismo, no plantean ninguna solución.

Los principales factores que afectan la disminución de las fuentes de agua es la agricultura, tecnología inapropiada en la captación y distribución, crecimiento poblacional, uso desmedido del recurso hídrico, aprovechamiento irracional e inadecuado manejo de bosques, todo esto contribuye a la pérdida de cobertura forestal y deterioro del medio ambiente en general.

La alteración en el ciclo hidrológico, provoca pérdidas irreversibles de los suelos, asolvamiento de los cuerpos de agua y dificultad en el suministro del vital líquido. Esta problemática se resume con la ocurrencia de grandes inundaciones en épocas lluviosas y escasez de agua en periodos secos.

La información orienta, que si se realiza un manejo adecuado de la cobertura forestal de la subcuenca mayor que el 20% de su extensión total garantiza abastecimiento hídrico en un 50 % de la población, satisfaciendo las necesidades principalmente consumo humano, en lo mínimo.

1. INTRODUCCIÓN

La subcuenca es un área de recarga hídrica muy importante del municipio de Granados, principalmente la parte alta de la misma conocida como Cerro Tuncaj; se obtuvo a través del balance hídrico de suelos de Schosinski valores de 1,190,112 m³/año, equivalente a 9,632.63 m³/ha/año, de acuerdo a estos volúmenes el área es considerada como zona de muy alta recarga hídrica que abarca una superficie de 123.55 hectáreas.

El área es muy importante para las comunidades de Potrero Grande, Oratorio, Las Dantas, Saltan, Guapinol, Llano Grande y la cabecera municipal. Además, es cabecera de 4 subcuencas que forma parte dicho cerro, la importancia radica que una hectárea de bosque natural con valores de recarga hídrica muy altos puede satisfacer las necesidades de abastecimiento hídrico para consumo humano aproximadamente a 27 familias.

La preocupación por la escasez del agua se ha manifestado en la población, anteriormente se han dado problemas por la actividad forestal desarrollada en el área, hasta hoy día esta problemática no se ha resuelto ni mucho menos se han buscado mecanismos reguladores para resolverlo, por lo que es necesario que el gobierno local apoye a las comunidades del área que son los que afrontan directamente esta situación, debido a esto una de las prioridades es establecer aquellas áreas de mayor recarga hídrica para buscar mecanismos alternativos o estratégicos que favorezcan la recuperación, protección y conservación de las fuentes de agua.

Las áreas se identificaron por sus características geológicas, edáficas y cobertura vegetal. En este estudio se cuantificó a través del balance hídrico las entradas y salidas del sistema; el resultado más importante es la recarga hídrica potencial con un volumen de 10,179,807 m³/año equivalentes al 21.43% de la precipitación anual.

2. DEFINICIÓN DEL PROBLEMA

CEPAL 1999 citado por INAB (15), establece que el agua es reconocida como uno de los recursos naturales renovables que más conflictos de uso genera, estos conflictos se acentúan en las tierras con vocación forestal, donde la cobertura forestal es un elemento crítico para la regulación del ciclo hidrológico.

En el cerro Tuncaj se localizan fincas forestales con actividades de manejo conforme a la ley forestal, este tipo de actividades da origen a una serie de problemas por parte de las comunidades de la parte baja, las cuales están en contra de estos aprovechamientos ya que aducen la reducción de los caudales de sus fuentes de agua y en algunos casos la pérdida de estos manantiales de los cuales ellos son beneficiados.

El recurso hídrico de las comunidades es vulnerable a la contaminación y reducción de caudales; el potencial que tienen las fuentes de agua para contribuir al bienestar de las comunidades de la subcuenca y otros poblados aledaños está amenazado. Estas áreas con aptitud forestal tienen altas pendientes, son cabeceras de cuencas, sitios próximos a manantiales, riberas de ríos y otros cuerpos de agua, INAB (15).

En la subcuenca del Río Belejeyá, se evidencian serios conflictos sociales en torno al manejo forestal de la parte alta de la subcuenca, estos conflictos son por diferentes intereses de los propietarios de la parte alta y comunidades de la parte baja. Es necesario determinar las áreas críticas de recarga hídrica, como información básica para realizar un manejo sostenible y minimizar conflictos sociales de estas áreas, de interés con el fin de favorecer los procesos del ciclo hidrológico y recursos forestales.

En este sentido ha existido oposición de las comunidades para que los propietarios implementen planes de manejo autorizados por el Instituto Nacional de Bosques (INAB), entidad responsable de otorgar licencias de aprovechamiento. Asimismo el INAB, no cuenta con información básica y directrices técnicas para garantizar a la sociedad que las actividades de manejo forestal que autoriza son sostenibles, especialmente en la regulación del ciclo hidrológico, lo cual incluye; mantener la capacidad productiva de los suelos, mantener la calidad del agua y regular en el tiempo los caudales de los ríos y manantiales que abastecen de agua a la cabecera municipal, 4 aldeas y 3 caseríos.

En el contexto anterior se tiene la necesidad de generar información básica respecto a la recarga hídrica y delimitar las principales áreas críticas para regular las actividades forestales de las mismas. Con la información generada se podrán generar estrategias para resolver los conflictos entre los diversos actores locales y entrar a procesos de ordenación forestal, de tal manera que se garantice el abastecimiento hídrico de las comunidades y aprovisionamiento sostenido de los recursos forestales.

3. JUSTIFICACIÓN DEL PROBLEMA

Existen diferentes intereses por todos los actores del área; propietarios de fincas, productores de carbón, ocote y leña, comunidades y gobierno local. Las comunidades no consideran las actividades ilícitas, las cuales han provocado el mayor daño en el área ya que deterioran a gran velocidad sus recursos forestales sin darles tiempo para su recuperación.

Conociendo la problemática del área y la falta de interés por parte de las comunidades y gobierno local de buscar una solución para conservar y proteger sus fuentes de agua, además de mejorar la calidad y cantidad del recurso hídrico, y también por la creciente demanda por este valioso recurso, entonces es necesario determinar cual es el área y la cantidad de agua que se recarga en la subcuenca.

Según Coc, A. (4), menciona que las fuentes de agua son recursos fundamentales para el bienestar de las comunidades de la subcuenca, ya que proveen de bienes que son consumidos directamente por ellas, además nos brindan servicios ecológicos en actividades productivas (riegos, agroindustria, ecoturismo, etc.).

Por este tipo de servicios las comunidades tienen interés en conservar los recursos naturales del área, pero no conocen el vínculo hidrológico – forestal, además no buscan mecanismos o soluciones para conservar y proteger el bosque, siendo ellos los beneficiados del cerro. Esta amenaza básicamente es producto de la deforestación, erosión de los suelos, contaminación ambiental, el mal uso del recurso y falta de políticas sobre el agua.

Todas las comunidades tienen más oportunidades que amenazas para conservar, proteger, rehabilitar y mantener todas sus fuentes de agua mediante una organización adecuada, Coc, A. (4). De acuerdo a la problemática planteada es necesario generar información básica, especialmente, cuantificación del recurso hídrico que recarga y delimitación de áreas principales y críticas como herramienta de planificación y gestión de recursos naturales renovables a nivel de la subcuenca.

4. MARCO TEÓRICO

4.1. MARCO CONCEPTUAL

4.1.1. El ciclo hidrológico

Los recursos hídricos tienen como referencia al ciclo hidrológico, el cual consiste en la continua circulación del agua sobre nuestro planeta, Johnson (17). Proceso continuo en el que una partícula de agua evaporada del océano vuelve al océano después de pasar por las etapas de precipitación y escorrentía superficial o subterránea. A lo largo del ciclo existen múltiples cortos circuitos o ciclos menores. También hay que tener en cuenta que el movimiento del agua en el ciclo hidrológico se caracteriza por la irregularidad, tanto en el espacio como en el tiempo, Custodio y Llamas (6).

El ciclo hidrológico comienza con la evaporación del agua en los océanos, transportándose hacia continentes a través de masas móviles de aire que bajo condiciones adecuadas se condensan y forman nubes o también pueden transformarse en precipitación.

La precipitación se dispersa, parte se la retiene el suelo la cual regresa por evaporación y transpiración de las plantas, otra parte viaja en forma de escorrentía y una pequeña parte llega a los acuíferos en forma de agua subterránea, UNEPAR 1981, citado por INAB (15).

4.1.2. Sistema hidrológico general

Para facilitar el análisis se puede visualizar el sistema hidrológico como una parte de ambientes hidrológicos que reciben agua y se la traspasan entre sí, poniendo así de manifiesto los dos procesos fundamentales de almacenamiento y de transferencia, INAB (13).

4.1.3. Procesos de almacenamiento

Se refiere a los procesos de acumulación del agua en los ambientes hidrológicos como la atmósfera, la cobertura vegetal, la superficie del suelo, la zona radicular y los medios porosos acuíferos del subsuelo, Motta (24).

4.1.3.1. Almacenamiento en la atmósfera

Bajo ciertas condiciones de humedad se forman las nubes, en el seno de las cuales continúa el proceso de condensación. Al adquirir suficiente peso, las gotas de agua caen en forma de precipitación, Motta (24).

4.1.3.2. Almacenamiento de intercepción

El agua proveniente de la precipitación es interceptada en el follaje de las plantas, edificios y otros objetos; esta agua puede evaporarse nuevamente hacia la atmósfera y parte puede llegar a la tierra, Motta (24).

4.1.3.3. Almacenamiento en depresiones

El agua proveniente de las lluvias se deposita temporalmente en pequeñas depresiones, de las que se agota por evaporación e infiltración, Motta (24).

4.1.3.4. Almacenamiento de detención superficial

Es el agua proveniente de la lluvia que al acumularse en la superficie del suelo, cubre a este en un instante dado como una lámina que luego constituye el escurrimiento, el cual a su vez está sujeto a procesos de infiltración y evaporación. La detención superficial y la detención en cauces, aún estando en movimiento se consideran como almacenamiento para un pequeño intervalo de tiempo, Motta (24).

4.1.3.5. Almacenamiento en cauces

La lámina almacenada en la superficie puede escurrir en un cauce, al igual que los flujos subsuperficial y base donde se convierten en escorrentía, Motta (24).

4.1.3.6. Almacenamiento en lagos y embalses

Constituyen almacenamientos naturales o artificiales a los que llega el agua proveniente de la precipitación y flujos superficiales, subsuperficiales y base, Motta (24).

4.1.3.7. Humedad del suelo

Es la parte del agua infiltrada que queda en la zona radicular en forma no saturada y está sujeta a procesos de evapotranspiración, flujo sub superficial y percolación, Motta (24).

4.1.3.8. Depósito de agua subterránea

Es el agua contenida en un suelo saturado por efecto de un estrato impermeable o semipermeable, con agua proveniente de la infiltración y percolación. Está sujeta a pérdidas por evapotranspiración en caso de acuíferos libres, Motta (24).

4.1.4. Procesos de transferencia

Mediante estos procesos, el agua pasa de un ambiente hidrológico a otro. Constituyen el medio de intercambio entre éstos y son las causas principales de los cambios que sufren los procesos de almacenamiento, Motta (24).

4.1.4.1. Precipitación

Es la transferencia de agua de la atmósfera a la tierra por efecto de la condensación del vapor de agua.

4.1.4.2. Infiltración

Paso del agua de almacenamiento de detención al suelo por efectos de la gravedad.

4.1.4.3. Velocidad de infiltración de agua en el suelo

Capacidad de infiltración de los suelos, se entiende por infiltración del volumen de agua que, procedente de las precipitaciones (a veces también de la recarga artificial o los ríos), en un determinado tiempo, atraviesa la superficie del terreno y ocupa total o parcialmente los poros del suelo o las formaciones geológicas subyacentes. También, se entiende por infiltración el proceso, por el cual el agua penetra en el suelo, a través de la superficie de la tierra y queda retenida por él o alcanza un nivel freático incrementando el volumen acumulado anteriormente, Custodio y Llamas, (6).

Este proceso depende de las características físicas del suelo, tales como: textura, estructura, compactación y contenido de humedad. En este caso los suelos con texturas gruesas, poco grado de estructuración y compactación y con bajo contenido de humedad, tienen una mayor capacidad de infiltración que los suelos con características diferentes.

Es importante considerar que las pruebas de infiltración se deben realizar dentro de una cuenca hidrográfica y basándose en una clasificación taxonómica de suelos preexistente, es decir, se debe dividir la cuenca en las unidades taxonómicas y en cada una de estas, se debe hacer una prueba de infiltración.

Las pruebas de infiltración se realizan por el método de Porchet , Custodio y Llamas (6), el cual también es conocido como el Cilindro excavado en el suelo o cilindro invertido.

4.1.4.4. Percolación

Es el movimiento de una parte del volumen de humedad del suelo hacia el almacenamiento subterráneo profundo por efecto de la gravedad.

4.1.4.5. Escurrimiento

Movimiento del agua de detención superficial hacia otros almacenamientos como cauces, embalses, lagos, depresiones, Motta (6).

Flujo superficial, subsuperficial y subterráneo que proviene de la precipitación, los cuales son captados por las vertientes que luego se incorpora a los cauces principales de los ríos, INAB – FAUSAC (14).

También se entiende por escurrimiento, al flujo superficial (sobre el suelo), subsuperficial (dentro del suelo) y el flujo subterráneo (en los estratos de roca) provenientes de la precipitación pluvial, los cuales generalmente son captados por los cauces de los ríos, Herrera (10).

La medición del escurrimiento de un río, es el dato básico empleado en la mayoría de los casos en que se van a planear y/o proyectar obras hidráulicas en el cauce de alguna cuenca. Por lo tanto, es conveniente tener esta información disponible y en la cantidad adecuada, además de confiable, Herrera (10).

4.1.4.6. Escorrentía

Es el flujo de agua transportado por los cauces de los ríos hacia zonas de almacenamiento como lagos, embalses y mares, Motta (24).

A. Componentes de la escorrentía. Cada gota de agua desde el momento que alcanza la tierra hasta cuando llega al cauce de una corriente son varios sus posibles movimientos e inciertos, estos posibles caminos pueden ser:

a. Escorrentía superficial. Exceso de la precipitación que ocurre después de una lluvia intensa y se mueve libremente por la superficie de la tierra o el volumen de agua que avanza sobre la superficie de la tierra hasta alcanzar un canal o dando lugar a la formación de barrancos, arroyos y ríos, INAB – FAUSAC (14).

b. Escorrentía subsuperficial. Porción de agua que se infiltra a través de la superficie puede moverse lateralmente en las capas superiores del suelo hasta llegar al cauce de la corriente. Su movimiento es más lento que la escorrentía superficial y alcanza las corrientes posteriores, INAB – FAUSAC (14).

c. Escorrentía subterránea. Esta se forma por infiltración del agua en el terreno y luego percola, formando los acuíferos. Esta circula por los conductos, constituyen ríos subterráneos, parte de esta circulación aflora en fuentes y manantiales, dan lugar también a la formación de arroyos y ríos. Lo que viene a constituir el caudal base de los ríos, INAB – FAUSAC (14).

4.1.4.7. Flujo subsuperficial

Es el movimiento del agua contenida en los estratos superiores del suelo, que se produce por gradiente topográfico.

4.1.4.8. Flujo base

Es el movimiento del agua subterránea que reaparece en la superficie pudiendo emerger en laderas (manantiales) o cauces profundos.

4.1.4.9. Flujo subterráneo

Es el movimiento del agua subterránea que no emerge a la superficie y alimenta mares y océanos.

4.1.4.10. Evaporación

Es el movimiento del agua de todos los almacenamientos de la superficie terrestre hacia la atmósfera. 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.

4.1.4.11. Transpiración

Es el movimiento del agua que pasa del suelo a la atmósfera a través de las plantas. Es el resultado del proceso físico – biológico, por el cual, el agua cambia de estado líquido a gaseoso, a través del metabolismo de las plantas, y pasa a la atmósfera. En sentido amplio, en el concepto, se incluirá también, el agua perdida por la planta en forma de goteo o exudación, que puede alcanzar valores relativamente importantes, especialmente cuando las condiciones ambientales para que se produzca la transpiración no son favorables.

Asimismo debe de incluirse el agua que la planta incorpora a su estructura en el periodo de crecimiento, Custodio y Llamas (6).

4.1.5. Recarga hídrica

Proceso que implica el incremento del agua hasta la zona de saturación donde se encuentra el nivel de las agua subterráneas, esto quiere decir que es la cantidad de agua adicionada a través de pozos de inyección principalmente (recarga artificial) o absorbida a través del suelo y percola hasta llegar a un acuífero (recarga natural). Además puede ser directa a través de la infiltración de lluvia y/o lateral por el aporte de otras áreas o cuencas, INAB – FAUSAC (14).

La recarga natural es el volumen de agua que entra en un embalse subterráneo durante un período de tiempo, a causa de la infiltración de las precipitaciones o de un curso de agua. Es equivalente a la infiltración eficaz, Custodio y Llamas (6).

El agua que se infiltra en el suelo se llama agua subsuperficial, pero no toda se convierte en agua subterránea. Tres son los hechos fundamentales que tienen relación con esta agua; primero puede ser devuelta a la superficie por fuerzas capilares y evaporada hacia la atmósfera, ahorrándose así gran parte de su recorrido dentro del ciclo hidrológico; segundo, puede ser absorbido por las raíces de las plantas que crecen en el suelo, ingresando de nuevo a la atmósfera a través del proceso de la transpiración y tercero, la que se ha infiltrado profundamente en el suelo, puede ser obligada a descender por la fuerza de la gravedad hasta que alcance el nivel de la zona de saturación que constituye el depósito de agua subterránea y que abastece de la misma a los pozos. Una vez superada la capacidad de campo del suelo, el agua descende por la acción conjunta de las fuerzas capilares y de la gravedad. Es el agua gravitacional, Johnson (17).

4.1.5.1. Recarga por infiltración de la lluvia (recarga natural)

Las recargas de agua en la zona de saturación (acuífero) provenientes de fuentes superficiales, comprenden tres pasos: infiltración del agua desde la superficie de la zona de suelo, 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 – FAUSAC (14).

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 los suelos ha recibido agua a toda su capacidad, toda el agua adicional desciende por gravedad, ya sea directamente hasta el manto freático 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, que normalmente retiene mucha agua, no obstante esto, la mayor parte del agua tiende a moverse hacia abajo en respuesta a la fuerza de gravedad, INAB – FAUSAC (14).

4.1.5.2. Proceso de recarga hídrica

El agua proveniente de las precipitaciones y que alcanza la superficie de una cuenca después de saturar los espacios vacíos, poros o fisuras de la superficie, y que se llenen de agua las pequeñas depresiones superficiales, da inicio a dos tipos de movimiento: a) superficial siguiendo las líneas de máximo gradiente de energía y b) a través de los espacios vacíos del suelo y subsuelo de acuerdo con el gradiente piezométrico y con la permeabilidad del medio.

El escurrimiento superficial se generaliza progresivamente dentro del área cubierta por las precipitaciones, siguiendo la pendiente del terreno hasta encontrar surcos y canales de orden inferior en la red hidrográfica.

Con los caudales que aportan todos los canales de orden inferior se van formando caudales cada vez mayores a lo largo de los cauces de las corrientes de orden superior y así sucesivamente hasta reunirse y concentrarse todos los caudales parciales de la cuenca en la corriente principal o de orden superior, PAFG (26).

El agua se infiltra a través de la superficie del suelo y no es retenida como humedad del suelo se mueve hacia los cauces como corriente subsuperficial o penetra a la capa freática y alcanza eventualmente el cauce como agua subterránea, Linsley (19). Los volúmenes de agua que se almacenan y forman una lámina continua de agua sobre la superficie de la cuenca y los que se concentran dentro de todos los cauces de los canales de la red hidrográfica, constituyen las fuentes directas de alimentación para la recarga hídrica de los horizontes acuíferos del subsuelo, PAFG (26).

4.1.6. Factores que afectan la cantidad de agua que puede recargar a un acuífero

La oportunidad de infiltración de agua en un suelo depende en mucho de la condición del suelo (textura, estructura, porosidad), su contenido de humedad, de la duración de la lluvia, patrón de drenaje en la cuenca, su geología, capas impermeables y profundidad de mantos acuíferos.

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

4.1.6.1. Factores de clima

A. Precipitación. Uno de los componentes principales del ciclo hidrológico es la precipitación. Puede calificarse de factor esencial que constituye la materia prima del referido ciclo.

Según los fenómenos meteorológicos que las originan existen tres tipos de precipitaciones: convectiva, frontal o ciclónica y orográfica o lluvia de relieve, Custodio y Llamas (6).

a. Precipitación convectiva. Cuando una masa de aire se aproxima 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. Este tipo de precipitaciones son muy intensas y de corta duración y ocurren generalmente en las zonas tropicales, INAB – FAUSAC (14).

b. Precipitación por convergencia. Cuando dos masas de aire de aproximadamente la misma temperatura chocan, ambas se elevan. La discontinuidad entre las dos masas de aire se llama frente. La masa de aire más caliente y menos denso, asciende, enfriándose y provocando la precipitación, INAB – FAUSAC (14).

c. Precipitación orográfica. La masa del 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 mas seco, INAB – FAUSAC (14).

Los aspectos fundamentales de un evento de precipitación que son de interés para la recarga hídrica son la duración, intensidad y frecuencia. La precipitación es uno de los componentes más importantes en el ciclo hidrológico, su distribución tanto en espacio como en tiempo es variable e influenciada en gran medida por la elevación del terreno.

d. 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, Linsley (19).

La precipitación efectiva está afectada principalmente por cuatro factores: i) Intensidad de la precipitación, ii) Velocidad de infiltración en el suelo, iii) Cobertura vegetal, y iv) La topografía. Todos los factores están relacionados; por ejemplo, si la intensidad de la precipitación es más baja que la capacidad de infiltración del suelo, no habrá escorrentía superficial; mientras que, con una topografía plana y abundante cobertura vegetal se puede reducir considerablemente la velocidad de la escorrentía superficial, por lo que va a existir más tiempo para que el agua infiltre en el suelo.

B. Evapotranspiración. Desde el punto de vista práctico, dado que la evapotranspiración depende entre otros, de dos factores muy variables y difíciles de medir: el contenido de humedad del suelo y el desarrollo vegetal de la planta, Thornthwaite introduce un nuevo concepto optimizando ambos.

Es la llamada evapotranspiración potencial o pérdidas por evapotranspiración, en el doble supuesto de un desarrollo vegetal óptimo y una capacidad de campo permanentemente completa. Será por lo tanto un límite superior de la cantidad de agua que vuelva a la atmósfera por evaporación y transpiración y que se conoce con el nombre de evapotranspiración real, Linsley (19).

La evapotranspiración es la cantidad de agua transferida del suelo a la atmósfera por evaporación y por la transpiración de las plantas, Monsalve (23). No es fenómeno distinto a los descritos anteriormente, sino la suma de la evaporación y la transpiración, el término solo es aplicado correctamente a una determinada área de terreno cubierta por vegetación. Cuando esta no exista solamente podrá hablarse de evaporación.

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, Cabrera (1). La cantidad de agua que así escapa al posible uso por el hombre, dada la dificultad de medir por separado ambos términos, se reúne frecuentemente bajo el nombre de evapotranspiración, Custodio y Llamas (6).

La influencia de estos fenómenos sobre el ciclo hidrológico, es evidentemente importante, si se considera que en muchos lugares del mundo, el 70% de la precipitación que llega a la tierra es devuelta a la atmósfera por evapotranspiración y en algunos otros esta alcanza el 90%. Desde el punto de vista hidrológico, la evapotranspiración entra, dentro del balance hídrico, en el considerado de pérdidas.

La evapotranspiración en el ciclo hidrológico, es la transferencia de agua desde la tierra a la atmósfera por evaporación desde el agua de la superficie y el suelo, y por transpiración de la vegetación. Los investigadores estudian formas para reducir la evapotranspiración como medio para suplir la demanda creciente de agua para uso agrícola, industrial o general.

El término evapotranspiración hace referencia al agua devuelta a la atmósfera por la vegetación más la que ésta utiliza en sus procesos vitales, así como la que se evapora directamente desde el suelo en las vecindades de cada planta, de manera que este parámetro se utiliza en general como un indicador de las necesidades de

agua de la vegetación. Una gran parte del agua que llega a la tierra, vuelve a la atmósfera en forma de vapor, directamente por evaporación, ó a través de las plantas por transpiración, Linsley (19). 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, Herrera (10).

a. Evapotranspiración real. Es la suma de las cantidades de vapor de agua generada por el suelo y transpirada por las plantas durante un período determinado y bajo las condiciones meteorológicas y de humedad existentes en el suelo. El factor principal es la humedad del suelo, que puede retener una cantidad de agua conforme a su capacidad de retención específica, misma que es función del tipo de terreno.

La humedad del suelo es una reserva de agua alimentada por la infiltración, que se consume por la evaporación en el suelo y por las plantas. Si la humedad del suelo decrece en períodos de déficit pluviométrico, puede tomar niveles por debajo de la capacidad de retención del suelo y aún alcanzar un umbral mínimo, donde no hay agua disponible, En tal caso la evapotranspiración es nula.

b. Evapotranspiración potencial. La evapotranspiración potencial se puede definir como la cantidad de agua transpirada en un tiempo determinado por un cultivo verde y de corta altura, el cual cubre por completo la superficie del suelo, posee una altura uniforme y no tiene limitaciones de agua en ningún momento, es decir, representa la cantidad máxima de agua que puede perder un área específica, cubierta completamente de vegetación, cuando el suministro de agua no presenta limitación alguna.

La evapotranspiración potencial depende del poder evaporante del aire, el cual a su vez está determinado por factores como: la radiación solar, la temperatura, el viento y la humedad del aire. Es importante resaltar que la evapotranspiración potencial es inferior a la evaporación de una superficie de agua, esto debido a que:

- La vegetación tiene un albedo mayor
- Los estomas de las plantas se cierran durante la noche
- Los estomas presentan una cierta resistencia a la difusión o paso del agua.

Los estudios realizados de acuerdo con lo anterior han determinado que la evapotranspiración potencial de un cultivo de corta altura corresponde aproximadamente al 75% de la evaporación de una superficie de agua.

c. Cálculo de evapotranspiración. El término evaporación designa el conjunto de fenómenos que transforman el agua en vapor por un proceso específicamente físico.

Parte de toda la precipitación se evapora antes de caer sobre la superficie de la tierra éste aspecto no es de importancia técnica, dado que la precipitación se mide prácticamente en la superficie terrestre. En conclusión, es posible indicar que la evapotranspiración es un proceso combinado que comprende la evaporación de todos los tipos de superficie (vegetal, superficie del suelo, láminas de agua, etc.) y la transpiración de las plantas. La evapotranspiración se calcula por diferentes métodos dependiendo de la información disponible para el área de estudio. Dentro de estos métodos se mencionan: Penman - Monteith, Blannay – Criddley, Tanque tipo “A”, Balance de radiación y Hargreaves.

d. Métodos para la evaluación y cuantificación de la evapotranspiración. Hay varios métodos para estimar la evapotranspiración real y la evapotranspiración potencial, pero en la mayoría de los casos estos métodos individualmente no son aplicables en todos los problemas. Algunos dividen estos métodos estimados en tres categorías:

i. Métodos teóricos. Basados en los procesos físicos de la evapotranspiración.

ii. Métodos analíticos. Basados en los balances de energía o cantidades de agua.

iii. Métodos empíricos. Basados en la relación local entre la medida de la evapotranspiración y las condiciones climáticas.

Consideramos únicamente algunos de los métodos más usados por los investigadores y técnicos, los cuales se describen a continuación:

iv. Estimación por métodos empíricos. La falta de datos básicos y las dificultades de medida requeridas en los métodos de campo, explican los grandes esfuerzos realizados para desarrollar las ecuaciones de la evapotranspiración que, con algunos datos climáticos continuación asequibles, nos pueden dar su valor.

Se han propuesto numerosas ecuaciones, siendo las más aplicadas en Guatemala, las que se describen a continuación:

v. Fórmula de thornthwaite. Este autor obtuvo empíricamente su fórmula de la evapotranspiración potencial, basada en sus investigaciones sobre el crecimiento de vegetales, al comprobar que este crecimiento era función de los intercambios de agua entre planta (vegetal) y la atmósfera. Fue el primero que empleó el

concepto de evapotranspiración potencial, referido a un suministro óptimo de agua en el desarrollo de los vegetales.

Con el fin de obtener fácilmente valores de evapotranspiración potencial y basado en datos obtenidos con cajas lisimétricas y relacionándolos con datos climatológicos Thornthwaite, encontró que este parámetro depende fundamentalmente de la temperatura media de cada mes. Además al ser las observaciones de temperatura relativamente abundantes, también podrían ser los datos de evapotranspiración potencial.

vi. Fórmula de hargreaves. Es uno de los métodos más prácticos y confiables. Este investigador diseñó una fórmula específica para la región Centroamericana. La fórmula diseñada por Hargreaves es la siguiente:

$$ETP = 0.0075 * TMF * RSM, \text{ mm/mes}$$

Donde:

ETP = Evapotranspiración en mm/mes

TMF = Temperatura media mensual en grados Fahrenheit

RSM = Radiación solar incidente mensual

vii. 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 evapotranspiración real (ETR) es igual a la evapotranspiración potencial (ETP) o sea $ETR = ETP$.

viii. Variación lineal. Cuyo criterio es que cuando más se acerque el punto de humedad al punto de marchitez permanente, 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. Esta es una situación más real, ya que a mayor déficit de humedad más le cuesta a la planta transpirar. Se asume que la evapotranspiración real es igual a la evapotranspiración potencial, conjuntamente con los factores del suelo o sea:

$$ETR = ETP \times \frac{(\text{Humedad inicial} + \text{precipitación efectiva} - \text{PMP})}{(\text{CC} - \text{PMP})}$$

ix. Método de polígonos de Thiessen. Este método es utilizado para las variables climáticas de Precipitación, Temperaturas y Evapotranspiración.

Los registros correspondientes a cada estación son ponderados por un factor, que es el área de influencia de la estación sobre el área total de la cuenca. El procedimiento para determinar estos factores de ponderación es el siguiente: se determinan las estaciones que se van a usar en el análisis y se unen por medio de rectas; a estas rectas se les halla la mediatriz y quedan definidos una serie de polígonos que permiten definir el área de influencia de cada estación, INAB – FAUSAC (14).

Este método es utilizado en zonas con distribución irregular de las lluvias, zonas donde los accidentes topográficos no juegan un papel importante en la distribución de lluvias, toma en cuenta la no uniformidad mediante el factor de ponderación de cada una de ellas, INAB – FAUSAC (14). Es decir que este método se aplica en áreas planas donde su diferencia altitudinal no debe variar mucho a lo largo de una distancia.

x. Método de las isolíneas. Este método es utilizado para las variables de precipitación (isoyetas), temperatura (Isotermas: máximas, mínimas y medias) e isopletas (evapotranspiración).

Isoyetas son líneas que unen los puntos de igual precipitación es un método más exacto para datos promedios sobre un área específica, considera todas las variaciones locales de la precipitación, topografía, altitud, etc, por eso es necesario conocer el área para su uso, INAB – FAUSAC (14).

Para elaborarlas se inicia con la delimitación de la cuenca a escala y se ubican todas las estaciones con sus respectivos datos de precipitación, estaciones que queden fuera también se pueden considerar, posteriormente se trazan líneas de igual precipitación, tal como se trazan curvas a nivel. Si P_1, P_2, \dots, P_n son los valores de isoyetas y a_1, a_2, \dots, a_n son las áreas entre isoyetas, el valor promedio de la precipitación para un área A será:

$$P_m = [(P_1 * A_1) + (P_2 * A_2) + \dots (P_n * A_n) / (A_1 + A_2 + \dots A_n)]$$

4.1.6.2. Factores de suelo

A. El agua en el suelo. La componente líquido en el suelo es generalmente, el agua, que al atravesar la superficie del terreno se distribuye por él, quedando sometida a varias 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, Johnson (17).

Existen diferentes formas en las cuales se encuentra el agua en el suelo, debido a esto se establecen los siguientes tipos; agua retenida por las fuerzas capilares y agua no retenida en el suelo, Custodio y Llamas (6).

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

- ✓ **Capacidad de campo.**
- ✓ Punto de marchitez permanente.
- ✓ Agua utilizable por las plantas.

Así pues, puede considerarse únicamente agua utilizable por las plantas, la diferencia entre la humedad correspondiente a la capacidad de campo y al punto de marchitez permanente, Custodio y Llamas (6).

El agua que se infiltra en el suelo es el agua subsuperficial, pero no toda se convierte en agua subterránea. Tres son los hechos fundamentales que tienen relación con esta agua. Primero, puede ser devuelta a la superficie por fuerzas capilares y evaporada hacia la atmósfera, ahorrándose así gran parte de su recorrido dentro del ciclo hidrológico. Segundo, puede ser absorbido por las raíces de las plantas que crecen en el suelo, ingresando de nuevo a la atmósfera a través del proceso de la transpiración. Tercero, la que se infiltra profundamente en el suelo, puede ser obligada a descender por la fuerza de la gravedad hasta que alcance el nivel de la zona saturada que constituye el depósito de agua subterránea y que abastece de la misma a los pozos o fuentes naturales entre otros. Una vez superada la capacidad de campo del suelo, el agua desciende por la acción conjunta de las fuerzas capilares y de la gravedad. Es el agua gravitacional, Johnson (17).

En algunos lugares los depósitos de agua subterráneas son recargados rápidamente por la lluvia que cae en terrenos que yacen por encima de aquellos. En otros sitios en los cuales el nivel de los ríos y lagos se halla

más alto que la superficie freática y sus lechos son permeables, el depósito es recargado por esos cuerpos líquidos, cuando una corriente o un tramo de esta, brinda su contribución de agua a la zona de saturación se dice que es una corriente influente respecto del agua subterránea. Si por el contrario el agua subterránea se halla a una elevación mayor a la de un río o lago, y percola hacia este se dice que es una corriente efluente de aquella. Algunas secciones de una corriente superficial son efluentes en tanto que otras pueden ser influentes.

La razón de recarga de un depósito de agua subterránea depende del régimen de precipitación, de la escorrentía superficial y del caudal de los ríos, asimismo varía de acuerdo con la permeabilidad del suelo y de los otros materiales a través de los cuales debe percolar para alcanzar la zona de saturación. La oportunidad de infiltrar depende en mucho de la condición del suelo, su contenido de humedad y de la duración de la lluvia y del patrón de drenaje en la cuenca.

B. Textura y estructura. En el estudio físico de un suelo interesan dos aspectos: La textura o proporción relativa en que se presentan los distintos materiales sólidos que lo componen. Esta proporción se expresa en porcentaje del peso de materiales comprendidos en un intervalo de tamaños, respecto al peso de la muestra seca. Por otro lado, la estructura, que es la disposición relativa de estos materiales, en las condiciones naturales de un determinado suelo, Sandoval (27).

Normalmente, el área en estudio, tiene suelos de características variables que influyen en el balance hídrico del suelos y por lo tanto, para determinar este, se deben tomar muestras de suelo de los lugares donde se realizan las pruebas de infiltración, de esta manera se obtiene una muestra por cada unidad de mapeo.

C. Densidad aparente. 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 de agua, Sandoval (27).

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

D. Topografía. La pendiente de la superficie constituye un factor importante, puesto que las muy inclinadas favorecen la escorrentía superficial y, si son menos fuertes, retienen por más tiempo el agua favoreciendo la infiltración. En algunas áreas pareciera que las pendientes moderadas ofrecen condiciones mejores para infiltración que las enteramente planas. Estas últimas desarrollan a menudo suelos herméticos. La textura del suelo juega entonces un papel muy importante en el proceso de infiltración puesto que está influida por la pendiente del terreno.

La topografía influye debido al tiempo de contacto del agua con la superficie, en condiciones planas el agua cae a la superficie y su movimiento será lento lo que dará un mayor tiempo para que esta se infiltre, caso contrario, en condiciones accidentadas el agua cae y debido a la inclinación del terreno se desplaza a mayor velocidad pasando más rápido a formar parte del agua de escorrentía.

E. Constantes de humedad. La capacidad de los suelos para retener el agua es una característica muy importante en el balance hídrico, mientras menor sea la capacidad de los suelos para retener el agua infiltrada, mayores serán las posibilidades de que esta agua pase a formar parte de la humedad de estratos

inferiores hasta alcanzar la zona saturada (acuíferos). De esta manera para el cálculo del balance hídrico de suelos se determinan las constantes de humedad de un suelo, las cuales son:

a. Capacidad de campo. Grado de humedad de una muestra que ha perdido su agua gravitacional. Es de gran importancia en agricultura pues, transcurrido un tiempo después de un riego o de una lluvia, parte queda en el terreno de la cual podrá ser aprovechada por la vegetación para sus funciones biológicas.

b. Punto de marchitez permanente. Es 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. Al igual que la capacidad de campo es un concepto eminentemente agronómico, pero que juega un importante papel en los fenómenos como la evapotranspiración de indiscutible influencia sobre el ciclo hidrológico.

F. Estratigrafía geológica. Es de gran importancia conocer 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 vegetal 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.

4.1.6.3. Factores de cobertura vegetal

A. Profundidad radicular. La profundidad de la zona radicular determina en gran parte la lámina de agua aprovechable por los cultivos. Depende del tipo de cultivo, condiciones del suelo y clima. Para la mayoría de plantas las raíces que absorben agua se encuentran dentro de los primeros 30 cm de suelo. El factor de cobertura vegetal, específicamente la profundidad de raíces debe ser basado en un mapa de uso de la tierra o de cobertura vegetal, donde se definen los diferentes tipos de cobertura que posee el área de estudio.

La profundidad de raíces se determina según el criterio de Sandoval (27) y se muestran en el cuadro 1. Para el uso de centros poblados rurales (aldeas especialmente), se estima que 50 % de esta área tiene pasto o césped, y el restante 50 %, se considera como área impermeable.

Cuadro 1. Profundidad de raíz en cm, para diferentes usos de la tierra.

Uso del Suelo	Bosque	Bosque – Cultivos Anuales	Cultivos Anuales - Hortalizas	Bosque - Café	Centro Poblado (pasto)	Centro Poblado (techos)	Matorral
Profundidad de Raíz (cm)	200	75	40	75	40	Impermeable	75

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

La capacidad de almacenamiento por intercepción es generalmente satisfecha en las primeras horas de una tormenta, de manera que un alto porcentaje de la lluvia durante las tormentas de corta duración es

interceptada. Después de que la vegetación esté saturada, la intercepción cesará a no ser porque una cantidad apreciable de agua puede evaporarse a partir de la enorme superficie mojada de la vegetación.

La capacidad de intercepción se reduce a mayor velocidad del viento, pero la tasa de evaporación aumenta. Se ha encontrado que un bosque de árboles maderables de gran tamaño intercepta hasta 20% de lluvia; cultivos anuales, la intercepción para una lluvia de 25 mm va desde 3.2% maíz, 11.2% tabaco, 16% cereales, hasta 33% alfalfa; en promedio se calcula 12% de intercepción a cultivos agrícolas, Linsley (19).

4.1.7. Determinación de la lámina de humedad en el suelo

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

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

$$\text{Humedad (cm)} = ((cc - pmp) \times \text{Prof. radicular (cm)} \times \text{densidad (g/cm}^3)) / 100$$

donde:

cc: Capacidad de campo (porcentaje en base a peso seco).

pmp: Punto de marchitez permanente (porcentaje en base a peso seco).

4.1.8. Aforo

El caudal o gasto es el volumen de agua que pasa por una sección específica del cauce de un río en un tiempo determinado y al conjunto de operaciones que conduce a la valoración del gasto, Herrera (10).

4.1.8.1. Aforo de corrientes

Conjunto de operaciones realizadas en un río, para determinar el caudal circulante en un momento determinado, anotando al mismo tiempo la altura en escala limnimétrica, INAB – FAUSAC (14). El caudal de una corriente no es constante en el tiempo, es muy importante conocer sus fluctuaciones, mediante una serie de aforos, que debidamente valorizados y compilados, nos conducen a encontrar las leyes en que se rige la corriente, esto es el régimen mensual, anual y cíclico de una corriente; con lo que se puede relacionar el caudal con el tiempo para obtener el hidrograma o higrógrafo característico de un río, Herrera (10).

4.1.8.2. Aforos diferenciales

Cuando se realizan aforos en algunos tramos del río (corriente principal), para que a partir de los caudales se determine si se aporta agua al acuífero o este último se proporciona, es decir definir si el río es influente o efluente. De esta manera se podrán conocer la descarga del acuífero o existencia de recarga hídrica por este factor, INAB – FAUSAC (14).

Este tipo de aforo sirve para determinar los sectores en los cuales la precipitación pluvial constituye una recarga potencial al acuífero (precipitación efectiva), después de los efectos del suelo, vegetación, topografía, etc. Parte de ella es posible que emerja como manantiales (corrientes secundarias) o directamente alimente a la corriente superficial principal de la cuenca (río efluente), por lo tanto haciendo medidas de caudal en intervalos relativamente pequeños sobre la longitud del cauce, se pueden detectar los sectores en los que el

río se comporta como efluente o bien a través de infiltración de agua dentro de su cauce pasa a constituir también una recarga al acuífero (río influente), INAB – FAUSAC (14).

Actualmente sirve para tener una idea cuantitativa de que fracción de la precipitación efectiva contribuye al caudal de la corriente principal siendo esta siempre menor que la cantidad de recarga potencial. Uniendo el conocimiento de la recarga potencial en cada una de las unidades de mapeo definidas y los caudales aforados, es posible realizar la importancia de los aportes de las partes altas de una cuenca principalmente. Para la localización y aforo de manantiales se deben ubicar en coordenadas geográficas o coordenadas UTM y su altitud en m.s.n.m., utilizando un sistema de posicionamiento global GPS, INAB – FAUSAC (14).

4.1.8.3. Secciones de control de aforo

Se refiere al punto donde se efectúa la medición del caudal, en una sección transversal del río. Esta sección debe de cumplir con ciertas características importantes como: 1.- Accesibilidad, cercano a un centro poblado, preferentemente aguas arriba del punto seleccionado; 2.- Ubicación del tramo de aforo, el cual debe ser estable para que no suceda sedimentación o erosión del mismo; 3.- Conformación o permeabilidad, que se refiere a que no existan fugas de agua subsuperficial o subterránea cercana a la sección y 4.- Rango de velocidad del agua del río entre 0.1 a 2.5 m/s, Herrera (10).

Existen varios tipos de secciones de aforo; el aforo en secciones de forma natural es el que se caracteriza por que su área es variable, teniendo el problema que en ella se produce mucha sedimentación o erosión, lo que impide la toma de caudales exactos principalmente en época lluviosa, Herrera (10).

4.1.8.4. Métodos para el cálculo de aforos de agua superficial

Los métodos prácticos de aplicación más frecuentes son:

- Método volumétrico.
- Método Parshall.
- Método de vertederos y orificios.
- Método sección - velocidad (flotadores, molinetes y pendiente hidráulica).
- Otros métodos (tubos de Pitot y Venturi, Balanza hidrométrica, trazadores y ultrasonido).

De estos métodos los más prácticos de aplicación son: método volumétrico y método de sección velocidad.

A. Método volumétrico. Usado para corrientes pequeñas como manantiales de agua o riachuelos, siendo el método más exacto, este método consiste en llevar el caudal a un depósito permeable cuyo volumen sea conocido y tomar el tiempo total en que se llena dicho depósito, INAB – FAUSAC (14).

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

Se utiliza para trabajos experimentales o para tener un idea rápida del caudal que aporta determinado riachuelo o en una prueba de bombeo donde se utilizan recipientes de 54 galones (toneles), (1 galón = 3.78 litros), INAB – FAUSAC (14).

B. Método sección velocidad. El caudal de un río por este método estará dado por: $Q = \text{Área} \times \text{velocidad media}$, expresada en m^3/s ó l/seg . En este método se determina separadamente: La sección transversal del cauce y la velocidad de la corriente de agua.

a. **Determinación la sección transversal del cauce.** Determinado el punto donde se efectuará la medición se deberán de colocar dos estacas, una a cada orilla del río y fijándose que la línea que las une, sea perpendicular a la dirección del río para determinar el ancho del mismo, INAB – FAUSAC (14).

Dividir el ancho del cauce en secciones de acuerdo al cuadro 2.

Cuadro 2. Consideraciones a tomar para medir caudales de ríos.

