

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE AGRONOMÍA
ÁREA INTEGRADA



TRABAJO DE GRADUACIÓN
RECONOCIMIENTO HIDROGEOLÓGICO DE LA MICRO CUENCA DEL
RÍO FRÍO, MUNICIPIO DE SAN RAYMUNDO, DEPARTAMENTO
DE GUATEMALA, GUATEMALA C.A.

JULIO ROBERTO CURUP CHAVAC

GUATEMALA OCTUBRE DEL 2017

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA

FACULTAD DE AGRONOMÍA

ÁREA INTEGRADA

TRABAJO DE GRADUACIÓN

**RECONOCIMIENTO HIDROGEOLÓGICO DE LA MICRO CUENCA
DEL RÍO FRÍO, MUNICIPIO DE SAN RAYMUNDO, DEPARTAMENTO
DE GUATEMALA, GUATEMALA C.A.**

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

POR:

JULIO ROBERTO CURUP CHAVAC

EN EL ACTO DE INVESTIDURA COMO

INGENIERO AGRÓNOMO

EN

RECURSOS NATURALES RENOVABLES

EN EL GRADO ACADÉMICO DE

LICENCIADO

GUATEMALA OCTUBRE DEL 2017

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE AGRONOMÍA

RECTOR

DR. CARLOS GUILLERMO ALVARADO CEREZO

JUNTA DIRECTIVA DE LA FACULTAD DE AGRONOMÍA

DECANO	Ing. Agr. Mario Antonio Godínez López
VOCAL PRIMERO	Dr. Tomás Antonio Padilla Cámbara
VOCAL SEGUNDO	Ing. Agr. M.A. César Linneo García Contreras
VOCAL TERCERO	Ing. Agr. MSc. Eberto Raúl Alfaro Ortiz
VOCAL CUARTO	P. Agr. Walfer Yasmany Godoy Santos
VOCAL QUINTO	P. Contador Neydi Yassmine Juracán Morales
SECRETARIO	Ing. Agr. Juan Alberto Herrera Ardón

Guatemala, octubre del 2017

Guatemala, octubre de 2017

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

Señores miembros

De conformidad a las normas establecidas con la Ley Orgánica de la Universidad de San Carlos de Guatemala, tengo el honor de someter a vuestra consideración, el trabajo de graduación **RECONOCIMIENTO HIDROGEOLOGICO DE LA MICRO CUENCA DEL RÍO FRÍO, MUNICIPIO DE SAN RAYMUNDO, DEPARTAMENTO DE GUATEMALA, GUATEMALA C.A.**, como requisito previo a optar al título de Ingeniero Agrónomo en Recursos Naturales Renovables, en el grado académico de Licenciado

En espera que la presente investigación llene los requisitos necesarios para su aprobación, de antemano expreso mis agradecimientos y muestras de respeto, por su atención.

Atentamente,

f. _____

Julio Roberto Curup Chavac

“ID Y ENSEÑAD A TODOS

ACTO QUE DEDICO

A:

DIOS:

Fuente Divina que me ha iluminado y ayudado siempre para poder alcanzar mis metas.

MI HIJA Y MIS HIJOS:

Fátima Daniela, José Fernando y Marco Roberto, por ser la fuente de inspiración y el motor de mi vida para dar lo mejor de mí persona para ellos.

A MI ESPOSA:

Por el apoyo que me ha brindado durante estos años.

MI PADRES:

Roberto Curup y Catalina Chavac (+). Por su apoyo incondicional.

MIS HERMANOS:

Por animarme a concretar esta meta.

TRABAJO DE GRADUACIÓN QUE DEDICO

A:

- Dios por la vida.
- Mi patria Guatemala.
- La Universidad de San Carlos de Guatemala, Alma Mater que abrió sus puertas para mi formación académica.
- Facultad de Agronomía. Donde encontré verdaderos y grandes amigos.
- Familiares, amigos, compañeros y personas en general que contribuyeron a mi formación.

AGRADECIMIENTO

A:

- Mi supervisora de Ejercicio Profesional Supervisado, Dra. Ligia Monterroso, por su apoyo y fe, en mi capacidad de llevar adelante esta investigación.
- Mi asesor de tesis, Dr. Tómas Antonio Padilla Cámara, por su valiosa orientación y compartir sus conocimientos en la realización del presente trabajo de tesis y mi formación profesional.
- Lic. Armando Florián, por su amistad y apoyo brindado en estos años de formación.
- Lic. Pedro Celestino Cabrera, Ing. Agr. Waldemar Nufio Reyes, Ing. Agr. Edwin Cano Morales, por compartir conmigo sus conocimientos y por la amistad sincera que me brindaron a lo largo de estos años en esta prestigiosa Facultad de Agronomía.
- Ing. Agr. Jorge Chapas, Blenda Morataya, Rodolfo Estrada, Vanessa Acosta. Con aprecio por la sincera amistad.