Ancho del cauce (m)		Espaciamiento (m)
De	A	
0	1	0.20
1	2	0.25
2	4	0.50
4	8	1.00
8	15	1.50
15	25	3.00
25	50	5.00

Luego obtener: a) El ancho y profundidad al principio y al final de cada tramo, b) la profundidad media del área parcial, por medio de la fórmula: Profundidad media del área parcial: $(a + b) / 2$.

Obteniendo el área parcial de cada sección a través de la fórmula siguiente: $A_i = (a + b) / 2 * L$.

Donde A_i = Cualquier Área parcial de cada sección

L = Ancho del área parcial o longitud

a = Profundidad uno

b = Profundidad dos

b. Determinación de la velocidad media. Esta se efectúa por medio de flotadores, molinetes, como se describe a continuación:

i. Flotadores. Son cuerpos más ligeros que el agua y que conducidos en suspensión por la corriente adquieren una velocidad superficial o media, que resulta según la clase de flotadores empleados (superficiales o sumergibles) y para lo cual se deben desarrollar los siguientes pasos o etapas, INAB – FAUSAC (14).

Selección de un tramo de aforo recto, libre de obstáculos cuya longitud no sea menor de seis veces el ancho del río, de ser posible. La velocidad se obtiene tomando el tiempo que tarda el material (flotador) en recorrer un tramo de longitud conocida, $V = \text{Distancia} / \text{Tiempo}$.

Se obtienen dos tipos de velocidad, esto de acuerdo al tipo de flotador que se utilice, INAB – FAUSAC, (14).
 Velocidad superficial (V_s): se obtiene con flotadores superficiales, los cuales pueden ser pequeñas piezas de madera, botellas, corchos, pelotas plásticas y algunas frutas, tomando en cuenta que no estén influenciados por el viento. Velocidad Media (V_m): se obtiene en forma aproximada por los flotadores sumergidos, ya que estos tienen forma de barra o bastón, lo cual nos permite tomar una posición vertical, extendiéndose desde la superficie hasta cerca del fondo de la columna de agua, proporcionando así un promedio de las velocidades de la corriente.

ii. Estimación de la velocidad media (V_m). Si se usan varios flotadores superficiales, se promedia su velocidad, por lo tanto está corresponde a la V_s media, INAB – FAUSAC (14).

De igual forma se obtiene la velocidad media utilizando varios bastones sumergidos a lo largo de un tramo del río. Posteriormente se obtiene: $K = V_m / V_s$.

Donde K , es un factor de corrección que se utiliza para transformar la velocidad superficial en velocidad media, $V_m = K * V_s$ (para los siguientes aforos). En estos casos se puede usar el valor de K de 0.85 – 0.90 como se reporta en la literatura, INAB – FAUSAC (14). El caudal se obtiene: Q (m^3/s ó l/seg) = Área de la sección (m^2) por velocidad media (m/s).

iii. Molinetes. Son instrumentos que sirven para registrar velocidades de flujos (agua y viento) en forma indirecta, utilizando la medición del número de revoluciones de una hélice o copas a través de un sensor en determinado intervalo de tiempo. Existen varios modelos, que por norma incluyen su ecuación correspondiente basada en su calibración que permite obtener en base al número de revoluciones el valor de velocidad. La velocidad calculada se determina en base a la constante del equipo, INAB – FAUSAC (14).

La profundidad para ubicar cada molinete en cada punto de aforo se realiza a 0.6 de la profundidad total del río en ese punto. Para la determinación de la velocidad ajustada en el último punto del río, como el molinete se coloca superficialmente se multiplica 0.8 por la velocidad calculada, INAB – FAUSAC, (14). El registro del tiempo se efectúa con un cronómetro, el cual deberá de tener apreciaciones mínimas, Herrera (10).

4.1.9. Método de porchet o cilindro invertido

Es un método preciso y versátil en el campo, Custodio y Llamas (6), se conoce también con el nombre de cilindro excavado en el suelo y consiste en excavar en el suelo un agujero cilíndrico con un radio R , el cual se llena de agua hasta una altura h y medir un cambio en el tiempo (dt) para suponer la capacidad de infiltración (f) en ese intervalo como constante.

Por lo tanto la superficie por la cual se filtra el agua es: $S = \pi R (2h + R)$. Para un tiempo, dt , suficientemente pequeño para que pueda suponerse constante la capacidad de infiltración, f , se verificara la igualdad: $\pi R (2h + R) f = R^2 (dh/dt)$. Separando variables obtenemos la ecuación diferencial: $f dt = - R (dh/(2h+R))$. Al integrar resulta: $f = (R/2(t_2-t_1)) * \ln ((2h_1 + R) / (2h_2 + R))$.

Entonces para determinar f , basta medir pares de valores (h_1, t_1) , (h_2, t_2) , de forma que t_2 y t_1 no difieran demasiado y entrar con ellos en la expresión dada. El procedimiento para la realización de la prueba consiste en limpiar, el área hacer el agujero con un barreno, de una altura h ; agregar agua en el hasta alcanzar humedad cercana al punto de saturación del suelo, luego colocando nivel de referencia para la toma de las profundidades, aplicar agua y se toman los datos h y t , a intervalos pequeños.

4.1.10. Marco legal

Las principales leyes del país hacen mención en artículos específicos respecto a los recursos hidrológicos y forestales.

4.1.10.1. Constitución Política de la República de Guatemala

A. Artículo 122. Se establece que son reservas territoriales del estado aquellas áreas comprendidas hasta “doscientos metros alrededor de las orillas de lagos, de cien metros a cada lado de riberas de ríos navegables, de cincuenta metros alrededor de fuentes y manantiales donde nazcan las aguas que surtan a las poblaciones”.

B. Artículo 126. “Declara de urgencia nacional y de interés social, la reforestación del país y la conservación de los bosques. La ley determinará la forma y requisitos para la explotación racional de los recursos forestales y su renovación, incluyendo resinas, gomas productos vegetales silvestres no cultivados y demás

productos similares, y fomentará su industrialización. Los bosques y la vegetación en las riberas de los ríos y lagos, y en las cercanías de las fuentes de aguas, gozarán de protección especial”.

4.1.10.2.Ley forestal (decreto 101-96)

Los aspectos forestales, fuera de áreas protegidas, están normados por esta ley, la cual, también declara de urgencia nacional y de interés social la reforestación y conservación de los bosques. Esta ley crea al Instituto Nacional de Bosques (INAB), cuyas principales atribuciones se pueden sintetizar así: ejecutar la política forestal nacional, promover y fomentar el desarrollo forestal del país, el manejo sostenible de los bosques, la reforestación, la investigación y desarrollar programas y proyectos especiales para frenar el avance de la frontera agrícola y conservación de los bosques naturales.

A. Artículo 47. Se prohíbe eliminar el bosque en las partes altas de las cuencas hidrográficas cubiertas de bosque, en especial las que estén ubicadas en zonas de recarga hídrica que abastecen fuentes de agua, las que gozarán de protección especial. En consecuencia, estas áreas sólo serán sujetas a manejo forestal sostenible. En el caso de áreas deforestadas en zonas importantes de recarga hídrica, en tierras estatales, municipales o privadas, deberán establecerse programas especiales de regeneración y rehabilitación.

4.1.10.3.Código de salud (decreto 90-97)

Establece lo siguiente: “Artículo 84. Se prohíbe terminantemente la tala de árboles en las riberas de ríos, lagos lagunas y fuentes de agua, hasta 25 metros de sus riberas. La trasgresión a dicha disposición será sancionada de acuerdo a lo que establezca el presente Código”.

4.1.10.4.Ley de protección y mejoramiento del medio ambiente

Establece en el artículo 15 lo siguiente: “El Gobierno velará por el mantenimiento de la cantidad de agua para el uso humano y otras cuyo empleo sea indispensable, por lo que emitirá las disposiciones que sean necesarias y los reglamentos correspondientes para: f) promover el uso integral y el manejo racional de cuencas hídricas, manantiales y fuentes de abastecimiento de agua. g) Investigar y controlar cualquier causa o fuente de contaminación hídrica. h) Propiciar en el ámbito nacional e internacional las acciones necesarias para mantener la capacidad reguladora del clima en función de cantidad y calidad del agua”.

4.2. MARCO REFERENCIAL

4.2.1. Descripción Biofísica

4.2.1.1. Ubicación Geográfica y Altitud.

El área de estudio pertenece al municipio de Granados del departamento de Baja Verapaz (Figura 1), además otro municipio que se beneficia de esta área es Pachalum, del departamento de El Quiché.

La subcuenca del Río Belejeyá, se encuentra ubicada entre las coordenadas: latitud norte 14°57'36'' y longitud oeste 90°36'36'', latitud norte 14°48'00'' y longitud oeste 90°36'36'', latitud norte 14°57'36'' y longitud oeste 90°32'24'', latitud norte 14°48'00'' y longitud oeste 90°32'24'', cuenta con una extensión de 35.34 km², entre altitudes que van desde la parte más alta 2,428 msnm que es la meseta del Cerro Tuncaj y la parte baja donde se une el Río Belejeyá con 580 msnm.

4.2.1.2. Ubicación Administrativa.

La subcuenca del Río Belejeyá se ubica en jurisdicción del Municipio de Granados que se ubica al Suroeste del Departamento de Baja Verapaz, Granados limita al norte con los municipios de Cubulco y Rabinal, del departamento de Baja Verapaz, al sur con los municipios de San Juan Sacatepéquez, San Raymundo y Chuarrancho del departamento de Guatemala, al este con el municipio de Santa Cruz, El Chol, del departamento de Baja Verapaz y al oeste con los municipios de Pachalum del departamento de El Quiché y San Martín Jilotepeque del departamento de Chimaltenango (Figura 2).

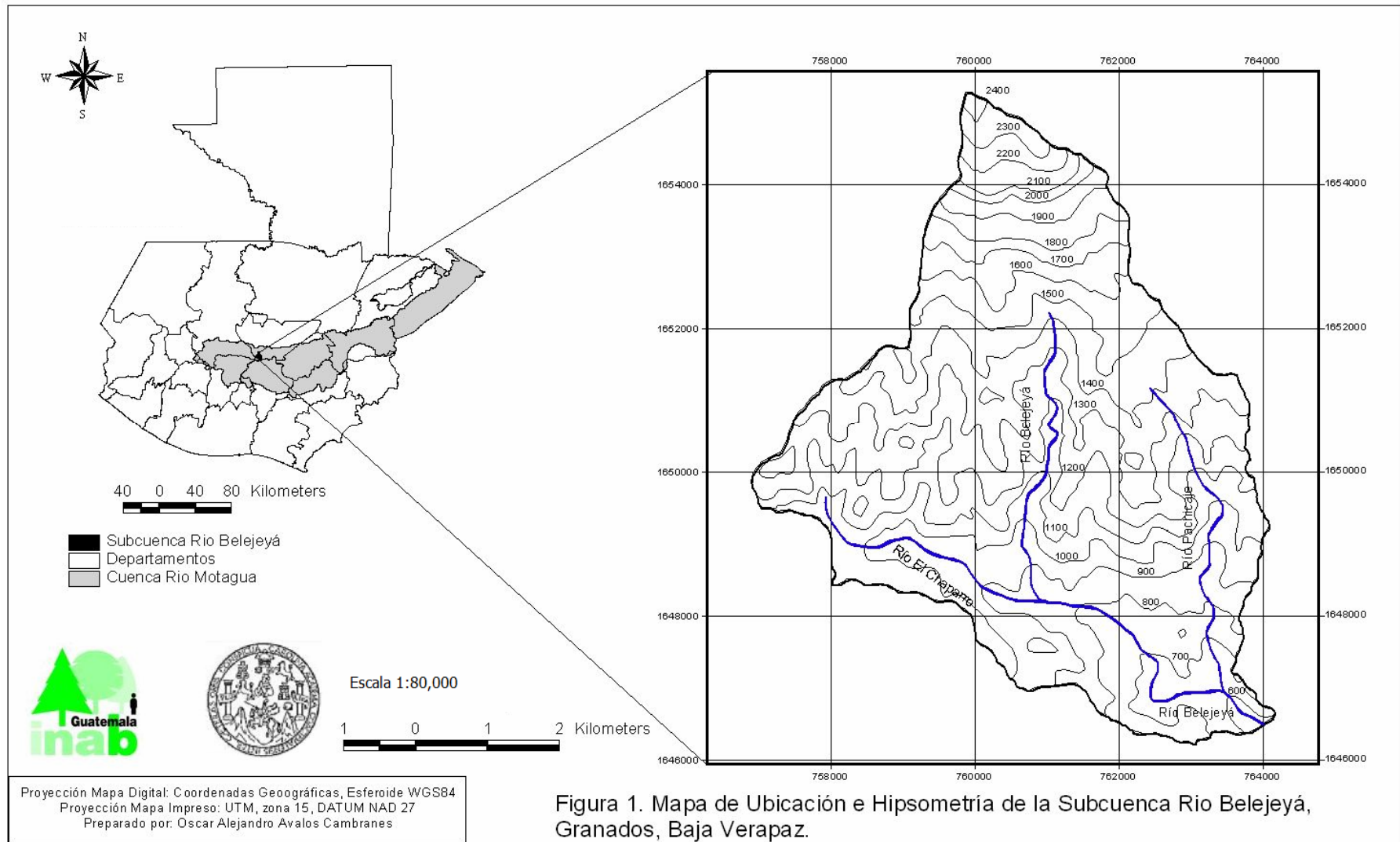


Figura 1. Mapa de Ubicación e Hipsometría de la Subcuenca Rio Belejejá, Granados, Baja Verapaz.

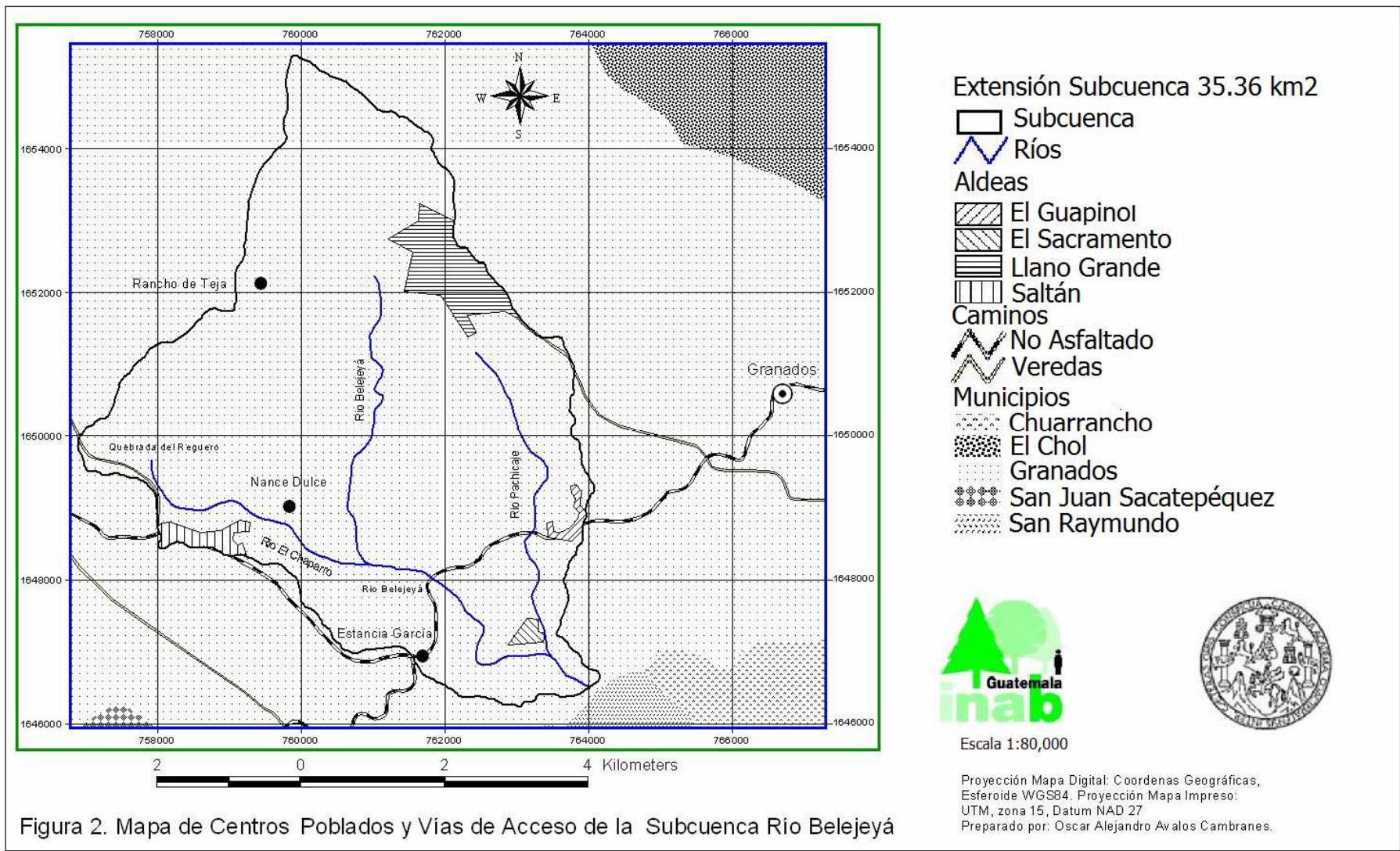


Figura 2. Mapa de Centros Poblados y Vías de Acceso de la Subcuenca Río Belejeyá

4.2.1.3. Vías de acceso

A la subcuenca del Río Belejeyá se puede acceder por seis vías, la primera por la carretera que conduce de la ciudad capital hacia el municipio de Pachalum y a la altura del km 45 (asfalto) se toma el cruce hacia la Aldea Saltan del municipio de Granados (terracería); segunda, por la misma que conduce al municipio de Pachalum, El Quiché (84 km asfalto), luego se toma una ruta de terracería hacia los caseríos Las Cuevas de Saltan y Ojo de Agua del municipio de Granados; tercera ruta es desde el municipio de Rabinal, Baja Verapaz, que la conduce a el Chol y posteriormente a Granados, Baja Verapaz, toda de terracería. Otro acceso al área es desde el municipio de Cubulco (asfalto), siguiendo la carretera que conduce hacia la aldea de Pachojob y luego se cruza hacia el caserío Tuncaj, del mismo municipio (terracería transitable solo con vehículo de doble tracción); quinto acceso, acceso para ingresar al área es un camino que conduce del municipio de Granados a la Aldea El Oratorio y luego se recorren 8 km, hasta llegar a la finca El Durazno, en donde termina el camino, este acceso es para recorrer el límite de la microcuenca del lado oeste y el último es por la finca San Juan Nepomuceno que se toma desde el caserío el Conacaste del Municipio de Granados.

La subcuenca puede ser recorrida completamente desde la parte alta a la parte media y baja, a través de caminos que se encuentran transitables en verano y se conectan entre sí (caserío Tuncaj – Ojo de Agua – Cuevas de Saltán y caserío Tuncaj – Medio Monte - Saltán).

4.2.1.4. Extensión

La subcuenca del Río Belejeyá tiene una extensión de 35.36 kilómetros cuadrados, esta delimitación pertenece a la cuenca el Río Grande o Motagua.

4.2.1.5. Fisiografía

Según MAGA (21), el municipio de Granados, se encuentra dentro de la cuenca del Río Grande, existiendo en el área rocas metamórficas e ígneas, con características de edad desconocidas, predominantemente serpentinitas, en gran parte pre - Mestrichtiano en edad, del período terciario.

La geomorfología del municipio, en base a su origen ha sido considerado como producto de una parte de cratón, sus rocas formadas en el período paleozoico, las cuales son intrusivas, metamórficas sedimentarias y carbonatos, con presencia de depósitos de pómez, del grupo Sierra de Chuacús el cual también es su gran paisaje, tiene drenaje sub - dendrítico, paralelo y sub - paralelo, pertenece a las Tierras Altas Cristalinas, la edad geológica de la geoforma es del terciario hasta el presente. La otra mitad del municipio de Granados su geomorfología debió haber sido elevada ya que es parte del manto sub - cortical, debido al empuje producido por la falla transformante del Motagua, con rocas ultra básicas, intrusivas y metamórficas como: esquistos, gneis, migmatitas y anfiobitas, su drenaje es sub - dendrítico, paralelo, sub - paralelo y sub - angular, nombrada dentro del grupo Sierra de las Minas, pertenecientes a las Tierras Altas Cristalinas, su gran paisaje es Ladera Degradadas de Serpentina, su edad geológica es del terciario superior al cuaternario.

4.2.1.6. Geología.

Machorro (20), indica que la geología del municipio de Granados, Baja Verapaz; se encuentran 8 tipos de diferentes conformaciones geológicas, estas conformaciones tienen diferente nomenclatura, que incluye su edad geológica y los diferentes tipos de materiales que la conforman.

Pertenciente al cuaternario, que incluye aluviones y coluviones (Qac); depósitos volcánicos pertenecientes al cuaternario, incluye coladas basálticas, andesíticas, tobas e igninbritas (Qtv); del periodo Cretácico

superior, del Grupo Tumbador, incluye lutitas y calizas (Klc) y además peridotitas serpentinizadas, peridotitas, anfibolitas, pillow lavas y chert (Kps); clasificaciones Pgcm, Pgcfb, Peg y Pgcfm pertenecen al paleozoico inferior o mas antiguo, del grupo Chuacús; cuerpos menores de mármol (Pgcm y Pgcfb), su diferencia es que Pgcm esta conformada por Gneis Cuarzo – Mica, en cambio Pgcfb tiene conformaciones de Gneis Cuarzo – Feldespato – Biotita; tiene presente esquistos granitíferos (Peg) y formado por Gneis Cuarzo – feldespato – microclina (Pccfm) (Figura 3).

Según el trabajo desarrollado por Chiquin, M. y Requena, F. citado por Fuentes (9) en su investigación de la Subcuenca del Río Cotón, describe las siguientes unidades geológicas.

A. Lutitas y calizas (Klc). Se ha asignado con este nombre a un conjunto de rocas que incluyen secuencias de pillow lavas, chert, lutitas y calizas fosilíferas / marmolizadas.

Las pillow lavas estan muy meteorizadas, de color verde amarillento, con formas amigdaloides o elipsoidales, de 35 a 48 cm de diámetro. La totalidad de la secuencia de pillow lavas posee un espesor de 50 metros aproximadamente. Sobreyaciendo gradualmente a las rocas anteriores, 30 metros de espesor de capas de chert se interestratifican con lutitas. Finalmente, en el techo de la sección se encuentra una sucesión de lutitas y calizas fosilíferas (algunas marmolizadas) interestratificadas. Las lutitas por lo general son de color gris a cafés amarillento. En el río Belejeyá existen afloramiento de calizas.

B. Peridotitas serpentinizadas (Kps). Comprende una franja de peridotitas serpentinizadas que se extiende a lo largo del valle del río Motagua y ciertos cuerpos esparcidos cabalgantes, que se localizan a ambos lados

del río. Como cuerpos cabalgantes existen tres, pero para la subcuenca comprende al norte del río Motagua, exactamente formando las partes más altas del Cerro Tuncaj.

Las rocas ultramáficas que afloran en el Cerro Tuncaj, son de color verdoso de textura fina a media en ocasiones bien masivas o foliadas. Estas incluyen cuerpos de anfibolitas de color verdoso y de textura de media a gruesa con minerales rojizos posiblemente granates, un análisis de contenido mineralógico presenta: magnesiohornblenda, ferroactinolita, albita y cuarzo. Los suelos desarrollados sobre estas rocas son arcillosos de color rojizo a amarillento y muy potentes.

C. Esquistos granatíferos (Peg). Compuesta por una serie de capas con distintos arreglos de esquistos fuertemente crenulados, cuarcitas, mármol y muy pocas capa de grafito y arcilla. Macroscópicamente se observan granates de hasta 3 cm de diámetro, mica blanca, cuarzo, feldespato, distena y clorita. La presencia de clorita es debido al metamorfismo retrogrado que sufrieron estas rocas durante la colisión de los bloques Maya y Chortís, durante el Cretácico Superior.

D. Gneis cuarzo – feldespático – biotita (Pgcfb). Machorro citado por Fuentes (9) menciona que esta unidad consiste de un gneis de grano grueso con capas de anfibolita interfoliada. Esta muestra una buena estratificación, debido generalmente a una alternancia de capas ricas milimétricas a centimétricas de espesor de mica biotita y gruesas bandas de cuarzo y feldespato de 3 mm a 2 cm de espesor, con gradación entre ellos. El carácter bien estratificado y los ligeros cambios texturales y composicionales frecuentes de capa a capa, sugieren que los gneis fueron originalmente sedimentos clásticos, probablemente grawacas y/o arcosas.

E. Gneis cuarzo-feldespato-microclina (Pgcfm). Unidad geológica ubicada en la parte alta de la cuenca, microscópicamente presenta cuarzo, feldespato y mica blanca dispuestas en bandas, conformando un excelente bandeo composicional de 0.2 a 1.0 cm, el tamaño de granos minerales oscila de 0.1 a 0.4 cm con textura media – gruesa. El análisis mineralógico presenta resultados de: cuarzo, alófana, albita, muscovita, biotita y microclina. La presencia del mineral alófana, se debe a la meteorización de los feldespatos.

Dentro de la unidad, ocurren cuerpos de roca que en superficie poseen aspecto elipsoidal de textura granoblástica con cristales tubulares de feldespatos de 1 a 3 cm de diámetro, esta unidad se observan pegmatitas metamórficas, que presentan minerales de cuarzo, feldespato y mica o solamente feldespato o cuarzo que se encuentran cortando la foliación y como rellenos de grietas de echelón. El gneis cuarzo – feldespático esta interestratificada con esquistos granatíferos constituyendo una estructura antiformal.

F. Gneis cuarzo-mica (Pgcm). Es unidad engloba una serie de rocas, determinando el contacto con la unidad Pcfb (no incluida en el estudio), la presencia de una capa de mármol que puede ser reconocida y localizada en el campo.

Después del mármol se encuentran rocas de gneis de cuarzo y mica. Estos poseen un bandeo milimétrico constituido por biotita y cuarzo. Los restantes cambios consisten en la presencia de esquistos moscovíticos con nódulos de feldespatos de 0.5 cm, los cuales forman una foliación anastomosada. Otras variaciones dentro de esta unidad, consisten de esquistos muscovíticos y cuarcitas interestratificadas.

G. Rocas volcánicas (Qtv). Su distribución es irregular, forman cuerpos dispersos, de color gris a claro, con textura afanítica, encontrándose en algunos afloramientos cristales de plagioclasa dentro de una matriz de

grano muy fino y con vacuolas formadas por el escape de los gases. Algunas de estas vacuolas están rellenas por calcita y zeolitas.

Existe variedad de tobas, tales como biotíticas, vitrocristalinas, silicificadas y líticas. La toba biotítica, macroscópicamente presenta cristales hexagonales de biotita, segmentados en una matriz de material piroclástico que presenta tonalidades blanquecinas, de grano fino a medio. Por otra parte la toba vitrocristalina se encuentra compacta y entre los minerales observados están, cuarzo, feldespato y biotita, sin una orientación preferencial y dentro de una matriz fina de color café a verdoso. La toba silicificada es compacta de gran dureza, puede corresponder a cierto efecto de fluidos hidrotermales que ascendieron a través de fallas, ya que se encuentran a lo largo de las traza de fallas locales que cortan estos depósitos.

Depósitos pomáceos de color blanco a rosado se encuentran cubriendo algunas zonas, estos incluyendo clastos de pómez en diferentes diámetros. Donde estos depósitos se encuentran meteorizados, se desarrollan suelos útiles para la agricultura.

H. Aluviones o coluviones (Qac). Los aluviones están restringidos a los bordes de las quebradas y ríos, constituidos por partículas centimétricas a métricas de los distintos tipos de roca que afloran en el área, su disposición es en forma horizontal, constituyendo terrazas útiles para la agricultura.

Los coluviones están constituidos por bloques métricos y decamétricos de peridotitas y rocas metamórficas que se encuentran dentro de una matriz areno – arcillosa de color rojizo a amarillento. Por sus dimensiones o constitución, se asume que proviene de un evento catastrófico ocurrido en el área.

Cuadro 3. Extensión de las Unidades Geológicas de la Subcuenca Río Belejeyá.

Geología	Extensión (ha)	%
Klc	15.732	00.45
Kps	1,477.608	41.78
Peg	526.924	14.90
Pgcfb	597.055	16.88
Pgcfm	502.463	14.21
Pgcm	249.054	07.04
Qac	105.868	02.99
Qtv	62.081	01.75
TOTAL	3,536.785	100.00

4.2.1.7. Suelos

De acuerdo a la primera aproximación al mapa de Clasificación Taxonómica de los Suelos de la República de Guatemala, a escala 1:250,000 elaborado por Ing. Agr. Hugo Tobías e Ing. Agr. Estuardo Lira con apoyo de la Unidad de Políticas e Información Estratégica (UPIE-MAGA), Programa de Emergencia por Desastres Naturales (MAGA-BID) para el año 2000. En la Subcuenca esta presente solo un suborden de suelos.

A. Orden entisol (ent). Suelos con poca o ninguna evidencia de desarrollo de su perfil y, por consiguiente, de los horizontes genéticos. El poco desarrollo es debido a condiciones extremas, tales como, el relieve (el cual incide en la erosión o, en su defecto, en la deposición superficial de materiales minerales y orgánicos) y, por otro lado, las condiciones como el exceso de agua. De acuerdo al relieve, estos suelos están presentes en áreas muy accidentadas (cimas de montañas y volcanes) o en partes planas.

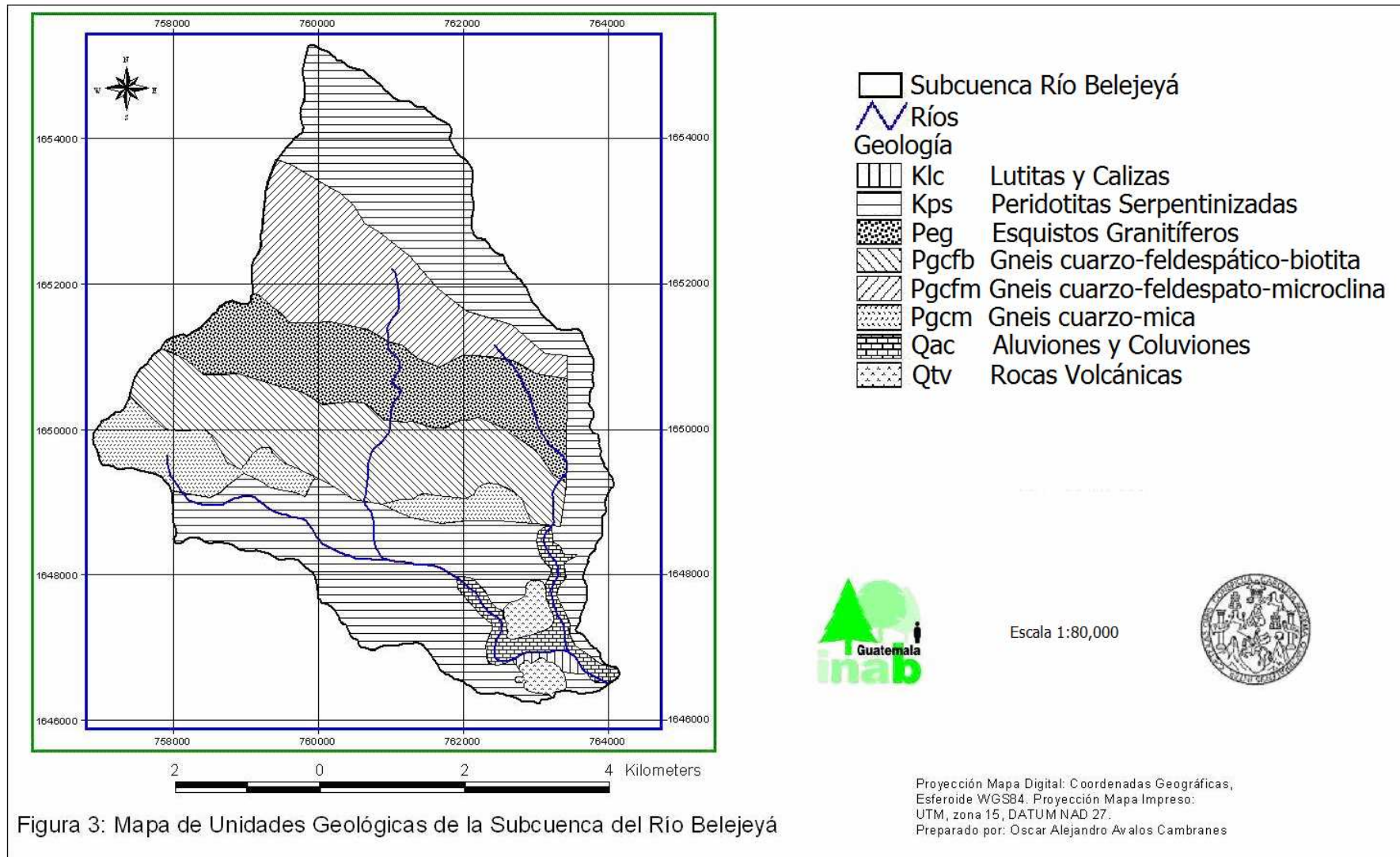


Figura 3: Mapa de Unidades Geológicas de la Subcuenca del Río Belejeyá

a. Suborden orthents (Eo). Suelos de profundidad variable, la mayoría son poco o muy poco profundos. Generalmente están ubicados en áreas de fuerte pendiente, existen también en áreas de pendiente moderada a suave, en donde se han originado a partir de deposiciones o coluviamientos gruesos y recientes.

Gran cantidad de Orthents en Guatemala, no son apropiados para actividades agrícolas, sobre todo cuando están en superficies inclinadas. Entre sus limitaciones están: la poca profundidad efectiva, en muchos casos la pedregosidad interna y los afloramientos rocosos. Si han perdido su cubierta natural, sus mejores usos serán para producción forestal o sistemas agroforestales.

4.2.1.8. Zonas de vida

Dentro de la subcuenca se encuentran tres zonas de vida importante, De la Cruz (5). A continuación se describen las que están presentes en el área de estudio.

A. Bosques húmedo montano bajo. bh – MB. La topografía y vegetación de esta zona de vida va, desde plana hasta accidentada, la elevación varía entre 1500 a 2400 msnm, la vegetación natural esta representada por rodales de *Quercus sp.* asociados con *Pinus pseudostrobus* y *Pinus montezumae*, *Alnus jorullensis*, *Ostrya sp.* y *Carpinus sp.*

B. Bosque húmedo subtropical templado. bh – S(t). La biotemperatura para esta zona de vida varía entre 20 y 26 °C, la precipitación oscila entre 1100 a 1349 mm, como promedio total anual. Los terrenos de esta zona son de relieve ondulado y accidentado, la elevación varia entre 650 a 1700 msnm, la vegetación esta constituida por: *Pinus oocarpa*, *Curatella aescutifolia*, *Quercus sp.* y *Byrsonima crassifolia*

C. Bosque húmedo subtropical templado. bh – S(t). La biotemperatura para esta zona de vida varía entre 20 y 26 °C, la precipitación oscila entre 1100 a 1349 mm, como promedio total anual. Los terrenos de esta zona son de relieve ondulado y accidentado, la elevación varía entre 650 a 1700 msnm, la vegetación está constituida por: *Pinus oocarpa*, *Curatella aescutifolia*, *Quercus sp.* y *Byrsonima crassifolia*.

D. Bosque seco subtropical. bs – S. Zona con condiciones climáticas caracterizadas por días claros y soleados, con precipitaciones entre 500 y 1,000 mm, con biotemperatura media anual entre 19 y 24 °C, la relación de evapotranspiración es alrededor de 1.5, la vegetación característica de la zona es: *Cochlospermum vitifolium*, *Switenia humilis*, *Alvaradoa amorphoides*, *Sabal mexicana*, *Phylocarpus septentrionalis*, *Ceiba aescutifolia*, *Albizzia caribaea* y *Leucaena guatemalensis*.

4.2.1.9. Hidrología

La subcuenca del Río Belejeyá pertenece a la cuenca del área de captación del Río Motagua, que drena a la vertiente del Caribe. El Río Motagua es límite entre los departamentos de Guatemala y Baja Verapaz; la subcuenca tiene varios afluentes, Ríos: Belejeyá, Chiul, Pachicaje, El Chaparro y Quebradas: Del Reguero, El Jute y San Diego.

5. OBJETIVOS

5.1. General.

- ◆ Determinar las principales áreas de recarga hídrica natural, de la subcuenca Río Belejeyá, del municipio de Granados, Baja Verapaz.

5.2. Específicos.

- ◆ Caracterizar y evaluar los factores hidrometeorológicos de precipitación pluvial, temperatura, evapotranspiración y caudales de ríos con aplicación a los recursos hídricos de la subcuenca.
- ◆ Estimar a través del balance hídrico de suelos la recarga hídrica natural de la subcuenca Río Belejeyá.
- ◆ Delimitar las áreas de mayor recarga hídrica de la subcuenca, para su planificación en el manejo de sus recursos forestales e hídricos.
- ◆ Priorizar áreas en función de la recarga hídrica y la regulación hidrológica a nivel de la subcuenca.

6. METODOLOGÍA

La metodología que se utilizó en el estudio se dividió en tres fases: Primera - Fase Gabinete Inicial, Segunda – Fase de campo-análisis y Tercera – Fase Gabinete Final.

6.1. Fase preliminar (gabinete inicial).

Para el cumplimiento de esta fase se desarrollaron las siguientes actividades:

Se recopiló información como mapa cartográfico (Escala 1:50,000), para la geología del área, se recopiló la información existente generada especialmente por Machorro, a escala 1:50,000 del año 2001. Fotografías aéreas (Escala 1:50,000, año 2,003); datos climáticos (INSIVUMEH e INAB) y mapa de cobertura forestal (1:50,000 año 2001; INAB, UVG, CONAP) (Figura 4), el análisis también incluye solo un suborden de suelos según la Clasificación Taxonómica de Suelos para el país.

Digitalización de la información de cartografía y se obtuvieron datos de superficie y con la sobreposición de estos se determinaron las unidades para desarrollar las pruebas de infiltración.

Recopilación y ordenamiento de la información climática de las 3 estaciones ubicadas en el área de estudio (Instituto Nacional de Sismología, Vulcanología, Meteorología e Hidrología INSIVUMEH y del Instituto Nacional de Bosques INAB). Las estaciones de INAB se instalaron para realizar dicho estudio.

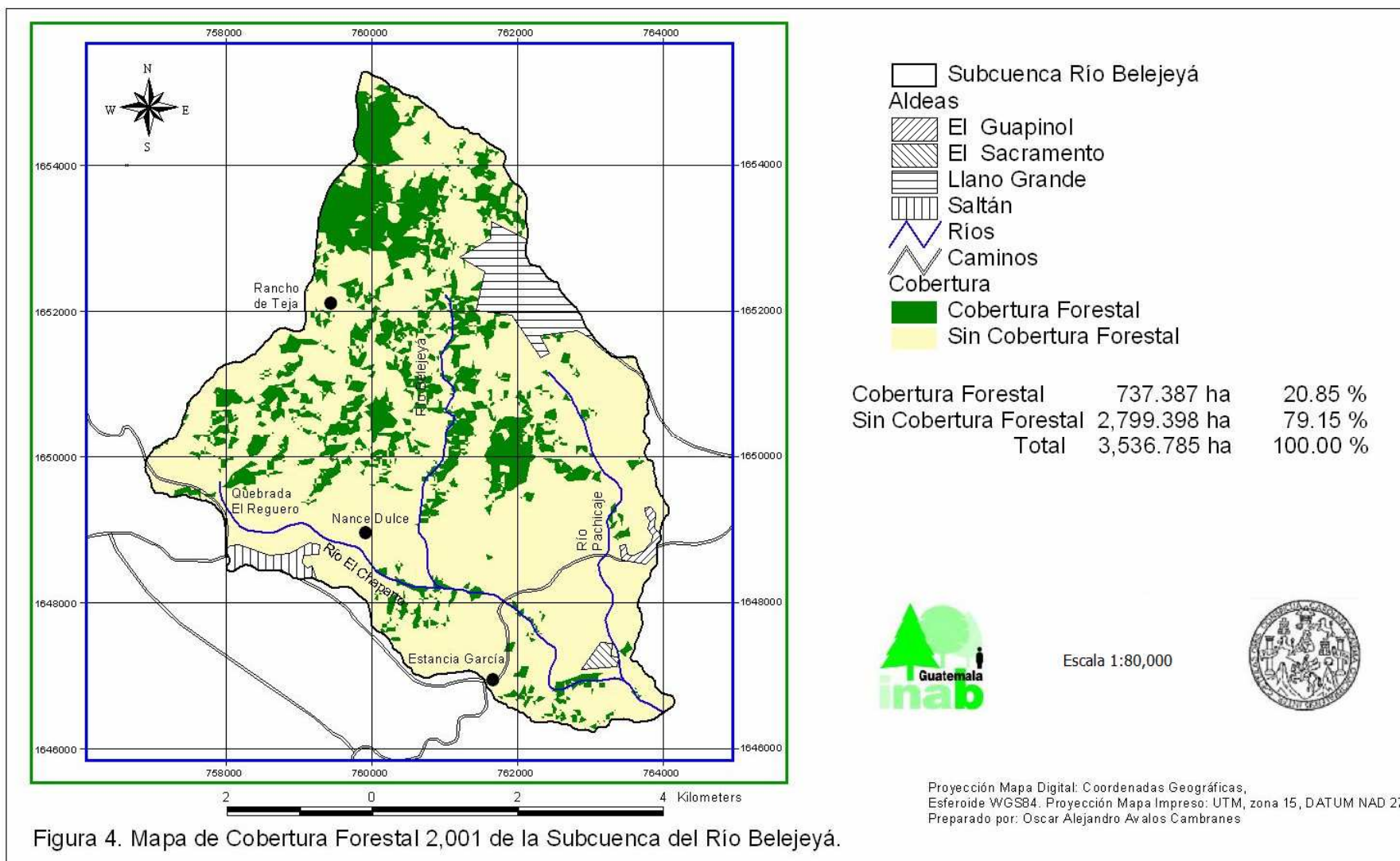


Figura 4. Mapa de Cobertura Forestal 2,001 de la Subcuenca del Río Belejeyá.

6.2. Fase de campo

Se realizaron actividades de campo, como: inspecciones mensuales para verificar toma de datos climáticos, medición de caudales, elaboración de pruebas de infiltración, también se verificaron áreas para conocer su uso actual de la tierra, todo esto se realizó a través de caminamientos y recorridos en el área de estudio.

Las pruebas de infiltración se realizaron durante el año 2,005 debido al acceso limitado y la medición de caudales se realizó en la época seca (abril 2,005), en la toma de caudales se utilizaron flotadores, debido a que se reducen mucho los caudales debido al uso intensivo del agua principalmente para riego por lo tanto el molinete de copas disponibles no funcionaba para esos caudales.

6.2.1. Información geológica

Se obtuvo la información generada por Machorro, 2001; estos datos son de la hoja cartográfica de Granados que incluye en su totalidad el área de estudio; consta de un mapa geológico del área (actualizado y a nivel de detalle, escala 1:50,000 a color).

6.2.2. Información climática

Se observaron y revisaron el funcionamiento de los aparatos de las estaciones meteorológicas (pluviómetros y termómetros de máximas y mínimas) ubicadas en el Cerro Tuncaj, la primera estación -Don Pedro- se encuentra localizada en el Caserío Tuncaj, Aldea Pachojob; la segunda se encuentra en la Finca Medio Monte, Saltán; ambas del INAB y se recolectó información de la estación Concuá del INSIVUMEH.

Cuadro 4. Ubicación de las estaciones climáticas del área de estudio para los años 2003 – 2005.

Estación	Coordenadas UTM		Altitud (msnm)	Municipio
	X	Y		
Don Pedro	0756139	1657704	2,111	Cubulco
Medio Monte	0757276	1654719	1,609	Granados
Concuá	0760336	1645196	607	

Elaboración Propia.

Se obtuvieron datos de precipitación de las estaciones meteorológicas reconocidas, tales como el INSIVUMEH (Concuá de Baja Verapaz) e INAB (Don Pedro, Cubulco y Medio Monte, Granados, ambas en Baja Verapaz), para las estaciones colocadas por INAB los datos se obtuvieron diarios, a una hora definida, responsable y dos años de registro. Para la estación Concuá se cuenta con datos solamente de precipitación. Para determinar el área de influencia de las estaciones meteorológicas, se realizó a través del método de Isoyetas, porque se obtienen datos satisfactorios a diferentes altitudes y por la variación de relieve.

Este método contempla la variación altitudinal, lo cual es característico del área, además que anteriormente no se contaban con datos de las partes altas, solamente existía información de las partes bajas de la zona: Río Motagua (Concuá), Rabinal y Cubulco; los cuales al utilizarlos se obtendrían resultados que no son representativos para las partes altas; teniendo ahora datos puntuales del área se utilizaron los respectivos datos para cada prueba de infiltración y su posterior análisis de balance hídrico de suelos.

Se realizaron las pruebas de infiltración en cada unidad de muestreo, estas unidades de muestreo se determinaron a partir de la geología del área principalmente ya que para el área existe información muy precisa que es muy escasa para el país; para información edáfica solo se cuenta con una Suborden de Suelos y para finalizar la última capa fue la cobertura forestal escala 1:50,000 de año 2001. La cobertura forestal se corroboró con inspecciones de campo.

También se tomaron muestras de suelo para determinar a través de análisis de laboratorio, las constantes de humedad: capacidad de campo, punto de marchitez permanente y densidad aparente.

6.2.3. Análisis de la información recopilada

Se ordenaron los datos provenientes de las estaciones meteorológicas, se analizaron y se realizó la tabulación de los mismos. Las estaciones del INAB cuentan con datos de dos años (mayo 2,003 – abril 2,005).

Se estimó la evapotranspiración por el método de Hargreaves con los valores de temperatura media, se realizaron cálculos para isolíneas (precipitación, temperaturas: máxima y mínima), para el área de estudio.

Se calculó el balance hídrico de suelos de acuerdo con los resultados de precipitación, tipo de cobertura, profundidad de raíces, valor de infiltración, capacidad de campo y punto de marchitez permanente, pendiente, textura y densidad aparente de suelos y se determinó la cantidad de recarga por precipitación de la Subcuenca del Río Belejeyá.

6.2.4. Identificación y mapeo de áreas de recarga hídrica

Para la identificación de las zonas de recarga hídrica se consideró análisis con las principales variables que definen la misma, obteniendo las unidades de mapeo; se inició con la delimitación y ubicación de la subcuenca hidrográfica, luego se utilizaron mapas fundamentales, que fueron:

- Mapa de Geología, escala 1:50,000.
- Mapa de Cobertura Forestal, 2001, escala 1:50,000.

- Mapa Taxonomía de Suelos 1:250,000.
- Se realizó el análisis de los datos de precipitación para elaborar isolíneas de precipitación, temperaturas (máxima, mínima y media).

La delimitación de las unidades de mapeo para identificar las áreas de recarga, se hizo lo siguiente.

Digitalización del mapa geológico de la subcuenca, el mapa geológico nos describe el material parental de la subcuenca con el cual podemos definir que de acuerdo a su composición si existen acuíferos o manantiales.

Los suelos es otro factor importante para conocer la recarga hídrica natural de la subcuencas por lo cual se utilizó el mapa digital de taxonomía de suelos, este describe las características principales; además que se colectó una muestra de suelo por cada prueba de infiltración para análisis de laboratorio y obtener datos de densidad, textura, capacidad de campo y punto de marchitez permanente; la subcuenca incluye solo un Suborden de suelos (Orthents Eo).

Como se tiene solamente un suborden de suelos se procedió a traslapar (con la ayuda de un SIG), el mapa de Cobertura Forestal; la cobertura es un factor importante para el cálculo de la recarga hídrica, ya que de acuerdo al tipo de cobertura en este caso vegetal hay diferentes demandas hídricas.

Por lo tanto de estas combinaciones se obtuvo el mapa final de unidades para realizar las pruebas de infiltración por el Método de Porchet.

En el área existen datos de varias estaciones meteorológicas (Rabinal, Cubulco y Concuá en Granados, B. V.) del INSIVMEH y Don Pedro (Cubulco) y Medio Monte (Granados) de INAB. Con la ubicación de cada una de ellas se procedió a priorizar cuales son las que tuvieron influencia sobre la subcuenca, para este caso solo se usaron: las estaciones Concuá, Don Pedro y Medio Monte; las otras no tienen influencia en el área, los datos de las mismas se describieron anteriormente.

Con estos datos climáticos se procedió a la elaboración de isolíneas de precipitación (isoyetas) y se calculó de temperatura media a partir de las temperaturas máximas y mínimas; esto con el objeto de poder utilizar y asignar datos climáticos correspondientes a cada unidad de mapeo de acuerdo a su altitud y para el respectivo cálculo del balance hídrico de suelos.

Cuadro 5. Unidades de Mapeo de la Subcuenca Río Belejeyá, realizados en la fase de gabinete durante el año 2004.

Numero	Geología	Cobertura	Suborden de Suelos
1	Klc (lutitas y calizas)	Cultivo	Orthents (Eo)
2	Kps (peridotitas serpentinizadas, peridotitas, anfibolitas, pillow lavas y chert)	Cultivo	
3		Bosque	
4	Peg (esquistos granitíferos)	Cultivo	
5		Bosque	
6	Pgcfb (gneis cuarzo – feldespato – biotita)	Cultivo	
7		Bosque	
8	Pgcfm (gneis cuarzo – feldespato – microclina)	Cultivo	
9		Bosque	
10	Pgcm (gneis – cuarzo – mica)	Cultivo	
11		Bosque	
12	Qac (aluviones y coluviones)	Cultivo	
13	Qtv (coladas basálticas, andesíticas, tobas e igninbritas)	Cultivo	

6.2.5. Aforos diferenciales

Para conocer los aportes o pérdidas en el sistema; fue necesario aforar varios tramos de los ríos de la subcuenca, estos se hicieron en la época de estiaje (abril), ya que en el área existe un problema en donde las comunidades relacionan la reducción de sus caudales en sus fuentes de agua y ríos con la actividades de manejo forestal en años anteriores.

Se hizo a través del método sección – velocidad, el cual consistió en buscar un trayecto del río lo más recto posible y sin obstáculos. Consistió en calcular la velocidad del agua del río, esto se obtuvo a través del tiempo que se tardó en recorrer el flotador en una longitud del cauce, se tomaron diez lecturas luego se promediaron, la fórmula es:

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

El cálculo del área de la sección del río se hizo según la fórmula propuesta por Herrera (2,002).

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

Donde:

- A_i: Área parcial de cualquier tramo del río.
- a: Profundidad al inicio del tramo.
- b: Profundidad al final del tramo.
- L: Ancho del tramo.

La sección del río (A) o el área, se obtuvo de acuerdo a:

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

Y por último el caudal del río (Q) mediante la siguiente fórmula:

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

6.3. Fase gabinete final

6.3.1. Determinación de la precipitación efectiva

La ecuación de precipitación efectiva, según Schosinsky & Losilla (2000), citado por INAB – FAUSAC (14), es la siguiente: $P_{ef} = (1 - K_i) \times C_i \times P$

Donde:

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

K_i = Valor de retención vegetal (hojas). 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.

C_i = Coeficiente de infiltración ($K_{fc} + K_p + K_v$)

P = Precipitación mensual

Para el cálculo de la precipitación efectiva es importante que se consideren tres aspectos importantes como lo son: la relación que existe entre la infiltración y la precipitación K_{fc} es decir la precipitación que infiltra por efecto del suelo.

La fracción que infiltra por el efecto de la pendiente es la relación entre la infiltración y la pendiente del terreno K_p y por último el efecto de la cobertura K_v que es la relación entre la infiltración y el tipo de cobertura vegetal.

La sumatoria de todos los valores de estas variables proporcionó el coeficiente de infiltración, este resultado es para determinado suelo y la capacidad de infiltración del mismo: $C_i = K_{fc} + K_p + K_v$.

6.3.2. Relación entre infiltración del agua en suelos y la intensidad de lluvia (K_{fc})

La ecuación que relaciona la capacidad de infiltración de agua en el suelo (infiltración básica – f_c) con la intensidad de lluvia generada por Schosinsky y Losilla (28) es la siguiente:

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

Donde:

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

\ln = Logaritmo natural

f_c = Valor de infiltración básica en mm/h

Para que la fórmula anterior se pueda utilizar debe tomarse un rango de funcionamiento de $16 \leq f_c \leq 1,568$.

Para un valor de f_c de 16, $K_{fc} = 0.018$; los valores son negativos, para lo cual valores de f_c menores de 16 se utiliza la fórmula siguiente: $K_{fc} = 0.0148 (f_c / 16)$.

Valores mayores de 1,568 el K_{fc} será inicialmente mayor 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 para valores de f_c mayores de 1,568, $K_{fc} = 1$.

6.3.3. Factor de pendiente del terreno (Kp)

Los valores de este factor propuestos por Schosinsky & Losilla (28), citado por FAUSAC – INAB (14), se presentan en el cuadro 6.

Cuadro 6. Valores de coeficientes (Kp) según valores de pendientes.

Valor de pendiente	Coficiente (Kp) propuesto
Muy plana (0.02-0.06%)	0.30
Plana (0.3-0.4%)	0.20
Algo plana (1-2%)	0.15
Promedio (2-7%)	0.10
Fuerte (>7%)	0.06

Para todas las unidades de mapeo, se toma la pendiente la cual fue mayor al 7%, así que usamos el valor de pendiente fuerte = 0.06.

6.3.4. Factor de cobertura vegetal del terreno (Kv)

En este factor y dependiendo de la cobertura vegetal del terreno, los valores que se asignan según el método propuesto por Schosinsky & Losilla (28), citado por FAUSAC – INAB (14); se presentan en cuadro 7.

Cuadro 7. Valores de coeficientes (Kv) según tipo de cobertura vegetal.

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

La cobertura vegetal de las unidades de muestreo de acuerdo al mapa de cobertura forestal 2,001 las dos categorías son con cobertura forestal y sin cobertura forestal, por lo que en el campo se verificaron los datos de cada área y para relacionarla con los datos de Kv.

6.3.5. Cálculo de la recarga hídrica natural

Para realizar el cálculo de recarga hídrica del área de estudio, se contó con la información siguiente:

- Precipitación pluvial y efectiva.
- Evapotranspiración potencial y real
- Tipo definido de cobertura vegetal.
- Lámina de humedad del suelo (en base a constantes de humedad).

Para este cálculo se utilizó la siguiente ecuación: $R_h = P_{ef} + H_{IS} - H_{FS} - ETR$.

Donde:

- RH: Recarga hídrica.
- Pef: Precipitación efectiva.
- HIS: Humedad inicial en el suelo.
- HFS: Humedad final en el suelo.
- ETR: Evapotranspiración real.

6.3.6. Determinación de la evapotranspiración potencial y real

Para el cálculo de la evapotranspiración se utilizó el método de Hargreaves por los datos disponibles en la subcuenca, con los resultados obtenidos se realizaron los cálculos para cada prueba de infiltración realizada.

La evapotranspiración depende de factores muy variables como el contenido de humedad en el suelo y el desarrollo vegetal en la planta los cuales son muy difíciles de medir, Hargreaves es un método práctico y confiable, además que es un método que se diseñó para la región centroamericana y su ecuación es:

$$ETP = 0.0075 * TMF * RSM$$

Donde:

ETP: Evapotranspiración en mm/mes.

TMF: Temperatura media mensual en grados Fahrenheit.

RSM: Radiación solar incidente mensual.

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

Donde:

RMM: Radiación mensual extraterrestre en mm/mes

S: Brillo medio mensual (%)

$$RMM = RS * \text{No. de días al mes}$$

Donde:

RS: Radiación solar (Cuadro 8).

Cuadro 8. Radiación solar extraterrestre, RMM, expresada en evaporación equivalente a mm/día para los meses del año de acuerdo a Herrera, I. 1995.

LATITUD	Norte	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
	14	12.4	13.6	14.9	15.7	15.9	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

Para el país que se ubica en Latitud Norte 15, hay que hacer cálculos utilizando Latitud Norte 14 y 16.

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

Donde:

Ks: Constante igual a 12.5 (Para región Centroamericana)

HR: Humedad relativa media en %.

Esta ecuación se utiliza cuando se tienen datos de humedad media, en nuestro caso no se cuenta con ese tipo de información por lo que se calculó a partir del Cuadro 9.

Cuadro 9. Duración máxima media diaria de horas de brillo solar para diferentes meses del año en latitud 15° Norte, de acuerdo a Herrera, I. 1995.

LATITUD	Norte	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
	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

Para este dato de la tabla se tiene directo ya que el país esta en latitud norte 15°.

6.3.7. Determinación de la infiltración básica

La metodología INAB – FAUSAC (14); recomienda el método de Porchet en cada una de las pruebas, el cual es descrito en Custodio y Llamas (6) por considerarse de buen grado de precisión y por su versatilidad en el campo como se mencionó anteriormente.

Estos resultados se obtuvieron a partir de la información recopilada en el campo a través de la pruebas de infiltración, estos fueron ingresados a la hoja electrónica Excel y se ingresaron los datos de profundidad total

del agujero, ancho del agujero, el intervalo de tiempo de medición y el tiempo acumulado para obtener la velocidad de infiltración la cual se utilizó para obtener el balance hídrico de suelo de cada unidad de mapeo.

6.3.8. Determinación de las zonas de mayor recarga hídrica natural

Una de las últimas etapas de la fase de gabinete final es la identificación de aquellas áreas que más aportan al sistema en lámina de agua, para esta clasificación se utilizó en criterio cuantitativo propuesto por Herrera (11), esta clasificación se basa en la lámina de agua que aporta al sistema cada unidad muestreada.

Cuadro 10. Clasificación de las zonas de mayor recarga hídrica natural por medio de la lámina de recarga anual, Herrera (11).

Rango (mm/año)	Criterio	Volumen (m ³ /ha/año)
> 862.5	Muy Alta	> 8,625
575 – 862.5	Alta	5,750 – 8,625
287.5 – 575	Media	2,875 – 5,750
< 287.5	Baja	< 2,875

6.3.9. Cálculo del balance hídrico de suelos

Este dato se obtuvo a partir de la siguiente ecuación: $P_p = ETR + Esc + Ret + Rec$

Donde:

P_p: Precipitación pluvial (mm).

ETR: Evaporación real (mm).

Esc: Escorrentía superficial (mm).

Ret: Retención vegetal (mm).

Rec: Recarga hídrica (mm).

En donde hay que calcular la escorrentía superficial utilizando la ecuación:

$$\text{Escorrentía} = \text{Precipitación} - \text{Retención} - \text{Precipitación efectiva.}$$

Los cálculos de recarga se realizaron en Excel, en la cual se introdujeron las variables de características físicas del suelo (capacidad de infiltración, densidad aparente), grados de humedad (capacidad de campo y punto de marchitez permanente), estos resultados se obtuvieron en el Laboratorio de Suelo – Agua - Planta de la Facultad de Agronomía de la Universidad de San Carlos y clima (precipitación y evapotranspiración). Con esta información se calculó la recarga potencial de la unidad en lámina de agua.

6.3.10. Elaboración del mapa de recarga hídrica natural

Se elaboró por medio del Programa Arc View 3.2, con los resultados de recarga hídrica y balance hídrico de suelos de la Subcuenca, en la tabla de atributos que incluye toda la información del mapeo del estudio (geología, suelos, cobertura forestal, unidad de mapeo, recarga hídrica natural (lámina y volumen)).

6.3.11. Áreas críticas de recarga hídrica natural

Son aquellas áreas que por sus características específicas, se consideran susceptibles a disminuir su recarga potencial al ser sometidas a un manejo inadecuado, éstas se determinaron a partir de las áreas principales de recarga hídrica natural. Las áreas críticas deben ser objeto de un manejo especial que permita mantener y/o manejar sus características, Padilla (25).

Las áreas críticas se podrán reconocer considerando básicamente los siguientes aspectos: geología, infiltración básica, recarga anual (lámina anual) y pendiente. Para cada uno de estos aspectos se utilizan criterios o categorías a las cuales se les asignó un valor específico. En los siguientes cuadros se detallan las categorías para cada uno de los aspectos a considerar propuesto por Padilla (25).

Cuadro 11. Matriz de criterios en base a las características geológicas de cada unidad de mapeo de la subcuenca.

Geología	Código
Rocas ígneas o metamórficas no fracturadas	0
Rocas ígneas o metamórficas fracturadas	1
Arenas finas, basaltos permeables, karst	2
Arenas gruesas y gravas	3

Cuadro 12. Matriz de criterios de infiltración básica en cm/hora para cada unidad de mapeo de la subcuenca.

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

Cuadro 13. Matriz de criterios de recarga anual en lámina y volumen para cada unidad de mapeo de la subcuenca.

Recarga anual (mm/año)	Volumen (m³/ha/año)	Código
0 – 50	0 – 500	0
50 – 100	500 – 1,000	1
100 – 150	1,000 – 1,500	2
150 – 200	1,500 – 2,000	3
> 200	> 2,000	4

Cuadro 14. Matriz de criterios de pendiente en porcentaje para cada unidad de mapeo de la subcuenca.

Pendiente en %	Código
0 – 12	0
12 – 26	1
26 – 36	2
36 – 55	3
> 55	4

La Metodología INAB – FAUSAC (14), establece que las áreas deberán ser evaluadas en cada uno de los aspectos y luego la sumatoria de todos los códigos dará como resultado la categoría en la que se ubica, cuadro 15.

Cuadro 15. Criterio de susceptibilidad para la determinación de áreas de recarga hídrica natural para cada unidad de mapeo de la subcuenca.

Categoría	Código
Baja	0 – 5
Moderada	6 – 9
Alto	10 – 12
Muy alto	13 – 14

Con los resultados de este análisis también se realizó un mapa usando el Programa Arc View 3.2, todas las variables analizadas se agregaron a la tabla de atributos que incluye toda la información de la cartografía del estudio de la Subcuenca del río Belejeyá.

7. RESULTADOS

7.1. Unidades de mapeo

De acuerdo al análisis para las unidades de mapeo en base a Geología, Taxonomía de Suelos y Cobertura Vegetal, se realizaron 17 pruebas de infiltración las cuales se presentan en el cuadro 16.

Cuadro 16. Ubicación de las pruebas de infiltración realizadas en la subcuenca del río Belejeyá, de acuerdo al análisis realizado en la fase de gabinete en el año 2004.

PI	X	Y	Aldea	Altitud (msnm)	USO ACTUAL
1	759995	1655055	Cima Cerro Tuncaj	2,426	Reforestación Pino
2	760374	1653128	Llano Grande	1,669	Bosque (Encino)
3	761201	1652800	Llano Grande	1,650	Bosque (Pino)
4	761505	1652739	Llano Grande	1,633	Pasto
5	763345	1648333	Guapinol	869	Pasto
6	763639	1647691	Guapinol	781	Guamil
7	757801	1649689	Saltán	1,118	Bosque (Encino)
8	757772	1649514	Saltán	1,068	Pasto
9	761314	1649568	Saltán	1,175	Bosque (Encino)
10	761467	1650686	Saltán	1,277	Bosque (Pino)
11	761680	1651499	Saltán	1,522	Pasto
12	761488	1649150	Saltán	1,026	Cultivo (Sorgo)
13	761619	1648526	Saltán	879	Bosque (Latifoliado)
14	761781	1647370	Guapinol	813	Bosque (Latifoliado)
15	762692	1647547	Sacramento	733	Bosque (Pino)
16	758119	1651098	Saltan	1,389	Pasto
17	763496	1646821	Sacramento	607	Cultivo (Maíz)

El cuadro 17 nos indica la extensión de cada unidad de mapeo de acuerdo a las variables geológicas y cobertura vegetal, así como su ubicación y el número de prueba de infiltración realizada.

Cuadro 17. Extensión de las unidades de mapeo de acuerdo a la geología y su cobertura vegetal y no. de prueba de infiltración.

Unidad de Mapeo	Geología	Cobertura	Área (ha)	Total (ha)	%	PI
1	Klc	Forestal	2.752	15.732	0.44	17
		S/Cob For	12.980			
2	Kps	Forestal	236.313	1,477.608	41.78	1
						3
3						13
						14
4	Peg	Forestal	143.336	526.924	14.90	4
		S/Cob For	383.588			6
5	Pgcfb	Forestal	146.722	597.055	16.88	10
		S/Cob For	450.333			16
6	Pgcfm	Forestal	175.580	502.463	14.21	9
		S/Cob For	326.883			12
7	Pgcm	Forestal	22.217	249.054	7.04	2
		S/Cob For	226.837			11
8	Qac	Forestal	8.955	105.868	2.99	7
		S/Cob For	96.913			8
9	Qtv	Forestal	1.512	62.080	1.75	5
		S/Cob For	60.569			15
		Total	3536.785	3536.785	100.00	

Para la cobertura forestal combinada con geologías Klv, Qac y Qtv, presentan extensiones pequeñas y su porcentaje de cobertura con respecto a la extensión total es de 0.0778 (2.752 ha), 0.2532 (8.955 ha) y 0.0427 (1.512 ha) respectivamente, por lo tanto a esas áreas no se le realizaron pruebas de infiltración; para la geología Kps que es la mayor unidad y que su extensión abarca desde la parte más alta de la subcuenca que es la cima del Cerro Tuncaj hasta Río Motagua en la Finca La Vega debido a su gran superficie y distribución altitudinal se hicieron varias pruebas de infiltración a diferente altitud que incluyó un análisis fisiográfico Cima, Ladera y Planicie.

7.2. Información climática

Se analizó toda la información recopilada principalmente la climática, la cual se cálculo para cada prueba de infiltración, esto se hizo para que cada análisis de balance hídrico de las unidades se le asignara su valor respectivo (precipitación y temperatura) de acuerdo a su altitud. Para la parte baja de la subcuenca se utilizaron los datos de la estación Concuá del INSIVUMEN, la misma solo cuenta con datos históricos de una década de precipitación y días de lluvia, los cuales se presentan en los cuadros 18 y 19 respectivamente. Además se utilizaron los datos de las estaciones climáticas del Instituto Nacional de Bosques, las cuales se establecieron para dicho estudio, los datos se presentan en los cuadros 20, 21, 22 y 23.

Cuadro 18. Precipitación pluvial promedio mensual (mm) de la estación Concuá de INSIVUMEH, para los años 1968 -1977.

Año	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Total
1,968					153.8	470.7	15.3	80.8	425.4	217.6	29.6	17.8	1,411.0
1,969	1.4	3.9	10.0	17.9	156.6	350.9	296.0	364.9	298.3	255.3	5.0	0.5	1,760.7
1,970	10.0	0.0	56.1	7.9	80.6	153.0	383.5	223.1	259.6	161.8	1.5	1.5	1,338.6
1,971	0.0	2.4	0.0	15.6	67.6	129.7	153.0	373.0	248.3	301.2	17.6	3.8	1,312.2
1,972	6.0	1.4	5.8	17.1	87.0	165.6	299.4	92.0	23.6	69.7	3.6	0.8	772.0
1,973	0.0	0.0	0.0	0.0	159.0	165.4	100.2	703.6	90.6	219.8	18.0	3.3	1,459.9
1,974	0.0	0.0	11.8	0.4	62.3	170.7	40.2	44.3	109.8	40.2	0.0	0.0	479.7
1,975	0.0	0.0	0.0	0.0	102.6	7	70.0	262.0	62.4	189.9	8.5	-	702.4
1,976	-	-	113.0	18.06	30.9	165.6	48.1	60.0	69.6	110.8	0.0	0.0	616.6
1,977	-	-	71.0	34.2	16.4	132.	-	60.6	212.5	-	-	-	526.8

Cuadro 19. Días de lluvia de la estación Concuá de INSIVUMEH, para los años 1968 - 1977.

Año	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Total
1,968					09	17	02	06	29	22	19	04	108
1,969	01	01	03	05	15	22	19	23	22	16	05	01	133
1,970	01	00	03	03	07	13	20	20	25	16	01	02	111
1,971	00	02	00	03	16	15	13	19	23	17	03	02	113
1,972	02	01	01	02	07	24	12	13	12	13	03	02	92
1,973	00	00	00	00	06	11	06	09	08	22	08	01	71
1,974	00	00	03	01	09	13	09	04	11	03	00	00	53
1,975	00	00	00	00	08	01	02	09	06	08	02	-	36
1,976	-	-	10	02	04	11	06	03	05	02	00	00	43
1,977	-	-	04	04	03	04	-	02	07	-	-	-	24

Con los datos de la estación Concuá se elaboraron las isoyetas de la parte baja a la parte media de la subcuenca, no se tienen datos reportados de temperaturas.

Cuadro 20. Precipitación pluvial mensual (mm) de las estaciones del Instituto Nacional de Bosques en el Cerro Tuncaj para los años 2003 - 2005.

DON PEDRO														
Año	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Año	Ene	Feb	Mar	Abril	Total
2,003	282.2	370.2	215.2	141.6	325.9	141.4	126.4	11.8	2,004	29.3	8.1	33.9	29.2	1,715.2
2,004	217.6	375.5	243.5	92.7	303.9	340.2	86.4	26.0	2,005	26.1	6.8	52.1	38.2	1,809.0
Prom	249.9	372.9	229.4	117.2	314.9	240.8	106.4	18.9		27.7	7.4	43.0	33.7	
MEDIO MONTE														
Año	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Año	Ene	Feb	Mar	Abril	Total
2,003	142.2	420.6	248.7	46.7	332.2	76.0	39.8	0.0	2,004	5.5	1.8	48.3	30.0	1,391.8
2,004	187.0	507.2	224.1	73.5	224.5	377.0	16.5	4.0	2,005	8.0	4.5	0	0	1,626.3
Prom	164.6	463.9	236.4	60.1	278.4	226.5	28.2	2.0		13.5	6.3	24.1	15.0	

Con los datos de precipitación de las 3 estaciones se elaboraron las isoyetas, los resultados de precipitación anual entre las estaciones Concuá y Medio Monte es de 38 a 43 mm por cada 100 metros de diferencia altitudinal y para las estaciones Medio Monte y Tuncaj es de 49 a 51 mm por cada 100 metros de diferencia altitudinal.

Cuadro 21. Días de Lluvia de las estaciones del Instituto Nacional de Bosques en el Cerro Tuncaj, para los años 2003 - 2005.

DON PEDRO														
Año	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Año	Ene	Feb	Mar	Abril	Total
2,003	19	30	25	23	25	20	19	04	2,004	10	03	10	04	192
2,004	24	21	20	15	22	20	12	11	2,005	07	03	06	07	168
MEDIO MONTE														
Año	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Año	Ene	Feb	Mar	Abril	Total
2,003	15	20	12	09	18	12	07	0	2,004	02	01	07	01	104
2,004	10	10	12	04	11	09	04	02	2,005	04	03	00	00	69

En el cuadro 21 se establece cual es la distribución de las lluvias, los valores promedios para la estaciones son Don Pedro 180 días, Medio Monte 86 días y Concuá 79 días, lo cual indica que esta mejor distribuida en el año la precipitación anual en la parte alta que en la parte media y baja de la subcuenca.

Cuadro 22. Datos de temperaturas (máxima, mínima y media) mensual (°C) de la estación Don Pedro del Instituto Nacional de Bosques en el Cerro Tuncaj para los años 2003 - 2005.

DON PEDRO Temperatura Máxima														
Año	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Año	Ene	Feb	Mar	Abril	Prom
2,003	24.35	21.97	21.71	23.32	25.57	22.74	21.2	20.1	2,004	20.55	23.66	21.97	24.07	22.6
2,004	20.97	21.23	20.84	23.74	23.6	23.61	22.87	22.68	2,005	25.42	25.25	26.9	26.53	23.6
Prom	22.66	21.6	21.28	23.53	24.59	23.18	22.04	21.39		22.99	24.46	24.44	25.3	
DON PEDRO Temperatura Mínima														
Año	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Año	Ene	Feb	Mar	Abril	Total
2,003	13	13.5	12.42	11.87	12.3	12.61	11.4	8.23	2,004	8.84	8.55	10.03	10.13	11.07
2,004	12.26	11.93	11.26	11.42	11.53	11.29	9.93	8.29	2,005	6.84	7.61	10.16	10.87	10.28
Prom	12.63	12.72	11.84	11.65	11.92	11.92	10.67	8.26		7.84	8.08	10.1	10.5	
DON PEDRO Temperatura Media														
Año	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Año	Ene	Feb	Mar	Abril	Total
2,003	18.68	17.74	17.07	17.6	18.94	17.68	16.3	14.17	2,004	14.7	16.11	16	17.1	16.84
2,004	16.62	16.58	16.05	17.58	17.57	17.45	16.4	15.49	2,005	16.13	16.43	18.53	18.7	16.96
Prom	17.65	17.16	16.56	17.59	18.25	17.56	16.35	14.83		15.41	16.27	17.27	17.9	

Cuadro 23. Datos de temperaturas (máxima, mínima y media) Mensual (°C) de la estación Medio Monte del Instituto Nacional de Bosques en el Cerro Tuncaj.

MEDIO MONTE Temperatura Máxima														
Año	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Año	Ene	Feb	Mar	Abril	Prom
2,003	30.32	27.67	26.65	28.29	28.13	26.55	26.53	26.7	2,004	27.61	28.97	28.71	29.23	27.95
2,004	26.6	25.77	23.19	27.48	25.33	24.2	24.7	24.53	2,005	18.23	20.64	22.06	27.7	24.2
Prom	28.46	26.72	24.92	27.89	26.73	25.38	25.62	25.64		22.92	20.84	25.38	28.46	
MEDIO MONTE Temperatura Mínima														
Año	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Año	Ene	Feb	Mar	Abril	Total
2,003	16.06	16.37	16	17.84	16.87	17.1	15.97	18.48	2,004	17.71	18.59	16.71	22.23	17.49
2,004	18.07	19.83	16.65	16.32	15.23	13.9	15.9	16.07	2,005	14.61	15.64	16.42	18.7	16.45
Prom	17.07	18.1	16.33	17.08	16.05	15.5	15.94	17.28		16.16	17.11	16.56	20.46	
MEDIO MONTE Temperatura Media														
Año	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Año	Ene	Feb	Mar	Abril	Total
2,003	23.19	22.02	21.33	23.07	22.5	21.83	21.25	22.59	2,004	22.66	23.78	22.71	25.73	22.72
2,004	22.34	22.8	19.92	21.9	20.28	19.05	20.3	20.3	2,005	16.42	18.14	19.24	23.2	20.32
Prom	22.76	22.41	20.62	22.48	21.39	20.44	20.78	21.45		19.54	20.96	20.97	24.46	

Los valores de temperatura media (cuadro 22 y 23) son el promedio de la temperatura máxima y la mínima de cada estación. Con los datos de las 2 estaciones se establece la variación de la temperatura a diferentes alturas la cual es: Temperatura Máxima: 0.63 °C / 100 msnm; Temperatura Mínima: 1.99 °C / 100 msnm y Temperatura Media 0.92 °C / 100 msnm. Este cambio de temperatura se reduce al aumentar la altitud.

Con los datos ordenados por año hidrológico se elaboraron los cálculos para la elaboración de las isoyetas (cuadro 24) e isotermas (cuadro 25) de la subcuenca, para representarlos de forma cartográfica (Figura 5 y 6).

Cuadro 24. Datos de precipitación (mm) de acuerdo al cálculo de isoyetas.

Altitud	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	Total Anual
2400	299.16	316.43	225.00	149.98	335.94	249.04	151.46	28.64	39.75	10.33	53.84	44.48	1904.05
2300	282.15	334.57	226.40	138.62	328.66	246.19	135.87	25.27	35.58	9.34	50.09	40.75	1853.49
2200	265.14	352.71	227.80	127.26	321.38	243.34	120.28	21.90	31.41	8.35	46.34	37.02	1802.93
2100	248.13	370.85	229.20	115.90	314.10	240.49	104.69	18.53	27.24	7.36	42.59	33.29	1752.37
2000	231.12	388.99	230.60	104.54	306.82	237.64	89.10	15.16	23.07	6.37	38.84	29.56	1701.81
1900	214.11	407.13	232.00	93.18	299.54	234.79	73.51	11.79	18.90	5.38	35.09	25.83	1651.25
1800	197.10	425.27	233.40	81.82	292.26	231.94	57.92	8.42	14.73	4.39	31.34	22.10	1600.69
1700	180.09	443.41	234.80	70.46	284.98	229.09	42.33	5.05	10.56	3.40	27.59	18.37	1550.13
1600	163.07	462.27	236.27	59.08	277.70	226.24	26.75	1.70	6.37	3.06	23.81	14.66	1500.98
1500	155.80	435.04	228.27	75.68	267.88	221.00	24.87	1.85	5.95	2.86	24.37	14.40	1457.96
1400	148.52	407.82	220.26	92.27	258.07	215.76	22.99	2.00	5.52	2.65	24.94	14.14	1414.94
1300	141.25	380.59	212.26	108.87	248.25	210.52	21.11	2.15	5.10	2.45	25.50	13.88	1371.92
1200	133.97	353.37	204.25	125.47	238.44	205.28	19.23	2.30	4.67	2.24	26.07	13.62	1328.90
1100	126.70	326.14	196.25	142.07	228.62	200.04	17.35	2.45	4.25	2.04	26.63	13.37	1285.89
1000	119.42	298.91	188.25	158.66	218.80	194.80	15.46	2.60	3.83	1.83	27.19	13.11	1242.87
900	112.15	271.69	180.24	175.26	208.99	189.56	13.58	2.75	3.40	1.63	27.76	12.85	1199.85
800	104.87	244.46	172.24	191.86	199.17	184.32	11.70	2.90	2.98	1.42	28.32	12.59	1156.83
700	97.59	217.24	164.23	208.45	189.36	179.08	9.82	3.05	2.55	1.22	28.89	12.33	1113.81
600	91.19	189.19	155.64	227.56	179.3	173.63	9.17	3.51	2.47	1.09	29.84	12.38	1074.98

Para la distribución de la precipitación se utilizaron los datos reportados por las tres estaciones (Concuá: datos históricos; Medio Monte y Don Pedro, dos años hidrológicos (mes de mayo 2,003 al mes de abril 2,005). La precipitación promedio de acuerdo al método de isoyetas es de 1,381.80 mm/año.

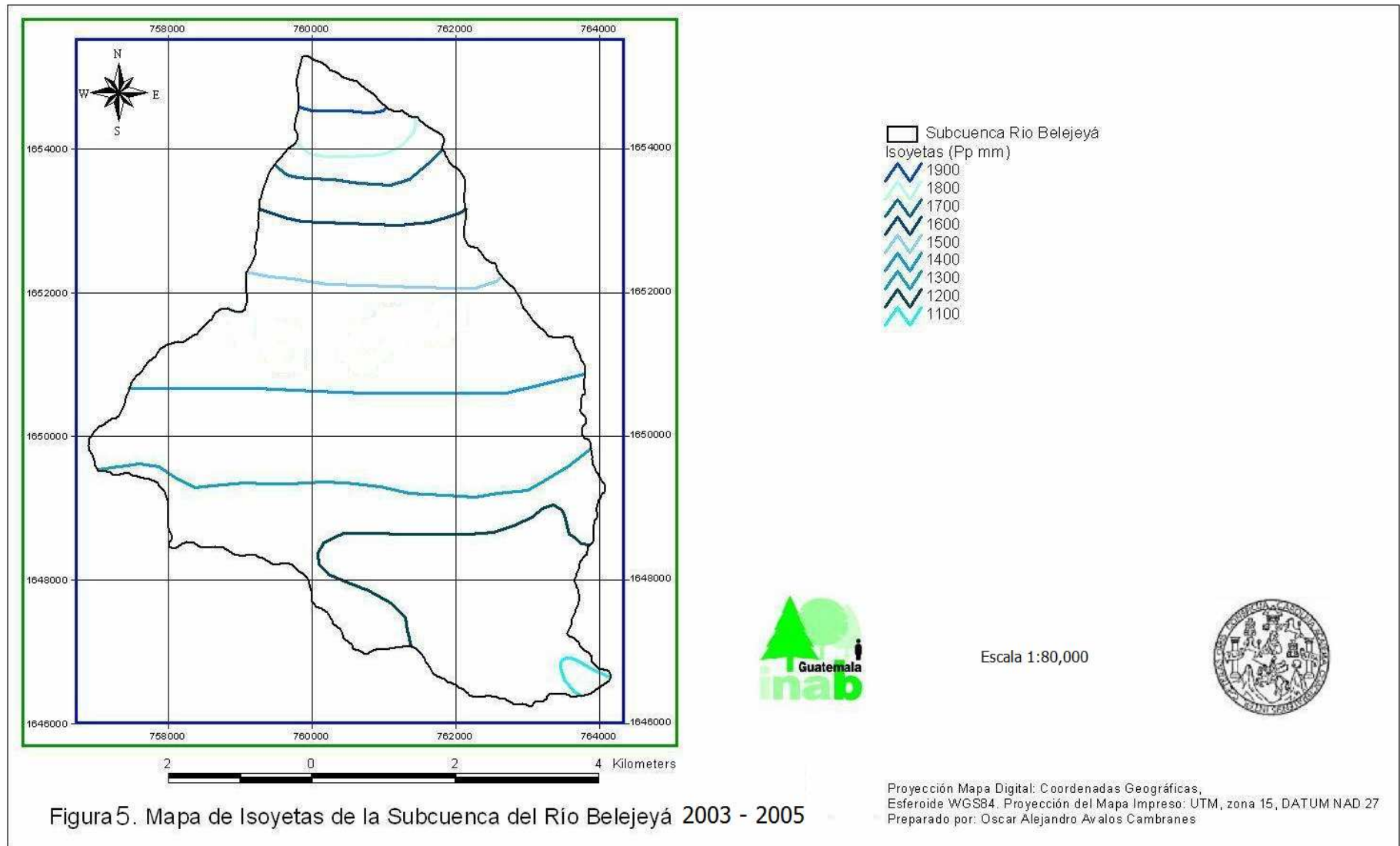


Figura 5. Mapa de Isoyetas de la Subcuenca del Río Belejeyá 2003 - 2005

Cuadro 25. Datos de Temperatura Media °C de acuerdo al cálculo de Isotermas.

Altitud	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR	ABR	Prom Anual
2400	14.7	14.13	14.22	14.79	16.43	15.91	13.81	10.72	13.04	13.58	15.13	14.11	14.21
2300	15.72	15.18	15.03	15.76	17.06	16.48	14.69	12.04	13.86	14.51	15.87	15.42	15.13
2200	16.74	16.23	15.84	16.73	17.69	17.05	15.57	13.36	14.68	15.44	16.61	16.73	16.06
2100	17.76	17.28	16.65	17.7	18.32	17.62	16.45	14.68	15.5	16.37	17.35	18.04	16.98
2000	18.59	18.12	17.45	18.51	18.81	18.11	17.18	16.06	16.19	17.3	18.09	19.35	17.81
1900	19.61	19.17	18.26	19.48	19.44	18.68	18.06	17.38	17.01	18.23	18.83	20.66	18.73
1800	20.63	20.22	19.07	20.45	20.07	19.25	18.94	18.7	17.83	19.16	19.57	21.97	19.66
1700	21.65	21.27	19.88	21.42	20.7	19.82	19.82	20.02	18.65	20.09	20.31	23.28	20.58
1600	22.67	22.32	20.69	22.39	21.33	20.39	20.7	21.34	19.47	20.88	20.91	24.35	21.45
1500	23.69	23.37	21.5	23.36	21.96	20.96	21.58	22.66	20.29	21.81	21.65	25.66	22.37
1400	24.71	24.42	22.31	24.33	22.59	21.53	22.46	23.98	21.11	22.74	22.39	26.97	23.3
1300	25.73	25.47	23.12	25.3	23.22	22.1	23.34	25.3	21.93	23.67	23.13	28.28	24.22
1200	26.75	26.52	23.93	26.27	23.85	22.67	24.22	26.62	22.75	24.6	23.87	29.59	25.14
1100	27.77	27.57	24.74	27.24	24.48	23.24	25.1	27.94	23.57	25.53	24.61	30.9	26.06
1000	28.79	28.62	25.55	28.21	25.11	23.81	25.98	29.26	24.39	26.46	25.35	32.21	26.98
900	29.81	29.67	26.36	29.18	25.74	24.38	26.86	30.58	25.21	27.39	26.09	33.52	27.9
800	30.83	30.72	27.17	30.15	26.37	24.95	27.74	31.9	26.03	28.32	26.83	34.83	28.82
700	31.85	31.77	27.98	31.12	27	25.52	28.62	33.22	26.85	29.25	27.57	36.14	29.74
600	32.87	32.82	28.79	32.09	27.63	26.09	29.5	34.54	27.67	30.18	28.31	37.45	30.66

Este tipo de información a diferentes altitudes es la que se utilizó para establecer puntualmente que datos climáticos le correspondían a cada unidad de mapeo de acuerdo a ubicación altitudinal, además que se utilizaron para calcular la evapotranspiración.

Los datos se analizaron de acuerdo al año hidrológico, que corresponde del mes de mayo al mes de abril por lo tanto los resultados son en base a dos años hidrológicos. Es importante hacer la observación que para este análisis solo se utilizaron las estaciones Medio Monte y Don Pedro, la estación Concuá no reporta Datos de Temperatura.

De acuerdo a los datos de temperaturas se calculó la temperatura media que se utilizó para calcular los datos de evapotranspiración potencial y posteriormente estos valores se utilizaron en el balance hídrico para calcular la evapotranspiración real.

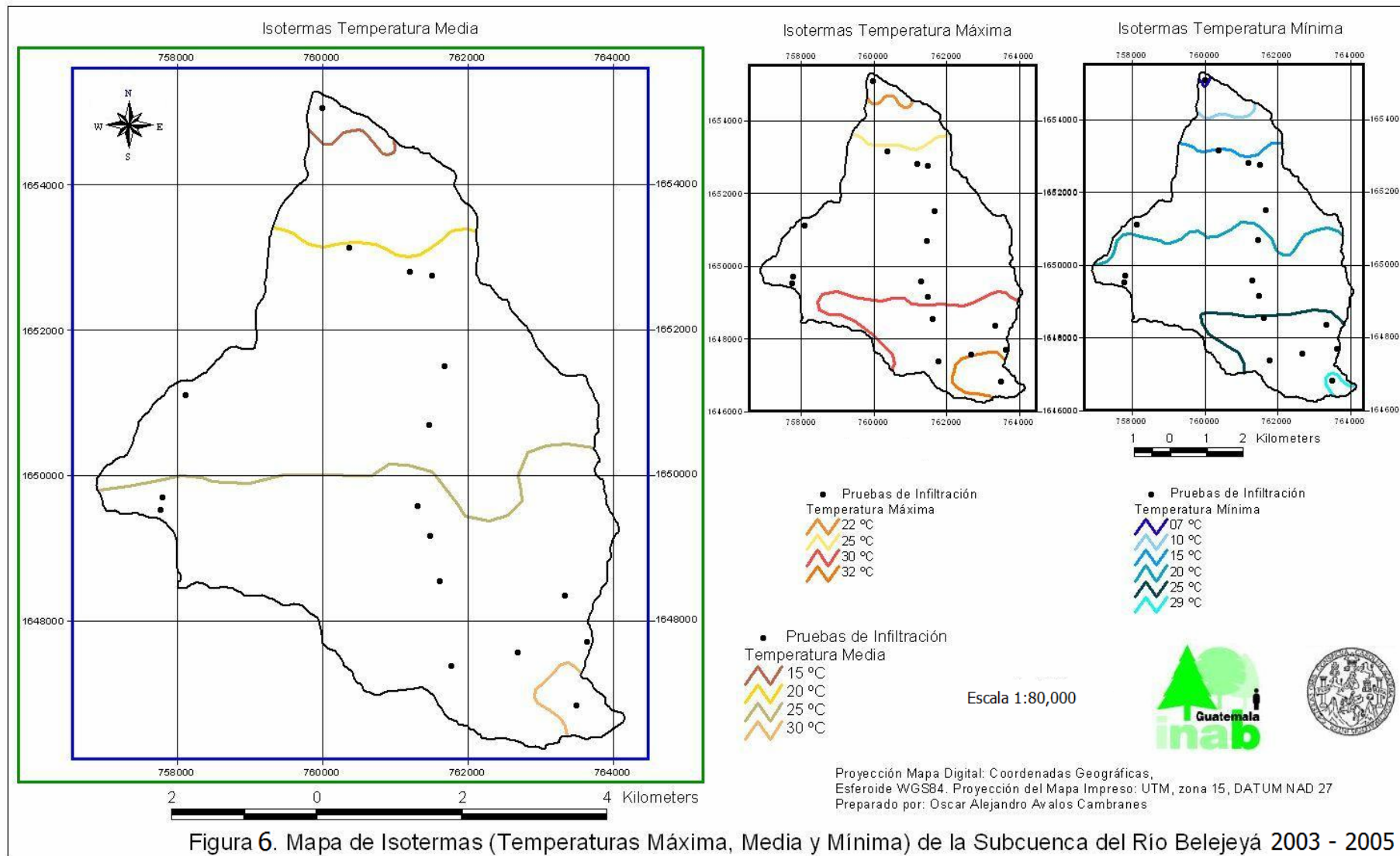


Figura 6. Mapa de Isotermas (Temperaturas Máxima, Media y Mínima) de la Subcuenca del Río Belejeyá 2003 - 2005

7.3. Datos de infiltración básica

Las pruebas de infiltración se realizaron en cada una de las unidades de mapeo de la subcuenca, con la información disponible a escala 1:50,000 lo cual fue bastante importante para este estudio, el total de pruebas realizadas fueron 17 y los resultados se presentan en el cuadro 26.