ÍNDICE DE CONTENIDO

	Página
RESUMEN.....	ix
SUMMARY.....	xi
CAPÍTULO I.....	1
DIAGNÓSTICO DEL PROGRAMA BOSQUES Y AGUA PARA LA CONCORDIA DEL MINISTERIO DE AGRICULTURA GANADERIA Y ALIMENTACIÓN, EN EL DEPARTAMENTO DE GUATEMALA REGION VIII.	
PERIODO 2007-2011	1
1.1 PRESENTACIÓN	2
1.2 MARCO REFERENCIAL	3
1.3 OBJETIVOS	6
1.3.1. Objetivo General	6
1.3.2. Objetivos Específicos.....	6
1.4 METODOLOGÍA.....	7
1.5 RESULTADOS	8
1.5.1 Requisitos para la selección de los terrenos.....	8
1.5.2 Limitaciones para selección y autorización de terrenos.....	10
1.5.3 Admisión y organización de los participantes	10
1.6 CONCLUSIONES.....	18
CAPÍTULO II.....	19
RECONOCIMIENTO HIDROGEOLÓGICO DE LA MICROCUENCA DEL RÍO FRIO, MUNICIPIO DE SAN RAYMUNDO, DEPARTAMENTO DE GUATEMALA. HYDROGEOLOGICAL RECOGNITION OF THE MICRO BASIN OF THE COLD RIVER	
2.1 INTRODUCCIÓN.....	21
2.2 MARCO TEÓRICO.....	23
2.2.1 Marco conceptual.....	23
2.2.1.1.Hidrogeología.....	23
2.2.1.2.Reconocimientos geológicos.....	23
2.2.1.3.Geología estructural.....	23

	Página
2.2.1.4.La estratigrafía.....	24
2.2.1.5.Acuífero.....	24
2.2.1.6.Reconocimientos hidrológicos.....	27
2.2.1.7.El ciclo hidrológico.....	27
2.2.1.8.Precipitación pluvial.....	28
2.2.1.9.Precipitación efectiva.....	29
2.2.1.10. Evapotranspiración.....	29
2.2.1.11. Esgurrimiento.....	30
2.2.1.12. Infiltración.....	31
2.2.1.13. Recarga hídrica.....	31
2.2.1.14. Ríos efluentes e influentes.....	31
2.2.1.15. Agua subterránea.....	32
2.2.1.16. Circulación subterránea del agua.....	32
2.2.1.17. Distribución del agua en el subsuelo.....	32
2.2.1.18. Flujo del agua subterránea.....	34
2.2.1.19. La micro cuenca como ámbito de planificación.....	35
2.2.2 Marco referencial.....	36
2.2.2.1.Localización geográfica de la micro cuenca del Rio Frio.....	36
2.2.2.2.Acceso al área de estudio.....	36
2.2.2.3.Población dentro del área de la micro cuenca del Rio Frio.....	37
2.2.2.4.Características fisiográficas –geomorfológicas.....	39
2.2.2.5.Suelos.....	45
2.2.2.6.Drenaje.....	48
2.2.2.7.Zona de vida.....	48
2.2.2.8.Aspectos climáticos.....	49
2.2.2.9.Uso de la tierra (cobertura).....	50
2.3 OBJETIVOS.....	51
2.3.1 Objetivo General.....	51
2.3.2 Objetivos Específicos.....	51
2.4 METODOLOGÍA.....	52
2.4.1 Delimitación del área de estudio.....	52
2.4.2 Análisis de la geología.....	52
2.4.3 Tipo de acuífero.....	52

2.4.4	Cálculo de la transmisividad.	53
2.4.5	Cálculo del coeficiente de almacenamiento.	53
2.4.6	Hidrología superficial.	53
2.4.6.1.	Precipitación pluvial.	53
2.4.6.2.	Precipitación efectiva.	53
2.4.6.3.	Aforos.	54
2.4.6.4.	Pruebas de infiltración.	55
2.4.7	Red de flujo.	55
2.4.8	Evapotranspiración.	55
2.4.9	Muestreo de suelos.	56
2.4.10	Identificación y mapeo de unidades de recarga hídrica.	56
2.5	RESULTADOS Y DISCUSIÓN.	57
2.5.1	Delimitación del área de estudio.	57
2.5.2	Fisiografía.	58
2.5.2.1.	Subregión montañas de San Raymundo-Progreso-Jalapa-Espíritu Santo.	58
2.5.2.2.	Sub región zona montañosa y planicie central (Tecpán-Jalpatagua).	59
2.5.3	Geología.	61
2.5.3.1.	Depósitos volcánicos.	61
2.5.3.2.	Rocas del terciario.	61
2.5.3.3.	Intrusivo de San Raymundo.	61
2.5.4.	Hidrogeología.	64
2.5.4.1.	Acuíferos.	64
2.5.5.	Parámetros hidrogeológicos micro cuenca del Río Frio.	66
2.5.6.	Hidrología.	71
2.5.6.1.	Precipitación pluvial.	71
2.5.6.2.	Aforos en cauce principal.	73
2.5.7.	Pruebas de infiltración.	75
2.5.8.	Hidrografía.	78
2.5.8.1.	La curva hipsométrica.	78
2.5.8.2.	Pendiente media de la micro cuenca.	78
2.5.8.3.	Orden de corrientes.	79
2.5.8.4.	Aspectos de superficie.	79