Cuadro 26. Valores de recarga hídrica en mm/día para cada prueba de infiltración realizada en la subcuenca para el año 2005.

Unidad de Mapeo	Pruebas de Infiltración	X	Y	PI	mm/día	Altitud (msnm)
1	1	763496	1646821	17	76.74	607
2	4	759995	1655055	1	963.24	2426
		761201	1652800	3	375.07	1650
		761619	1648526	13	78.39	879
		761781	1647370	14	241.76	813
		761505	1652739	4	435.11	1633
3	2	763639	1647691	6	178.54	781
4	1	761467	1650686	10	0.00	1277
5	1	758119	1651098	16	17.01	1389
6	1	761314	1649568	9	11.32	1175
7	1	761488	1649150	12	397.72	1026
8	1	760374	1653128	2	355.03	1669
9	1	761680	1651499	11	330.72	1522
10	1	757801	1649689	7	415.95	1118
11	1	757772	1649514	8	427.68	1058
12	1	763345	1648333	5	505.55	869
13	1	762692	1647547	15	180.31	733

La mayoría de las pruebas de infiltración reportaron valores entre 180.31 a 505.55 mm/día, la prueba de mayor infiltración reportó 963.24 mm/día (área con cobertura forestal, ubicada en la cima del Cerro Tuncaj), además existe un área que tiene un valor de 0 para la prueba numero 10 que tiene cobertura forestal.

El cuadro 27 presenta principalmente los valores en % de la cantidad de precipitación que se convierte en recarga hídrica natural (columna Rec Hid % Pp Anual) por cada área de acuerdo al cálculo de isoyetas;

siendo el valor más alto 50.25% que corresponde a la prueba de infiltración número 1, la cual tiene cobertura forestal y es la parte alta de la subcuenca, fisiográficamente es la cima del Cerro Tuncaj.

Cuadro 27. Valores de la lámina de recarga hídrica y precipitación de cada unidad de mapeo, de acuerdo a su superficie total por geología y cobertura de la subcuenca para el año 2005.

Geología	Cobertura	Area (ha)	Total (ha)	% Area Total	Rec Hid (mm/año)	Rec Hid % Pp Anual	Pp Anual (mm/año)
Klc	Forestal	2.752	15.732	0.44	76.74	07.12	1077.70
	S/Cob For	12.980					
Kps	Forestal	123.553	279.405	41.78	963.24	50.25	1917.00
	S/Cob For	155.852			435.11	28.68	1517.30
	Forestal	63.975	343.275		375.07	24.59	1525.40
	S/Cob For	279.3			435.11	28.68	1517.30
	Forestal	48.785	854.928		241.76	20.80	1162.10
	S/Cob For	806.143			178.54	15.55	1148.50
Peg	Forestal	143.336	526.924	14.90	0.00	0.00	1362.00
	S/Cob For	383.588			17.01	01.21	1410.20
Pgcfb	Forestal	146.722	597.055	16.88	11.32	0.86	1318.40
	S/Cob For	450.333			397.72	31.71	1254.10
Pgcfm	Forestal	175.580	502.463	14.21	355.03	23.13	1534.80
	S/Cob For	326.883			330.83	22.55	1467.30
Pgcm	Forestal	22.217	249.054	7.04	415.95	32.15	1293.60
	S/Cob For	226.837			427.68	33.73	1267.90
Qac	Forestal	8.955	105.868	2.99	505.55	42.61	1186.50
	S/Cob For	96.913					
Qtv	Forestal	1.512	62.080	1.76	180.31	15.98	1128.01
	S/Cob For	60.569					
		3536.785	3536.784	100.00			

Para los valores de la Geología Klc, Qac y Qtv se hizo una prueba de infiltración en áreas sin cobertura forestal, la extensión forestal de cada área es muy baja y no es representativa para la extensión total de la subcuenca Klc (0.0778%), Qac (0.2532%) y Qtv (0.0427%).

Las muestras de suelos que se colectaron fueron analizadas en laboratorio para determinar sus constantes de humedad, densidad aparente y textura, esta información se presenta en el cuadro 28.

Cuadro 28. Análisis físico de suelos de las muestras de las pruebas de infiltración de la subcuenca para el año 2005.

Unidad de Mapeo	Prueba de Infiltración	Humedad (%)		Densidad Aparente	Granulometría (%)			Clase Textural
		CC	PMP		Arcilla	Limo	Arena	
1	17	16.55	9.10	1.2121	17.89	25.20	56.91	Franco Arenoso
2	1	92.38	62.66	0.7843	6.47	25.96	67.58	Franco Arenoso
	3	18.03	11.00	1.1765	19.07	40.66	40.28	Franco
	13	31.41	15.52	1.1765	22.34	24.44	53.21	Franco Arcillo Arenoso
	14	28.52	16.57	1.2121	18.14	18.14	63.71	Franco Arenoso
3	4	30.42	21.18	0.9756	29.57	30.15	40.28	Franco
	6	27.21	21.39	1.2121	37.21	27.30	35.49	Franco Arcilloso
4	10	21.84	15.45	1.1111	32.42	16.04	51.53	Franco Arcillo Arenoso
5	16	26.32	17.49	1.1111	37.04	16.04	46.91	Arcillo Arenoso
6	9	17.27	8.99	1.1111	17.72	15.29	66.99	Franco Arenoso
7	12	12.25	5.35	1.2121	11.84	20.24	67.91	Franco Arenoso
8	2	36.13	24.16	0.9524	33.77	21.76	44.48	Franco Arcilloso
9	11	14.36	9.55	1.1429	13.52	25.79	60.69	Franco Arenoso
10	7	16.63	8.34	1.0256	13.52	18.14	68.33	Franco Arenoso
11	8	14.61	8.34	1.1429	17.72	18.14	64.13	Franco Arenoso
12	5	10.70	6.49	1.3333	14.11	39.90	45.99	Franco
13	15	21.81	10.98	1.2903	20.24	26.54	53.21	Franco Arcillo Arenoso

Con el análisis de laboratorio se puede utilizar la información para determinar el comportamiento de la velocidad de infiltración, de acuerdo principalmente a su granulometría.

Para el caso de la Prueba de Infiltración No. 1, que es la que tiene valores más altos de recarga hídrica tiene que ver con sus constantes de humedad (tiene los valores más altos, son suelos franco arenosos y tiene la densidad aparente más baja que todas las demás).

Las texturas más livianas (arenas) son las que favorecen la recarga hídrica, con la desventaja que la mayor parte del agua no se queda disponible en el suelo sino que se va a capas más profundas, caso contrario ocurre con las texturas más pesadas (arcillosas) este tipo de material limita la recarga; entonces las texturas que mejor favorecen la recarga hídrica y la humedad disponible en el suelo son las texturas medias.

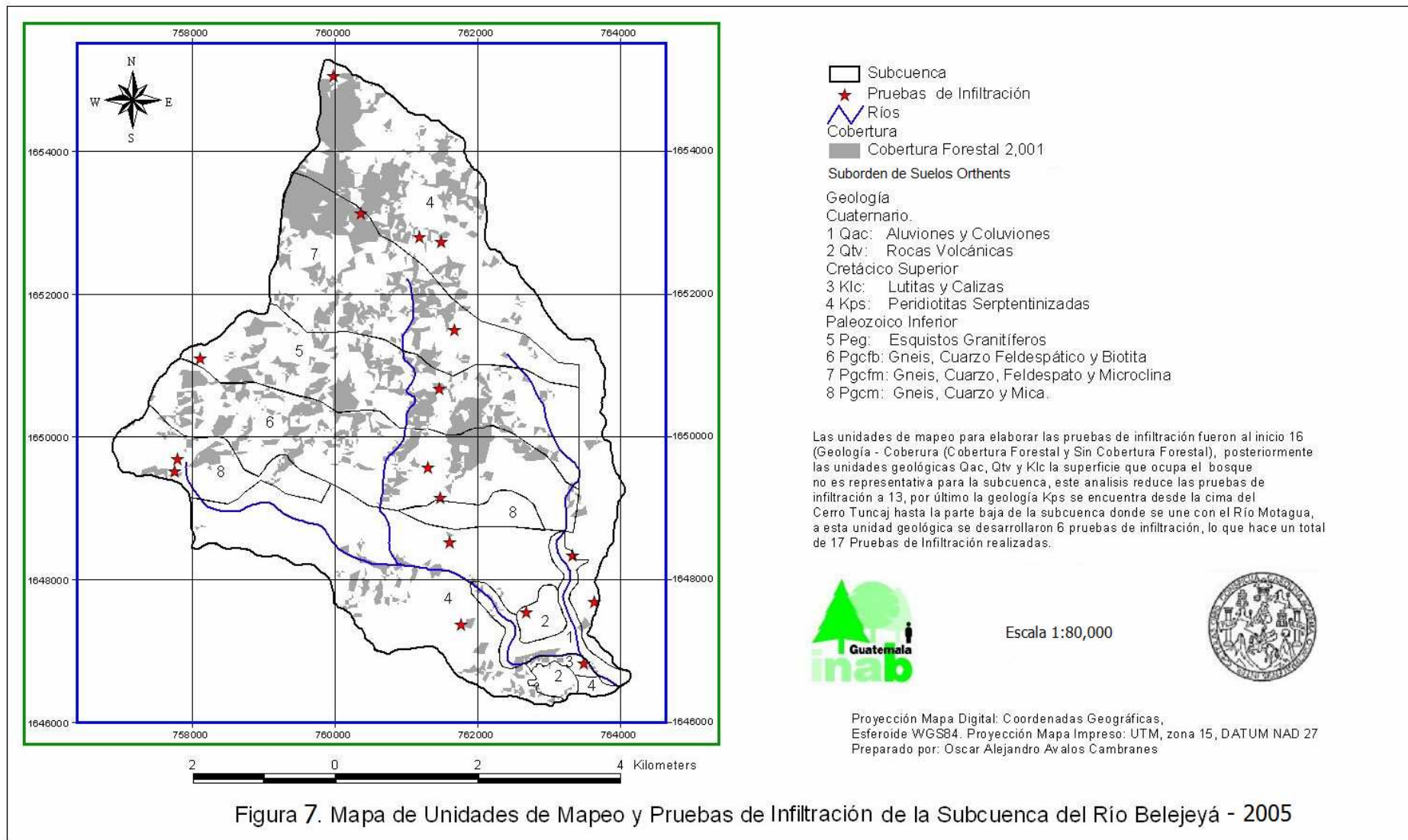


Figura 7. Mapa de Unidades de Mapeo y Pruebas de Infiltración de la Subcuena del Río Belejeyá - 2005

Hay que tomar en cuenta que para que exista infiltración es muy importante la pendiente, de acuerdo a la inclinación del terreno así va a ser el contacto del agua con la superficie, entonces en áreas con mayor pendiente menor tiempo de contacto del agua con el suelo y viceversa; este contacto del agua con el suelo en áreas con pendientes fuertes lo minimiza la cobertura forestal que es un elemento importante para reducir que el agua escurra con mayor facilidad.

El cuadro 29 presenta los valores en lámina por año de los componentes del balance hídrico para cada unidad de mapeo de la Subcuenca, además se detalla en % las principales pérdidas (evapotranspiración y retención) en el balance hídrico.

Cuadro 29. Valores de Láminas en mm/día de acuerdo a geología y cobertura de los factores evapotranspiración real, escorrentía y retención, de acuerdo a su recarga hídrica y la precipitación anual de la subcuenca para el año 2005.

Geología	Cobertura	Rec Hid mm/año	Pp Anual mm/año	ETR mm/año	ETR %Pp Anual	ESC mm/año	Ret mm/año	Ret %Pp Anual
Klc	Forestal	76.74	1077.70	476.32	44.20	380.43	144.4	13.40
	S/Cob For							
Kps	Forestal	963.24	1917.00	584.60	30.50	0.00	386.28	20.15
	S/Cob For	435.11	1517.30	724.75	47.77	396.87	197.67	13.03
	Forestal	375.07	1525.40	550.88	36.11	390.15	315.36	20.67
	S/Cob For	435.11	1517.30	487.65	32.14	396.87	197.67	13.03
	Forestal	241.76	1162.10	676.98	58.25	0.00	243.36	20.94
	S/Cob For	178.54	1148.50	517.94	45.10	299.13	152.89	13.31
Peg	Forestal	0.00	1362.00	432.46	31.75	723.83	283.18	20.79
	S/Cob For	17.01	1410.20	545.16	38.66	603.39	292.24	20.72
Pgafb	Forestal	11.32	1318.40	555.55	42.14	560.57	274.48	20.82
	S/Cob For	397.72	1254.10	488.16	38.93	202.09	166.14	13.25
Pgcfm	Forestal	355.03	1534.80	587.71	38.29	274.56	317.5	20.69
	S/Cob For	330.83	1467.30	439.05	29.92	505.6	191.81	13.07
Pgcmm	Forestal	415.95	1293.60	608.11	47.01	0.00	269.54	20.84
	S/Cob For	427.68	1267.90	516.75	40.76	155.57	167.9	13.24
Qac	Forestal	505.55	1186.50	523.54	44.12	0.00	157.71	13.29
	S/Cob For							
Qtv	Forestal	180.31	1128.01	665.94	59.04	45.14	236.61	20.98
	S/Cob For							

Estos resultados son producto del balance hídrico de suelos; de acuerdo a la geología Kps se puede observar varios valores de precipitación anual, esta variación se debe a que la unidad geológica se encuentra desde la parte alta de la subcuenca (cima del cerro Tuncaj) hasta la parte baja (Río Motagua) de la misma. El valor de escorrentía = 0 corresponde a la unidad geológica Kps ambas con cobertura forestal (pruebas de infiltración 1 y 14); la unidad Pgcm con cobertura forestal (prueba de infiltración 7) también tiene un valor de escorrentía 0; para la prueba de infiltración 5 tiene una escorrentía = 0 que es la unidad Qac sin cobertura forestal, la cual tiene una alta recarga hídrica con respecto a la precipitación anual (42.61 %).

La columna para el cálculo de la ETR % Pp anual de las unidades muestreadas con cobertura forestal presenta valores entre 30.50 a 58.25 %, para las unidades sin cobertura forestal se encuentran en 29.92 a 59.04; los resultados indican que la evapotranspiración es igual para ambas coberturas vegetales con respecto a la precipitación de cada área de acuerdo a las isoyetas.

También en los valores de retención son más altos en las unidades con cobertura forestal, los valores en % de acuerdo a la precipitación anual se encuentran entre 20.15 a 20.94 %; para las áreas sin cobertura forestal existen dos valores similares al de cobertura forestal (20.72 y 20.98 %), para los datos restantes se encuentran entre valores de 13.03 a 13.31%.

En el cuadro 30 se presentan los volúmenes totales (se estimó a partir de los valores de las láminas y la extensión de las unidades de mapeo) por cada componente del balance hídrico y poder conocer la cantidad de agua disponible (recarga hídrica) y las pérdidas de la subcuenca (evapotranspiración y retención).

Cuadro 30. Volúmenes totales en m³/año, en base a la extensión de su geología y cobertura para la precipitación, recarga hídrica, evapotranspiración real, escorrentía y retención de la subcuenca para el año 2005.

Geología	Cobertura	Área (ha)	Rec Hid mm/año	Pp Anual mm/año	Pp m ³ /año	Rec Hid m ³ /año	ETR m ³ /año	ESC m ³ /año	RET m ³ /año
Klc	Forestal	2.752	76.74	1077.70	169543.76	12072.74	74934.66	59849.25	22717.01
	S/Cob For	12.980							
Kps	Forestal	123.553	963.24	1917.00	2368511.01	1190111.93	722290.84	0	477260.53
	S/Cob For	155.852	435.11	1517.30	2364742.40	678127.64	1129537.37	618529.83	308072.65
	Forestal	63.975	375.07	1525.40	975874.65	239951.03	352425.48	249598.46	201751.56
	S/Cob For	279.3	435.11	1517.30	4237818.90	1215262.23	1362006.45	1108457.91	552092.31
	Forestal	48.785	241.76	1162.10	566930.49	117942.62	330264.69	0	118723.18
	S/Cob For	806.143	178.54	1148.50	9258552.36	1439287.71	4175337.05	2411415.56	1232512.03
Peg	Forestal	143.336	0.00	1362.00	1952236.32	0	619870.87	1037508.97	405898.88
	S/Cob For	383.588	17.01	1410.20	5409357.98	65248.32	2091168.34	2314531.63	1120997.57
Pgcfb	Forestal	146.722	11.32	1318.40	1934382.85	16608.93	815114.07	822479.51	402722.55
	S/Cob For	450.333	397.72	1254.10	5647626.15	1791064.41	2198345.57	910077.96	748183.25
Pgcfm	Forestal	175.580	355.03	1534.80	2694801.84	623361.67	1031901.22	482072.45	557466.50
	S/Cob For	326.883	330.83	1467.30	4796354.26	1081067.46	1435572.07	1652720.45	626994.28
Pgcm	Forestal	22.217	415.95	1293.60	287399.11	92411.61	135103.80	0	59883.70
	S/Cob For	226.837	427.68	1267.90	2876066.32	970136.48	1172180.20	352890.32	380859.32
Qac	Forestal	8.955	505.55	1186.50	1256123.82	535215.67	554261.33	0	166964.42
	S/Cob For	96.913							
Qtv	Forestal	1.512	180.31	1128.01	700268.61	111936.45	413415.55	28022.91	146887.49
	S/Cob For	60.569							

Podemos observar el aporte de las áreas con cobertura forestal es mayor comparado con el que no tiene cobertura forestal, a excepción del área geológica con cobertura forestal Peg que presenta un valor de 0 recarga hídrica.

También es importante ver que en las áreas donde no existe escorrentía (2 unidades de la geología Kps (se realizaron 2 pruebas de infiltración, debido a la gran extensión de dicha unidad geológica) y son superficies con cobertura forestal.

Existe área con cobertura forestal que no tiene recarga hídrica; esto se debe a que el área tiene una velocidad de infiltración baja, también es importante que su geología Peg (esquistos granitíferos); el esquistos es un

material en donde el agua apenas se mueve esto se debe a que sus poros no están conectados entre si, Leopold, y Davis (18).

La Retención es mayor en las áreas con cobertura forestal que son superficies pequeñas con respecto a las áreas sin cobertura forestal que tiene mayor extensión.

Los aportes totales en volumen de cada factor del balance hídrico se presentan en el cuadro 31, con esta información se estimó el balance hídrico para la Subcuenca; además se cuantifican las cantidades de volúmenes por cobertura.

Cuadro 31. Aportes en volumen m³/año de cada factor del sistema de acuerdo a su geología y cobertura de la subcuenca para el año 2005.

Geología	Cobertura	Área (ha)	Pp	Rec Hid	ETR	Esc	Ret
Klc	Forestal	2.752	169,543.76	12,072.74	74,934.66	59,849.25	22,717.01
	S/Cob For	12.980					
Kps	Forestal	236.313	3,911,316.15	1,548,005.57	1,404,981.01	249,598.46	797,735.26
	S/Cob For	1,241.295	3,911,316.15	3,332,677.58	6,666,880.87	4,138,403.30	2,092,676.99
Peg	Forestal	143.336	1,952,236.32	0	619,870.87	1,037,508.97	405,898.88
	S/Cob For	383.588	5,409,357.98	65,248.32	2,091,168.34	2,314,531.63	1,120,997.57
Pgcfb	Forestal	146.722	1,934,382.85	16,608.93	815,114.07	822,479.51	402,722.55
	S/Cob For	450.333	5,647,626.15	1,791,064.41	2,198,345.57	910,077.96	748,183.25
Pgcfm	Forestal	175.580	2,694,801.84	623,361.67	1,031,901.22	482,072.45	557,466.50
	S/Cob For	326.883	4,796,354.26	1,081,067.46	1,435,572.07	1,652,720.45	626,994.28
Pgcm	Forestal	22.217	287,399.11	92,411.61	135,103.80	0	59,883.70
	S/Cob For	226.837	2,876,066.32	970,136.48	1,172,180.20	352,890.32	380,859.32
Qac	Forestal	8.955	1,256,123.82	535,215.67	554,261.33	0	166,964.42
	S/Cob For	96.913					
Qtv	Forestal	1.512	700,268.61	111,936.45	413,415.55	28,022.91	146,887.49
	S/Cob For	60.569					
TOTAL		3,536.785	47,496,590.82	10,179,806.89	18,613,729.56	12,048,155.21	7,529,987.23

La cobertura forestal de la subcuenca (20.85% del área total (737.387 ha), es la que aporta al sistema 22.40% de la recarga hídrica lo que equivale a un volumen de 2,280,387.79 m³.

Es decir que se tiene un valor de 3,092.53 m³/ha/año para áreas con bosque y un valor de 2,821.83 m³/ha/año para áreas sin cobertura forestal, estos son valores promedios de cada área de acuerdo a su cobertura vegetal, es importante considerar que existe mayor extensión con cultivos que bosques. El volumen de escorrentía fue menor en las áreas con cobertura forestal (21.51% del total de este factor) con respecto a las áreas sin cobertura forestal (78.49%) con la observación de que las superficies con bosque fueron menores.

También es importante que al aumentar la cobertura forestal del área existirá mayor retención por parte del dosel de estos en su etapa de adulto a maduro principalmente, este aumento de la retención favorece a que la escorrentía del área se reduzca.

7.4. Balance hídrico de suelos

Los resultados del cuadro 32 son el producto final del balance hídrico de suelos de la subcuenca del río Belejeyá, en donde se conocen cuales son los factores de entrada y de salidas del sistema.

Para la subcuenca las salidas presentan un valor mayor que la entrada del sistema (precipitación), el aumento es del 1.84 % lo que equivale a 875,088 m³; este error se considera aceptable.

Cuadro 32. Balance Hídrico de la Subcuenca del Río Belejeyá.

Entrada		Salidas		
Factor	m ³ /año	Factor	m ³ /año	%
Precipitación Pluvial	47,496,591	Evapotranspiración Real	18,613,730	39.19
		Escorrentía Superficial	12,048,155	25.37
		Retención Vegetal	7,529,987	15.85
		Recarga Potencial	10,179,807	21.43
Sumatoria	47,496,591	Sumatoria	48,371,679	101.84

De los resultados se considera que una de las principales pérdidas en el sistema es por evapotranspiración real que es el 39.19% de la precipitación pluvial, esto se debe principalmente a las áreas con cobertura boscosa, el volumen obtenido para la evapotranspiración real fue: 5,434 m³/ha/año para bosques y 5,217.82 m³/ha/año para áreas sin cobertura forestal, considerando que el área con bosque equivale a la quinta parte de la extensión total de la subcuenca se puede establecer que el bosque es el principal componente que aumenta la evapotranspiración real.

La retención provocada por la cobertura vegetal es afectada principalmente por los bosques, las pérdidas por este factor se pueden considerar altos, debido a que la superficie boscosa (737.387 ha, año 2,001) de la subcuenca es del 20.85 % de la superficie total; los valores de volumen para este factor son: 2,223,706.90 m³ para cobertura forestal y de 5,306,280.33 m³ para áreas sin cobertura forestal, considerando que si el área estuviera cubierta en su totalidad por bosque el valor correspondiente a este factor sería mucho mayor comparado con los cultivos.

La recarga hídrica equivale al 21.43 % de la precipitación pluvial, representa un volumen de 10,179,807 m³ al año 2,005; considerando que este valor se debe al área de cobertura forestal, como se menciona con anterioridad más de la quinta parte aproximadamente de este volumen proviene de la masa forestal.

Datos de caudal en la parte baja de la subcuenca (Río Belejeyá antes de llegar al Río Motagua), para la época de estiaje (abril 2,005) reporta un valor de 0.1627 m³/seg lo que equivale a un volumen de 5,130,907.20 m³/año, la escorrentía superficial en el balance hídrico reporta 12,048,155 m³/año; es decir que el caudal medido es equivalente al 43 % del estimado por el balance hídrico. Es importante mencionar que más de la

mitad de la escorrentía se pierde en la época de invierno, esto tiene relación con la cobertura de la subcuenca principalmente por los cultivos.

7.5. Elaboración del Mapa de Recarga Hídrica.

Como primer resultado se elaboró el mapa final de la subcuenca, el cual contiene valores de recarga anual (lámina de agua) determinados de cada una de las áreas de mapeo identificadas y analizadas, esta clasificación se elaboró de acuerdo a la matriz propuesta por Herrera (11). Se realizaron agrupamientos de áreas con recargas similares mediante una codificación de color y segundo resultado final el mapa de áreas críticas de recarga hídrica natural en base a la metodología INAB – FAUSAC (14).

7.6. Elaboración del Mapa de Áreas Críticas de Recarga Hídrica.

El segundo resultado de esta investigación es conocer la susceptibilidad de las áreas de recarga hídrica, este análisis se desarrolla a partir de las matrices de Geología, que para este estudio tiene un valor de 0 por ser un área con materiales metamórficos; luego se utilizaron los valores de infiltración básica en cm/hora, recarga anual en mm/año y por último los valores de pendiente.

Estas matrices se utilizaron para cada unidad de mapeo, lo cual consistió en sumar todos los códigos y estos valores se utilizó la matriz de susceptibilidad para la determinación de áreas de recarga hídrica anual. La susceptibilidad para la subcuenca es: moderada 2,609.746 ha y baja 927.038 ha; esto quiere decir que el área siempre tiene que ser manejada para conservación, la cual bajo manejo podrá incrementar su recarga hídrica anual, esto se puede lograr aumentando su cobertura forestal.

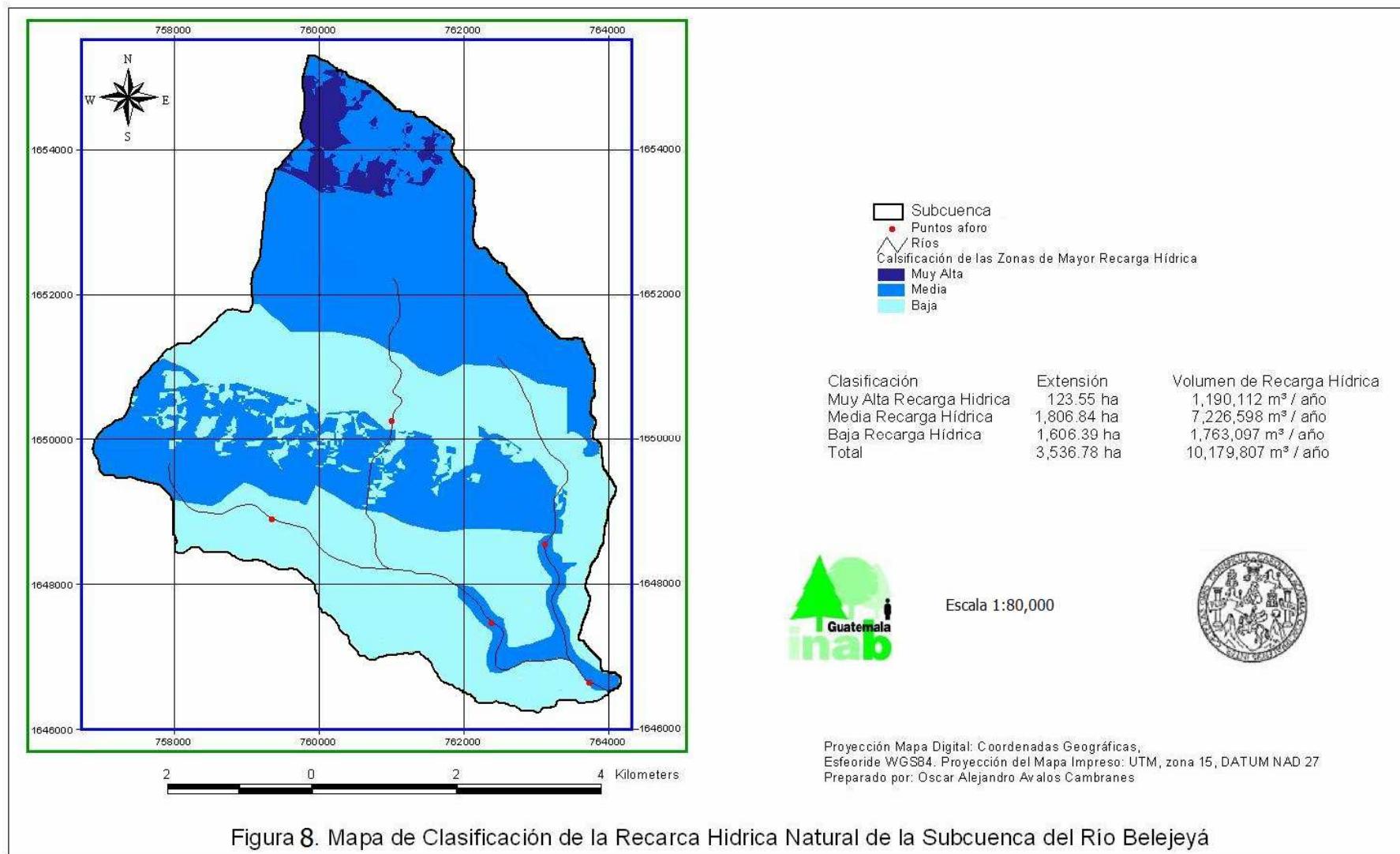


Figura 8. Mapa de Clasificación de la Recarga Hídrica Natural de la Subcuenca del Río Belejeyá

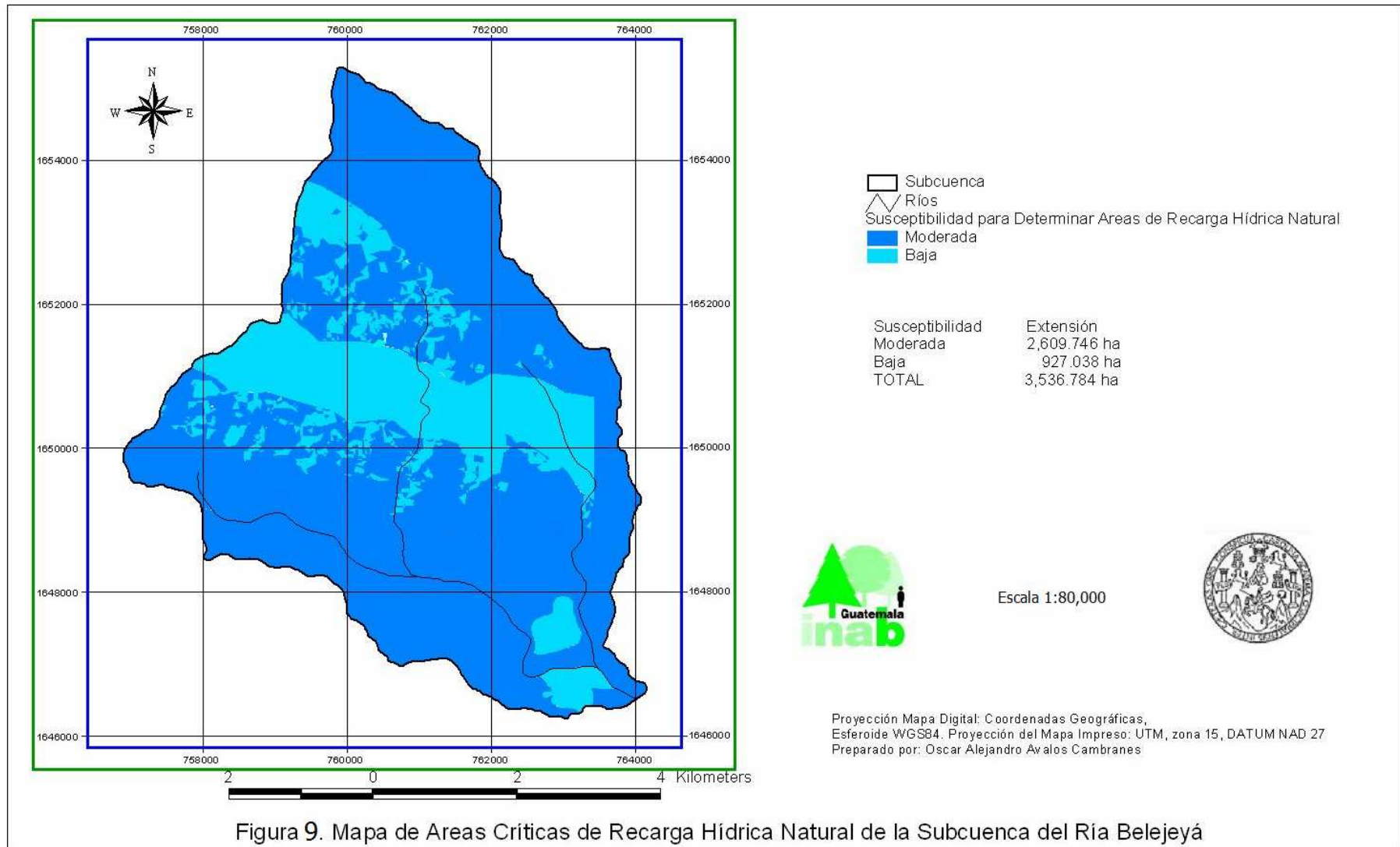
Como se sabe la cobertura forestal disminuye los caudales anuales, si embargo, Stadmuller citado por INAB (15), “el bosque garantiza al más bajo costo, una alta calidad del agua (regulando sedimentos, turbidez, temperatura y oxígeno disuelto), estabiliza el flujo subsuperficial y brinda una adecuada protección al suelo.

Por estos servicios es muy importante manejar los bosques del área con fines de conservación y protección, para que cumplan su función en la regulación hidrológica. Para la protección de los ríos es necesario conservar sus bosques de galería, estos cumplen la función de reducir los aportes de sedimentos a los ríos de las áreas cercanas a los mismos sin cobertura forestal.

El Instituto Nacional de Bosques ha elaborado “consideraciones técnicas y propuesta de normas de manejo forestal para la conservación de suelo y agua”, esto con el objetivo de mejorar las técnicas de manejo forestal sostenible, fomentar la protección del suelo y garantizar una alta calidad de agua y estabilizar el flujo superficial y subsuperficial.

Los factores más importantes que controlan las tasas de erosión son la pendiente del terreno, la cobertura vegetal, el régimen de lluvia y los tipos de suelos, INAB (15), de acuerdo a estos factores es necesario que se desarrollen actividades de conservación o por lo menos que su uso sea el adecuado según su capacidad de uso de acuerdo a la metodología del INAB.

Para desarrollar las actividades de protección hay que realizarla de acuerdo a los tipos de cuerpos de agua (nacimientos, ríos, ríos navegables, lagos y lagunas), estas zonas de protección con distancias horizontales mínimas en función de la pendiente (< 32 %, 32 – 60 % y > 60 %), INAB (15).



Fuera de las zonas de protección de cuerpos de agua, también es necesario conocer como manejar las masas boscosas, este manejo silvícola esta en función de la extensión de las áreas y su pendiente, en donde se definen las prácticas de manejo forestal y las prácticas de conservación de suelo y agua, INAB (15).

7.7. Análisis de usuarios de los recursos hídricos de la Subcuenca Río Belejeya.

En el periodo que se desarrolló el estudio la población en general aduce la reducción de sus caudales y pérdida de vertientes por el deterioro de los recursos forestales, ellos están claros de la relación agua – bosque y por lo tanto asumen que la reducción de bosques es por la autorización de licencias forestales autorizadas por las autoridades correspondientes.

Estas actividades forestales del área se llevan a cabo de acuerdo a la ley forestal, debido a estas autorizaciones las comunidades de la parte baja principalmente mencionan que las fuentes de agua y caudales se pierden o agotan por este tipo manejo forestal (la mayoría de planes de manejo no son sostenibles), esto genera conflictos en torno a los recursos hídricos de la región; aunque estas fincas manejadas tienen compromisos de reforestación para restaurar las áreas.

La mayoría de problemas, como en todo el país, se da en la época seca en donde aumenta la demanda pero la oferta se reduce; todo esto acompañado de la infraestructura de captación (ojos de agua, nacimientos y vertientes) y conducción (canales artesanales) sin dejar por un lado el avance de la frontera agrícola.

La administración esta a cargo por pequeños comités locales, en donde solo es un grupo de representantes elegidos periódicamente, estos tiene a su cargo el mantenimiento y velar porque se mantenga el

abastecimiento domiciliario, por el servicio de agua entubada (carece de potabilidad o de un tratamiento que mejore la calidad para consumo humano), estos sistemas muchas veces han sido diseñados por ellos.

La población en su mayoría no está de acuerdo en pagar por el servicio y debido a esta postura no se puede tener mejoras en el sistema, ni mucho menos aplicarle algún tratamiento; solo cuando existe un problema entre todos colaboran con mano de obra o económicamente, acompañado a esta postura es la carencia de normas o reglamentos locales en el uso del agua, esto se pudo observar que muchos hogares el agua domiciliar la utiliza para actividades de riego, además que lo desarrollan en horas no aptas (medio día), en resumen no existe una conciencia sobre el uso del agua.

Como se mencionaba anteriormente se tienen que desarrollar actividades de conservación de los bosques, protección de sus fuentes de agua, mejora de sus sistemas de captación y conducción; reducir la presión sobre el recurso suelo (uso adecuado en base a su capacidad), la protección y reforestación de bosques de galería (orillas de ríos); la reforestación en propiedades registradas puede beneficiarse del Programa de Incentivos Forestal que otorga el Estado a través del Instituto Nacional de Bosques.

La principal área de recarga hídrica está en la parte alta de la Subcuenca con cobertura forestal, esta debe de ser priorizada y poder protegerla con fines de producción hídrica para garantizar el aporte de esta masa forestal; por lo tanto es necesario buscar un mecanismo con el o los propietarios como un pago por el servicio ambiental que brinda esa masa forestal, para este tipo de acuerdos es necesario organizarse e incluir a todos los sectores productivos (industrias, pecuarios, agrícolas) y comunidades, así como el gobierno local y otras instituciones; para poder empezar a buscar una gestión integrada de los recursos hídricos, que busca el aprovechamiento y encadenamiento del recurso hídrico para el bien y desarrollo de la sociedad.

8. CONCLUSIONES

- La recarga hídrica natural de la subcuenca del río Belejeyá es de 10,179,807 m³/año que representa un 21.43% de la precipitación pluvial del área.
- Los valores de recarga muy alta se encuentran ubicadas en la parte alta de la subcuenca, el volumen que aportan al sistema es de 1,190,112 m³/año, que equivale al 11.69 % de la recarga total del área.
- La zona clasificada como recarga muy alta, su superficie es de 123.55 ha con cobertura forestal según mapa y representa el 16.75 % de la extensión total de la masa boscosa de la subcuenca.
- Zonas clasificadas como media recarga, su aporte es de 7,226,598 m³/año lo que corresponde al 70.99 % de la recarga total , la superficie total de esta zona es de 1,806.84 ha, en su mayor parte áreas sin cobertura forestal; por último el área clasificada como zona de recarga baja su volumen es de 1,763,097 m³/año equivalente al 17.32 % del total de la recarga, con una superficie de 1,606.39 ha, en esta zona la superficie boscosa presenta pérdidas para el sistema, esto también tiene relación directa con la precipitación, principalmente de la parte baja.
- La principal salida del sistema lo presenta la evapotranspiración real que tiene un volumen de 18,163,730 m³/año, que es equivalente al 39.19% de la precipitación pluvial del área.

- La zona clasificada como media esta dividida en dos áreas, la parte alta es la que alimenta todos los manantiales de dicha zona, esto se debe principalmente a que las geologías de la parte alta sus características son gneis, cuarzo, feldespatos y mica que son materiales poco permeables.
- La parte geológica Qac (aluviones y coluviones) tiene materiales que tienen alta permeabilidad, la razón de que sean clasificados como zona de media recarga hídrica es por la precipitación del área, esto también por su mínima cobertura forestal.
- La información generada es la primera aproximación, pero se puede utilizar para la realización de actividades de uso, manejo y conservación de los recursos naturales por las autoridades locales.

9. RECOMENDACIONES

- La cobertura forestal actual se debe mantener, para favorecer la infiltración y reducir la escorrentía, esta actividad también es importante que se implemente en áreas de protección de manantiales y ríos.
- Realizar muestreo para determinar la calidad del agua, priorizando los manantiales que abastecen de agua para consumo humano y posteriormente el agua de los ríos principales, esta actividad como mínimo una vez al año.
- Para otras investigaciones es necesario el monitoreo del clima en partes altas de cuencas para conocer datos precisos de precipitación y temperaturas principalmente, una base de datos más amplia proporcionara mejores resultados para la cuantificación de la recarga hídrica natural de las área y esto tiene relación para reducir o minimizar el efecto de los años secos y lluviosos.
- Al realizar otros estudios es necesario definir los diferentes usos de la tierra lo que implica hacer estudios preliminares de uso actual de la tierra.
- Implementar capacitación en temas como reforestación, conservación y protección de sus masas forestal, prácticas de conservación (para reducir el impacto de actividades agrícolas sobre el suelo y agua), contaminación (sólidos y aguas servidas), uso y aprovechamiento del agua, todos esto con el fin de mantener la calidad y cantidad del recurso hídrico, y su distribución a lo largo del tiempo.

10. BIBLIOGRAFIA.

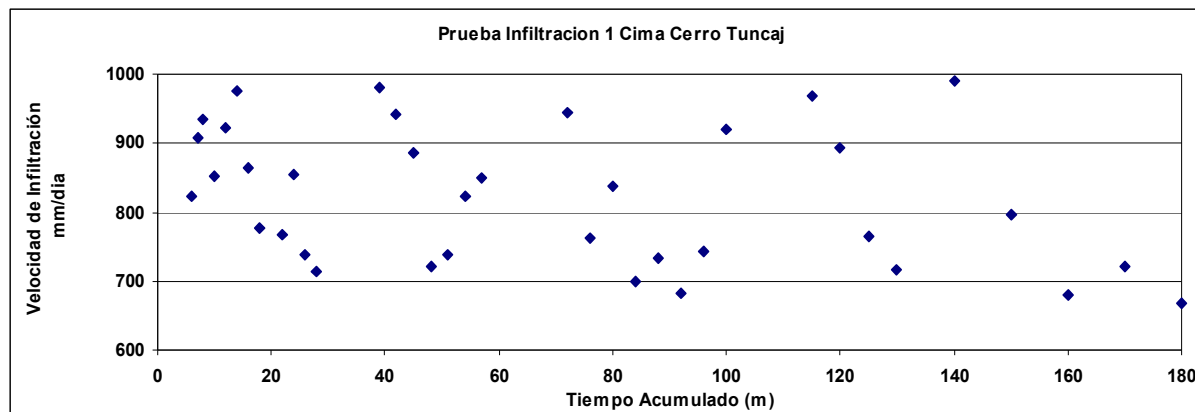
1. Cabrera, CA. 1998. Estimación del volumen y calidad del agua subterránea y establecimiento de políticas de explotación de las aguas subterráneas para las aldeas de San José Pacul y Pachali del municipio de Santiago Sacatepéquez, Guatemala. Tesis Ing. Agr. Guatemala, USAC. 73 p.
2. CALAS (Centro de Acción Legal-Ambiental y Social de Guatemala, Programa de Información Estratégica, GT). 2003. Legislación ambiental Guatemalteca. Guatemala. tomo 1, 198 p.
3. CEPAL (Comisión Económica para América Latina y el Caribe, CL). 1999. Gestión de cuencas y ríos vinculados con centros urbanos. Chile. 100 p.
4. Coc, A. 2003. Propuesta de organización gerencial del manejo sostenible del recurso agua en la comunidad El Chilar, municipio de Palín, Escuintla. Tesis MSc. Guatemala, Universidad Rafael Landívar, Facultad de Ciencias Agrícolas y Ambientales. 89 p.
5. Cruz S, JR De la. 1982. Clasificación de zonas de vida de Guatemala a nivel de reconocimiento. Guatemala, INAFOR. 42 p.
6. Custodio, E; Llamas, MR. 2001. Hidrología subterránea. 2 ed. Barcelona, España, Omega. v. 1-2, 2350 p.
7. Chiquin, LG; Requena; JE. 2001. Mapeo geológico de superficie del cuadrángulo Granados, escala 1:50,000. Guatemala, USAC, Centro Universitario del Norte, Carrera de Geología. 49 p.
8. FAO, IT. 2002. Relaciones tierra – agua en cuencas hidrográficas rurales. *In* Taller electrónico de la Dirección de Fomento de Tierras y Aguas (2000, IT). Actas. Italia. Boletín FAO de Tierras y Aguas no. 9:37-48.
9. Fuentes M, JC. 2005. Determinación de principales áreas de recarga hídrica natural y de la calidad de agua en la microcuenca del río Cotón, Baja Verapaz. Tesis MSc. Guatemala, USAC, Facultad de Agronomía. 198 p.
10. Herrera Ibañez, I. 1995. Manual de hidrología. Guatemala, USAC, Facultad de Agronomía. 223 p.
11. _____. 2002. Hidrogeología práctica. Guatemala, USAC, Facultad de Agronomía. v. 1, 190 p.
12. IGN (Instituto Geográfico Nacional, GT). 1996. Mapa topográfico de república de Guatemala: hoja Granados, no. 2060-I. Guatemala. Esc. 1:50,000. Color.
13. INAB (Instituto Nacional de Bosques, GT). 2002. Proyecto conservación de ecosistemas forestales estratégicos: determinación de áreas de recarga hídrica; manual capacitación técnica. Guatemala. 38 p.
14. _____. 2003. Proyecto de investigación forestal, Facultad de Agronomía, Universidad de San Carlos de Guatemala: metodología para la determinación de áreas de recarga hídrica natural; manual capacitación técnica. Guatemala. 106 p.
15. _____. 2005. Consideraciones técnicas y propuesta de normas de manejo forestal para la conservación de suelo y agua. 2 ed. Guatemala. 34 p.

16. _____. 2005. Programa de investigación en hidrología forestal. Guatemala. 38 p.
17. Johnson E, E. 1975. El agua subterránea y los pozos. Minnesota, US, Johnson. 513 p.
18. Leopold L; Davis, K. 1979. El agua. 4 ed. México, Lito Focet Latina. 198 p.
19. Linsley, A. 1988. Hidrología para ingenieros. 2 ed. México, McGraw–Hill. 386 p.
20. Machorro, R. 2001. Mapa geológico de la república de Guatemala: hoja Granados, no. 2060-I. Guatemala. Esc. 1:50,000. Color.
21. MAGA (Ministerio de Agricultura, Ganadería y Alimentación, GT). 2000. Primera aproximación al mapa de clasificación taxonómica de los suelos de la república de Guatemala: memoria técnica. Guatemala. Esc. 1:250,000. 48 p. (Basado en el trabajo de Hugo Tobías y Estuardo Lira).
22. _____. 2001. Mapas temáticos de la república de Guatemala a escala 1:250,000. Guatemala. 1 CD.
23. Monsalve S; G. 1999. Hidrología en la ingeniería. México, Alfaomega Grupo Editor. 383 p.
24. Motta Franco, E. 2001. Modelo matemático del acuífero de la parte alta de la cuenca del río Guacalate, Chimaltenango y Sacatepéquez, Guatemala. Tesis MSc. Costa Rica, Universidad de Costa Rica, Escuela Centroamericana de Geología. 125 p.
25. Padilla Cambara, TA. 2003. Evaluación del potencial hídrico en la microcuenca del río Cantil, para el aprovechamiento de las aguas subterráneas en la finca Sabana Grande, El Rodeo, Escuintla, Guatemala. Tesis MSc. Costa Rica, Universidad de Costa Rica. 104 p.
26. PAFG (Proyecto de Acción Forestal para Guatemala, GT). 1998. La conceptualización e identificación de zonas de recarga hídrica prioritarias a nivel nacional. Guatemala. 45 p.
27. Sandoval Illescas, JE. 1989. Principios de riego y drenaje. Guatemala, USAC, Facultad de Agronomía. 345 p.
28. Schosinsky, G; Losilla, M. 2000. Modelo analítico para determinar la infiltración con base en la lluvia mensual. Revista Geológica de América Central no. 23:44-54.
29. SEPREM (Secretaría de la Presidencia de la Mujer, GT). 2002. Recopilación de leyes. Guatemala. 104 p.

11. ANEXOS.

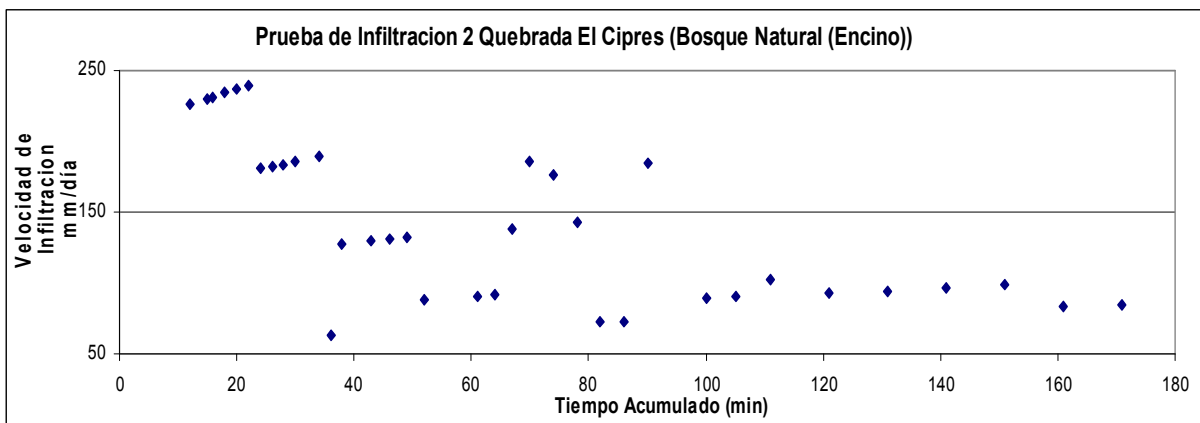
Anexo 1. Prueba de Infiltración No 1.

Boleta, Prueba de Infiltración CERRO TUNCAJ, Rio Belejeyá, Granados, Baja Verapaz.					PI 1		Lugar		Cima Cerro Tuncaj	
Profundidad Inicial			Altitud		Uso Actual		Reforestación Pino		Pendiente	
68 cm			2426 msnm						11% N - S	
Profundidad Final			Diametro		Coordenadas					
67 cm			9.5 cm		759995		1655055		14°57'31" / 90°34'58"	
Tiempo (min)	Intervalos Muertos entre Lecturas	Tiempo Acumulado (min)	Profundidad Total (cm)	Lectura (cm)	Diferencia Lectura (cm)	Velocidad de Infiltración cm/min	Velocidad de Infiltración cm/hora	Velocidad de Infiltración mm/hora	Velocidad de Infiltración mm/día	
1	1	1	67	6	61	0	0	0	0	
1	2	2	67	8.5	58.5	0.0956	5.7352	57.3518	1376.44	
1	3	3	67	10.8	56.2	0.0915	5.4883	54.8833	1317.20	
1	4	4	67	12.6	54.4	0.0741	4.4477	44.4770	1067.45	
1	5	5	67	14.7	52.3	0.0895	5.3708	53.7076	1288.98	
1	6	6	67	16	51	0.0572	3.4291	34.2913	822.99	
1	7	7	67	17.4	49.6	0.0631	3.7876	37.8760	909.02	
1	8	8	67	18.8	48.2	0.0649	3.8910	38.9103	933.85	
1	9	9	67	20.6	46.4	0.0861	5.1641	51.6413	1239.39	
1	10	10	67	21.8	45.2	0.0592	3.5497	35.4974	851.94	
2	11	12	67	24.3	42.7	0.0641	3.8460	38.4605	923.05	
2	12	14	67	26.8	40.2	0.0678	4.0656	40.6556	975.74	
2	13	16	67	28.9	38.1	0.0601	3.6040	36.0402	864.96	
2	14	18	67	30.7	36.3	0.0540	3.2412	32.4124	777.90	
2	15	20	67	32.9	34.1	0.0695	4.1728	41.7285	1001.48	
2	16	22	67	34.5	32.5	0.0533	3.1961	31.9605	767.05	
2	17	24	67	36.2	30.8	0.0593	3.5606	35.6062	854.55	
2	18	26	67	37.6	29.4	0.0512	3.0721	30.7207	737.30	
2	19	28	67	38.9	28.1	0.0496	2.9763	29.7634	714.32	
2	20	30	67	0	67	0	0	0	0.00	
3	21	33	67	12	55	0.1504	9.0211	90.2110	2165.06	
3	22	36	67	17.2	49.8	0.0752	4.5127	45.1275	1083.06	
3	23	39	67	21.5	45.5	0.0681	4.0855	40.8548	980.51	
3	24	42	67	25.3	41.7	0.0655	3.9283	39.2828	942.79	
3	25	45	67	28.6	38.4	0.0616	3.6966	36.9662	887.19	
3	26	48	67	31.1	35.9	0.0501	3.0054	30.0543	721.30	
3	27	51	67	33.5	33.5	0.0513	3.0759	30.7592	738.22	
3	28	54	67	36	31	0.0572	3.4311	34.3109	823.46	
3	29	57	67	38.4	28.6	0.0591	3.5448	35.4477	850.74	
3	30	60	67	0	67	0	0	0	0.00	
4	31	64	67	13.4	53.6	0.1274	7.6459	76.4589	1835.01	
4	32	68	67	19.6	47.4	0.0697	4.1821	41.8210	1003.70	
4	33	72	67	24.8	42.2	0.0655	3.9309	39.3085	943.40	
4	34	76	67	28.6	38.4	0.0529	3.1743	31.7433	761.84	
4	35	80	67	32.4	34.6	0.0581	3.4851	34.8509	836.42	
4	36	84	67	35.3	31.7	0.0485	2.9098	29.0978	698.35	
4	37	88	67	38.1	28.9	0.0509	3.0547	30.5466	733.12	
4	38	92	67	40.5	26.5	0.0474	2.8444	28.4440	682.66	
4	39	96	67	42.9	24.1	0.0515	3.0914	30.9137	741.93	
4	40	100	67	45.6	21.4	0.0639	3.8320	38.3205	919.69	
5	41	105	67	0	67	0	0	0	0.00	
5	42	110	67	14.8	52.2	0.1140	6.8386	68.3859	1641.26	
5	43	115	67	22	45	0.0672	4.0322	40.3222	967.73	
5	44	120	67	27.8	39.2	0.0620	3.7220	37.2198	893.27	
5	45	125	67	32.2	34.8	0.0531	3.1881	31.8808	765.14	
5	46	130	67	35.9	31.1	0.0498	2.9879	29.8787	717.09	
0	47	130	67	0	67	0	0	0	0	
5	48	135	67	16	51	0.1245	7.4722	74.7225	1793.34	
5	49	140	67	23.2	43.8	0.0688	4.1298	41.2976	991.14	
10	50	150	67	32.8	34.2	0.0554	3.3213	33.2130	797.11	
10	51	160	67	39.4	27.6	0.0473	2.8358	28.3577	680.58	
10	52	170	67	45.1	21.9	0.0501	3.0056	30.0556	721.34	
10	53	180	67	49.4	17.6	0.0463	2.7783	27.7826	666.78	



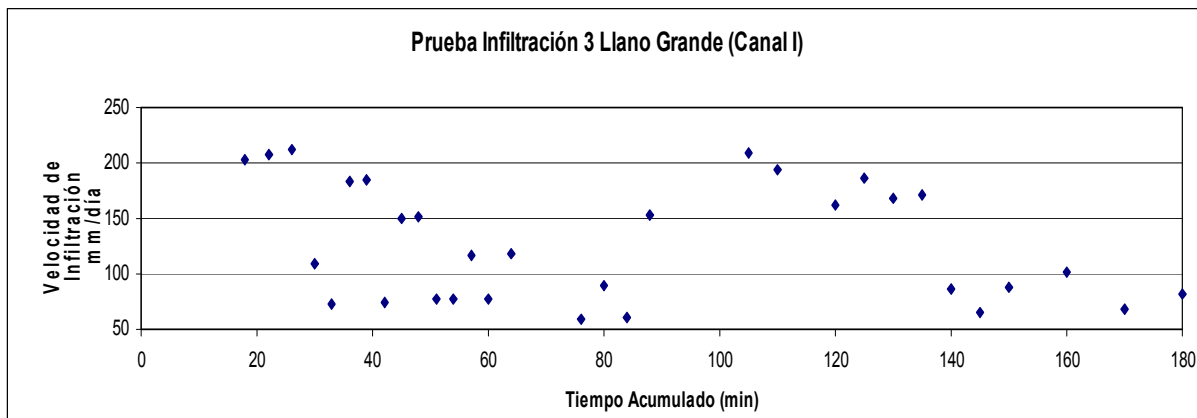
Anexo 2. Prueba de Infiltración No 2.

Boleta, Prueba de Infiltración CERRO TUNCAJ, Río Belejeyá, Granados, Baja Verapaz.					PI 2		Lugar		Quebrada El Ciprés		
Profundidad Inicial		74 cm		Altitud		1669 msnm		Uso Actual		Bosque Natural (Encino)	
Profundidad Final		54 cm		Diámetro:		13 cm		Coordenadas		760374	
								1653128		14°56'28''	
								90°34'46''		12% SE-NW	
Intervalos Muertos entre Lecturas	Tiempo Acumulado (min)	Profundidad Total (cm)	Lectura (cm)	Diferencia Lectura (cm)	Velocidad de Infiltración cm/min	Velocidad de Infiltración cm/hora	Velocidad de Infiltración mm/hora	Velocidad de Infiltración mm/día			
1	1	54	4.8	49.2	0	0	0	0			
1	2	54	8.7	45.3	0.2511	15.0669	150.6690	3616.06			
1	3	54	10.1	43.9	0.0951	5.7057	57.0574	1369.38			
1	4	54	11.3	42.7	0.0838	5.0271	50.2713	1206.51			
1	5	54	12	42	0.0499	2.9935	29.9348	718.44			
1	6	54	13	41	0.0726	4.3577	43.5772	1045.85			
1	7	54	13.8	40.2	0.0593	3.5577	35.5768	853.84			
1	8	54	14.1	39.9	0.0225	1.3510	13.5104	324.25			
1	9	54	14.6	39.4	0.0379	2.2728	22.7275	545.46			
1	10	54	14.9	39.1	0.0229	1.3765	13.7648	330.35			
1	11	54	15.7	38.3	0.0620	3.7188	37.1883	892.52			
1	12	54	15.9	38.1	0.0157	0.9409	9.4089	225.81			
1	13	54	16.2	37.8	0.0237	1.4199	14.1991	340.78			
1	14	54	16.5	37.5	0.0238	1.4303	14.3032	343.28			
1	15	54	16.7	37.3	0.0160	0.9594	9.5941	230.26			
1	16	54	16.9	37.1	0.0161	0.9642	9.6416	231.40			
1	17	54	17.2	36.8	0.0243	1.4552	14.5523	349.26			
1	18	54	17.4	36.6	0.0163	0.9762	9.7622	234.29			
1	19	54	17.7	36.3	0.0246	1.4736	14.7356	353.65			
1	20	54	17.9	36.1	0.0165	0.9886	9.8860	237.26			
2	21	54	18.3	35.7	0.0166	0.9962	9.9618	239.08			
2	22	54	18.6	35.4	0.0126	0.7539	7.5387	180.93			
2	23	54	18.9	35.1	0.0127	0.7597	7.5974	182.34			
2	24	54	19.2	34.8	0.0128	0.7657	7.6571	183.77			
2	25	54	19.5	34.5	0.0129	0.7718	7.7177	185.23			
2	26	54	20	34	0.0217	1.3000	13.0002	312.00			
2	27	54	20.3	33.7	0.0131	0.7884	7.8841	189.22			
2	28	54	20.4	33.6	0.0044	0.2642	2.6423	63.41			
2	29	54	20.6	33.4	0.0088	0.5306	5.3061	127.35			
2	30	54	21	33	0.0178	1.0700	10.6997	256.79			
3	31	54	21.3	32.7	0.0090	0.5402	5.4017	129.64			
3	32	54	21.6	32.4	0.0091	0.5447	5.4470	130.73			
3	33	54	21.9	32.1	0.0092	0.5493	5.4930	131.83			
3	34	54	22.1	31.9	0.0061	0.3688	3.6880	88.51			
3	35	54	22.7	31.3	0.0187	1.1191	11.1911	268.59			
3	36	54	22.8	31.2	0.0031	0.1884	1.8841	45.22			
3	37	54	23	31	0.0063	0.3785	3.7846	90.83			
3	38	54	23.2	30.8	0.0063	0.3807	3.8067	91.36			
3	39	54	23.5	30.5	0.0096	0.5752	5.7522	138.05			
3	40	54	23.9	30.1	0.0129	0.7750	7.7497	185.99			
4	41	54	24.4	29.6	0.0123	0.7364	7.3642	176.74			
4	42	54	24.8	29.2	0.0100	0.5973	5.9725	143.34			
4	43	54	25	29	0.0050	0.3014	3.0139	72.33			
4	44	54	25.2	28.8	0.0051	0.3033	3.0327	72.78			
4	45	54	25.7	28.3	0.0128	0.7665	7.6653	183.97			
5	46	54	25.8	28.2	0.0021	0.1238	1.2381	29.71			
5	47	54	26.1	27.9	0.0062	0.3738	3.7380	89.71			
5	48	54	26.4	27.6	0.0063	0.3774	3.7742	90.58			
6	49	54	26.8	27.2	0.0071	0.4241	4.2415	101.80			
5	50	54	26.9	27.1	0.0021	0.1283	1.2829	30.79			
5	51	54	27.2	26.8	0.0065	0.3874	3.8742	92.98			
10	52	54	27.8	26.2	0.0066	0.3933	3.9329	94.39			
10	53	54	28.4	25.6	0.0067	0.4014	4.0139	96.33			
10	54	54	29	25	0.0068	0.4098	4.0982	98.36			
10	55	54	29.5	24.5	0.0058	0.3482	3.4822	83.57			
10	56	54	30	24	0.0059	0.3546	3.5456	85.09			
10	57	54	30.4	23.6	0.0048	0.2884	2.8836	69.21			



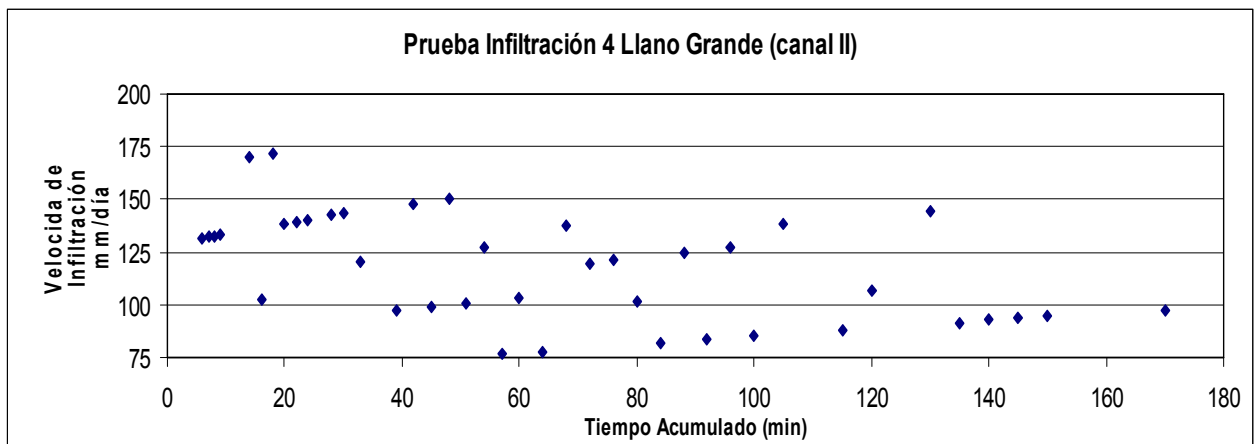
Anexo 3. Prueba de Infiltración No 3.

Boleta, Prueba de Infiltración CERRO TUNCAJ, Río Belejeña, Granados, Baja Verapaz.					PI 3	Lugar	Llano Grande (Canal)		
Profundidad Inicial		53 cm	Altitud 1650 msnm		Uso Actual	Bosque Coníferas Joven	Pendiente		36 % S - N
Profundidad Final		51 cm	Diámetro: 13 cm		Coordenadas	761201	1652800	14°56'17"	90°34'18"
Tiempo (min)	Intervalos Muertos entre Lecturas	Tiempo Acumulado (min)	Profundidad Total (cm)	Lectura (cm)	Diferencia Lectura (cm)	Velocidad de Infiltración cm/min	Velocidad de Infiltración cm/hora	Velocidad de Infiltración mm/hora	Velocidad de Infiltración mm/día
1	1	1	51	1	50	0	0	0	0
1	2	2	51	1.4	49.6	0.0245	1.4703	14.7032	352.88
1	3	3	51	2	49	0.0371	2.2265	22.2648	534.35
1	4	4	51	2.6	48.4	0.0375	2.2522	22.5219	540.53
1	5	5	51	3.2	47.8	0.0380	2.2785	22.7851	546.84
1	6	6	51	3.6	47.4	0.0256	1.5339	15.3393	368.14
1	7	7	51	4	47	0.0258	1.5461	15.4609	371.06
1	8	8	51	4.4	46.6	0.0260	1.5584	15.5845	374.03
1	9	9	51	5	46	0.0394	2.3613	23.6128	566.71
1	10	10	51	5.5	45.5	0.0332	1.9898	19.8981	477.56
2	11	12	51	6.3	44.7	0.0269	1.6133	16.1327	387.19
2	12	14	51	7.4	43.6	0.0377	2.2628	22.6276	543.06
2	13	16	51	8.1	42.9	0.0245	1.4678	14.6777	352.26
2	14	18	51	8.5	42.5	0.0141	0.8488	8.4875	203.70
2	15	20	51	9	42	0.0179	1.0714	10.7144	257.15
2	16	22	51	9.4	41.6	0.0144	0.8657	8.6571	207.77
2	17	24	51	9.9	41.1	0.0182	1.0931	10.9306	262.33
2	18	26	51	10.3	40.7	0.0147	0.8834	8.8336	212.01
2	19	28	51	11	40	0.0261	1.5654	15.6540	375.70
2	20	30	51	11.2	39.8	0.0075	0.4519	4.5191	108.46
3	21	33	51	11.4	39.6	0.0050	0.3027	3.0268	72.64
3	22	36	51	11.9	39.1	0.0127	0.7629	7.6292	183.10
3	23	39	51	12.4	38.6	0.0129	0.7720	7.7198	185.28
3	24	42	51	12.6	38.4	0.0052	0.3114	3.1138	74.73
3	25	45	51	13	38	0.0105	0.6273	6.2727	150.54
3	26	48	51	13.4	37.6	0.0106	0.6334	6.3338	152.01
3	27	51	51	13.6	37.4	0.0053	0.3190	3.1902	76.56
3	28	54	51	13.8	37.2	0.0053	0.3206	3.2059	76.94
3	29	57	51	14.1	36.9	0.0081	0.4839	4.8387	116.13
3	30	60	51	14.3	36.7	0.0054	0.3246	3.2459	77.90
4	31	64	51	14.7	36.3	0.0082	0.4906	4.9057	117.74
4	32	68	51	14.8	36.2	0.0021	0.1234	1.2342	29.62
4	33	72	51	14.9	36.1	0.0021	0.1237	1.2373	29.70
4	34	76	51	15.1	35.9	0.0041	0.2484	2.4841	59.62
4	35	80	51	15.4	35.6	0.0063	0.3750	3.7500	90.00
4	36	84	51	15.6	35.4	0.0042	0.2516	2.5161	60.39
4	37	88	51	16.1	34.9	0.0106	0.6348	6.3477	152.35
4	38	92	51	1.9	49.1	0	0	0	0.00
4	39	96	51	3.2	47.8	0.0204	1.2259	12.2589	294.21
4	40	100	51	4.3	46.7	0.0177	1.0619	10.6192	254.86
5	41	105	51	5.4	45.6	0.0145	0.8685	8.6846	208.43
5	42	110	51	6.4	44.6	0.0134	0.8066	8.0665	193.60
5	43	115	51	7.7	43.3	0.0179	1.0742	10.7422	257.81
5	44	120	51	8.5	42.5	0.0113	0.6761	6.7607	162.26
5	45	125	51	9.4	41.6	0.0129	0.7749	7.7486	185.97
5	46	130	51	10.2	40.8	0.0117	0.7019	7.0193	168.46
5	47	135	51	11	40	0.0119	0.7148	7.1480	171.55
5	48	140	51	11.4	39.6	0.0060	0.3624	3.6237	86.97
5	49	145	51	11.7	39.3	0.0046	0.2740	2.7401	65.76
5	50	150	51	12.1	38.9	0.0061	0.3684	3.6836	88.41
10	51	160	51	13	38	0.0070	0.4209	4.2088	101.01
10	52	170	51	13.6	37.4	0.0048	0.2857	2.8572	68.57
10	53	180	51	14.3	36.7	0.0056	0.3387	3.3872	81.29



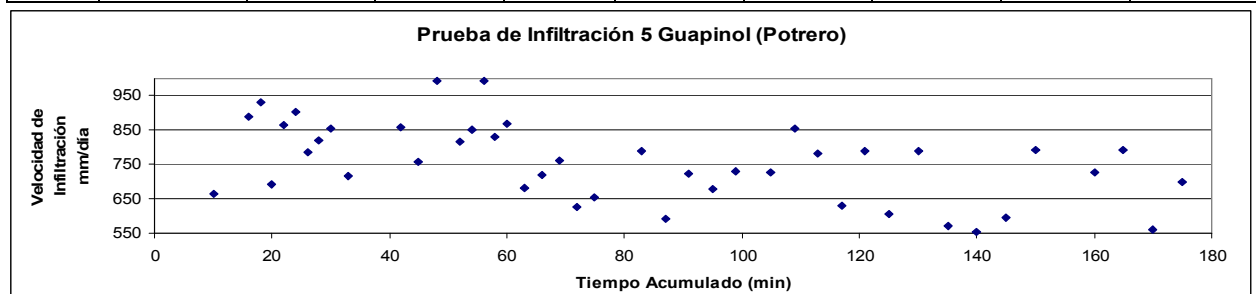
Anexo 4. Prueba de Infiltración No 4.

Boleta, Prueba de Infiltración CERRO TUNCAJ, Río Belejevá, Granados, Baja Verapaz.					PI 4		Llano Grande (Canal) 2			
Profundidad Inicial		81 cm	Altitud		1633 msnm		Uso Actual		Potrero	
Profundidad Final		67 cm	Diametro:		12 cm		Coordenadas		761505	
									1652739	
									14°56'15"	
									90°34'08"	
Tiempo (min)	Intervalos Muertos entre Lecturas	Tiempo Acumulado (min)	Profundidad Total (cm)	Lectura (cm)	Diferencia Lectura (cm)	Velocidad de Infiltración cm/min	Velocidad de Infiltración cm/hora	Velocidad de Infiltración mm/hora	Velocidad de Infiltración mm/día	
1	1	1	67	1.7	65.3	0	0	0	0	
1	2	2	67	2.5	64.5	0.0353	2.1208	21.2079	508.99	
1	3	3	67	3.3	63.7	0.0358	2.1461	21.4608	515.06	
1	4	4	67	4	63	0.0317	1.8990	18.9904	455.77	
1	5	5	67	4.4	62.6	0.0182	1.0942	10.9423	262.61	
1	6	6	67	4.6	62.4	0.0092	0.5496	5.4962	131.91	
1	7	7	67	4.8	62.2	0.0092	0.5513	5.5130	132.31	
1	8	8	67	5	62	0.0092	0.5530	5.5300	132.72	
1	9	9	67	5.2	61.8	0.0092	0.5547	5.5470	133.13	
1	10	10	67	5.5	61.5	0.0139	0.8353	8.3527	200.46	
2	11	12	67	6.1	60.9	0.0140	0.8411	8.4113	201.87	
2	12	14	67	6.6	60.4	0.0118	0.7070	7.0699	169.68	
2	13	16	67	6.9	60.1	0.0071	0.4269	4.2688	102.45	
2	14	18	67	7.4	59.6	0.0119	0.7160	7.1599	171.84	
2	15	20	67	7.8	59.2	0.0096	0.5769	5.7693	138.46	
2	16	22	67	8.2	58.8	0.0097	0.5806	5.8065	139.36	
2	17	24	67	8.6	58.4	0.0097	0.5844	5.8442	140.26	
2	18	26	67	9.2	57.8	0.0147	0.8838	8.8380	212.11	
2	19	28	67	9.6	57.4	0.0099	0.5941	5.9406	142.57	
2	20	30	67	10	57	0.0100	0.5980	5.9801	143.52	
3	21	33	67	10.5	56.5	0.0084	0.5021	5.0209	120.50	
3	22	36	67	10.8	56.2	0.0051	0.3033	3.0329	72.79	
3	23	39	67	11.2	55.8	0.0068	0.4068	4.0678	97.63	
3	24	42	67	11.8	55.2	0.0103	0.6154	6.1539	147.69	
3	25	45	67	12.2	54.8	0.0069	0.4138	4.1379	99.31	
3	26	48	67	12.8	54.2	0.0104	0.6261	6.2609	150.26	
3	27	51	67	13.2	53.8	0.0070	0.4211	4.2105	101.05	
3	28	54	67	13.7	53.3	0.0088	0.5305	5.3051	127.32	
3	29	57	67	14	53	0.0053	0.3206	3.2057	76.94	
3	30	60	67	14.4	52.6	0.0072	0.4301	4.3011	103.23	
4	31	64	67	14.8	52.2	0.0054	0.3249	3.2491	77.98	
4	32	68	67	15.5	51.5	0.0096	0.5743	5.7430	137.83	
4	33	72	67	16.1	50.9	0.0083	0.4982	4.9816	119.56	
4	34	76	67	16.7	50.3	0.0084	0.5037	5.0374	120.90	
4	35	80	67	17.2	49.8	0.0071	0.4241	4.2413	101.79	
4	36	84	67	17.6	49.4	0.0057	0.3422	3.4221	82.13	
4	37	88	67	18.2	48.8	0.0086	0.5182	5.1824	124.38	
4	38	92	67	18.6	48.4	0.0058	0.3488	3.4884	83.72	
4	39	96	67	19.2	47.8	0.0088	0.5284	5.2838	126.81	
4	40	100	67	19.6	47.4	0.0059	0.3557	3.5573	85.38	
5	41	105	67	20.4	46.6	0.0096	0.5760	5.7601	138.24	
5	42	110	67	20.6	46.4	0.0024	0.1455	1.4545	34.91	
5	43	115	67	21.1	45.9	0.0061	0.3662	3.6623	87.89	
5	44	120	67	21.7	45.3	0.0074	0.4445	4.4445	106.67	
5	45	125	67	21.8	45.2	0.0012	0.0746	0.7461	17.91	
5	46	130	67	22.6	44.4	0.0100	0.6025	6.0252	144.61	
5	47	135	67	23.1	43.9	0.0064	0.3818	3.8176	91.62	
5	48	140	67	23.6	43.4	0.0064	0.3859	3.8586	92.61	
5	49	145	67	24.1	42.9	0.0065	0.3900	3.9004	93.61	
5	50	150	67	24.6	42.4	0.0066	0.3943	3.9431	94.63	
10	51	160	67	25.2	41.8	0.0040	0.2395	2.3947	57.47	
10	52	170	67	26.2	40.8	0.0068	0.4063	4.0634	97.52	
10	53	180	67	26.8	40.2	0.0041	0.2483	2.4828	59.59	



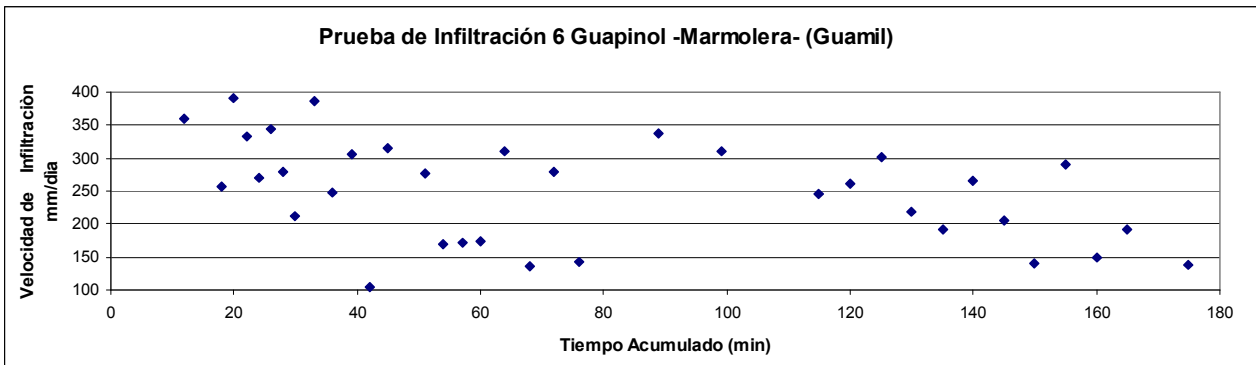
Anexo 5. Prueba de Infiltración No 5.

Boleta, Prueba de Infiltración CERRO TUNCAJ, Río Belejeyá, Granados, Baja Verapaz.					PI 5		Lugar				
Profundidad Inicial		33 cm		Altitud		869 msnm		Uso Actual		Potrero	
Profundidad Final		28 cm		Diametro:		11 cm		Coordenadas		763345	
								1648333		14°53'51"	
										90°33'08"	
Tiempo (min)	Intervalos Muertos entre Lecturas	Tiempo Acumulado (min)	Profundidad Total (cm)	Lectura (cm)	Diferencia Lectura (cm)	Velocidad de Infiltración cm/min	Velocidad de Infiltración cm/hora	Velocidad de Infiltración mm/hora	Velocidad de Infiltración mm/día		
1	1	1	28	5.4	22.6	0	0	0	0		
1	2	2	28	6.9	21.1	0.1677	10.0641	100.6409	2415.38		
1	3	3	28	8.1	19.9	0.1420	8.5180	85.1802	2044.32		
1	4	4	28	9	19	0.1115	6.6901	66.9011	1605.63		
1	5	5	28	9.9	18.1	0.1162	6.9729	69.7287	1673.49		
1	6	6	28	10.6	17.4	0.0939	5.6347	56.3469	1352.33		
1	7	7	28	11.3	16.7	0.0972	5.8339	58.3394	1400.15		
1	8	8	28	12.1	15.9	0.1155	6.9302	69.3015	1663.24		
1	9	9	28	12.7	15.3	0.0899	5.3956	53.9558	1294.94		
1	10	10	28	13	15	0.0461	2.7654	27.6543	663.70		
2	11	12	28	13.9	14.1	0.0715	4.2929	42.9288	1030.29		
2	12	14	28	14.8	13.2	0.0755	4.5286	45.2858	1086.86		
2	13	16	28	15.5	12.5	0.0617	3.7025	37.0254	888.61		
2	14	18	28	16.2	11.8	0.0646	3.8766	38.7655	930.37		
2	15	20	28	16.7	11.3	0.0481	2.8849	28.8491	692.38		
2	16	22	28	17.3	10.7	0.0600	3.6006	36.0057	864.14		
2	17	24	28	17.9	10.1	0.0627	3.7649	37.6491	903.58		
2	18	26	28	18.4	9.6	0.0546	3.2742	32.7424	785.82		
2	19	28	28	18.9	9.1	0.0568	3.4096	34.0958	818.30		
2	20	30	28	19.4	8.6	0.0593	3.5566	35.5659	853.58		
3	21	33	28	20	8	0.0498	2.9872	29.8716	716.92		
3	22	36	28	20.8	7.2	0.0709	4.2533	42.5333	1020.80		
3	23	39	28	21.2	6.8	0.0376	2.2567	22.5673	541.61		
3	24	42	28	21.8	6.2	0.0595	3.5688	35.6882	856.52		
3	25	45	28	22.3	5.7	0.0527	3.1618	31.6179	758.83		
1	26	46	28	5.5	22.5	0	0	0	0.00		
1	27	47	28	6.5	21.5	0.1111	6.6676	66.6757	1600.22		
1	28	48	28	7.1	20.9	0.0689	4.1338	41.3383	992.12		
1	29	49	28	7.9	20.1	0.0946	5.6780	56.7798	1362.72		
1	30	50	28	8.5	19.5	0.0732	4.3905	43.9050	1053.72		
2	31	52	28	9.4	18.6	0.0568	3.4064	34.0645	817.55		
2	32	54	28	10.3	17.7	0.0592	3.5532	35.5318	852.76		
2	33	56	28	11.3	16.7	0.0689	4.1362	41.3620	992.69		
2	34	58	28	12.1	15.9	0.0578	3.4651	34.6508	831.62		
2	35	60	28	12.9	15.1	0.0603	3.6170	36.1702	868.08		
3	36	63	28	13.8	14.2	0.0474	2.8455	28.4546	682.91		
3	37	66	28	14.7	13.3	0.0500	3.0007	30.0074	720.18		
3	38	69	28	15.6	12.4	0.0529	3.1740	31.7396	761.75		
3	39	72	28	16.3	11.7	0.0434	2.6018	26.0184	624.44		
3	40	75	28	17	11	0.0455	2.7311	27.3106	655.45		
4	41	79	28	17.7	10.3	0.0359	2.1553	21.5534	517.28		
4	42	83	28	18.7	9.3	0.0548	3.2886	32.8859	789.26		
4	43	87	28	19.4	8.6	0.0411	2.4687	24.6869	592.48		
4	44	91	28	20.2	7.8	0.0503	3.0150	30.1504	723.61		
4	45	95	28	20.9	7.1	0.0472	2.8320	28.3199	679.68		
4	46	99	28	21.6	6.4	0.0507	3.0409	30.4085	729.80		
1	47	100	28	4.8	23.2	0	0	0	0.00		
2	48	102	28	6.5	21.5	0.0932	5.5898	55.8979	1341.55		
3	49	105	28	7.8	20.2	0.0505	3.0304	30.3043	727.30		
4	50	109	28	9.7	18.3	0.0594	3.5647	35.6472	855.53		
4	51	113	28	11.3	16.7	0.0543	3.2610	32.6096	782.63		
4	52	117	28	12.5	15.5	0.0438	2.6269	26.2688	630.45		
4	53	121	28	13.9	14.1	0.0549	3.2923	32.9234	790.16		
4	54	125	28	14.9	13.1	0.0421	2.5237	25.2372	605.69		
5	55	130	28	16.4	11.6	0.0547	3.2808	32.8085	787.40		
5	56	135	28	17.4	10.6	0.0397	2.3837	23.8371	572.09		
5	57	140	28	18.3	9.7	0.0384	2.3033	23.0326	552.78		
5	58	145	28	19.2	8.8	0.0413	2.4762	24.7616	594.28		
5	59	150	28	20.3	7.7	0.0550	3.3028	33.0275	792.66		
1	60	151	28	4.8	23.2	0	0	0	0.00		
2	61	153	28	6.3	21.7	0.0819	4.9122	49.1216	1178.92		
3	62	156	28	8.1	19.9	0.0701	4.2059	42.0587	1009.41		
4	63	160	28	9.7	18.3	0.0504	3.0219	30.2195	725.27		
5	64	165	28	11.7	16.3	0.0549	3.2945	32.9450	790.68		
5	65	170	28	13	15	0.0389	2.3325	23.3249	559.80		
5	66	175	28	14.5	13.5	0.0486	2.9137	29.1366	699.28		
5	67	180	28	15.5	12.5	0.0349	2.0959	20.9594	503.03		



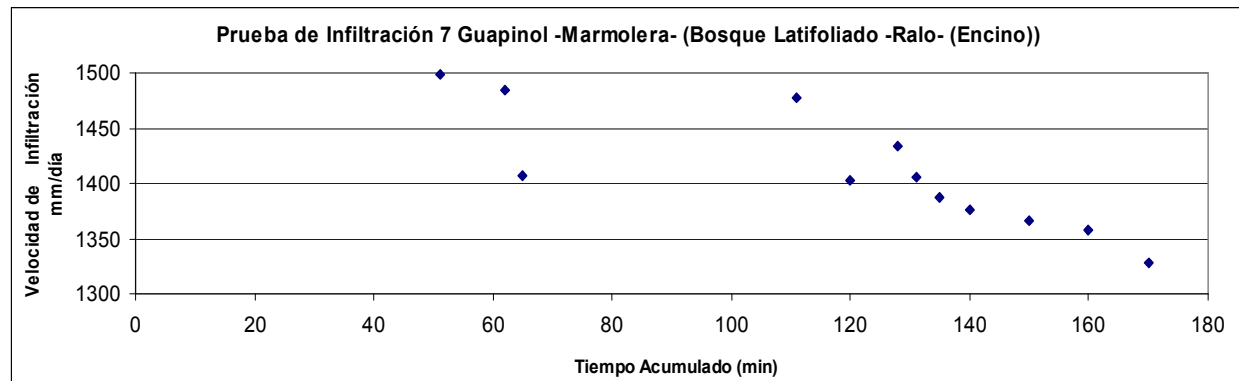
Anexo 6. Prueba de Infiltración No 6.