	Página
2.5.8.5.Aspectos lineales	79
2.5.9. Evapotranspiración.....	80
2.5.9.1.Método de ETP (Hargreaves)	80
2.5.10. Suelos.....	81
2.5.10.1. Serie de suelos Guatemala fase pendiente.....	81
2.5.10.2. Serie de suelos Guatemala.....	81
2.5.10.3. Áreas fragosas.....	82
2.5.11. Zonas de muestreo.....	84
2.5.12. Balance hídrico.....	85
2.5.13. Red de flujo de aguas subterráneas.....	86
2.6. CONCLUSIONES.....	87
2.7. RECOMENDACIONES	88
CAPÍTULO III.....	89
SERVICIOS REALIZADOS EN LA UNIDAD ESPECIAL DE EJECUCIÓN BOSQUES Y AGUA PARA LA CONCORDIA.....	89
3.1. SERVICIOS PRESTADOS.....	90
3.2. METODOLOGÍA	90
3.2.1. Fase de gabinete 1	90
3.2.2. Fase de campo.....	90
3.2.3. Fase de gabinete final.....	90
3.3. RESULTADOS.....	91
3.4. CONCLUSIONES.....	101
4. BIBLIOGRAFÍA	103
5. ANEXOS.....	105
5.1. Estratigrafía de pozos	105
5.2. Balances hídricos.....	110

INDICE DE FIGURAS

	Página
Figura 1. Reconocimiento de polígonos con líderes municipales.	13
Figura 2. Polígono El Porvenir, en propiedad municipal de Villa Canales	16
Figura 3. Polígono Los Cubes en terrenos municipales de Palencia.	16
Figura 4. Plantación de <i>Pinus Maximinoi</i> dentro de las instalaciones de la Escuela Politécnica.	17
Figura 5. Plantación de ciprés dentro de un bosque natural de <i>Quercus sp.</i>	17
Figura 6. Dinámica de captación y movimiento de agua hacia los acuíferos.	25
Figura 7. Ciclo Hidrológico.	28
Figura 8. Ubicación geográfica, micro cuenca del Rio Frio.....	38
Figura 9. Mapa de fisiografía de la micro cuenca del Rio Frio.	44
Figura 10. Mapa de series de suelos de la micro cuenca del Rio Frio.....	47
Figura 11. Mapa de cobertura micro cuenca del Rio Frio.	50
Figura 12. Mapa base de la micro cuenca del Rio Frio.....	57
Figura 13. Mapa de fisiografía de la micro cuenca.	60
Figura 14. Mapa geológico y línea de perfil de la micro cuenca del Rio Frio.	62
Figura 15. Perfil geológico sur a norte, de la micro cuenca del Rio Frio.	63
Figura 16. Perfil geológico de oeste a este, de la micro cuenca del Rio Frio.....	64
Figura 17. Disposición y tipos de acuíferos de la micro cuenca del Rio Frio.	65
Figura 18. Disposición y tipos de acuíferos de la micro cuenca del Rio Frio.	66
Figura 19. Transmisividad pozo San Raymundo.	68
Figura 20. Coeficiente de almacenamiento pozo San Raymundo.	68
Figura 21. Transmisividad pozo La Unión, finca Concepción.	70
Figura 22. Coeficiente de almacenamiento, pozo La Unión, finca Concepción.	70

	Página
Figura 23. Comportamiento de caudal en el cauce principal.....	75
Figura 24. Comportamiento de infiltración macizo intrusivo + infraestructura.	76
Figura 25. Comportamiento de infiltración macizo intrusivo + bosque natural.....	76
Figura 26. Comportamiento de infiltración macizo intrusivo + cultivos.	77
Figura 27. Comportamiento de infiltración montañas volcánicas + bosque natural.	77
Figura 28. Comportamiento de infiltración Montañas volcánicas + cultivos.....	77
Figura 29. Curva Hipsométrica de la micro cuenca.....	78
Figura 30. Serie de suelos de la micro cuenca según Simmons, Tarano y Pinto.	83
Figura 31. Mapa de unidades de muestreo de suelos, micro cuenca del Rio Frio.	84
Figura 32. Mapa de redes de flujo, micro cuenca del Rio Frio.	87
Figura 33. Densidad por polígono de reforestación	92
Figura 34. DAP promedio por polígono de reforestación.	93
Figura 35. Altura promedio por polígono de reforestación.	93
Figura 36. Formulario de evaluación de terrenos para mantenimiento.....	95
Figura 37. Plano de ubicación del polígono.	96
Figura 38. Croquis de acceso al polígono.....	97
Figura 39. Croquis de ubicación.	98
Figura 40. Cuadro matriz de registro de actividades de mantenimiento.....	99
Figura 41. Actividades de intervención forestal polígono Los Cubes.	100
Figura 42. Actividades de intervención forestal polígono Los Cubes.	100
Figura 43 A. Pozo Cabecera Municipal.....	105
Figura 44 A. Pozo La unión Finca Concepción.....	106
Figura 45 A. Pozo 4 (Llano de la Virgen)	107
Figura 46 A. Pozo 3 (Aldea el Ciprés)	108
Figura 47 A. Pozo 1 (Aldea Concepción el Ciprés).....	109

INDICE DE CUADROS

Página

Cuadro 1. Polígonos de reforestación existentes en el departamento de Guatemala.....	11
Cuadro 2. Listado de líderes por municipio en el periodo 2007-2011.....	12
Cuadro 3. Áreas aproximadas por polígono de reforestación establecidos en el departamento de Guatemala.	12
Cuadro 4. Polígonos abandonados en el departamento de Guatemala.	14
Cuadro 5. Tipo de propiedad en que se establecieron los polígonos de reforestación.	15
Cuadro 6. Proyecciones de población 2002-2015.....	37
Cuadro 7. Accidentes hidrográficos de la micro cuenca del Rio Frio.	39
Cuadro 8. Datos de tiempo y abatimiento pozo San Raymundo.	67
Cuadro 9. Datos de tiempo y abatimiento pozo La Unión finca Concepción.....	69
Cuadro 10. Precipitación pluvial, estación INSIVUMEH (Periodo 1990-1997).....	72
Cuadro 11. Precipitación pluvial, estación SAN PEDRO AYAMPUC (Periodo 1990-1997).	72
Cuadro 12. Datos promedios de los aforos de la micro cuenca.....	73
Cuadro 13. Datos de medición en ancho de cauce.	74
Cuadro 14. Datos de medición de profundidad del cauce.	74
Cuadro 15. Orden de corrientes dentro de la micro cuenca	79
Cuadro 16. Cálculos de evapotranspiración para un periodo de 12 meses.	80
Cuadro 17. Balance hídrico de las zonas de muestreo delimitadas.....	85
Cuadro 18. Información cuantitativa de las Parcelas de Muestreo levantadas dentro de cada polígono.....	91
Cuadro 19. Área por polígono medida durante el desarrollo de los servicios.	94
Cuadro 20 A. Balance hídrico de suelos de la zona de muestreo de las montañas volcánicas y bosque natural.....	110
Cuadro 21 A. Balance hídrico de suelos de la zona de muestreo de las montañas volcánicas y cultivos anuales.....	111
Cuadro 22 A. Balance hídrico de suelos del valle intrusivo y cultivos anuales	112

	Página
Cuadro 23 A. Balance hídrico de suelos del valle intrusivo y bosque.....	113
Cuadro 24 A. Balance hídrico de suelos del valle intrusivo e infraestructura	114
Cuadro 25 A. Datos de pruebas de infiltración del valle intrusivo e infraestructura.	115
Cuadro 26 A. Datos de pruebas de infiltración del valle intrusivo y bosque natural	116
Cuadro 27 A. Datos de pruebas de infiltración del valle intrusivo y cultivos anuales.....	117
Cuadro 28 A. Datos de pruebas de infiltración de las montañas volcánicas y bosque natural.	118
Cuadro 29 A. Datos de pruebas de infiltración de las montañas volcánicas y cultivos anuales	119
Cuadro 30 A. Coordenadas donde se realizaron las zonas de muestreo.....	120
Cuadro 31 A. Datos climáticos utilizados para los cálculos de evapotranspiración.....	120

RESUMEN

RECONOCIMIENTO HIDROGEOLÓGICO DE LA MICROCUENCA DEL RÍO FRÍO, MUNICIPIO DE SAN RAYMUNDO, DEPARTAMENTO DE GUATEMALA, GUATEMALA C.A.

El uso de aguas subterráneas para consumo humano y riego es una alternativa a nivel nacional que actualmente es motivo de estudios técnicos, que ayuden a un mejor aprovechamiento de los recursos, tanto los que se invierten en la construcción de pozos como la cantidad y calidad de agua que se extrae.

Al utilizar la información geológica, fisiográfica y de drenajes superficiales de la zona de estudio se obtuvo información de los parámetros hidrogeológicos de la micro cuenca que permitan visualizar las zonas y profundidades donde el flujo de agua subterráneo es apropiado para su explotación, así como el volumen que fluye y las zonas donde esta agua es infiltrada.

La zona de estudio se ubica entre sistemas de fallas que han estado en evolución desde el Paleozoico. Forma parte de la región fisiográfica de Tierras Altas Cristalinas. Según el Instituto Geográfico Nacional (IGN, 1972), esta región está constituida por serpentinitas, gneises metamórficos y esquistos, sobresaliendo áreas de material plutónico, principalmente granito, que es reconocido como el Intrusivo de San Raymundo y que compone un 75 % del área.

En la parte noroeste de la micro cuenca subyacen materiales de origen volcánico, medio que por actividad de fallas se ha fracturado y con ello se permite el flujo horizontal del agua por las cavidades de roca.

De forma general, los suelos en su conjunto son desarrollados sobre pendientes que van desde altas a onduladas por lo cual son suelos con diferentes profundidades, además sujetos a procesos fuertes de erosión, por escorrentía, viento y fuertes actividades agrícolas de cultivos de subsistencia.

En base a la recarga hídrica, se estima que el volumen total del acuífero es de 3.4 millones de metros cúbicos anuales lo cual representa un volumen considerado apto para satisfacer las necesidades de este recurso en los momentos actuales en el que la población dentro de la cuenca oscila entre los 23,027 habitantes.

La alta contaminación existente dentro de los cauces de los ríos por falta de plantas de tratamiento en colonias y casco urbano en general hace necesaria la posibilidad de planificar el uso de las aguas superficiales para consumo humano y/o riego, razón por la cual es de suma importancia la conservación y manejo de las zonas de recarga hídrica.