Boleta, Prueba de Infiltración CERRO TUNCAJ, Río Belejejá, Granados, Baja Verapaz.					PI 6	Lugar	Guapinol, Marmolera		
Profundidad Inicial	39 cm		Altitud	781 msnm	Uso Actual	Guamil, Menor 3 mts	Pendiente	49% N-S	
Profundidad Final	38 cm		Diametro:	10 cm	Coordenadas	763639	1647691	14°53'30" "	90°32'59" "
Tiempo (min)	Intervalos Muertos entre Lecturas	Tiempo Acumulado (min)	Profundidad Total (cm)	Lectura (cm)	Diferencia Lectura (cm)	Velocidad de Infiltración cm/min	Velocidad de Infiltración cm/hora	Velocidad de Infiltración mm/hora	Velocidad de Infiltración mm/día
1	1	1	38	3.6	34.4	0	0	0	0
1	2	2	38	5.3	32.7	0.1179	7.0748	70.7482	1697.96
1	3	3	38	6.6	31.4	0.0941	5.6447	56.4466	1354.72
1	4	4	38	7.3	30.7	0.0522	3.1298	31.2977	751.14
1	5	5	38	7.9	30.1	0.0456	2.7356	27.3564	656.55
1	6	6	38	8.5	29.5	0.0464	2.7865	27.8646	668.75
1	7	7	38	9	29	0.0394	2.3623	23.6225	566.94
1	8	8	38	9.4	28.6	0.0319	1.9170	19.1696	460.07
1	9	9	38	9.8	28.2	0.0324	1.9418	19.4177	466.03
1	10	10	38	10.2	27.8	0.0328	1.9672	19.6724	472.14
2	11	12	38	10.8	27.2	0.0250	1.5001	15.0005	360.01
2	12	14	38	11.5	26.5	0.0298	1.7888	17.8884	429.32
2	13	16	38	12.2	25.8	0.0305	1.8326	18.3255	439.81
2	14	18	38	12.6	25.4	0.0178	1.0676	10.6763	256.23
2	15	20	38	13.2	24.8	0.0272	1.6305	16.3050	391.32
2	16	22	38	13.7	24.3	0.0231	1.3864	13.8636	332.73
2	17	24	38	14.1	23.9	0.0188	1.1278	11.2784	270.68
2	18	26	38	14.6	23.4	0.0239	1.4341	14.3408	344.18
2	19	28	38	15	23	0.0195	1.1673	11.6734	280.16
2	20	30	38	15.3	22.7	0.0148	0.8876	8.8758	213.02
3	21	33	38	16.1	21.9	0.0269	1.6130	16.1304	387.13
3	22	36	38	16.6	21.4	0.0173	1.0352	10.3523	248.46
3	23	39	38	17.2	20.8	0.0212	1.2713	12.7125	305.10
3	24	42	38	17.4	20.6	0.0072	0.4310	4.3104	103.45
3	25	45	38	18	20	0.0219	1.3159	13.1587	315.81
3	26	48	38	18.5	19.5	0.0187	1.1236	11.2364	269.67
3	27	51	38	19	19	0.0192	1.1495	11.4948	275.87
3	28	54	38	19.3	18.7	0.0117	0.7026	7.0259	168.62
3	29	57	38	19.6	18.4	0.0119	0.7126	7.1260	171.02
3	30	60	38	19.9	18.1	0.0120	0.7229	7.2290	173.50
4	31	64	38	20.6	17.4	0.0216	1.2964	12.9643	311.14
4	32	68	38	20.9	17.1	0.0095	0.5696	5.6963	136.71
4	33	72	38	21.5	16.5	0.0194	1.1659	11.6590	279.82
4	34	76	38	21.8	16.2	0.0099	0.5968	5.9683	143.24
4	35	80	38	21.9	16.1	0.0034	0.2011	2.0107	48.26
1	36	81	38	3.5	34.5	0	0	0	0
1	37	82	38	5	33	0.1035	6.2078	62.0778	1489.87
1	38	83	38	6	32	0.0714	4.2860	42.8601	1028.64
2	39	85	38	7.2	30.8	0.0443	2.6551	26.5514	637.23
2	40	87	38	8.2	29.8	0.0381	2.2868	22.8676	548.82
2	41	89	38	8.8	29.2	0.0234	1.4063	14.0629	337.51
3	42	92	38	9.9	28.1	0.0294	1.7658	17.6583	423.80
3	43	95	38	11.1	26.9	0.0333	2.0003	20.0027	480.06
4	44	99	38	12.1	25.9	0.0216	1.2977	12.9771	311.45
4	45	103	38	13.4	24.6	0.0293	1.7571	17.5708	421.70
4	46	107	38	13.6	24.4	0.0046	0.2778	2.7778	66.67
4	47	111	38	14.5	23.5	0.0213	1.2761	12.7612	306.27
4	48	115	38	15.2	22.8	0.0171	1.0235	10.2346	245.63
5	49	120	38	16.1	21.9	0.0181	1.0866	10.8664	260.79
5	50	125	38	17.1	20.9	0.0209	1.2554	12.5541	301.30
5	51	130	38	17.8	20.2	0.0152	0.9111	9.1113	218.67
5	52	135	38	18.4	19.6	0.0134	0.8036	8.0362	192.87
5	53	140	38	19.2	18.8	0.0184	1.1061	11.0612	265.47
5	54	145	38	19.8	18.2	0.0143	0.8572	8.5720	205.73
5	55	150	38	20.2	17.8	0.0098	0.5854	5.8538	140.49
5	56	155	38	21	17	0.0201	1.2062	12.0619	289.49
5	57	160	38	21.4	16.6	0.0104	0.6218	6.2178	149.23
5	58	165	38	21.9	16.1	0.0133	0.7958	7.9580	190.99
10	59	175	38	22.6	15.4	0.0096	0.5754	5.7541	138.10
10	60	185	38	23.2	14.8	0.0085	0.5114	5.1141	122.74



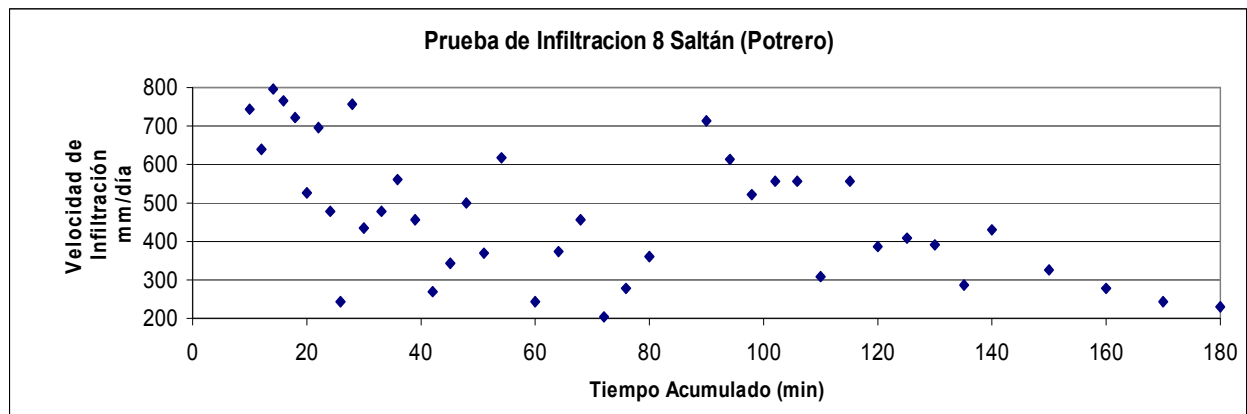
Anexo 7. Prueba de Infiltración No 7.

Boleta, Prueba de Infiltración CERRO TUNCAJ, Río Belejé, Granados, Baja Verapaz.					PI 7		Lugar		Guapinol, Marmolera		
Profundidad Inicial		55 cm		Altitud		1,118 msnm		Uso Actual		B. Latifoliado Ralo (Encino)	
Profundidad Final		49 cm		Diametro:		10 cm		Coordenadas		757801 1649689 14°54'37" 90°36'13"	
Tiempo (min)	Intervalos Muertos entre Lecturas	Tiempo Acumulado (min)	Profundidad Total (cm)	Lectura (cm)	Diferencia Lectura (cm)	Velocidad de Infiltración cm/min	Velocidad de Infiltración cm/hora	Velocidad de Infiltración mm/hora	Velocidad de Infiltración mm/día		
1	1	1	49	4.4	44.6	0	0	0	0		
1	2	2	49	8	41	0.1988	11.9268	119.2681	2862.43		
1	3	3	49	10.8	38.2	0.1663	9.9799	99.7993	2395.18		
1	4	4	49	12.9	36.1	0.1324	7.9464	79.4637	1907.13		
1	5	5	49	14.9	34.1	0.1330	7.9806	79.8061	1915.35		
1	6	6	49	16.7	32.3	0.1261	7.5646	75.6463	1815.51		
1	7	7	49	18.6	30.4	0.1404	8.4217	84.2171	2021.21		
1	8	8	49	20.4	28.6	0.1407	8.4397	84.3973	2025.53		
1	9	9	49	21.9	27.1	0.1236	7.4150	74.1502	1779.60		
1	10	10	49	23.5	25.5	0.1389	8.3355	83.3548	2000.51		
2	11	12	49	8.4	40.6	0	0	0	0		
2	12	14	49	12.5	36.5	0.1250	7.4971	74.9710	1799.30		
2	13	16	49	16.5	32.5	0.1353	8.1160	81.1602	1947.84		
2	14	18	49	20	29	0.1317	7.9020	79.0204	1896.49		
2	15	20	49	22.7	26.3	0.1120	6.7209	67.2091	1613.02		
2	16	22	49	25.6	23.4	0.1327	7.9599	79.5993	1910.38		
2	17	24	49	8.5	40.5	0	0	0	0		
2	18	26	49	13	36	0.1382	8.2906	82.9064	1989.75		
2	19	28	49	16.8	32.2	0.1299	7.7939	77.9389	1870.53		
2	20	30	49	20.2	28.8	0.1289	7.7341	77.3412	1856.19		
3	21	33	49	23.4	25.6	0.0899	5.3924	53.9243	1294.18		
3	22	36	49	9.9	39.1	0	0	0	0		
3	23	39	49	15.9	33.1	0.1298	7.7877	77.8773	1869.05		
3	24	42	49	20.6	28.4	0.1180	7.0795	70.7947	1699.07		
3	25	45	49	24.6	24.4	0.1155	6.9315	69.3149	1663.56		
3	26	48	49	28.5	20.5	0.1305	7.8316	78.3160	1879.58		
3	27	51	49	31.2	17.8	0.1041	6.2437	62.4367	1498.48		
3	28	54	49	9.6	39.4	0	0	0	0		
3	29	57	49	14.9	34.1	0.1127	6.7619	67.6188	1622.85		
3	30	60	49	20.1	28.9	0.1277	7.6620	76.6202	1838.88		
1	31	61	49	21.8	27.2	0.1392	8.3491	83.4913	2003.79		
1	32	62	49	23	26	0.1031	6.1864	61.8644	1484.75		
1	33	63	49	24.2	24.8	0.1075	6.4526	64.5261	1548.63		
1	34	64	49	25.4	23.6	0.1124	6.7427	67.4271	1618.25		
1	35	65	49	26.4	22.6	0.0977	5.8601	58.6012	1406.43		
2	36	67	49	28.5	20.5	0.1092	6.5530	65.5302	1572.73		
2	37	69	49	30.6	18.4	0.1197	7.1809	71.8088	1723.41		
2	38	71	49	7.3	41.7	0	0	0	0		
2	39	73	49	11.8	37.2	0.1342	8.0530	80.5302	1932.72		
2	40	75	49	15.3	33.7	0.1154	6.9219	69.2191	1661.26		
3	41	78	49	19.6	29.4	0.1054	6.3227	63.2266	1517.44		
3	42	81	49	23.6	25.4	0.1116	6.6990	66.9897	1607.75		
3	43	84	49	27.2	21.8	0.1151	6.9075	69.0752	1657.80		
3	44	87	49	30.1	18.9	0.1059	6.3543	63.5427	1525.03		
3	45	90	49	9.2	39.8	0	0	0	0		
4	46	94	49	16.4	32.6	0.1166	6.9970	69.9697	1679.27		
4	47	98	49	22.1	26.9	0.1108	6.6452	66.4524	1594.86		
4	48	102	49	26.9	22.1	0.1114	6.6843	66.8431	1604.23		
4	49	106	49	30.7	18.3	0.1049	6.2923	62.9225	1510.14		
4	50	110	49	11.7	37.3	0	0	0	0		
1	51	111	49	13.3	35.7	0.1026	6.1547	61.5471	1477.13		
2	52	113	49	16.6	32.4	0.1129	6.7762	67.7615	1626.28		
3	53	116	49	21	28	0.1123	6.7380	67.3801	1617.12		
4	54	120	49	25.4	23.6	0.0974	5.8422	58.4218	1402.12		
5	55	125	49	30.8	18.2	0.1159	6.9540	69.5405	1668.97		
1	56	126	49	12.3	36.7	0	0	0	0		
2	57	128	49	15.3	33.7	0.0995	5.9713	59.7132	1433.12		
3	58	131	49	19.3	29.7	0.0976	5.8546	58.5463	1405.11		
4	59	135	49	23.9	25.1	0.0963	5.7807	57.8065	1387.36		
5	60	140	49	28.7	20.3	0.0955	5.7317	57.3166	1375.60		
10	61	150	49	35.9	13.1	0.0949	5.6923	56.9234	1366.16		
10	62	160	49	40.8	8.2	0.0943	5.6554	56.5541	1357.30		
10	63	170	49	44.1	4.9	0.0922	5.5315	55.3146	1327.55		
10	64	180	49	46.3	2.7	0.0882	5.2923	52.9232	1270.16		



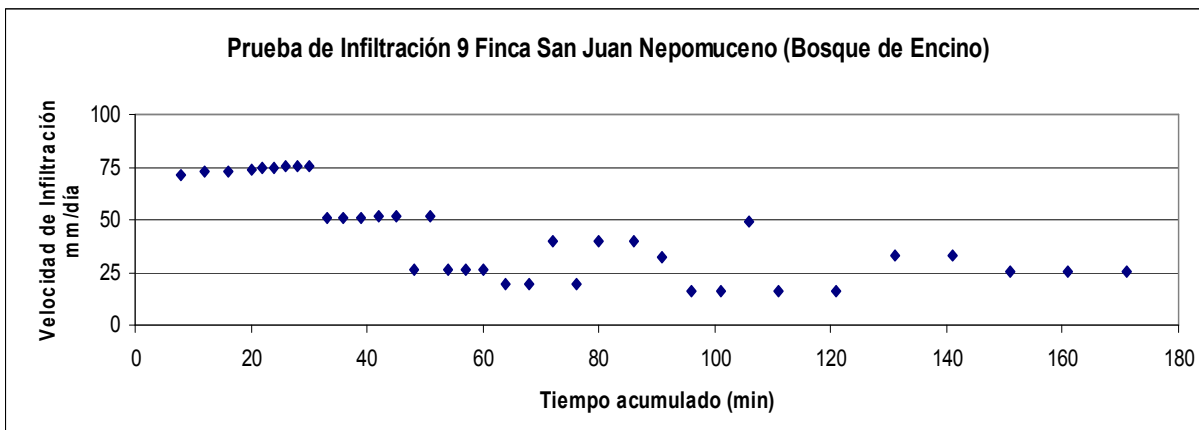
Anexo 8. Prueba de Infiltración No 8.

Boleta, Prueba de Infiltración CERRO TUNCAJ, Río Belejeyá, Granados, Baja Verapaz.					PI 8		Lugar		Saltán	
Profundidad Inicial		38 cm	Altitud		1,058 msnm		Uso Actual		Potrero	
Profundidad Final		35 cm	Diametro:		10 cm		Coordenadas		757772	
							1649514		14°54'31"	
							Velocidad de Infiltración cm/min		Velocidad de Infiltración mm/hora	
							Velocidad de Infiltración cm/hora		Velocidad de Infiltración mm/día	
Tiempo (min)	Intervalos Muertos entre Lecturas	Tiempo Acumulado (min)	Profundidad Total (cm)	Lectura (cm)	Diferencia Lectura (cm)	Velocidad de Infiltración cm/min	Velocidad de Infiltración cm/hora	Velocidad de Infiltración mm/hora	Velocidad de Infiltración mm/día	
1	1	1	35	0.6	34.4	0	0	0	0	
1	2	2	35	1.9	33.1	0.0897	5.3799	53.7989	1291.17	
1	3	3	35	3.1	31.9	0.0857	5.1434	51.4336	1234.41	
1	4	4	35	4	31	0.0663	3.9767	39.7667	954.40	
1	5	5	35	5.1	29.9	0.0835	5.0081	50.0805	1201.93	
1	6	6	35	5.9	29.1	0.0625	3.7502	37.5020	900.05	
1	7	7	35	6.7	28.3	0.0641	3.8464	38.4636	923.13	
1	8	8	35	7.5	27.5	0.0658	3.9476	39.4760	947.42	
1	9	9	35	8.2	26.8	0.0590	3.5415	35.4148	849.96	
1	10	10	35	8.8	26.2	0.0517	3.1036	31.0356	744.85	
2	11	12	35	9.8	25.2	0.0443	2.6599	26.5985	638.36	
2	12	14	35	11	24	0.0554	3.3216	33.2158	797.18	
2	13	16	35	12.1	22.9	0.0530	3.1797	31.7967	763.12	
2	14	18	35	13.1	21.9	0.0502	3.0125	30.1245	722.99	
2	15	20	35	13.8	21.2	0.0364	2.1831	21.8311	523.95	
2	16	22	35	14.7	20.3	0.0484	2.9036	29.0359	696.86	
2	17	24	35	15.3	19.7	0.0333	2.0001	20.0012	480.03	
2	18	26	35	15.6	19.4	0.0170	1.0204	10.2042	244.90	
2	19	28	35	16.5	18.5	0.0525	3.1473	31.4731	755.36	
2	20	30	35	17	18	0.0301	1.8073	18.0732	433.76	
3	21	33	35	17.8	17.2	0.0332	1.9903	19.9031	477.68	
3	22	36	35	18.7	16.3	0.0390	2.3381	23.3809	561.14	
3	23	39	35	19.4	15.6	0.0316	1.8972	18.9725	455.34	
3	24	42	35	19.8	15.2	0.0186	1.1174	11.1736	268.17	
3	25	45	35	20.3	14.7	0.0239	1.4328	14.3276	343.86	
3	26	48	35	21	14	0.0346	2.0775	20.7745	498.59	
3	27	51	35	21.5	13.5	0.0256	1.5386	15.3858	369.26	
3	28	54	35	22.3	12.7	0.0427	2.5647	25.6466	615.52	
3	29	57	35	22.5	12.5	0.0110	0.6623	6.6226	158.94	
3	30	60	35	22.8	12.2	0.0168	1.0101	10.1014	242.43	
4	31	64	35	23.4	11.6	0.0260	1.5627	15.6273	375.05	
4	32	68	35	24.1	10.9	0.0318	1.9095	19.0950	458.28	
4	33	72	35	24.4	10.6	0.0142	0.8491	8.4909	203.78	
4	34	76	35	24.8	10.2	0.0194	1.1629	11.6288	279.09	
4	35	80	35	25.3	9.7	0.0251	1.5062	15.0623	361.49	
1	36	81	35	0.6	34.4	0	0	0	0	
2	37	83	35	2.4	32.6	0.0625	3.7508	37.5078	900.19	
3	38	86	35	4.7	30.3	0.0565	3.3886	33.8863	813.27	
4	39	90	35	7.2	27.8	0.0496	2.9730	29.7303	713.53	
4	40	94	35	9.2	25.8	0.0427	2.5607	25.6072	614.57	
4	41	98	35	10.8	24.2	0.0364	2.1824	21.8243	523.78	
4	42	102	35	12.4	22.6	0.0386	2.3173	23.1734	556.16	
4	43	106	35	13.9	21.1	0.0385	2.3108	23.1079	554.59	
4	44	110	35	14.7	20.3	0.0216	1.2932	12.9323	310.38	
5	45	115	35	16.4	18.6	0.0387	2.3246	23.2462	557.91	
5	46	120	35	17.5	17.5	0.0268	1.6062	16.0622	385.49	
5	47	125	35	18.6	16.4	0.0283	1.6971	16.9711	407.31	
5	48	130	35	19.6	15.4	0.0272	1.6308	16.3084	391.40	
5	49	135	35	20.3	14.7	0.0199	1.1967	11.9674	287.22	
5	50	140	35	21.3	13.7	0.0299	1.7969	17.9694	431.27	
10	51	150	35	22.7	12.3	0.0226	1.3558	13.5576	325.38	
10	52	160	35	23.8	11.2	0.0193	1.1585	11.5847	278.03	
10	53	170	35	24.7	10.3	0.0170	1.0193	10.1926	244.62	
10	54	180	35	25.5	9.5	0.0161	0.9681	9.6808	232.34	



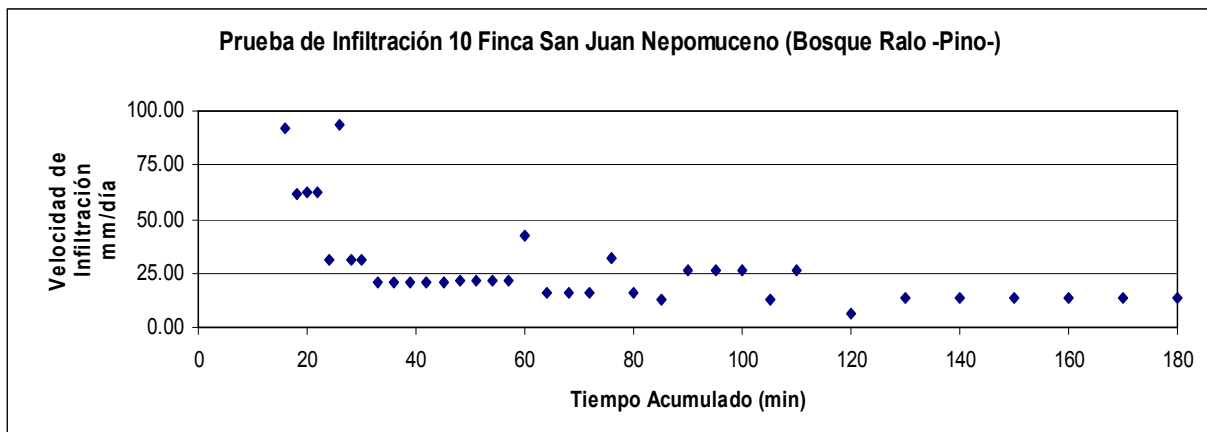
Anexo 9. Prueba de Infiltración No 9.

Boleta, Prueba de Infiltración CERRO TUNCAJ, Rio Belejya, Granados, Baja Verapaz.						PI 9	Lugar Finca San Juan Nepomuceno		
Profundidad Inicial 50 cm			Altitud 1,175 msnm		Uso Actual	Bosque de Encino	Pendiente		41% W-E
Profundidad Final 49 cm			Diametro: 9.5 cm		Coordenadas	761314	1649568	14°54'32"	90°34'16"
Tiempo (min)	Intervalos Muertos entre Lecturas	Tiempo Acumulado (min)	Profundidad Total (cm)	Lectura (cm)	Diferencia Lectura (cm)	Velocidad de Infiltración cm/min	Velocidad de Infiltración cm/hora	Velocidad de Infiltración mm/hora	Velocidad de Infiltración mm/día
1	1	1	49	0.9	48.1	0	0	0	0
1	2	2	49	1.5	47.5	0.0284	1.7041	17.0406	408.97
1	3	3	49	2.1	46.9	0.0287	1.7247	17.2468	413.92
1	4	4	49	2.6	46.4	0.0242	1.4534	14.5335	348.80
1	5	5	49	2.8	46.2	0.0098	0.5855	5.8552	140.52
1	6	6	49	3.1	45.9	0.0147	0.8828	8.8281	211.87
1	7	7	49	3.5	45.5	0.0198	1.1857	11.8565	284.56
1	8	8	49	3.6	45.4	0.0050	0.2980	2.9796	71.51
1	9	9	49	3.9	45.1	0.0150	0.8976	8.9764	215.43
1	10	10	49	4.1	44.9	0.0100	0.6016	6.0158	144.38
2	11	12	49	4.3	44.7	0.0050	0.3021	3.0207	72.50
2	12	14	49	4.6	44.4	0.0076	0.4555	4.5552	109.32
2	13	16	49	4.8	44.2	0.0051	0.3053	3.0530	73.27
2	14	18	49	5.1	43.9	0.0077	0.4604	4.6042	110.50
2	15	20	49	5.3	43.7	0.0051	0.3086	3.0861	74.07
2	16	22	49	5.5	43.5	0.0052	0.3100	3.0995	74.39
2	17	24	49	5.7	43.3	0.0052	0.3113	3.1131	74.71
2	18	26	49	5.9	43.1	0.0052	0.3127	3.1267	75.04
2	19	28	49	6.1	42.9	0.0052	0.3141	3.1405	75.37
2	20	30	49	6.3	42.7	0.0053	0.3154	3.1544	75.71
3	21	33	49	6.5	42.5	0.0035	0.2112	2.1123	50.69
3	22	36	49	6.7	42.3	0.0035	0.2122	2.1217	50.92
3	23	39	49	6.9	42.1	0.0036	0.2131	2.1312	51.15
3	24	42	49	7.1	41.9	0.0036	0.2141	2.1408	51.38
3	25	45	49	7.3	41.7	0.0036	0.2151	2.1505	51.61
3	26	48	49	7.4	41.6	0.0018	0.1079	1.0789	25.89
3	27	51	49	7.6	41.4	0.0036	0.2165	2.1652	51.97
3	28	54	49	7.7	41.3	0.0018	0.1086	1.0863	26.07
3	29	57	49	7.8	41.2	0.0018	0.1089	1.0888	26.13
3	30	60	49	7.9	41.1	0.0018	0.1091	1.0913	26.19
4	31	64	49	8	41	0.0014	0.0820	0.8204	19.69
4	32	68	49	8.1	40.9	0.0014	0.0822	0.8223	19.73
4	33	72	49	8.3	40.7	0.0028	0.1650	1.6503	39.61
4	34	76	49	8.4	40.6	0.0014	0.0828	0.8280	19.87
4	35	80	49	8.6	40.4	0.0028	0.1662	1.6618	39.88
6	36	86	49	8.9	40.1	0.0028	0.1672	1.6716	40.12
5	37	91	49	9.1	39.9	0.0022	0.1345	1.3451	32.28
5	38	96	49	9.2	39.8	0.0011	0.0675	0.6750	16.20
5	39	101	49	9.3	39.7	0.0011	0.0677	0.6766	16.24
5	40	106	49	9.6	39.4	0.0034	0.2039	2.0394	48.94
5	41	111	49	9.7	39.3	0.0011	0.0683	0.6830	16.39
10	42	121	49	9.9	39.1	0.0011	0.0686	0.6855	16.45
10	43	131	49	10.3	38.7	0.0023	0.1381	1.3810	33.14
10	44	141	49	10.7	38.3	0.0023	0.1395	1.3945	33.47
10	45	151	49	11	38	0.0018	0.1055	1.0549	25.32
10	46	161	49	11.3	37.7	0.0018	0.1063	1.0628	25.51
10	47	171	49	11.6	37.4	0.0018	0.1071	1.0708	25.70
10	48	181	49	11.9	37.1	0.0018	0.1079	1.0789	25.89



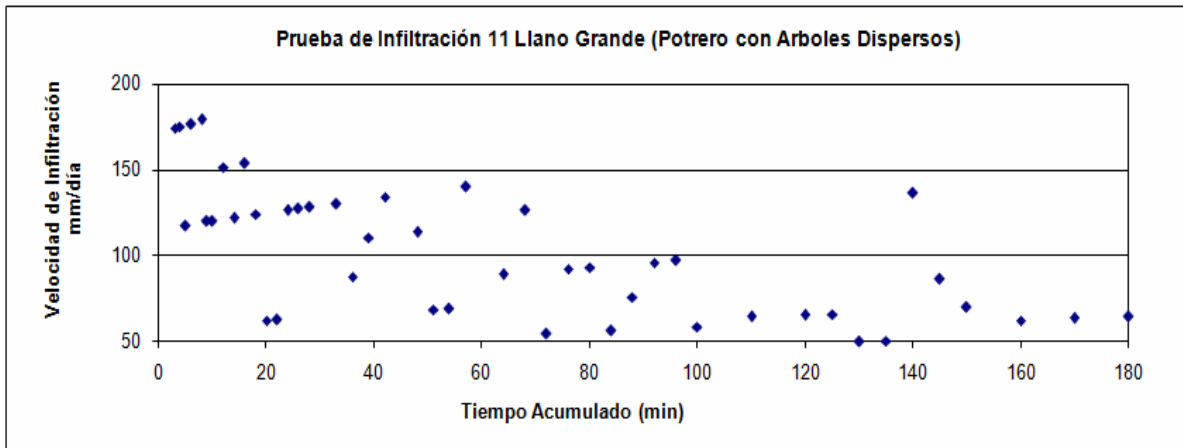
Anexo 10. Prueba de Infiltración No 10.

Boleta, Prueba de Infiltración CERRO TUNCAJ, Río Belejejá, Granados, Baja Verapaz.						PI 10		Lugar Finca San Juan Nepomuceno	
Profundidad Inicial		66 cm	Altitud		1,277 msnm	Uso Actual		Bosque Ralo (Pino)	
Profundidad Final		65 cm	Diametro:		10 cm	Coordenadas		Pendiente	
								14°55'08''	90°34'10''
Tiempo (min)	Intervalos Muertos entre Lecturas	Tiempo Acumulado (min)	Profundidad Total (cm)	Lectura (cm)	Diferencia Lectura (cm)	Velocidad de Infiltración cm/min	Velocidad de Infiltración cm/hora	Velocidad de Infiltración mm/hora	Velocidad de Infiltración mm/día
1	1	1	65	2.7	62.3	0	0	0	0
1	2	2	65	4	61	0.0507	3.0399	30.3985	729.57
1	3	3	65	4.9	60.1	0.0357	2.1412	21.4119	513.89
1	4	4	65	5.7	59.3	0.0322	1.9293	19.2929	463.03
1	5	5	65	6.2	58.8	0.0203	1.2185	12.1853	292.45
1	6	6	65	6.7	58.3	0.0205	1.2285	12.2851	294.84
1	7	7	65	7.2	57.8	0.0206	1.2387	12.3865	297.28
1	8	8	65	7.5	57.5	0.0125	0.7481	7.4813	179.55
1	9	9	65	7.9	57.1	0.0167	1.0033	10.0335	240.80
1	10	10	65	8.1	56.9	0.0084	0.5042	5.0420	121.01
2	11	12	65	8.5	56.5	0.0084	0.5068	5.0676	121.62
2	12	14	65	8.9	56.1	0.0085	0.5102	5.1021	122.45
2	13	16	65	9.2	55.8	0.0064	0.3849	3.8495	92.39
2	14	18	65	9.4	55.6	0.0043	0.2577	2.5773	61.86
2	15	20	65	9.6	55.4	0.0043	0.2586	2.5862	62.07
2	16	22	65	9.8	55.2	0.0043	0.2595	2.5952	62.28
2	17	24	65	9.9	55.1	0.0022	0.1301	1.3010	31.22
2	18	26	65	10.2	54.8	0.0065	0.3916	3.9165	93.99
2	19	28	65	10.3	54.7	0.0022	0.1310	1.3100	31.44
2	20	30	65	10.4	54.6	0.0022	0.1312	1.3123	31.50
3	21	33	65	10.5	54.5	0.0015	0.0876	0.8764	21.03
3	22	36	65	10.6	54.4	0.0015	0.0878	0.8780	21.07
3	23	39	65	10.7	54.3	0.0015	0.0880	0.8795	21.11
3	24	42	65	10.8	54.2	0.0015	0.0881	0.8811	21.15
3	25	45	65	10.9	54.1	0.0015	0.0883	0.8826	21.18
3	26	48	65	11	54	0.0015	0.0884	0.8842	21.22
3	27	51	65	11.1	53.9	0.0015	0.0886	0.8857	21.26
3	28	54	65	11.2	53.8	0.0015	0.0887	0.8873	21.30
3	29	57	65	11.3	53.7	0.0015	0.0889	0.8889	21.33
3	30	60	65	11.5	53.5	0.0030	0.1783	1.7825	42.78
4	31	64	65	11.6	53.4	0.0011	0.0670	0.6702	16.09
4	32	68	65	11.7	53.3	0.0011	0.0671	0.6714	16.11
4	33	72	65	11.8	53.2	0.0011	0.0673	0.6726	16.14
4	34	76	65	12	53	0.0022	0.1349	1.3489	32.37
4	35	80	65	12.1	52.9	0.0011	0.0676	0.6763	16.23
5	36	85	65	12.2	52.8	0.0009	0.0542	0.5420	13.01
5	37	90	65	12.4	52.6	0.0018	0.1087	1.0870	26.09
5	38	95	65	12.6	52.4	0.0018	0.1091	1.0909	26.18
5	39	100	65	12.8	52.2	0.0018	0.1095	1.0949	26.28
5	40	105	65	12.9	52.1	0.0009	0.0549	0.5489	13.17
5	41	110	65	13.1	51.9	0.0018	0.1101	1.1009	26.42
10	42	120	65	13.2	51.8	0.0005	0.0276	0.2760	6.62
10	43	130	65	13.4	51.6	0.0009	0.0554	0.5535	13.28
10	44	140	65	13.6	51.4	0.0009	0.0556	0.5556	13.33
10	45	150	65	13.8	51.2	0.0009	0.0558	0.5576	13.38
10	46	160	65	14	51	0.0009	0.0560	0.5597	13.43
10	47	170	65	14.2	50.8	0.0009	0.0562	0.5618	13.48
10	48	180	65	14.4	50.6	0.0009	0.0564	0.5639	13.53



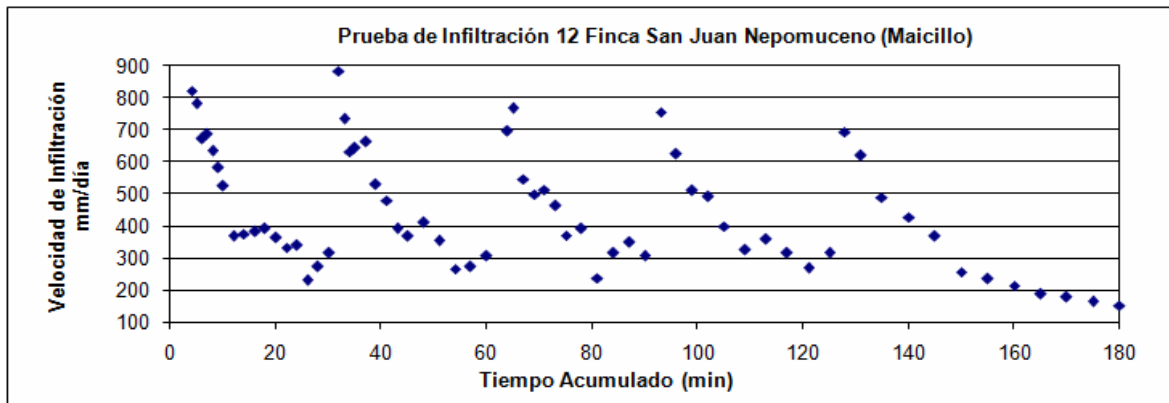
Anexo 11. Prueba de Infiltración No 11.

Boleta, Prueba de Infiltración CERRO TUNCAJ, Río Belejéyá, Granados, Baja Verapaz.					PI 11		Lugar			
Profundidad Inicial		Altitud		Uso Actual		Potrero con Arboles Dispersos			Pendiente	
56 cm		1,522 msnm		9 cm		761680			32 % W - E	
Profundidad Final		Diametro:		Coordenadas		1651499			14°55'34''	
55 cm		9 cm		761680		1651499			90°34'03''	
Tiempo (min)	Intervalos Muertos entre Lecturas	Tiempo Acumulado (min)	Profundidad Total (cm)	Lectura (cm)	Diferencia Lectura (cm)	Velocidad de Infiltración cm/min	Velocidad de Infiltración cm/hora	Velocidad de Infiltración mm/hora	Velocidad de Infiltración mm/día	
1	1	1	55	1	54	0	0	0	0	
1	2	2	55	1.4	53.6	0.0161	0.9634	9.6343	231.22	
1	3	3	55	1.7	53.3	0.0121	0.7271	7.2711	174.51	
1	4	4	55	2	53	0.0122	0.7310	7.3105	175.45	
1	5	5	55	2.2	52.8	0.0082	0.4896	4.8957	117.50	
1	6	6	55	2.5	52.5	0.0123	0.7377	7.3771	177.05	
1	7	7	55	2.9	52.1	0.0165	0.9899	9.8992	237.58	
1	8	8	55	3.2	51.8	0.0125	0.7472	7.4723	179.34	
1	9	9	55	3.4	51.6	0.0083	0.5005	5.0046	120.11	
1	10	10	55	3.6	51.4	0.0084	0.5023	5.0233	120.56	
2	11	12	55	4.1	50.9	0.0105	0.6320	6.3203	151.69	
2	12	14	55	4.5	50.5	0.0085	0.5099	5.0992	122.38	
2	13	16	55	5	50	0.0107	0.6429	6.4286	154.29	
2	14	18	55	5.4	49.6	0.0086	0.5187	5.1873	124.50	
2	15	20	55	5.6	49.4	0.0043	0.2609	2.6087	62.61	
2	16	22	55	5.8	49.2	0.0044	0.2619	2.6188	62.85	
2	17	24	55	6.2	48.8	0.0088	0.5268	5.2683	126.44	
2	18	26	55	6.6	48.4	0.0088	0.5310	5.3098	127.43	
2	19	28	55	7	48	0.0089	0.5352	5.3519	128.44	
2	20	30	55	7.3	47.7	0	0	0	0.00	
3	21	33	55	7.9	47.1	0.0091	0.5438	5.4381	130.52	
3	22	36	55	8.3	46.7	0.0061	0.3662	3.6623	87.89	
3	23	39	55	8.8	46.2	0.0077	0.4620	4.6202	110.88	
3	24	42	55	9.4	45.6	0.0093	0.5608	5.6075	134.58	
3	25	45	55	9.6	45.4	0.0031	0.1885	1.8848	45.24	
3	26	48	55	10.1	44.9	0.0079	0.4747	4.7469	113.93	
3	27	51	55	10.4	44.6	0.0048	0.2872	2.8724	68.94	
3	28	54	55	10.7	44.3	0.0048	0.2891	2.8908	69.38	
3	29	57	55	11.3	43.7	0.0097	0.5838	5.8379	140.11	
3	30	60	55	11.7	43.3	0	0	0	0.00	
4	31	64	55	12.2	42.8	0.0062	0.3725	3.7252	89.40	
4	32	68	55	12.9	42.1	0.0088	0.5285	5.2853	126.85	
4	33	72	55	13.2	41.8	0.0038	0.2291	2.2907	54.98	
4	34	76	55	13.7	41.3	0.0064	0.3853	3.8528	92.47	
4	35	80	55	14.2	40.8	0.0065	0.3897	3.8973	93.53	
4	36	84	55	14.5	40.5	0.0039	0.2360	2.3601	56.64	
4	37	88	55	14.9	40.1	0.0053	0.3173	3.1728	76.15	
4	38	92	55	15.4	39.6	0.0067	0.4008	4.0084	96.20	
4	39	96	55	15.9	39.1	0.0068	0.4057	4.0565	97.36	
4	40	100	55	16.2	38.8	0.0041	0.2458	2.4575	58.98	
5	41	105	55	16.9	38.1	0	0	0	0.00	
5	42	110	55	17.3	37.7	0.0045	0.2690	2.6899	64.56	
5	43	115	55	17.5	37.5	0.0023	0.1355	1.3551	32.52	
5	44	120	55	17.9	37.1	0.0046	0.2731	2.7307	65.54	
5	45	125	55	18.3	36.7	0.0046	0.2759	2.7586	66.21	
5	46	130	55	18.6	36.4	0.0035	0.2088	2.0876	50.10	
5	47	135	55	18.9	36.1	0.0035	0.2104	2.1039	50.49	
5	48	140	55	19.7	35.3	0.0095	0.5692	5.6919	136.61	
5	49	145	55	20.2	34.8	0.0060	0.3619	3.6194	86.86	
5	50	150	55	20.6	34.4	0.0049	0.2931	2.9308	70.34	
10	51	160	55	21.3	33.7	0.0043	0.2603	2.6034	62.48	
10	52	170	55	22	33	0.0044	0.2655	2.6546	63.71	
10	53	180	55	22.7	32.3	0.0045	0.2708	2.7078	64.99	



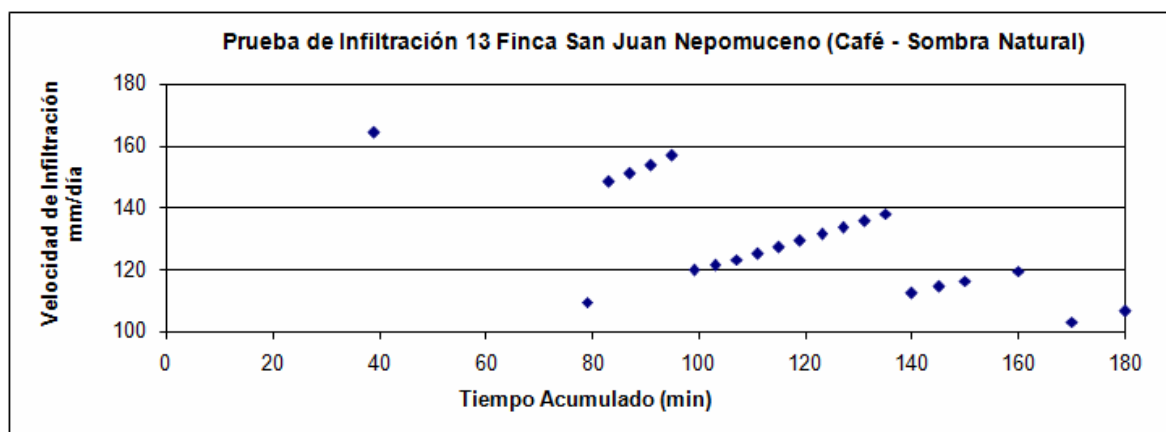
Anexo 12. Prueba de Infiltración No 12.