SUMMARY
HYDROGEOLOGICAL RECOGNITION OF THE MICROCUENCADEL RÍO FRIO,
MUNICIPALITY OF SAN RAYMUNDO, DEPARTMENT DE GUATEMALA, GUATEMALA
C.A.

The use of groundwater for consumption and irrigation is an alternative at the national level that lacks technical studies, which help to make better use of resources, both those that are invested in the construction of wells and the quantity and quality of the water resource that is removed.

Using the geological, physiographic and surface drainage information from the study area, information was obtained on the hydrogeological parameters of the micro basin that allow visualizing the zones and depths where the underground water flow is appropriate for its exploitation, as well as the volume that Flows and the areas where this water is infiltrated.

The area of study is located between the two major fault systems that have been in evolution since the Paleozoic. It is part of the physiographic region of Crystalline Highlands. According to the National Geographic Institute (IGN, 1972), this region consists of serpentinites, metamorphic gneisses and schists, appearing some small areas of plutonic material, mainly granite

In the micro basin there are materials of volcanic origin, a medium that has been fractured by faults and with this, the horizontal flow of water through the rock cavities is allowed.

In general, the soils as a whole are developed on slopes ranging from high to wavy so they are soils with different depths, also subject to strong processes of erosion, runoff, wind and strong agricultural activities of subsistence crops.

Based on water recharge, it is estimated that the total volume of the aquifer is 3.4 million cubic meters annually, which represents a volume considered fit to meet the needs of this resource at the current time when the population within the basin It varies between 23,027 inhabitants.

The high contamination existing within the river channels due to the lack of treatment plants in the colonies and urban areas in general, makes it impossible to plan the use of surface waters for human consumption and / or irrigation, which is why The conservation and management of water recharge zones is of extreme importanci.

CAPÍTULO I

DIAGNÓSTICO DEL PROGRAMA BOSQUES Y AGUA PARA LA CONCORDIA

DEL MINISTERIO DE AGRICULTURA GANADERIA Y ALIMENTACIÓN

EN EL DEPARTAMENTO DE GUATEMALA REGION VIII

PERIODO 2007-2011 .

1.1 PRESENTACIÓN

La Unidad Especial de Ejecución del Programa Bosques y Agua para la Concordia fue creada para apoyar la implementación de proyectos que ayuden a incrementar la cobertura forestal del país y a su preservación, principalmente en las zonas de recarga hídrica que favorecen las fuentes de agua de las comunidades guatemaltecas.

El Ministerio de Agricultura Ganadería y Alimentación (MAGA) en consideración al mandato que le otorga La Constitución Política de la República de Guatemala, en su artículo 126, en donde se declara de urgencia nacional y de interés social la reforestación y la conservación de los bosques, emite el Acuerdo Ministerial No. 48-2012 de fecha 19 de marzo del 2012 y publicado en el diario oficial el 26 de marzo del 2012, mediante el cual se crea La Unidad Especial Ejecutora del Programa Bosques y Agua para la Concordia, como dependencia del Ministerio de Agricultura Ganadería y Alimentación -MAGA-.

Por su misión y visión, el Programa de Bosques y Agua Para la Concordia orienta sus acciones a mejoras en la calidad de vida de la población guatemalteca, a través del impulso de la reforestación, el mantenimiento de plantaciones forestales y protección de zonas de recarga hídrica. Tiene como objetivos principales los siguientes:

- Desarrollar proyectos en terrenos con vocación forestal, que ayuden a la disminución de la erosión del suelo; incremento de la recarga hídrica y protección de biodiversidad.
- Desarrollar proyectos de manejo forestal en áreas de bosque para garantizar el desarrollo de los árboles y minimizar el riesgo a incendios forestales.

1.2 MARCO REFERENCIAL

El Gobierno de Guatemala, mediante el Acuerdo Gubernativo Número 406-05, de fecha 13 de septiembre de 2005, acordó facultar al Ministro de Agricultura, Ganadería y Alimentación, para que en ejercicio del mandato especial y con representación otorgada por el Procurador General de la Nación, compareciera en representación del Estado de Guatemala en calidad de Fideicomitente, ante el Escribano de Cámara y de Gobierno, con el representante legal del Banco Crédito Hipotecario Nacional de Guatemala, a suscribir la Escritura Pública Número 650, de fecha 18 de noviembre de 2005 en la que consta la constitución del Fideicomiso Bosques y Agua para la Concordia. De conformidad con el Acuerdo Gubernativo Número 474-2007, de fecha 16 de octubre de 2007, se autorizó la modificación de las cláusulas quinta, novena y décima tercera, de la Escritura Pública Número 650. Dicha modificación se realizó mediante Escritura Pública número 11, de fecha 19 de enero de 2010. (Perfil de fideicomisos 2013)

El Fideicomiso Bosques y Agua para la Concordia, tiene por objeto contribuir a mejorar la calidad de vida de la población guatemalteca, a través de: a) el impulso de la reforestación en tierras estatales, municipales y comunales, así como en aquellas tierras privadas, que por su ubicación y vocación, sean de importancia para el bienestar de las comunidades y que medie la gestión de los gobiernos locales; b) la conservación y el mantenimiento de las fuentes de agua que sean de beneficio para las comunidades en general, ya sean municipales o privadas; c) el desarrollo de la cultura forestal en el área rural de Guatemala, y d) inversión en obras de infraestructura en apoyo al desarrollo integral del país. La estructura legal del Fideicomiso Bosques y Agua para la Concordia, se encuentra conformada por; el Estado de Guatemala como fideicomitente, representado por el Ministerio de Agricultura, Ganadería y Alimentación, El Crédito Hipotecario Nacional de Guatemala, en calidad de fiduciario y como Fideicomisario el Estado de la República de Guatemala. De acuerdo a la cláusula segunda de la Escritura Pública número 281 de fecha 13 de diciembre de 2010, que modifica la cláusula séptima del plazo del fideicomiso, de la Escritura Publica Número 650, se estableció un plazo que inicia el 18 de noviembre de 2005 y vence el treinta y uno de diciembre de 2011.

La administración y ejecución del fideicomiso, está a cargo del Comité Técnico, integrado por un representante designado por cada una de las siguientes instituciones: El Crédito Hipotecario Nacional de Guatemala, El Ministerio de Agricultura, Ganadería y Alimentación, El Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales, La Secretaría de Coordinación Ejecutiva de la Presidencia de la República, El Instituto Nacional de Bosques (INAB) y la Asociación Nacional de Municipalidades (ANAM). Además se cuenta con la Unidad Técnica Ejecutora, cuya estructura y funciones se encuentran definidas en el reglamento respectivo. (Perfil de fideicomisos 2013).

Perfil del fideicomiso.

1. Denominación:

BOSQUES Y AGUA PARA LA CONCORDIA (BYAC)

2. Elementos Personales:

Fideicomitente: Estado de Guatemala representado por el Ministerio de Agricultura, Ganadería y Alimentación

Fiduciario: El Crédito Hipotecario Nacional de Guatemala

Fideicomisario: Estado de Guatemala

3. Objetivos:

Impulso de la reforestación en tierras estatales, municipales y comunales, el mantenimiento de las fuentes de agua municipales y al desarrollo de la cultura forestal en el área rural de Guatemala.

4. Destino:

Para el pago de capacitaciones, supervisiones y mano de obra de las actividades siguientes:

a) Establecimiento de viveros,

b) Plantación de plántulas de vivero a campo definitivo,

c) Cuidados silviculturales de las plantaciones,

d) Todas aquellas actividades que se requiera realizar para alcanzar el objeto del fideicomiso y que sean aprobados por su Comité Técnico.

Las actividades objeto del fideicomiso quedaran sujetas a lo establecido por la legislación forestal y se podrá contar con la asesoría técnica en materia forestal del INAB.

5. Acuerdo Gubernativo de creación: 406-2005 del 13 de septiembre de 2005

6. Escritura Pública Constitutiva: 650 del 18 de noviembre de 2005.
7. Plazo: 5 años
8. Fecha de vencimiento: 17 de noviembre de 2010
9. Patrimonio Contractual Fideicometido: Q 890,000,000.00.
10. Procedencia de los recursos financieros: Reducción del Patrimonio Fideicometido del Fideicomiso Fondo Nacional para la Paz, y del Presupuesto General de Ingresos y Egresos del Estado.
11. Modificaciones: Ninguna
12. Costo Financiero de Administración: 1.5% calculado sobre el valor de los pagos efectivamente realizados, el porcentaje incluye costo de los insumos, costo de los servicios y honorarios. (Informe de auditoría la Unidad Ejecutora de Bosques y Agua para la Concordia)

Este fideicomiso fue creado durante el gobierno del Presidente Oscar Berger Perdomo, debido a un fallo de la Corte de Constitucionalidad que indicaba que no se les podía pagar a los ex patrulleros sin realizar una actividad, “encontrando la figura de reforestación y protección de los bosques y de las fuentes de agua, la adecuada para realizar el compromiso de pago”. (Oliva E. 2012).

Durante el año dos mil doce, un año después del vencimiento del fideicomiso el gobierno de turno retoma el programa integrándolo como una unidad especial de ejecución dentro del Ministerio de Agricultura, Ganadería y Alimentación, (MAGA).

Se emitió el Acuerdo Ministerial No. 48-2012 de fecha 19 de marzo del 2012 y publicado en el Diario Oficial el 26 de marzo del 2012, el Ministerio de Agricultura, Ganadería y Alimentación, crea La Unidad Especial Ejecutora del Programa Bosques y Agua para la Concordia, (BYAC) como dependencia de este ministerio.

1.3 OBJETIVOS

1.3.1. Objetivo general

Conocer la situación del programa de Bosques y Agua para la Concordia del Ministerio de Agricultura Ganadería y Alimentación en el departamento de Guatemala, región VIII, durante el periodo de tiempo de los años 2007-2011.

1.3.2. Objetivos específicos

- Conocer la cantidad de polígonos de reforestación existentes en el departamento de Guatemala.
- Identificación de los líderes municipales a cargo de este proceso durante el periodo en estudio.
- Identificar el tipo de propiedad en que se encuentran establecidos los polígonos.