Boleta, Prueba de Infiltración CERRO TUNCAJ, Río Belejejá, Granados, Baja Verapaz.				PI 12		Lugar		Finca San Juan Nepomuceno	
Profundidad Inicial 52 cm		Altitud 1,026 msnm		Uso Actual Cultivo (Maicillo)		Pendiente 41% N-S			
Profundidad Final 51 cm		Diametro: 10 cm		Coordenadas 761488		1649150		14°54'10" 90°34'10"	
Tiempo (min)	Intervalos Muertos entre Lecturas	Tiempo Acumulado (min)	Profundidad Total (cm)	Lectura (cm)	Diferencia Lectura (cm)	Velocidad de Infiltración cm/min	Velocidad de Infiltración cm/hora	Velocidad de Infiltración mm/hora	Velocidad de Infiltración mm/día
1	1	1	67	4.4	62.6	0	0	0	0
1	2	2	67	6.1	60.9	0.0662	3.9691	39.6910	952.58
1	3	3	67	7.5	59.5	0.0558	3.3494	33.4942	803.86
1	4	4	67	8.9	58.1	0.0571	3.4259	34.2592	822.22
1	5	5	67	10.2	56.8	0.0542	3.2528	32.5284	780.68
1	6	6	67	11.3	55.7	0.0468	2.8086	28.0859	674.06
1	7	7	67	12.4	54.6	0.0477	2.8622	28.6219	686.92
1	8	8	67	13.4	53.6	0.0442	2.6502	26.5025	636.06
1	9	9	67	14.3	52.7	0.0404	2.4259	24.2593	582.22
1	10	10	67	15.1	51.9	0.0365	2.1898	21.8982	525.56
2	11	12	67	16.2	50.8	0.0255	1.5321	15.3209	367.70
2	12	14	67	17.3	49.7	0.0261	1.5640	15.6404	375.37
2	13	16	67	18.4	48.6	0.0266	1.5973	15.9735	383.36
2	14	18	67	19.5	47.5	0.0272	1.6321	16.3211	391.71
2	15	20	67	20.5	46.5	0.0253	1.5152	15.1520	363.65
2	16	22	67	21.4	45.6	0.0232	1.3904	13.9036	333.69
2	17	24	67	22.3	44.7	0.0236	1.4166	14.1662	339.99
2	18	26	67	22.9	44.1	0.0160	0.9595	9.5950	230.28
2	19	28	67	23.6	43.4	0.0189	1.1352	11.3516	272.44
2	20	30	67	24.4	42.6	0.0220	1.3187	13.1872	316.49
1	21	31	67	3.5	63.5	0	0	0	0.00
1	22	32	67	5.1	61.9	0.0614	3.6812	36.8117	883.48
1	23	33	67	6.4	60.6	0.0510	3.0589	30.5893	734.14
1	24	34	67	7.5	59.5	0.0440	2.6380	26.3796	633.11
1	25	35	67	8.6	58.4	0.0448	2.6852	26.8518	644.44
2	26	37	67	10.8	56.2	0.0460	2.7595	27.5951	662.28
2	27	39	67	12.5	54.5	0.0367	2.2041	22.0413	528.99
2	28	41	67	14	53	0.0333	2.0001	20.0012	480.03
2	29	43	67	15.2	51.8	0.0273	1.6394	16.3941	393.46
2	30	45	67	16.3	50.7	0.0256	1.5349	15.3494	368.38
3	31	48	67	18.1	48.9	0.0287	1.7210	17.2101	413.04
3	32	51	67	19.6	47.4	0.0247	1.4809	14.8096	355.41
3	33	54	67	20.7	46.3	0.0186	1.1145	11.1453	267.49
3	34	57	67	21.8	45.2	0.0190	1.1399	11.3995	273.59
3	35	60	67	23	44	0.0212	1.2740	12.7395	305.75
1	36	61	67	3.5	63.5	0	0	0	0.00
1	37	62	67	5.2	61.8	0.0652	3.9143	39.1427	939.42
1	38	63	67	6.8	60.2	0.0630	3.7797	37.7973	907.13
1	39	64	67	8	59	0.0483	2.8986	28.9864	695.67
1	40	65	67	9.3	57.7	0.0534	3.2047	32.0472	769.13
2	41	67	67	11.1	55.9	0.0379	2.2767	22.7673	546.42
2	42	69	67	12.7	54.3	0.0347	2.0835	20.8347	500.03
2	43	71	67	14.3	52.7	0.0357	2.1430	21.4300	514.32
2	44	73	67	15.7	51.3	0.0321	1.9267	19.2671	462.41
2	45	75	67	16.8	50.2	0.0258	1.5494	15.4935	371.84
3	46	78	67	18.5	48.5	0.0273	1.6395	16.3949	393.48
3	47	81	67	19.5	47.5	0.0165	0.9901	9.9013	237.63
3	48	84	67	20.8	46.2	0.0220	1.3172	13.1720	316.13
3	49	87	67	22.2	44.8	0.0243	1.4584	14.5844	350.02
3	50	90	67	23.4	43.6	0.0214	1.2849	12.8487	308.37
1	51	91	67	3.8	63.2	0	0	0	0.00
2	52	93	67	6.5	60.5	0.0525	3.1473	31.4731	755.36
3	53	96	67	9.7	57.3	0.0434	2.6065	26.0645	625.55
3	54	99	67	12.2	54.8	0.0356	2.1353	21.3525	512.46
3	55	102	67	14.5	52.5	0.0341	2.0484	20.4837	491.61
3	56	105	67	16.3	50.7	0.0277	1.6637	16.6374	399.30
4	57	109	67	18.2	48.8	0.0227	1.3638	13.6379	327.31
4	58	113	67	20.2	46.8	0.0249	1.4913	14.9125	357.90
4	59	117	67	21.9	45.1	0.0219	1.3159	13.1592	315.82
4	60	121	67	23.3	43.7	0.0187	1.1195	11.1949	268.68
4	61	125	67	24.9	42.1	0.0220	1.3217	13.2172	317.21
1	62	126	67	3.4	63.6	0	0	0	0.00
2	63	128	67	5.9	61.1	0.0482	2.8916	28.9165	693.99
3	64	131	67	9.1	57.9	0.0430	2.5812	25.8122	619.49
4	65	135	67	12.3	54.7	0.0340	2.0413	20.4132	489.92
5	66	140	67	15.6	51.4	0.0297	1.7827	17.8270	427.85
5	67	145	67	18.3	48.7	0.0257	1.5417	15.4173	370.01
5	68	150	67	20.1	46.9	0.0179	1.0737	10.7367	257.68
5	69	155	67	21.7	45.3	0.0165	0.9877	9.8774	237.06
5	70	160	67	23.1	43.9	0.0149	0.8918	8.9179	214.03
5	71	165	67	24.3	42.7	0.0131	0.7861	7.8607	188.66
5	72	170	67	25.4	41.6	0.0123	0.7391	7.3912	177.39
5	73	175	67	26.4	40.6	0.0115	0.6881	6.8810	165.14
5	74	180	67	27.3	39.7	0.0106	0.6331	6.3308	151.94



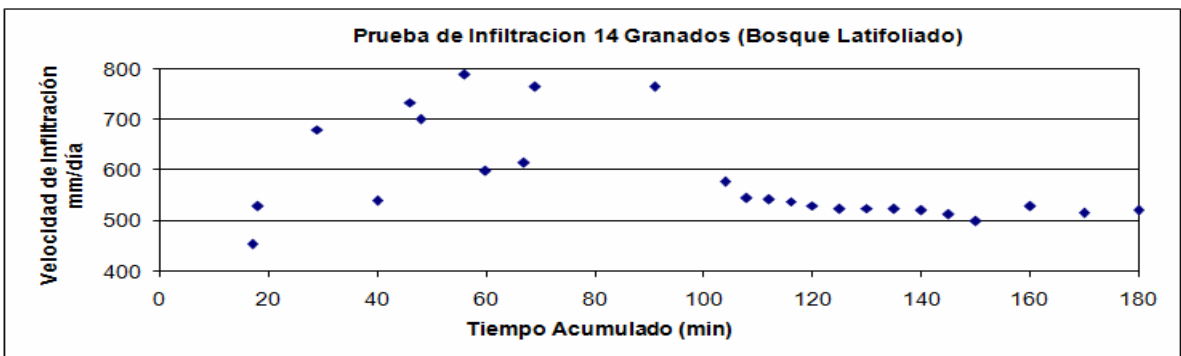
Anexo 13. Prueba de Infiltración No 13.

Boleta, Prueba de Infiltración CERRO TUNCAJ, Río Belejeyá, Granados, Baja Verapaz.					PI 13	Lugar	Finca San Juan Nepomuceno				
Profundidad Inicial		39 cm	Altitud		879 msnm	Uso Actual		Café con Sombra			
Profundidad Final		33 cm	Diametro:		9 cm	Coordenadas		761619	1648526	14°53'58"	90°34'06"
Tiempo (min)	Intervalos Muertos entre Lecturas	Tiempo Acumulado (min)	Profundidad Total (cm)	Lectura (cm)	Diferencia Lectura (cm)	Velocidad de Infiltración cm/min	Velocidad de Infiltración cm/hora	Velocidad de Infiltración mm/hora	Velocidad de Infiltración mm/día		
1	1	1	33	1.9	31.1	0	0	0	0		
1	2	2	33	3.3	29.7	0.0965	5.7896	57.8955	1389.49		
1	3	3	33	4.3	28.7	0.0715	4.2929	42.9289	1030.29		
1	4	4	33	5.5	27.5	0.0890	5.3384	53.3842	1281.22		
1	5	5	33	6.3	26.7	0.0613	3.6800	36.7996	883.19		
1	6	6	33	7.1	25.9	0.0631	3.7831	37.8308	907.94		
1	7	7	33	7.7	25.3	0.0485	2.9086	29.0855	698.05		
1	8	8	33	8.2	24.8	0.0412	2.4726	24.7260	593.42		
1	9	9	33	8.6	24.4	0.0335	2.0112	20.1121	482.69		
1	10	10	33	8.9	24.1	0.0255	1.5283	15.2832	366.80		
2	11	12	33	9.8	23.2	0.0391	2.3458	23.4580	562.99		
2	12	14	33	10.7	22.3	0.0405	2.4303	24.3026	583.26		
2	13	16	33	11.5	21.5	0.0373	2.2362	22.3623	536.70		
2	14	18	33	11.9	21.1	0.0191	1.1465	11.4652	275.17		
2	15	20	33	12.3	20.7	0.0194	1.1663	11.6634	279.92		
2	16	22	33	13	20	0.0348	2.0909	20.9088	501.81		
2	17	24	33	13.5	19.5	0.0256	1.5342	15.3416	368.20		
2	18	26	33	13.9	19.1	0.0209	1.2529	12.5294	300.70		
2	19	28	33	14.3	18.7	0.0213	1.2766	12.7663	306.39		
2	20	30	33	14.5	18.5	0.0108	0.6475	6.4749	0.00		
3	21	33	33	15	18	0.0183	1.0976	10.9762	263.43		
3	22	36	33	15.4	17.6	0.0150	0.8978	8.9779	215.47		
3	23	39	33	15.7	17.3	0.0114	0.6853	6.8529	164.47		
3	24	42	33	16.2	16.8	0.0194	1.1659	11.6587	279.81		
3	25	45	33	16.6	16.4	0.0159	0.9549	9.5494	229.19		
1	26	46	33	1.6	31.4	0	0	0	0.00		
1	27	47	33	2.4	30.6	0.0541	3.2483	32.4828	779.59		
1	28	48	33	3.1	29.9	0.0485	2.9078	29.0780	697.87		
1	29	49	33	3.7	29.3	0.0424	2.5432	25.4325	610.38		
1	30	50	33	4.8	28.2	0.0798	4.7908	47.9083	1149.80		
2	31	52	33	5.7	27.3	0.0338	2.0252	20.2515	486.04		
2	32	54	33	6.6	26.4	0.0348	2.0878	20.8780	501.07		
2	33	56	33	7.4	25.6	0.0319	1.9116	19.1163	458.79		
2	34	58	33	7.8	25.2	0.0163	0.9765	9.7651	234.36		
2	35	60	33	8.6	24.4	0.0333	1.9964	19.9645	479.15		
3	36	63	33	9.3	23.7	0.0200	1.1978	11.9779	287.47		
3	37	66	33	10.2	22.8	0.0265	1.5884	15.8840	381.22		
3	38	69	33	11.1	21.9	0.0274	1.6465	16.4653	395.17		
3	39	72	33	11.8	21.2	0.0221	1.3236	13.2362	317.67		
3	40	75	33	12.9	20.1	0.0360	2.1620	21.6199	518.88		
4	41	79	33	13.2	19.8	0.0076	0.4561	4.5609	109.46		
4	42	83	33	13.6	19.4	0.0103	0.6179	6.1787	148.29		
4	43	87	33	14	19	0.0105	0.6294	6.2939	151.05		
4	44	91	33	14.4	18.6	0.0107	0.6413	6.4135	153.92		
4	45	95	33	14.8	18.2	0.0109	0.6538	6.5377	156.91		
4	46	99	33	15.1	17.9	0.0083	0.4988	4.9878	119.71		
4	47	103	33	15.4	17.6	0.0084	0.5063	5.0626	121.50		
4	48	107	33	15.7	17.3	0.0086	0.5140	5.1397	123.35		
4	49	111	33	16	17	0.0087	0.5219	5.2192	125.26		
4	50	115	33	16.3	16.7	0.0088	0.5301	5.3012	127.23		
4	51	119	33	16.6	16.4	0.0090	0.5386	5.3858	129.26		
4	52	123	33	16.9	16.1	0.0091	0.5473	5.4731	131.35		
4	53	127	33	17.2	15.8	0.0093	0.5563	5.5633	133.52		
4	54	131	33	17.5	15.5	0.0094	0.5657	5.6566	135.76		
4	55	135	33	17.8	15.2	0.0096	0.5753	5.7530	138.07		
5	56	140	33	18.1	14.9	0.0078	0.4682	4.6822	112.37		
5	57	145	33	18.4	14.6	0.0079	0.4765	4.7648	114.36		
5	58	150	33	18.7	14.3	0.0081	0.4850	4.8504	116.41		
10	59	160	33	19.3	13.7	0.0083	0.4985	4.9852	119.64		
10	60	170	33	19.8	13.2	0.0072	0.4300	4.2997	103.19		
10	61	180	33	20.3	12.7	0.0074	0.4441	4.4412	106.59		



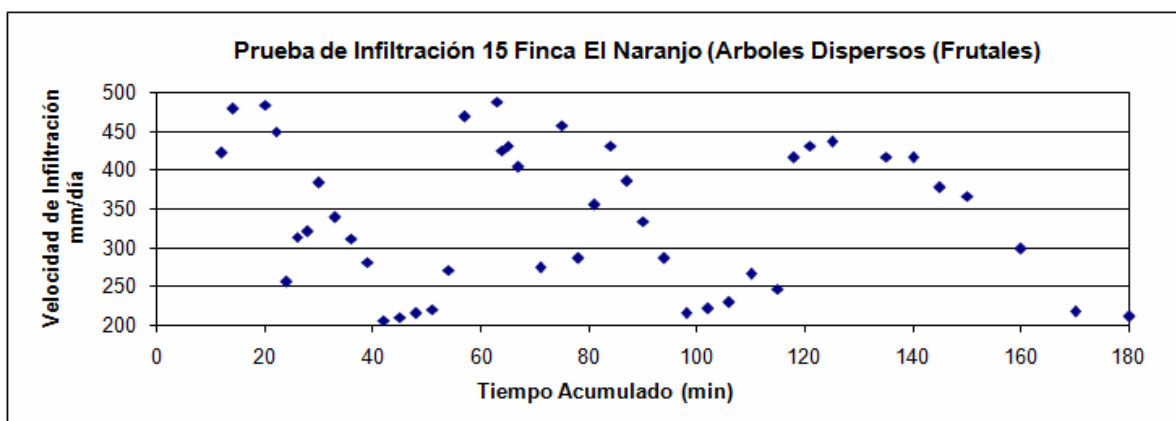
Anexo 14. Prueba de Infiltración No 14.

Boleta, Prueba de Infiltración CERRO TUNCAJ, Río Belejeyá, Granados, Baja Verapaz.					PI 14		Lugar		Granados	
Profundidad Inicial 48 cm			Altitud 813 msnm		Uso Actual Bosque Latifoliado		Pendiente		34% SW-NE	
Profundidad Final 39 cm			Diametro: 10 cm		Coordenadas 761781		1647370		14°53'20"	
									90°34'01"	
Tiempo (min)	Intervalos Muertos entre Lecturas	Tiempo Acumulado (min)	Profundidad Total (cm)	Lectura (cm)	Diferencia Lectura (cm)	Velocidad de Infiltración cm/min	Velocidad de Infiltración cm/hora	Velocidad de Infiltración mm/hora	Velocidad de Infiltración mm/día	
1	1	1	44	6.6	37.4	0	0	0	0	
1	2	2	44	8.3	35.7	0.1089	6.5311	65.3112	1567.47	
1	3	3	44	11.4	32.6	0.2116	12.6952	126.9516	3046.84	
1	4	4	44	14.1	29.9	0.2001	12.0064	120.0641	2881.54	
1	5	5	44	16	28	0.1511	9.0648	90.6476	2175.54	
1	6	6	44	17.7	26.3	0.1434	8.6027	86.0269	2064.65	
1	7	7	44	18.4	25.6	0.0615	3.6909	36.9087	885.81	
1	8	8	44	19.2	24.8	0.0722	4.3324	43.3243	1039.78	
1	9	9	44	20	24	0.0744	4.4613	44.6130	1070.71	
1	10	10	44	20.7	23.3	0.0669	4.0155	40.1554	963.73	
1	11	11	44	6.5	37.5	0	0	0	0.00	
1	12	12	44	11.4	32.6	0.3267	19.6017	196.0175	4704.42	
1	13	13	44	14.6	29.4	0.2390	14.3393	143.3927	3441.42	
1	14	14	44	16.3	27.7	0.1369	8.2146	82.1461	1971.51	
1	15	15	44	18.4	25.6	0.1802	10.8109	108.1085	2594.60	
2	16	17	44	19.1	24.9	0.0315	1.8920	18.9199	454.08	
1	17	18	44	19.5	24.5	0.0368	2.2059	22.0592	529.42	
1	18	19	44	20.1	23.9	0.0562	3.3709	33.7093	809.02	
1	19	20	44	20.7	23.3	0.0575	3.4484	34.4843	827.62	
1	20	21	44	6.1	37.9	0	0	0	0.00	
1	21	22	44	10.4	33.6	0.2813	16.8805	168.8054	4051.33	
1	22	23	44	14.1	29.9	0.2703	16.2202	162.2017	3892.84	
1	23	24	44	15.1	28.9	0.0784	4.7026	47.0258	1128.62	
1	24	25	44	16.7	27.3	0.1307	7.8449	78.4492	1882.78	
1	25	26	44	17.4	26.6	0.0594	3.5655	35.6553	855.73	
1	26	27	44	18.1	25.9	0.0609	3.6524	36.5235	876.57	
1	27	28	44	19.8	24.2	0.1543	9.2588	92.5884	2222.12	
1	28	29	44	20.3	23.7	0.0473	2.8356	28.3562	680.55	
1	29	30	44	20.5	23.5	0.0192	1.1494	11.4943	275.86	
1	30	31	44	6.5	37.5	0	0	0	0.00	
1	31	32	44	11.5	32.5	0.3338	20.0297	200.2971	4807.13	
1	32	33	44	15	29	0.2634	15.8041	158.0408	3792.98	
1	33	34	44	16.2	27.8	0.0971	5.8260	58.2597	1398.23	
2	34	36	44	18.1	25.9	0.0809	4.8569	48.5689	1165.65	
2	35	38	44	19.4	24.6	0.0586	3.5142	35.1416	843.40	
2	36	40	44	20.2	23.8	0.0375	2.2474	22.4736	539.37	
1	37	41	44	6.5	37.5	0	0	0	0.00	
1	38	42	44	10.8	33.2	0.2843	17.0593	170.5931	4094.24	
1	39	43	44	15.1	28.9	0.3209	19.2514	192.5142	4620.34	
1	40	44	44	16.5	27.5	0.1140	6.8416	68.4158	1641.98	
2	41	46	44	17.7	26.3	0.0510	3.0616	30.6165	734.80	
2	42	48	44	18.8	25.2	0.0487	2.9207	29.2072	700.97	
2	43	50	44	20.1	23.9	0.0601	3.6051	36.0513	865.23	
2	44	52	44	10.1	33.9	0	0	0	0.00	
1	45	53	44	14.4	29.6	0.3143	18.8569	188.5691	4525.66	
1	46	54	44	16.2	27.8	0.1443	8.6562	86.5625	2077.50	
2	47	56	44	17.5	26.5	0.0548	3.2889	32.8889	789.33	
2	48	58	44	19	25	0.0664	3.9832	39.8324	955.98	
2	49	60	44	19.9	24.1	0.0416	2.4956	24.9561	598.95	
1	50	61	44	5.9	38.1	0	0	0	0.00	
2	51	63	44	13.2	30.8	0.2478	14.8658	148.6580	3567.79	
2	52	65	44	16.7	27.3	0.1388	8.3287	83.2868	1998.88	
2	53	67	44	17.7	26.3	0.0427	2.5600	25.5998	614.39	
2	54	69	44	18.9	25.1	0.0532	3.1920	31.9197	766.07	
1	55	70	44	5.2	38.8	0	0	0	0.00	
1	56	71	44	9.7	34.3	0.2884	17.3047	173.0470	4153.13	
2	57	73	44	15.2	28.8	0.2023	12.1410	121.4098	2913.84	
2	58	75	44	17.2	26.8	0.0825	4.9523	49.5229	1188.55	
3	59	78	44	18.1	25.9	0.0260	1.5599	15.5992	374.38	
2	60	80	44	8.6	35.4	0	0	0	0.00	
2	61	82	44	13.9	30.1	0.1883	11.2979	112.9791	2711.50	
3	62	85	44	16.9	27.1	0.0804	4.8269	48.2690	1158.46	
3	63	88	44	19	25	0.0613	3.6794	36.7942	883.06	
3	64	91	44	20.7	23.3	0.0532	3.1906	31.9058	765.74	
1	65	92	44	3.6	40.4	0	0	0	0.00	
2	66	94	44	9.6	34.4	0.1883	11.2995	112.9952	2711.88	
3	67	97	44	15.3	28.7	0.1398	8.3897	83.8967	2013.52	
3	68	100	44	17.5	26.5	0.0609	3.6561	36.5611	877.47	
4	69	104	44	19.3	24.7	0.0400	2.4030	24.0296	576.71	
4	70	108	44	20.9	23.1	0.0379	2.2734	22.7342	545.62	
4	71	112	44	22.4	21.6	0.0377	2.2643	22.6427	543.42	
4	72	116	44	23.8	20.2	0.0374	2.2443	22.4426	538.62	
4	73	120	44	25.1	18.9	0.0369	2.2115	22.1153	530.77	
5	74	125	44	26.6	17.4	0.0363	2.1801	21.8014	523.23	
5	75	130	44	28	16	0.0365	2.1885	21.8847	525.23	
5	76	135	44	29.3	14.7	0.0364	2.1858	21.8584	524.60	
5	77	140	44	30.5	13.5	0.0362	2.1696	21.6962	520.71	
5	78	145	44	31.6	12.4	0.0356	2.1368	21.3683	512.84	
5	79	150	44	32.6	11.4	0.0347	2.0842	20.8417	500.20	
10	80	160	44	34.5	9.5	0.0367	2.2047	22.0473	529.14	
10	81	170	44	36.1	7.9	0.0358	2.1465	21.4651	515.16	
10	82	180	44	37.5	6.5	0.0361	2.1687	21.6872	520.49	



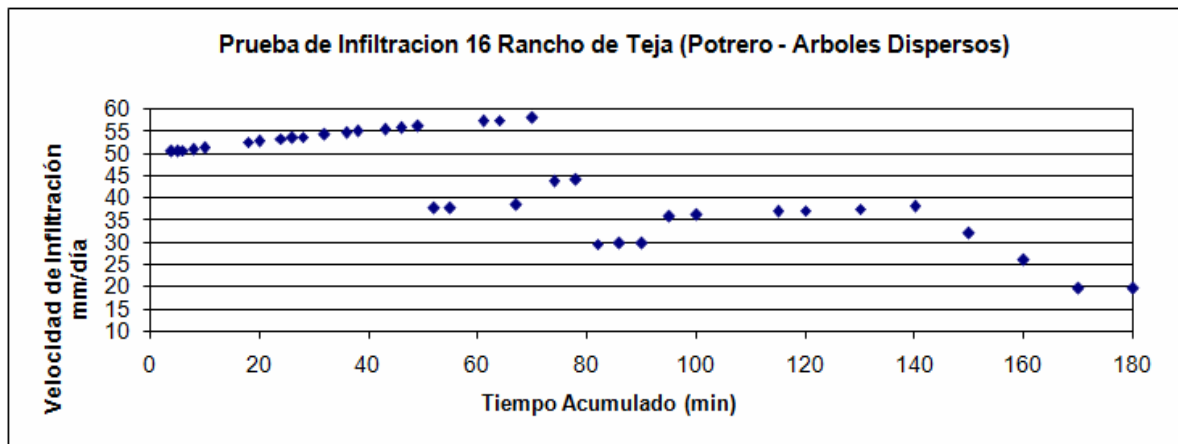
Anexo 15. Prueba de Infiltración No 15.

Boleta, Prueba de Infiltración CERRO TUNCAJ, Río Belejeyá, Granados, Baja Verapaz.					PI 15	Lugar	Finca El Naranjo			
Profundidad Inicial		48 cm	Altitud		733 msnm	Uso Actual	Arboles Dispersos Frutales		Pendiente	16% E-W
Profundidad Final		42 cm	Diametro:		8 cm	Coordenadas	762692	1647547	14°53'26"	90°33'30"
Tiempo (min)	Intervalos Muertos entre Lecturas	Tiempo Acumulado (min)	Profundidad Total (cm)	Lectura (cm)	Diferencia Lectura (cm)	Velocidad de Infiltración cm/min	Velocidad de Infiltración cm/hora	Velocidad de Infiltración mm/hora	Velocidad de Infiltración mm/día	
1	1	1	42	2.2	39.8	0	0	0	0	
1	2	2	42	3	39	0.0386	2.3189	23.1891	556.54	
1	3	3	42	3.8	38.2	0.0394	2.3646	23.6461	567.51	
1	4	4	42	4.6	37.4	0.0402	2.4121	24.1214	578.91	
1	5	5	42	5.4	36.6	0.0410	2.4616	24.6162	590.79	
1	6	6	42	6.2	35.8	0.0419	2.5132	25.1318	603.16	
1	7	7	42	7	35	0.0428	2.5669	25.6694	616.07	
1	8	8	42	7.8	34.2	0.0437	2.6231	26.2306	629.53	
1	9	9	42	8.6	33.4	0.0447	2.6817	26.8168	643.60	
1	10	10	42	9.3	32.7	0.0399	2.3967	23.9666	575.20	
2	11	12	42	10.3	31.7	0.0292	1.7545	17.5451	421.08	
2	12	14	42	11.4	30.6	0.0332	1.9911	19.9113	477.87	
2	13	16	42	12.6	29.4	0.0375	2.2503	22.5026	540.06	
2	14	18	42	13.7	28.3	0.0357	2.1396	21.3961	513.51	
2	15	20	42	14.7	27.3	0.0336	2.0136	20.1361	483.27	
2	16	22	42	15.6	26.4	0.0312	1.8719	18.7190	449.26	
2	17	24	42	16.1	25.9	0.0178	1.0657	10.6575	255.78	
2	18	26	42	16.7	25.3	0.0217	1.3044	13.0440	313.06	
2	19	28	42	17.3	24.7	0.0222	1.3334	13.3339	320.01	
2	20	30	42	18	24	0.0266	1.5940	15.9402	382.57	
3	21	33	42	18.9	23.1	0.0235	1.4091	14.0915	338.20	
3	22	36	42	19.7	22.3	0.0216	1.2957	12.9566	310.96	
3	23	39	42	20.4	21.6	0.0195	1.1692	11.6919	280.60	
3	24	42	42	20.9	21.1	0.0143	0.8566	8.5656	205.58	
3	25	45	42	21.4	20.6	0.0146	0.8753	8.7531	210.07	
3	26	48	42	21.9	20.1	0.0149	0.8949	8.9489	214.77	
3	27	51	42	22.4	19.6	0.0153	0.9154	9.1537	219.69	
3	28	54	42	23	19	0.0188	1.1268	11.2684	270.44	
3	29	57	42	24	18	0.0325	1.9516	19.5161	468.39	
3	30	60	42	25.7	16.3	0.0592	3.5532	35.5325	852.78	
1	31	61	42	1.5	40.5	0	0	0	0	
1	32	62	42	2.3	39.7	0.0380	2.2804	22.8035	547.28	
1	33	63	42	3	39	0.0339	2.0315	20.3149	487.56	
1	34	64	42	3.6	38.4	0.0295	1.7691	17.6907	424.58	
1	35	65	42	4.2	37.8	0.0299	1.7955	17.9554	430.93	
2	36	67	42	5.3	36.7	0.0280	1.6816	16.8164	403.59	
2	37	69	42	6.8	35.2	0.0395	2.3719	23.7185	569.24	
2	38	71	42	7.5	34.5	0.0190	1.1398	11.3979	273.55	
2	39	73	42	8.8	33.2	0.0363	2.1760	21.7597	522.23	
2	40	75	42	9.9	32.1	0.0317	1.9049	19.0492	457.18	
3	41	78	42	10.9	31.1	0.0198	1.1906	11.9056	285.74	
3	42	81	42	12.1	29.9	0.0246	1.4771	14.7709	354.50	
3	43	84	42	13.5	28.5	0.0299	1.7952	17.9517	430.84	
3	44	87	42	14.7	27.3	0.0268	1.6056	16.0557	385.34	
3	45	90	42	15.7	26.3	0.0232	1.3890	13.8903	333.37	
4	46	94	42	16.8	25.2	0.0198	1.1893	11.8934	285.44	
4	47	98	42	17.6	24.4	0.0149	0.8956	8.9559	214.94	
4	48	102	42	18.4	23.6	0.0154	0.9231	9.2315	221.56	
4	49	106	42	19.2	22.8	0.0159	0.9525	9.5246	228.59	
4	50	110	42	20.1	21.9	0.0185	1.1090	11.0896	266.15	
5	51	115	42	21.1	20.9	0.0171	1.0258	10.2580	246.19	
1	52	116	42	1.8	40.2	0	0	0	0	
2	53	118	42	3	39	0.0288	1.7309	17.3089	415.41	
3	54	121	42	4.8	37.2	0.0299	1.7958	17.9581	431.00	
4	55	125	42	7.1	34.9	0.0302	1.8140	18.1396	435.35	
5	56	130	42	3.9	38.1	-0.0333	-1.9960	-19.9595	-479.03	
5	57	135	42	6.7	35.3	0.0290	1.7372	17.3719	416.93	
5	58	140	42	9.3	32.7	0.0289	1.7341	17.3409	416.18	
5	59	145	42	11.5	30.5	0.0262	1.5720	15.7199	377.28	
5	60	150	42	13.5	28.5	0.0254	1.5243	15.2432	365.84	
10	61	160	42	16.5	25.5	0.0207	1.2425	12.4249	298.20	
10	62	170	42	18.5	23.5	0.0151	0.9061	9.0609	217.46	
10	63	180	42	20.3	21.7	0.0146	0.8784	8.7844	210.83	



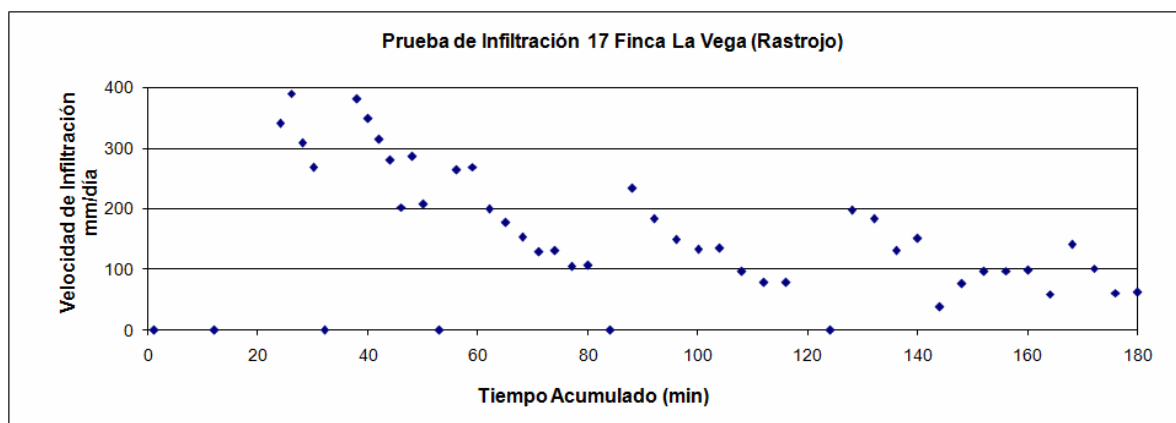
Anexo 16. Prueba de Infiltración No 16.

Boleta, Prueba de Infiltración CERRO TUNCAJ, Río Belejeyá, Granados, Baja Verapaz.					PI 16		Lugar		Rancho de Teja	
Profundidad Inicial 61 cm			Altitud 1,389 msnm		Uso Actual Potrero – Arboles Dispersos		Pendiente		22% SE-NW	
Profundidad Final 56 cm			Diámetro: 8 cm		Coordenadas 758119 1651098		14°55'23"		90°36'02"	
Tiempo (min)	Intervalos Muertos entre Lecturas	Tiempo Acumulado (min)	Profundidad Total (cm)	Lectura (cm)	Diferencia Lectura (cm)	Velocidad de Infiltración cm/min	Velocidad de Infiltración cm/hora	Velocidad de Infiltración mm/hora	Velocidad de Infiltración mm/día	
1	1	1	56	0.6	55.4	0	0	0	0	
1	2	2	56	0.8	55.2	0.0070	0.4188	4.1885	100.52	
1	3	3	56	1	55	0.0070	0.4203	4.2032	100.88	
1	4	4	56	1.1	54.9	0.0035	0.2107	2.1071	50.57	
1	5	5	56	1.2	54.8	0.0035	0.2111	2.1108	50.66	
1	6	6	56	1.3	54.7	0.0035	0.2115	2.1145	50.75	
1	7	7	56	1.5	54.5	0.0071	0.4240	4.2403	101.77	
1	8	8	56	1.6	54.4	0.0035	0.2126	2.1258	51.02	
1	9	9	56	1.8	54.2	0.0071	0.4263	4.2629	102.31	
1	10	10	56	1.9	54.1	0.0036	0.2137	2.1371	51.29	
2	11	12	56	2.2	53.8	0.0054	0.3217	3.2172	77.21	
2	12	14	56	2.8	53.2	0.0108	0.6487	6.4865	155.68	
2	13	16	56	3.2	52.8	0.0073	0.4364	4.3637	104.73	
2	14	18	56	3.4	52.6	0.0037	0.2194	2.1938	52.65	
2	15	20	56	3.6	52.4	0.0037	0.2202	2.2018	52.84	
2	16	22	56	3.9	52.1	0.0055	0.3318	3.3180	79.63	
2	17	24	56	4.1	51.9	0.0037	0.2222	2.2222	53.33	
2	18	26	56	4.3	51.7	0.0037	0.2230	2.2305	53.53	
2	19	28	56	4.5	51.5	0.0037	0.2239	2.2388	53.73	
2	20	30	56	4.8	51.2	0.0056	0.3374	3.3740	80.97	
2	21	32	56	5	51	0.0038	0.2260	2.2599	54.24	
2	22	34	56	5.3	50.7	0.0057	0.3406	3.4059	81.74	
2	23	36	56	5.5	50.5	0.0038	0.2281	2.2814	54.75	
2	24	38	56	5.7	50.3	0.0038	0.2290	2.2901	54.96	
2	25	40	56	6	50	0.0058	0.3452	3.4516	82.84	
3	26	43	56	6.3	49.7	0.0039	0.2314	2.3144	55.54	
3	27	46	56	6.6	49.4	0.0039	0.2328	2.3278	55.87	
3	28	49	56	6.9	49.1	0.0039	0.2341	2.3415	56.20	
3	29	52	56	7.1	48.9	0.0026	0.1569	1.5686	37.65	
3	30	55	56	7.3	48.7	0.0026	0.1575	1.5748	37.80	
3	31	58	56	7.5	48.5	0	0	0	0	
3	32	61	56	7.8	48.2	0.0040	0.2383	2.3833	57.20	
3	33	64	56	8.1	47.9	0.0040	0.2398	2.3976	57.54	
3	34	67	56	8.3	47.7	0.0027	0.1606	1.6064	38.55	
3	35	70	56	8.6	47.4	0.0040	0.2422	2.4218	58.12	
4	36	74	56	8.9	47.1	0.0030	0.1827	1.8274	43.86	
4	37	78	56	9.2	46.8	0.0031	0.1839	1.8386	44.13	
4	38	82	56	9.4	46.6	0.0021	0.1232	1.2320	29.57	
4	39	86	56	9.6	46.4	0.0021	0.1237	1.2371	29.69	
4	40	90	56	9.8	46.2	0.0021	0.1242	1.2422	29.81	
5	41	95	56	10.1	45.9	0.0025	0.1498	1.4984	35.96	
5	42	100	56	10.4	45.6	0.0025	0.1508	1.5079	36.19	
5	43	105	56	10.4	45.6	0	0	0	0.00	
5	44	110	56	11.1	44.9	0.0059	0.3556	3.5556	85.33	
5	45	115	56	11.4	44.6	0.0026	0.1540	1.5401	36.96	
5	46	120	56	11.7	44.3	0.0026	0.1550	1.5501	37.20	
10	47	130	56	12.3	43.7	0.0026	0.1565	1.5652	37.57	
10	48	140	56	12.9	43.1	0.0026	0.1586	1.5859	38.06	
10	49	150	56	13.4	42.6	0.0022	0.1338	1.3378	32.11	
10	50	160	56	13.8	42.2	0.0018	0.1081	1.0811	25.95	
10	51	170	56	14.1	41.9	0.0014	0.0817	0.8173	19.61	
10	52	180	56	14.4	41.6	0.0014	0.0823	0.8229	19.75	



Anexo 17. Prueba de Infiltración No 17.

Boleta, Prueba de Infiltración CERRO TUNCAJ, Río Belejejá, Granados, Baja Verapaz.					PI 17		Lugar	Finca La Vega		
Profundidad Inicial 60 cm			Altitud 607 msnm		Uso Actual Rastrojo		Pendiente 09% SW - NE			
Profundidad Final 53 cm			Diámetro: 11 cm		Coordenadas 763496		1646821		14°53'02"	90°33'04"
Tiempo (min)	Intervalos Muertos entre Lecturas	Tiempo Acumulado (min)	Profundidad Total (cm)	Lectura (cm)	Diferencia Lectura (cm)	Velocidad de Infiltración cm/min	Velocidad de Infiltración cm/hora	Velocidad de Infiltración mm/hora	Velocidad de Infiltración mm/día	
1	1	1	53	3.8	49.2	0	0	0	0	
1	2	2	53	6.9	46.1	0.1692	10.1520	101.5201	2436.48	
1	3	3	53	9.1	43.9	0.1267	7.6034	76.0344	1824.83	
1	4	4	53	11.3	41.7	0.1328	7.9708	79.7081	1913.00	
1	5	5	53	12.9	40.1	0.1008	6.0488	60.4879	1451.71	
1	6	6	53	14.6	38.4	0.1113	6.6795	66.7948	1603.08	
1	7	7	53	15.9	37.1	0.0883	5.2968	52.9675	1271.22	
1	8	8	53	17.1	35.9	0.0841	5.0450	50.4498	1210.79	
1	9	9	53	18.2	34.8	0.0794	4.7641	47.6411	1143.39	
1	10	10	53	19	34	0.0592	3.5533	35.5330	852.79	
2	11	12	53	1.7	51.3	0	0	0	0	
2	12	14	53	3.6	49.4	0.0492	2.9523	29.5229	708.55	
2	13	16	53	5.1	47.9	0.0401	2.4078	24.0776	577.86	
2	14	18	53	6.7	46.3	0.0441	2.6482	26.4817	635.56	
2	15	20	53	7.7	45.3	0.0283	1.6993	16.9934	407.84	
2	16	22	53	8.8	44.2	0.0318	1.9106	19.1061	458.55	
2	17	24	53	9.6	43.4	0.0236	1.4179	14.1787	340.29	
2	18	26	53	10.5	42.5	0.0271	1.6248	16.2478	389.95	
2	19	28	53	11.2	41.8	0.0214	1.2862	12.8622	308.69	
2	20	30	53	11.8	41.2	0.0186	1.1187	11.1866	268.48	
2	21	32	53	0.7	52.3	0	0	0	0	
2	22	34	53	2.1	50.9	0.0354	2.1252	21.2523	510.06	
2	23	36	53	3.2	49.8	0.0285	1.7091	17.0910	410.18	
2	24	38	53	4.2	48.8	0.0264	1.5851	15.8506	380.42	
2	25	40	53	5.1	47.9	0.0242	1.4531	14.5307	348.74	
2	26	42	53	5.9	47.1	0.0219	1.3135	13.1346	315.23	
2	27	44	53	6.6	46.4	0.0194	1.1667	11.6669	280.00	
2	28	46	53	7.1	45.9	0.0141	0.8436	8.4357	202.46	
2	29	48	53	7.8	45.2	0.0199	1.1957	11.9567	286.96	
2	30	50	53	8.3	44.7	0.0144	0.8648	8.6479	207.55	
3	31	53	53	0.2	52.8	0	0	0	0	
3	32	56	53	1.3	51.7	0.0183	1.1000	11.0004	264.01	
3	33	59	53	2.4	50.6	0.0187	1.1225	11.2249	269.40	
3	34	62	53	3.2	49.8	0.0138	0.8310	8.3099	199.44	
3	35	65	53	3.9	49.1	0.0123	0.7376	7.3756	177.01	
3	36	68	53	4.5	48.5	0.0107	0.6402	6.4016	153.64	
3	37	71	53	5	48	0.0090	0.5392	5.3922	129.41	
3	38	74	53	5.5	47.5	0.0091	0.5446	5.4456	130.69	
3	39	77	53	5.9	47.1	0.0073	0.4396	4.3956	105.50	
3	40	80	53	6.3	46.7	0.0074	0.4431	4.4310	106.34	
4	41	84	53	0.1	52.9	0	0	0	0	
4	42	88	53	1.4	51.6	0.0163	0.9750	9.7505	234.01	
4	43	92	53	2.4	50.6	0.0128	0.7660	7.6604	183.85	
4	44	96	53	3.2	49.8	0.0104	0.6232	6.2324	149.58	
4	45	100	53	3.9	49.1	0.0092	0.5532	5.5317	132.76	
4	46	104	53	4.6	48.4	0.0093	0.5607	5.6069	134.57	
4	47	108	53	5.1	47.9	0.0068	0.4052	4.0521	97.25	
4	48	112	53	5.5	47.5	0.0055	0.3271	3.2706	78.49	
4	49	116	53	5.9	47.1	0.0055	0.3297	3.2967	79.12	
4	50	120	53	8.3	44.7	0.0339	2.0354	20.3536	488.49	
4	51	124	53	0.2	52.8	0	0	0	0.00	
4	52	128	53	1.3	51.7	0.0138	0.8250	8.2503	198.01	
4	53	132	53	2.3	50.7	0.0127	0.7646	7.6462	183.51	
4	54	136	53	3	50	0.0091	0.5438	5.4379	130.51	
4	55	140	53	3.8	49.2	0.0105	0.6304	6.3038	151.29	
4	56	144	53	4	49	0.0027	0.1591	1.5911	38.19	
4	57	148	53	4.4	48.6	0.0053	0.3201	3.2008	76.82	
4	58	152	53	4.9	48.1	0.0067	0.4036	4.0362	96.87	
4	59	156	53	5.4	47.6	0.0068	0.4076	4.0761	97.83	
4	60	160	53	5.9	47.1	0.0069	0.4117	4.1168	98.80	
4	61	164	53	6.2	46.8	0.0041	0.2490	2.4899	59.76	
4	62	168	53	6.9	46.1	0.0098	0.5869	5.8690	140.86	
4	63	172	53	7.4	45.6	0.0071	0.4244	4.2439	101.85	
4	64	176	53	7.7	45.3	0.0043	0.2567	2.5674	61.62	
4	65	180	53	8	45	0.0043	0.2584	2.5835	62.00	



Anexo 18. Balance Hídrico de Suelos de la Prueba de Infiltración No 1.

Balance Hídrico Gunther Schosinsky
Unidad de Muestreo 1.
Cima Cerro Tuncaj
Granados, Baja Verapaz.

Zona de Estudio: Subcuenca Río Belejeyá
Uso de la Tierra: Bosque
Textura de Suelo: Franco Arenoso
Geología: Kps

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

Kv: Factor por vegetación

Kfc: Factor estimado con base a la prueba de infiltración

fc [mm/d]

Kp [0.01%]

Kv [0.01%]

Kfc [0.01%]

I [0.01%]

DS (g/cm³):

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

746.11

0.06

0.20

0.92827

1

0.78

2500.00

1811.34

2

0.20

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

por peso

(%)

(mm)

CC	92.38	1811.34
----	-------	---------

PM	62.66	1228.61
----	-------	---------

(CC-PM)	29.72	582.73
---------	-------	--------

Concepto	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Total
P (mm)	40.80	10.60	54.80	45.40	303.60	311.70	224.60	152.90	337.80	249.80	155.50	29.50	1917.00
Ret [mm]	8.16	5.00	10.96	9.08	60.72	62.34	44.92	30.58	67.56	49.96	31.10	5.90	386.28
Pi (mm)	32.64	5.60	43.84	36.32	242.88	249.36	179.68	122.32	270.24	199.84	124.40	23.60	1530.72
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)	39.40	40.41	52.65	53.02	57.69	54.73	56.62	56.51	54.37	50.62	40.52	34.90	591.44
HSi (mm)	1800.38	1811.34	1777.74	1770.84	1756.92	1811.34	1811.34	1811.34	1811.34	1811.34	1811.34	1811.34	
C1	1.00	1.00	1.00	0.99	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	
C2	0.97	0.94	0.93	0.90	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.98	
HD (mm)	604.41	588.33	592.97	578.56	771.19	832.09	762.41	705.05	852.97	782.57	707.13	606.33	
ETR (mm)	38.80	39.20	50.73	50.25	57.69	54.73	56.62	56.51	54.37	50.62	40.52	34.56	584.60
HSf (mm)	1794.22	1777.74	1770.84	1756.92	1811.34	1811.34	1811.34	1811.34	1811.34	1811.34	1811.34	1800.38	
DCC (mm)	17.12	33.60	40.50	54.42	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	10.96	
Rp (mm)	0.00	0.00	0.00	0.00	130.77	194.63	123.06	65.81	215.87	149.22	83.88	0.00	963.24
NR (mm)	17.72	34.81	42.41	57.20	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	11.30	163.44

Anexo 19. Balance Hídrico de Suelos de la Prueba de Infiltración No 2.

Balance Hídrico Gunther Schosinsky
Unidad de Muestreo 2
Quebrada El Ciprés
Granados, Baja Verapaz.