1.4 METODOLOGÍA

- Revisión de la información archivada del Fideicomiso de Bosques y Agua para la Concordia que ayude a la ubicación de polígonos en el departamento de Guatemala.
- Identificación de los líderes municipales que estuvieron a cargo del programa durante este periodo de tiempo en los 17 municipios del departamento de Guatemala.
- Reuniones de campo con participantes del programa en los diferentes municipios del departamento de Guatemala.
- Elaboración de informe final del diagnóstico.

1.5 RESULTADOS

Las actividades de reforestación y mantenimiento consistieron en efectuar limpiezas, rondas, fajas corta fuego, podas, siembra y resiembra, en terrenos comunales, municipales, estatales y otras que puedan añadirse y que guardan relación con el objeto del programa, es por ello que a cada uno de las personas que decidieron participar en el programa, se les asignó un área de terreno la cual debieron brindarle la reforestación y mantenimiento, según el plan de cuidados silviculturales que se elaboró para cada polígono.

Una vez efectuado el trabajo descrito en el plan y desarrollada la supervisión que se plasmará en un informe técnico, se elaboraron las planillas para hacer efectivo el pago por medio de una transferencia bancaria, cada participante recibió Q.1,700.00, debitados del renglón 419, otras transferencias a personas.

1.5.1 Requisitos para la selección de los terrenos

Todo terreno donde se ejecutó un proyecto del Programa Bosques y Agua para la Concordia debió cumplir con los siguientes requisitos:

- Encontrarse en una cuenca prioritaria y en zonas de captación hídrica.
- Cuando se tratare de un terreno para reforestación este debía ser de vocación forestal.
- Los terrenos a incorporar para la ejecución de un proyecto debieron estar ubicados en tres categorías:
 - ✓ Terrenos de propiedad o posesión municipal, comunal o estatal; para éste caso se adjuntaría a la propuesta y se trasladó a la Dirección del Programa, la siguiente papelería: Fotocopia simple legalizada u original del documento que acredite la posesión o propiedad de la tierra (mínimo presentar certificación municipal de posesión o propiedad), copia legalizada del nombramiento del representante legal; si fuese Alcalde, nombramiento emitido por el Tribunal Supremo Electoral y transcripción del acta de toma de posesión.

- ✓ Las fincas otorgadas por el desaparecido Instituto Nacional de Transformación Agraria (INTA) y el Fondo Nacional de Tierras (FONTIERRA), fondos sociales y otros organismos del estado, que hayan sido otorgadas a campesinos o parcelarios, en los siguientes casos: Patrimonio agrario, patrimonio familiar, títulos individuales, empresas campesinas asociativas, cooperativas, entre otros. Para aceptarlas deben incorporarse a la propuesta los mismos documentos del inciso anterior.
- ✓ Áreas de vocación forestal, que por su ubicación sean de interés y utilidad comunitario reforestarlas para mantener y mejorar las fuentes de agua que abastezcan a una comunidad; en este caso la comunidad interesada solicitaba al propietario del terreno que autorizará su incorporación a uno de los proyectos, y debía adjuntarse los siguientes documentos: fotocopia legalizada u original del documento que acredite la posesión o propiedad de la tierra (como mínimo presentar certificación municipal de posesión o propiedad) y fotocopia del documento de identificación del propietario, Cedula o DPI.

Las actividades que cada beneficiario realizara, dependía del proyecto a ejecutar: Si era de reforestación con fines de protección, se comprometía a sembrar 100 árboles siguiendo las actividades descritas en el plan de manejo o actividades silviculturales descrito, si es de mantenimiento de plantaciones forestales con fines de protección, limpia de 100 árboles. Podían participar también los beneficiarios (hijos, viudas de los expac) en la prevención de incendios forestales para ello debieron elaborar fajas y rondas corta fuegos en un área de 1,000 metros cuadrados por persona. Para el mantenimiento de fuentes de agua debían limpiar como mínimo 1,000 metros cuadrados por persona alrededor de las fuentes de agua que abastecían de este líquido a una comunidad.

1.5.2 Limitaciones para selección y autorización de terrenos.

Dentro de las limitaciones para la selección y autorización de terrenos para la ejecución de los proyectos del Programa, estaban las siguientes:

- Terrenos en propiedad privada individual sin vocación forestal.
- Terrenos que son utilizados por el Programa de Incentivos Forestales (PINFOR), y el Programa de Incentivos para Pequeños Propietarios (PINPEP) u otro incentivo de reforestación o que hayan sido utilizados anteriormente.
- Terrenos con áreas de cultivos y/o pastoreo que por estar dedicados a esa actividad, no permitan el establecimiento de la plantación, o bien una vez establecida pueda ser dañada.
- Terrenos a lo largo de orillas de ríos donde la corriente en época de lluvia pueda causar daños a la plantación.
- Terrenos a lo largo de orillas de carretera, en las áreas en que se aparquen vehículos que impidan el establecimiento de la plantación.
- Áreas en donde se taló el bosque durante los últimos doce meses.