Zona de Estudio: Subcuenca Río Belejeyá
Uso de la Tierra: Bosque
Textura de Suelo: Franco Arcilloso
Geología: Pgcfm

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

Kv: Factor por vegetación

Kfc: Factor estimado con base a la prueba de infiltración

fc [mm/d]

Kp [0.01%]

Kv [0.01%]

Kfc [0.01%]

I [0.01%]

DS (g/cm³):

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

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]	109.72
Kp [0.01%]	0.06
Kv [0.01%]	0.20
Kfc [0.01%]	0.51445
I [0.01%]	0.77445
DS (g/cm ³):	0.95
PR (mm)	2500.00
HSi (mm)	860.26
Nº de mes con que inicia HSi; 1,2,3...12?	7
Lluvia retenida [0.01%]: Bosques=0.2, otros=0.12	0.20

	por peso (%)	(mm)
CC	36.13	860.26
PM	24.16	575.25
(CC-PM)	11.97	285.01

Concepto	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Total
P (mm)	9.30	3.30	26.40	17.20	174.80	449.30	235.30	66.90	282.70	228.10	37.50	4.00	534.80
Ret [mm]	5.00	3.30	5.28	5.00	34.96	89.86	47.06	13.38	56.54	45.62	7.50	4.00	
Pi (mm)	3.33	0.00	16.36	9.45	108.30	278.37	145.78	41.45	175.15	141.32	23.23	0.00	942.74
ESC (mm)	0.97	0.00	4.76	2.75	31.54	81.07	42.46	12.07	51.01	41.16	6.77	0.00	274.56
ETP (mm)	47.21	49.49	61.60	69.56	71.17	68.12	67.52	69.09	61.76	57.02	48.93	47.36	718.83
HSi (mm)	796.92	766.07	735.81	718.06	694.88	753.37	860.26	860.26	835.96	860.26	860.26	836.76	
C1	0.79	0.67	0.62	0.53	0.80	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.92	
C2	0.66	0.55	0.49	0.40	0.60	1.00	1.00	0.90	1.00	1.00	0.91	0.77	
HD (mm)	225.00	190.82	176.91	152.26	227.93	456.49	430.79	326.45	435.86	426.33	308.24	261.52	
ETR (mm)	34.18	30.26	34.11	32.63	49.81	68.12	67.52	65.74	61.76	57.02	46.72	39.85	587.71
HSf (mm)	766.07	735.81	718.06	694.88	753.37	860.26	860.26	835.96	860.26	860.26	836.76	796.92	
DCC (mm)	94.19	124.45	142.20	165.37	106.89	0.00	0.00	24.29	0.00	0.00	23.49	63.34	
Rp (mm)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	103.36	78.26	0.00	89.10	84.30	0.00	0.00	355.03
NR (mm)	107.22	143.68	169.69	202.31	128.24	0.00	0.00	27.64	0.00	0.00	25.70	70.85	875.33

Anexo 20. Balance Hídrico de Suelos de la Prueba de Infiltración No 3.

Balance Hídrico Gunther Schosinsky
Unidad de Muestreo 3
Llano Grande

Zona de Estudio: Subcuenca Río Belejeyá **Granados, Baja Verapaz.**

Uso de la Tierra: Bosque

Textura de Suelo: Franco

Geología: Kps

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

Kv: Factor por vegetación

Kfc: Factor estimado con base a la prueba de infiltración

fc [mm/d]

74.81

Kp [0.01%]

0.06

Kv [0.01%]

0.20

Kfc 0.01% 0.41757

I [0.01%] 0.67757

DS (g/cm³):

1.18

PR (mm)

2500.00

HSi (mm)

530.31

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

7

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

0.20

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

por peso

(%) (mm)

CC

18.03

 530.31

PM

11.00

 323.54

(CC-PM) 7.03 206.77

Concepto	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Total
P (mm)	8.50	3.20	25.70	16.50	171.60	452.80	235.50	64.80	281.30	227.60	34.50	3.40	1525.40
Ret [mm]	5.00	3.20	5.14	5.00	34.32	90.56	47.10	12.96	56.26	45.52	6.90	3.40	315.36
Pi (mm)	2.37	0.00	13.93	7.79	93.02	245.44	127.65	35.13	152.48	123.37	18.70	0.00	819.89
ESC (mm)	1.13	0.00	6.63	3.71	44.26	116.80	60.75	16.71	72.56	58.71	8.90	0.00	390.15
ETP (mm)	47.42	49.70	61.77	69.91	71.53	68.47	67.81	69.42	61.95	57.18	49.15	47.67	721.98
HSi (mm)	466.77	439.58	415.04	402.18	385.69	434.31	530.31	530.31	501.77	530.31	530.31	503.48	
C1	0.70	0.56	0.51	0.42	0.75	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.87	
C2	0.54	0.43	0.36	0.28	0.49	1.00	1.00	0.83	1.00	1.00	0.85	0.67	
HD (mm)	145.61	116.04	105.43	86.43	155.17	356.22	334.42	241.90	330.71	330.14	225.47	179.94	
ETR (mm)	29.56	24.54	26.79	24.28	44.39	68.47	67.81	63.66	61.95	57.18	45.53	36.70	550.88
HSf (mm)	439.58	415.04	402.18	385.69	434.31	530.31	530.31	501.77	530.31	530.31	503.48	466.77	
DCC (mm)	90.73	115.27	128.13	144.62	96.00	0.00	0.00	28.54	0.00	0.00	26.83	63.53	
Rp (mm)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	80.98	59.84	0.00	61.99	66.19	0.00	0.00	269.01
NR (mm)	108.58	140.43	163.11	190.25	123.13	0.00	0.00	34.29	0.00	0.00	30.45	74.50	864.73

Anexo 21. Balance Hídrico de Suelos de la Prueba de Infiltración No 4.

Balance Hídrico Gunther Schosinsky
Unidad de Muestreo 4
Llano Grande

Zona de Estudio: Subcuenca Río Belejeyá Granados, Baja Verapaz.
Uso de la Tierra: Potrero
Textura de Suelo: Franco
Geología: Kps

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

Kv: Factor por vegetación

Kfc: Factor estimado con base a la prueba de infiltración

fc [mm/d]

Kp [0.01%]

Kv [0.01%]

Kfc [0.01%]

I [0.01%]

DS (g/cm³):

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

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]	88.13
Kp [0.01%]	0.06
Kv [0.01%]	0.18
Kfc [0.01%]	0.45926
I [0.01%]	0.69926
DS (g/cm ³):	0.98
PR (mm)	1000.00
HSi (mm)	296.78
Nº de mes con que inicia HSi; 1,2,3...12?	7
Lluvia retenida [0.01%]: Bosques=0.2, otros=0.12	0.12

	por peso (%)	(mm)
CC	30.42	296.78
PM	21.18	206.63
(CC-PM)	9.24	90.15

Concepto	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Total
P (mm)	7.80	3.20	25.10	15.90	168.70	456.00	235.80	62.80	280.10	227.20	31.90	2.80	1517.30
Ret [mm]	5.00	3.20	5.00	5.00	20.24	54.72	28.30	7.54	33.61	27.26	5.00	2.80	197.67
Pi (mm)	1.96	0.00	14.06	7.62	103.81	280.60	145.10	38.64	172.36	139.81	18.81	0.00	922.76
ESC (mm)	0.84	0.00	6.04	3.28	44.65	120.68	62.41	16.62	74.13	60.13	8.09	0.00	396.87
ETP (mm)	47.60	49.87	61.93	70.22	71.84	68.78	68.06	69.70	62.13	57.33	49.35	47.94	724.75
HSi (mm)	248.06	233.16	222.54	223.08	219.26	269.38	296.78	296.78	277.73	296.78	296.78	274.60	
C1	0.48	0.29	0.33	0.27	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.75	
C2	0.23	0.13	0.10	0.06	0.49	1.00	1.00	0.66	1.00	1.00	0.66	0.35	
HD (mm)	43.39	26.53	29.97	24.07	116.43	343.34	235.24	128.79	243.45	229.95	108.96	67.96	
ETR (mm)	16.86	10.62	13.52	11.45	53.69	68.78	68.06	57.69	62.13	57.33	40.99	26.53	487.65
HSf (mm)	233.16	222.54	223.08	219.26	269.38	296.78	296.78	277.73	296.78	296.78	274.60	248.06	
DCC (mm)	63.62	74.23	73.69	77.52	27.40	0.00	0.00	19.05	0.00	0.00	22.18	48.71	
Rp (mm)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	184.42	77.04	0.00	91.18	82.48	0.00	0.00	435.11
NR (mm)	94.36	113.49	122.11	136.29	45.55	0.00	0.00	31.06	0.00	0.00	30.54	70.12	643.51

Anexo 22. Balance Hídrico de Suelos de la Prueba de Infiltración No 5.

Balance Hídrico Gunther Schosinsky
Unidad de Muestreo 5
Guapinol

Zona de Estudio: Subcuenca Río Belejeyá **Granados, Baja Verapaz.**
Uso de la Tierra: Potrero
Textura de Suelo: Franco
Geología: Qac

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

Kv: Factor por vegetación

Kfc: Factor estimado con base a la prueba de infiltración

fc [mm/d]

Kp [0.01%]

Kv [0.01%]

Kfc [0.01%]

I [0.01%]

DS (g/cm³):

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

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

555.78

0.06

0.09

0.87895

1

1.33

1000.00

142.66

7

0.12

por peso

(%) (mm)

CC 10.70 142.66

PM 6.49 86.53

(CC-PM) 4.21 56.13

Concepto	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Total
P (mm)	3.30	1.60	27.90	12.80	109.90	263.20	177.80	180.40	205.90	187.90	13.00	2.80	1186.50
Ret [mm]	3.30	1.60	5.00	5.00	13.19	31.58	21.34	21.65	24.71	22.55	5.00	2.80	157.71
Pi (mm)	0.00	0.00	22.90	7.80	96.71	231.62	156.46	158.75	181.19	165.35	8.00	0.00	1028.79
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)	55.71	59.06	70.93	86.85	85.79	82.66	79.06	82.66	69.81	63.91	58.03	60.45	854.92
HSi (mm)	101.28	93.91	90.03	96.25	90.50	132.94	142.66	142.66	142.66	142.66	142.66	118.49	
C1	0.26	0.13	0.47	0.31	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.57	
C2	0.00	0.00	0.00	0.00	0.27	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.11	0.00	
HD (mm)	14.75	7.38	26.40	17.52	100.68	278.02	212.59	214.88	237.32	221.48	64.13	31.96	
ETR (mm)	7.38	3.88	16.68	13.55	54.27	82.66	79.06	82.66	69.81	63.91	32.17	17.21	523.24
HSf (mm)	93.91	90.03	96.25	90.50	132.94	142.66	142.66	142.66	142.66	142.66	118.49	101.28	
DCC (mm)	48.76	52.64	46.41	52.17	9.73	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	24.17	41.38	
Rp (mm)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	139.23	77.40	76.09	111.38	101.44	0.00	0.00	505.55
NR (mm)	97.09	107.82	100.67	125.46	41.24	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	50.03	84.62	606.93

Anexo 23. Balance Hídrico de Suelos de la Prueba de Infiltración No 6.

Balance Hídrico Gunther Schosinsky

Unidad de Muestreo 6

Marmolera, Guapinol

Granados, Baja Verapaz.

Zona de Estudio: Subcuenca Río Belejeyá

Uso de la Tierra: Arbustal

Textura de Suelo: Franco Arcilloso

Geología: Kps

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

Kv: Factor por vegetación

Kfc: Factor estimado con base a la prueba de infiltración

fc [mm/d] 126.34

Kp [0.01%] 0.06

Kv [0.01%] 0.09

Kfc [0.01%] 0.54955

I [0.01%] 0.69955

DS (g/cm³): 1.21

PR (mm) 1000.00

HSi (mm) 329.81

Nº de mes con que inicia HSi; 1,2,3...12? 7

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

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

por peso

(%)(mm)

CC 27.21 329.81

PM 21.39 259.27

(CC-PM) 5.82 70.54

Concepto	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Total
P (mm)	2.90	1.40	28.40	12.50	103.50	239.30	170.70	195.00	197.30	183.30	11.30	2.90	1148.50
Ret [mm]	2.90	1.40	5.00	5.00	12.42	28.72	20.48	23.40	23.68	22.00	5.00	2.90	152.89
Pi (mm)	0.00	0.00	16.37	5.25	63.72	147.31	105.08	120.04	121.46	112.84	4.41	0.00	696.48
ESC (mm)	0.00	0.00	7.03	2.25	27.36	63.27	45.13	51.56	52.17	48.46	1.89	0.00	299.13
ETP (mm)	56.61	60.10	72.06	88.87	87.40	84.27	80.35	84.17	70.68	64.66	59.04	61.89	870.10
HSi (mm)	278.95	269.49	264.49	269.83	265.12	285.74	329.81	329.81	329.81	329.81	329.81	298.04	
C1	0.28	0.14	0.31	0.22	0.99	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.55	
C2	0.06	0.02	0.00	0.00	0.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.23	0.07	
HD (mm)	19.68	10.22	21.59	15.81	69.57	173.79	175.63	190.59	192.00	183.38	74.95	38.77	
ETR (mm)	9.46	5.00	11.03	9.96	43.09	84.27	80.35	84.17	70.68	64.66	36.18	19.09	517.94
HSf (mm)	269.49	264.49	269.83	265.12	285.74	329.81	329.81	329.81	329.81	329.81	298.04	278.95	
DCC (mm)	60.32	65.32	59.98	64.69	44.07	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	31.77	50.87	
Rp (mm)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	18.97	24.73	35.87	50.78	48.18	0.00	0.00	178.54
NR (mm)	107.48	120.42	121.01	143.60	88.38	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	54.63	93.66	729.18

Anexo 24. Balance Hídrico de Suelos de la Prueba de Infiltración No 7.

Balance Hídrico Gunther Schosinsky

Unidad de Muestreo 7

Marmolera, Guapinol

Zona de Estudio: Subcuenca Río Belejeyá Granados, Baja Verapaz.

Uso de la Tierra: Bosque

Textura de Suelo: Franco Arenoso

Geología: Pgc

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

Kv: Factor por vegetación

Kfc: Factor estimado con base a la prueba de infiltración

fc [mm/d]

Kp [0.01%]

Kv [0.01%]

Kfc [0.01%]

I [0.01%]

DS (g/cm³):

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

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

por peso

(%)(mm)

CC 16.63 426.39

PM 8.34 213.84

(CC-PM) 8.29 212.56

Concepto	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Total
P (mm)	4.30	2.10	26.50	13.40	128.00	331.00	197.70	139.10	230.40	201.00	17.70	2.40	1293.60
Ret [mm]	4.30	2.10	5.30	5.00	25.60	66.20	39.54	27.82	46.08	40.20	5.00	2.40	269.54
Pi (mm)	0.00	0.00	21.20	8.40	102.40	264.80	158.16	111.28	184.32	160.80	12.70	0.00	1024.06
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)	53.39	56.46	68.36	82.15	81.24	78.14	75.48	78.45	67.30	61.76	55.20	56.37	814.30
HSi (mm)	349.02	319.33	295.03	288.60	271.07	324.12	426.39	426.39	426.39	426.39	426.39	389.41	
C1	0.64	0.50	0.48	0.39	0.75	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.83	
C2	0.48	0.36	0.33	0.24	0.46	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.80	0.61	
HD (mm)	135.19	105.49	102.39	83.16	159.63	375.08	370.71	323.84	396.88	373.36	225.26	175.57	
ETR (mm)	29.69	24.30	27.64	25.93	49.35	78.14	75.48	78.45	67.30	61.76	49.68	40.39	608.11
HSf (mm)	319.33	295.03	288.60	271.07	324.12	426.39	426.39	426.39	426.39	426.39	389.41	349.02	
DCC (mm)	107.06	131.36	137.80	155.33	102.28	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	36.98	77.37	
Rp (mm)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	84.38	82.68	32.83	117.02	99.04	0.00	0.00	415.95
NR (mm)	130.76	163.52	178.52	211.55	134.17	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	42.50	93.35	954.37

Anexo 25. Balance Hídrico de Suelos de la Prueba de Infiltración No 8.

Balance Hídrico Gunther Schosinsky
Unidad de Muestreo 8
Saltán

Zona de Estudio: Subcuenca Río Belejeyá Granados, Baja Verapaz.
Uso de la Tierra: Potrero
Textura de Suelo: Franco Arenoso
Geología: PgcM

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

Kv: Factor por vegetación

Kfc: Factor estimado con base a la prueba de infiltración

fc [mm/d]

Kp [0.01%]

Kv [0.01%]

Kfc [0.01%]

I [0.01%]

DS (g/cm³):

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

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

por peso

CC (%) (mm)

PM (%) (mm)

(CC-PM) (%) (mm)

fc [mm/d]	245.50
Kp [0.01%]	0.06
Kv [0.01%]	0.09
Kfc [0.01%]	0.70857
I [0.01%]	0.85857
DS (g/cm ³):	1.14
PR (mm)	1000.00
HSi (mm)	166.98
Nº de mes con que inicia HSi; 1,2,3...12?	7
Lluvia retenida [0.01%]: Bosques=0.2, otros=0.12	0.12

CC (%) (mm)	14.61	166.98
PM (%) (mm)	8.34	95.32
(CC-PM) (%) (mm)	6.27	71.66

Concepto	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Total
P (mm)	4.10	2.00	26.90	13.30	123.60	314.70	192.90	149.00	224.50	197.80	16.60	2.50	1267.90
Ret [mm]	4.10	2.00	5.00	5.00	14.83	37.76	23.15	17.88	26.94	23.74	5.00	2.50	167.90
Pi (mm)	0.00	0.00	18.80	7.13	93.39	237.77	145.74	112.58	169.62	149.45	9.96	0.00	944.43
ESC (mm)	0.00	0.00	3.10	1.17	15.38	39.17	24.01	18.54	27.94	24.62	1.64	0.00	155.57
ETP (mm)	53.65	56.72	68.68	82.82	82.35	79.23	76.34	79.46	67.91	62.28	55.89	57.35	822.68
HSi (mm)	118.01	107.38	101.61	107.89	103.63	144.72	166.98	166.98	166.98	166.98	166.98	138.96	
C1	0.32	0.17	0.35	0.27	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.61	
C2	0.08	0.04	0.01	0.00	0.27	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.36	0.12	
HD (mm)	22.69	12.06	25.10	19.70	101.70	287.18	217.40	184.24	241.28	221.11	81.62	43.64	
ETR (mm)	10.63	5.77	12.53	11.38	52.29	79.23	76.34	79.46	67.91	62.28	37.98	20.95	516.75
HSf (mm)	107.38	101.61	107.89	103.63	144.72	166.98	166.98	166.98	166.98	166.98	138.96	118.01	
DCC (mm)	59.60	65.37	59.09	63.35	22.25	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	28.02	48.97	
Rp (mm)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	136.29	69.40	33.12	101.71	87.17	0.00	0.00	427.68
NR (mm)	102.62	116.32	115.24	134.78	52.31	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	45.93	85.37	652.58

Anexo 26. Balance Hídrico de Suelos de la Prueba de Infiltración No 9.

Balance Hídrico Gunther Schosinsky
Unidad de Muestreo 9
Finca San Juan Nepomuceno
Granados, Baja Verapaz.

Zona de Estudio: Subcuenca Río Belejeyá
Uso de la Tierra: Bosque
Textura de Suelo: Franco Arenoso
Geología: Pgcfb

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

Kv: Factor por vegetación

Kfc: Factor estimado con base a la prueba de infiltración

fc [mm/d]

Kp [0.01%]

Kv [0.01%]

Kfc [0.01%]

I [0.01%]

DS (g/cm³):

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

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

por peso

(%) (mm)

CC 17.27 479.24

PM 8.99 249.47

(CC-PM) 8.28 229.77

fc [mm/d]	32.69												
Kp [0.01%]	0.06												
Kv [0.01%]	0.20												
Kfc [0.01%]	0.20301												
I [0.01%]	0.46301												
DS (g/cm ³):	1.11												
PR (mm)	2500.00												
HSi (mm)	479.24												
Nº de mes con que inicia HSi; 1,2,3...12?	7												
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)	4.60	2.20	26.20	13.60	132.20	346.60	202.30	129.60	236.00	204.00	18.80	2.30	1318.40
Ret [mm]	4.60	2.20	5.24	5.00	26.44	69.32	40.46	25.92	47.20	40.80	5.00	2.30	274.48
Pi (mm)	0.00	0.00	9.70	3.98	48.97	128.38	74.93	48.01	87.42	75.56	6.39	0.00	483.35
ESC (mm)	0.00	0.00	11.26	4.62	56.79	148.90	86.91	55.67	101.38	87.64	7.41	0.00	560.57
ETP (mm)	54.04	57.11	69.16	83.49	80.20	77.10	74.66	77.47	66.72	61.27	54.56	55.44	811.22
HSi (mm)	397.05	366.42	340.96	324.79	305.20	324.00	479.24	479.24	454.74	475.99	479.24	436.79	
C1	0.64	0.51	0.44	0.35	0.46	0.88	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.82	
C2	0.49	0.38	0.31	0.22	0.30	0.59	1.00	0.87	0.98	1.00	0.79	0.62	
HD (mm)	147.57	116.95	101.20	79.30	104.69	202.91	304.70	277.78	292.69	302.08	236.16	187.32	
ETR (mm)	30.63	25.46	25.88	23.58	30.16	56.66	74.66	72.50	66.17	61.27	48.84	39.74	555.55
HSf (mm)	366.42	340.96	324.79	305.20	324.00	395.72	479.24	454.74	475.99	479.24	436.79	397.05	
DCC (mm)	112.82	138.28	154.45	174.05	155.24	83.52	0.00	24.50	3.25	0.00	42.45	82.20	
Rp (mm)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.27	0.00	0.00	11.04	0.00	0.00	11.32
NR (mm)	136.24	169.93	197.73	233.96	205.28	103.96	0.00	29.46	3.80	0.00	48.17	97.89	1226.42

Anexo 27. Balance Hídrico de Suelos de la Prueba de Infiltración No 10.

Balance Hídrico Gunther Schosinsky
Unidad de Muestreo 10
Finca San Juan Nepomuceno
Granados, Baja Verapaz.

Zona de Estudio: Subcuenca Río Belejeyá
Uso de la Tierra: Bosque
Textura de Suelo: Franco Arcillo Arenoso
Geología: Peg

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

Kv: Factor por vegetación

Kfc: Factor estimado con base a la prueba de infiltración

fc [mm/d]

Kp [0.01%]

Kv [0.01%]

Kfc [0.01%]

I [0.01%]

DS (g/cm³):

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

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]	19.65
Kp [0.01%]	0.06
Kv [0.01%]	0.20
Kfc [0.01%]	0.06905
I [0.01%]	0.32905
DS (g/cm ³):	1.11
PR (mm)	2500.00
HSi (mm)	606.66
Nº de mes con que inicia HSi; 1,2,3...12?	8
Lluvia retenida [0.01%] : Bosques=0.2, otros=0.12	0.20

	por peso (%)	(mm)
CC	21.84	606.66
PM	15.45	429.16
(CC-PM)	6.39	177.50

Concepto	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Total
P (mm)	5.00	2.40	25.60	13.80	139.60	374.30	210.40	112.70	246.00	209.30	20.70	2.20	1362.00
Ret [mm]	5.00	2.40	5.12	5.00	27.92	74.86	42.08	22.54	49.20	41.86	5.00	2.20	283.18
Pi (mm)	0.00	0.00	6.74	2.90	36.75	98.53	55.39	29.67	64.76	55.10	5.17	0.00	354.99
ESC (mm)	0.00	0.00	13.74	5.90	74.93	200.91	112.93	60.49	132.04	112.34	10.53	0.00	723.83
ETP (mm)	51.33	54.13	66.10	77.95	78.34	75.25	73.18	75.75	65.70	60.39	53.39	53.77	785.28
HSi (mm)	513.85	492.90	476.43	466.80	455.80	470.75	522.47	606.66	570.41	576.35	577.11	543.15	
C1	0.48	0.36	0.30	0.23	0.36	0.79	0.84	1.00	1.00	1.00	0.86	0.64	
C2	0.34	0.25	0.19	0.13	0.20	0.45	0.49	0.74	0.79	0.80	0.60	0.45	
HD (mm)	84.69	63.74	54.00	40.53	63.39	140.12	148.69	207.17	206.01	202.29	153.12	113.99	
ETR (mm)	20.95	16.47	16.37	13.89	21.80	46.81	48.67	65.92	58.82	54.33	39.13	29.30	432.46
HSf (mm)	492.90	476.43	466.80	455.80	470.75	522.47	529.19	570.41	576.35	577.11	543.15	513.85	
DCC (mm)	113.76	130.23	139.86	150.86	135.91	84.19	77.47	36.25	30.31	29.55	63.51	92.81	
Rp (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
NR (mm)	144.14	167.89	189.59	214.92	192.45	112.63	101.98	46.08	37.19	35.60	77.77	117.28	1437.53

Anexo 28. Balance Hídrico de Suelos de la Prueba de Infiltración No 11.

Balance Hídrico Gunther Schosinsky
Unidad de Muestreo 11
Llano Grande

Zona de Estudio: Subcuenca Río Belejéyá Granados, Baja Verapaz.
Uso de la Tierra: Potrero
Textura de Suelo: Franco Arenoso
Geología: Pgcfm

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

Kv: Factor por vegetación

Kfc: Factor estimado con base a la prueba de infiltración

fc [mm/d]

60.62

Kp [0.01%]

0.06

Kv [0.01%]

0.18

Kfc [0.01%]

0.3636

I [0.01%]

0.6036

DS (g/cm³):

1.14

PR (mm)

1000.00

HSi (mm)

164.12

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

7

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

0.12

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

por peso

(%) (mm)

CC

14.36

 164.12

PM

9.55

 109.15

(CC-PM) 4.81 54.97

Concepto	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Total
P (mm)	6.00	2.90	24.20	14.50	157.40	441.00	230.00	72.00	270.00	222.20	25.30	1.80	1467.30
Ret [mm]	5.00	2.90	5.00	5.00	18.89	52.92	27.60	8.64	32.40	26.66	5.00	1.80	191.81
Pi (mm)	0.60	0.00	11.59	5.73	83.61	234.24	122.17	38.24	143.42	118.03	12.25	0.00	769.88
ESC (mm)	0.40	0.00	7.61	3.77	54.91	153.84	80.23	25.12	94.18	77.51	8.05	0.00	505.60
ETP (mm)	48.76	51.14	63.21	72.57	73.86	70.79	69.64	71.59	63.24	58.28	50.61	49.76	743.45
HSi (mm)	126.44	118.21	113.70	116.01	113.43	150.68	164.12	164.12	152.49	164.12	164.12	143.42	
C1	0.33	0.16	0.29	0.23	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.62	
C2	0.04	0.01	0.00	0.00	0.26	1.00	1.00	0.39	1.00	1.00	0.30	0.06	
HD (mm)	17.89	9.06	16.14	12.60	87.89	275.78	177.14	93.22	186.76	173.00	67.23	34.27	
ETR (mm)	8.83	4.51	9.28	8.31	46.35	70.79	69.64	49.88	63.24	58.28	32.95	16.98	439.05
HSf (mm)	118.21	113.70	116.01	113.43	150.68	164.12	164.12	152.49	164.12	164.12	143.42	126.44	
DCC (mm)	45.91	50.42	48.11	50.69	13.44	0.00	0.00	11.63	0.00	0.00	20.70	37.68	
Rp (mm)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	150.02	52.53	0.00	68.54	59.75	0.00	0.00	330.83
NR (mm)	85.84	97.05	102.04	114.95	40.95	0.00	0.00	33.35	0.00	0.00	38.36	70.46	582.99

Anexo 29. Balance Hídrico de Suelos de la Prueba de Infiltración No 12.

Balance Hídrico Gunther Schosinsky
Unidad de Muestreo 12
Llano Grande

Zona de Estudio: Subcuenca Río Belejeyá Granados, Baja Verapaz.
Uso de la Tierra: Cultivo
Textura de Suelo: Franco Arenoso
Geología: Pgcfb

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

Kv: Factor por vegetación

Kfc: Factor estimado con base a la prueba de infiltración

fc [mm/d]

194.50

Kp [0.01%]

0.06

Kv [0.01%]

0.10

Kfc [0.01%] 0.65425

I [0.01%] 0.81425

DS (g/cm³):

1.21

PR (mm)

500.00

HSi (mm)

74.24

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

7

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

0.12

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

	por peso (%)	(mm)
CC	12.25	74.24
PM	5.35	32.42
(CC-PM)	6.90	41.82

Concepto	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Total
P (mm)	3.90	1.90	27.00	13.20	121.30	306.00	190.30	154.30	221.40	196.20	16.00	2.60	1254.10
Ret [mm]	3.90	1.90	5.00	5.00	14.56	36.72	22.84	18.52	26.57	23.54	5.00	2.60	166.14
Pi (mm)	0.00	0.00	17.91	6.68	86.92	219.26	136.36	110.56	158.64	140.59	8.96	0.00	885.87
ESC (mm)	0.00	0.00	4.09	1.52	19.83	50.02	31.11	25.22	36.19	32.07	2.04	0.00	202.09
ETP (mm)	54.04	57.11	69.16	83.49	82.92	79.80	76.80	80.00	68.22	62.55	56.25	57.88	828.22
HSi (mm)	39.40	34.89	33.21	35.66	32.44	73.92	74.24	74.24	74.24	74.24	74.24	55.07	
C1	0.17	0.06	0.45	0.24	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.54	
C2	0.00	0.00	0.00	0.00	0.10	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.00	0.00	
HD (mm)	6.97	2.47	18.70	9.91	86.93	260.76	178.17	152.38	200.46	182.40	50.77	22.65	
ETR (mm)	4.51	1.69	15.46	9.90	45.44	79.80	76.80	80.00	68.22	62.55	28.13	15.67	488.16
HSf (mm)	34.89	33.21	35.66	32.44	73.92	74.24	74.24	74.24	74.24	74.24	55.07	39.40	
DCC (mm)	39.35	41.03	38.58	41.80	0.32	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	19.17	34.84	
Rp (mm)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	139.14	59.56	30.56	90.42	78.04	0.00	0.00	397.72
NR (mm)	88.88	96.46	92.28	115.39	37.80	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	47.29	77.05	555.16

Anexo 30. Balance Hídrico de Suelos de la Prueba de Infiltración No 13.

Balance Hídrico Gunther Schosinsky
Unidad de Muestreo 13
Finca San Juan Nepomuceno

Zona de Estudio: Subcuenca Río Belejeyá Granados, Baja Verapaz.
Uso de la Tierra: Bosque
Textura de Suelo: Franco Arcillo Arenoso
Geología: Kps

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

Kv: Factor por vegetación

Kfc: Factor estimado con base a la prueba de infiltración

fc [mm/d]

Kp [0.01%]

Kv [0.01%]

Kfc [0.01%]

I [0.01%]

DS (g/cm³):

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

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

por peso

(%) (mm)

CC 31.41 923.85

PM 15.52 456.48

(CC-PM) 15.89 467.36

fc [mm/d]	120.63
Kp [0.01%]	0.06
Kv [0.01%]	0.20
Kfc [0.01%]	0.53808
I [0.01%]	0.79808
DS (g/cm ³):	1.18
PR (mm)	2500.00
HSi (mm)	923.85
Nº de mes con que inicia HSi; 1,2,3...12?	10
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)	3.30	1.60	27.90	12.80	110.60	266.00	178.60	178.70	206.90	188.50	13.20	2.80	1190.90
Ret [mm]	3.30	1.60	5.58	5.00	22.12	53.20	35.72	35.74	41.38	37.70	5.00	2.80	249.14
Pi (mm)	0.00	0.00	17.81	6.23	70.61	169.83	114.03	114.09	132.10	120.35	6.54	0.00	751.60
ESC (mm)	0.00	0.00	4.51	1.57	17.87	42.97	28.85	28.87	33.42	30.45	1.66	0.00	190.16
ETP (mm)	55.58	58.93	70.77	86.69	85.61	82.48	78.92	82.51	69.71	63.82	57.93	60.29	853.24
HSi (mm)	825.06	783.84	745.16	720.08	680.90	702.42	805.35	847.81	883.32	923.85	923.85	875.65	
C1	0.79	0.70	0.66	0.58	0.63	0.89	0.99	1.00	1.00	1.00	1.00	0.90	
C2	0.69	0.61	0.56	0.47	0.52	0.73	0.82	0.90	1.00	1.00	0.89	0.78	
HD (mm)	368.58	327.35	306.49	269.82	295.03	415.77	462.90	505.43	558.94	587.71	473.91	419.16	
ETR (mm)	41.23	38.67	42.90	45.41	49.09	66.90	71.57	78.59	69.71	63.82	54.75	50.58	673.21
HSf (mm)	783.84	745.16	720.08	680.90	702.42	805.35	847.81	883.32	923.85	923.85	875.65	825.06	
DCC (mm)	140.01	178.69	203.77	242.95	221.43	118.50	76.03	40.53	0.00	0.00	48.20	98.79	
Rp (mm)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	21.86	56.53	0.00	0.00	78.39
NR (mm)	154.37	198.94	231.64	284.23	257.95	134.08	83.39	44.45	0.00	0.00	51.39	108.49	1548.92

Anexo 31. Balance Hídrico de Suelos de la Prueba de Infiltración No 14.

Balance Hídrico Gunther Schosinsky
Unidad de Muestreo 14
Granados

Zona de Estudio: Subcuenca Río Belejeyá Granados, Baja Verapaz.
Uso de la Tierra: Bosque
Textura de Suelo: Franco Arenoso
Geología: Kps

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

Kv: Factor por vegetación

Kfc: Factor estimado con base a la prueba de infiltración

fc [mm/d] 538.46

Kp [0.01%] 0.06

Kv [0.01%] 0.20

Kfc [0.01%] 0.87316

I [0.01%] 1

DS (g/cm³): 1.21

PR (mm) 2500.00

HSi (mm) 864.23

Nº de mes con que inicia HSi; 1,2,3...12? 8

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

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

	por peso	
	(%)	(mm)
CC	28.52	864.23
PM	16.57	502.11
(CC-PM)	11.95	362.11

Concepto	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Total
P (mm)	3.00	1.40	28.20	12.60	105.80	248.00	173.20	189.70	200.40	185.00	11.90	2.90	1162.10
Ret [mm]	3.00	1.40	5.64	5.00	21.16	49.60	34.64	37.94	40.08	37.00	5.00	2.90	243.36
Pi (mm)	0.00	0.00	22.56	7.60	84.64	198.40	138.56	151.76	160.32	148.00	6.90	0.00	918.74
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)	56.48	59.97	71.90	88.70	86.83	83.68	79.88	83.63	70.36	64.38	58.68	61.37	865.86
HSi (mm)	767.85	729.64	695.08	679.09	647.02	683.21	805.59	864.23	864.23	864.23	864.23	816.64	
C1	0.73	0.63	0.60	0.51	0.63	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.87	
C2	0.62	0.52	0.48	0.38	0.48	0.82	1.00	1.00	1.00	1.00	0.86	0.72	
HD (mm)	265.74	227.53	215.53	184.58	229.54	379.50	442.04	513.87	522.43	510.11	369.01	314.53	
ETR (mm)	38.22	34.56	38.55	39.68	48.44	76.02	79.88	83.63	70.36	64.38	54.48	48.79	676.98
HSf (mm)	729.64	695.08	679.09	647.02	683.21	805.59	864.23	864.23	864.23	864.23	816.64	767.85	
DCC (mm)	134.59	169.15	185.13	217.21	181.01	58.63	0.00	0.00	0.00	0.00	47.58	96.37	
Rp (mm)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.05	68.13	89.96	83.62	0.00	0.00	241.76
NR (mm)	152.85	194.56	218.49	266.23	219.40	66.29	0.00	0.00	0.00	0.00	51.78	108.95	1278.56

Anexo 32. Balance Hídrico de Suelos de la Prueba de Infiltración No 15.

Balance Hídrico Gunther Schosinsky
Unidad de Muestreo 15
Finca El Naranja

Zona de Estudio: Subcuenca Río Belejeyá Granados, Baja Verapaz.
Uso de la Tierra: Bosque
Textura de Suelo: Franco Arcillo Arenoso
Geología: Qtv

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

Kv: Factor por vegetación

Kfc: Factor estimado con base a la prueba de infiltración

fc [mm/d]

Kp [0.01%]

Kv [0.01%]

Kfc [0.01%]

I [0.01%]

DS (g/cm³):

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

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

por peso

(%) (mm)

CC 21.81 703.54

PM 10.98 354.19

(CC-PM) 10.83 349.35

Concepto	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Total
P (mm)	2.69	1.29	28.70	12.42	99.99	226.22	166.87	202.98	192.60	180.81	10.44	3.00	1128.01
Ret [mm]	2.69	1.29	5.74	5.00	20.00	45.24	33.37	40.60	38.52	36.16	5.00	3.00	236.61
Pi (mm)	0.00	0.00	21.80	7.04	75.94	171.81	126.74	154.16	146.28	137.32	5.16	0.00	846.26
ESC (mm)	0.00	0.00	1.16	0.38	4.05	9.16	6.76	8.22	7.80	7.32	0.28	0.00	45.14
ETP (mm)	57.12	60.62	72.54	89.88	88.26	85.13	81.04	84.97	71.18	65.07	59.58	62.67	878.06
HSi (mm)	604.84	567.21	533.45	517.83	486.61	516.56	616.86	667.31	703.54	703.54	703.54	653.76	
C1	0.72	0.61	0.58	0.49	0.60	0.96	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.86	
C2	0.60	0.50	0.46	0.36	0.45	0.72	0.88	1.00	1.00	1.00	0.84	0.70	
HD (mm)	250.65	213.02	201.06	170.69	208.37	334.19	389.41	467.28	495.63	486.67	354.51	299.57	
ETR (mm)	37.63	33.76	37.41	38.27	45.99	71.51	76.29	84.97	71.18	65.07	54.94	48.92	665.94
HSf (mm)	567.21	533.45	517.83	486.61	516.56	616.86	667.31	703.54	703.54	703.54	653.76	604.84	
DCC (mm)	136.33	170.09	185.70	216.92	186.97	86.68	36.23	0.00	0.00	0.00	49.78	98.70	
Rp (mm)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	32.96	75.10	72.25	0.00	0.00	180.31
NR (mm)	155.82	196.95	220.83	268.54	229.24	100.29	40.98	0.00	0.00	0.00	54.42	112.45	1379.51

Anexo 33. Balance Hídrico de Suelos de la Prueba de Infiltración No 16.

Balance Hídrico Gunther Schosinsky
Unidad de Muestreo 16
Rancho de Teja

Zona de Estudio: Subcuenca Río Belejeyá Granados, Baja Verapaz.

Uso de la Tierra: Bosque

Textura de Suelo: Arcillo Arenoso

Geología: Peg

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

Kv: Factor por vegetación

Kfc: Factor estimado con base a la prueba de infiltración

fc [mm/d]

32.35

Kp [0.01%]

0.06

Kv [0.01%]

0.20

Kfc [0.01%] 0.20027

I [0.01%] 0.46027

DS (g/cm³):

1.11

PR (mm)

2500.00

HSi (mm)

731.10

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

8

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

0.20

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

por peso

(%) (mm)

CC

26.32

 731.10

PM

17.49

 485.83

(CC-PM) 8.83 245.28

Concepto	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Total
P (mm)	5.50	2.60	25.00	14.10	147.70	404.80	219.40	94.10	257.00	215.20	22.80	2.00	1410.20
Ret [mm]	5.00	2.60	5.00	5.00	29.54	80.96	43.88	18.82	51.40	43.04	5.00	2.00	292.24
Pi (mm)	0.23	0.00	9.21	4.19	54.39	149.06	80.79	34.65	94.63	79.24	8.19	0.00	514.57
ESC (mm)	0.27	0.00	10.79	4.91	63.77	174.78	94.73	40.63	110.97	92.92	9.61	0.00	603.39
ETP (mm)	50.17	52.70	64.81	75.43	76.30	73.21	71.56	73.85	64.57	59.42	52.13	51.94	766.09
HSi (mm)	652.83	622.35	596.17	577.96	557.08	578.46	666.14	731.10	697.80	728.29	731.10	691.84	
C1	0.68	0.56	0.49	0.39	0.51	0.99	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.84	
C2	0.54	0.44	0.36	0.27	0.35	0.69	0.77	0.84	0.99	1.00	0.82	0.66	
HD (mm)	167.23	136.52	119.55	96.32	125.64	241.69	261.10	279.92	306.61	321.70	253.47	206.01	
ETR (mm)	30.71	26.18	27.41	25.07	33.00	61.37	63.43	67.95	64.14	59.42	47.46	39.01	545.16
HSf (mm)	622.35	596.17	577.96	557.08	578.46	666.14	683.50	697.80	728.29	731.10	691.84	652.83	
DCC (mm)	108.75	134.93	153.14	174.02	152.64	64.96	47.60	33.30	2.81	0.00	39.27	78.27	
Rp (mm)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	17.01	0.00	0.00	17.01
NR (mm)	128.21	161.45	190.54	224.38	195.94	76.80	55.73	39.20	3.24	0.00	43.94	91.21	1210.64

Anexo 34. Balance Hídrico de Suelos de la Prueba de Infiltración No 17.

Balance Hídrico Gunther Schosinsky
Unidad de Muestreo 17
Finca La Vega

Zona de Estudio: Subcuenca Río Belejeyá Granados, Baja Verapaz.

Uso de la Tierra: Cultivo

Textura de Suelo: Franco Arenoso

Geología: Klc

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

Kv: Factor por vegetación

Kfc: Factor estimado con base a la prueba de infiltración

fc [mm/d]

79.28

Kp [0.01%]

0.06

Kv [0.01%]

0.10

Kfc [0.01%]

0.43238

I [0.01%]

0.59238

DS (g/cm³):

1.21

PR (mm)

500.00

HSi (mm)

100.30

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

8

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

0.12

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

por peso

(%) (mm)

CC

16.55

 100.30

PM

9.10

 55.15

(CC-PM) 7.45 45.15

Concepto	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Total
P (mm)	2.50	1.10	29.80	12.40	91.60	191.20	156.20	226.20	180.00	174.00	9.20	3.50	1077.70
Ret [mm]	2.50	1.10	5.00	5.00	10.99	22.94	18.74	27.14	21.60	20.88	5.00	3.50	144.40
Pi (mm)	0.00	0.00	14.69	4.38	47.75	99.67	81.43	117.92	93.83	90.70	2.49	0.00	552.86
ESC (mm)	0.00	0.00	10.11	3.02	32.86	68.58	56.03	81.14	64.57	62.42	1.71	0.00	380.43
ETP (mm)	58.41	62.18	74.15	92.74	90.59	87.42	82.86	87.11	72.44	66.16	61.02	64.74	899.82
HSi (mm)	60.00	56.86	55.68	57.87	55.15	57.61	99.33	100.30	100.30	100.30	100.30	72.28	
C1	0.11	0.04	0.34	0.16	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.38	
C2	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.33	0.95	1.00	1.00	1.00	0.00	0.00	
HD (mm)	4.85	1.71	15.22	7.11	47.75	102.13	125.61	163.07	138.98	135.86	47.64	17.13	
ETR (mm)	3.14	1.18	12.50	7.11	45.30	57.95	80.65	87.11	72.44	66.16	30.51	12.28	476.32
HSf (mm)	56.86	55.68	57.87	55.15	57.61	99.33	100.10	100.30	100.30	100.30	72.28	60.00	
DCC (mm)	43.44	44.62	42.43	45.15	42.70	0.97	0.20	0.00	0.00	0.00	28.02	40.30	
Rp (mm)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	30.81	21.39	24.54	0.00	0.00	76.74
NR (mm)	98.71	105.62	104.08	130.78	87.99	30.44	2.41	0.00	0.00	0.00	58.53	92.76	711.33

Anexo 35. Glosarios de Términos.**Acuíferos.**

Estrato o formación geológica que permite la circulación del agua por sus poros o grietas, hace que el hombre pueda aprovecharlas en cantidades económicamente apreciables para subvenir a sus necesidades (FAUSAC – INAB 2003).

Acuífero Confinado.

Acuífero caracterizado por estar totalmente saturado de agua y sus capas superior e inferior son totalmente impermeables, no son frecuentes en la naturaleza por ello son menos comunes (Cabrera 1998).

Acuífero Semiconfinado.

Acuífero totalmente saturado de agua y presenta una de sus capas superior e inferior impermeable o permeable (Cabrera 1998).

Acuífero Libre.

Saturado de agua solo parcialmente y se encuentra sobre una capa relativamente impermeable, siendo su límite superior a la superficie libre de agua o nivel freático (Cabrera 1998).

Acuífero Semilibre.

Si la conductividad hidráulica de la capa granular fina es un acuífero semiconfinado, es tanto que la componente horizontal del flujo no puede ser ignorada, entonces el acuífero es un intermedio entre el típico semiconfinado y el libre, por eso se le llama acuífero semilibre (Cabrera, 1998).

Manantiales.

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 pues los desagües o aliviaderos por los cuales sale la infiltración o recarga que reciben los embalses subterráneos y pueden ser locales y regionales (FAUSAC – INAB, 2003).