1.5.3 Admisión y organización de los participantes

Toda persona que deseara ingresar a los proyectos de la unidad debería cumplir con los siguientes requisitos:

- Nacionalidad guatemalteca por nacimiento.
- Ser mayor de 40 años (nacido antes del año 1969).
- Llenar completamente el formulario de solicitud de ingreso al Programa y entregarlo al Técnico de Campo, quien firmara y sellara de recibido haciendo constar la fecha y hora de entrega.

Durante el periodo 2007-2011, en el departamento de Guatemala se establecieron áreas en cada municipio, para que los expatrulleros beneficiados trabajaran en ellas. La ubicación de los polígonos se realizó con prioridad en microcuencas de los 17 municipios con la finalidad de contribuir a la recuperación de la cobertura vegetal, la captación de agua y disminución de la erosión hídrica (cuadro 1).

Cada participante del programa tuvo a su cargo la siembra de 50 árboles, y según la base de datos se contabilizan 1500 expatrulleros dentro del departamento de Guatemala para ese año. Los grupos organizados por líderes municipales, tuvieron el acompañamiento de personal de campo del MAGA (cuadro 2).

Cuadro 1. Polígonos de reforestación existentes en el departamento de Guatemala.

Municipio	Nombre del Polígono	Especie plantada	Tipo de Propiedad	Año de establecimiento.
Villa Canales	El Porvenir	Ciprés	Astillero Municipal	2008
	Santa Elena Barillas	Ciprés	Astillero Municipal	2008
	San Jose el Tablon	Ciprés	Astillero Municipal	2008
San Pedro Sacatepéquez	San Juan Buena Vista	Ciprés	Astillero Municipal	2008
San Juan Sacatepéquez	Escuela Politécnica	Pino	Propiedad Estatal	2008
Palencia	Los Cubes	Pino	Astillero Municipal	2009
San José Pinula	La Ventana	Ciprés	Propiedad Privada	2009

Fuente: elaboración propia, 2017.

Cuadro 2. Listado de líderes por municipio en el periodo 2007-2011.

Municipio	Líder municipal
San Juan Sacatepéquez	Luis Chajón
San Pedro Sacatepéquez	Demetrio Boc
Villa Canales	Nora de Hernández
Palencia	Daniel Mijangos
Chuarrancho	Diego Ajcuc
San Raymundo	Bernardo Sian
San José Pinula	Lubia Barrientos

Fuente: elaboración propia, 2017.

Durante las reuniones con los líderes municipales se generó la información de los polígonos en el período 2007-2011 que se implementaron en sus respectivos municipios. Se estima que durante esos años hubo un total de 75,000 árboles plantados, en un área aproximada de 680,000.00 metros cuadrados (68 ha.). Esta estimación se hace al tomar como base las plantaciones que fueron establecidas en un marco de 3x3 (cuadro 3) (figura 1).

Cuadro 3. Áreas aproximadas por polígono de reforestación establecidos en el departamento de Guatemala.

Nombre polígono	Municipio	Hectáreas
El Porvenir	Villa Canales	35
Santa Elena Barillas	Villa Canales	19
San Jose el Tablon	Villa Canales	17
San Juan Buena Vista	San Pedro Sacatepéquez	20
Los Cubes	Palencia	20
La Ventana	San José Pinula	6
Escuela Politécnica	San Juan Sacatepéquez	2
Total		90

Fuente: elaboración propia, 2017.



Fuente: elaboración propia, 2017.

Figura 1. Reconocimiento de polígonos con líderes municipales.

Se tomó como base el área total dividida el marco de plantación, por lo que fueron sembrados un total de 99,990 árboles de dos especies principalmente, *Pinus maximinoi* y *Cupressus lucitanica*. Este dato no considera los polígonos que fueron abandonados por no tener certeza de las áreas y del número de participantes. Dentro de la información levantada en las reuniones de campo con los líderes municipales y otros beneficiados con el fideicomiso se conoció que existieron polígonos de reforestación que fueron abandonados por los grupos municipales debido a que no se cumplió con el pago ofrecido por el programa (cuadro 4).

Cuadro 4. Polígonos abandonados en el departamento de Guatemala.

Municipio a cargo	Nombre polígono	Especie plantada	Tipo de propiedad	Hectareas Estimadas	Año de establecimiento
San Raymundo	Mixco Viejo	Pino	Privada	3	2008
San Juan Sacatepéquez	Ciudad Quetzal	Pino	Privada	1.5	2008
Chuarrancho	Xiquin	Pino	Privada	5	2008
Total				9.5	

Fuente: elaboración propia, 2017.

Analizando los datos de área de estos polígonos se estima que fueron plantados aproximadamente un total de 10,600 árboles de diferentes especies, ubicando aun algunos dentro de los terrenos, tales como pinos, matilisguate y cipres.

Todos los proyectos establecidos en propiedades municipales tienen mayores valores de densidad y menor desarrollo. Esto posiblemente fue causado debido a que la finalidad de los participantes únicamente era obtener el beneficio económico, y no tomaron en cuenta la importancia de la reforestación (cuadro 5)

Cuadro 5. Tipo de propiedad en que se establecieron los polígonos de reforestación.

Municipio	Nombre del Polígono	Especie	Tipo de Propiedad	Año establecimiento	Densidad árboles/h.	Altura promedio	DAP (cm.)
Villa canales	El Porvenir	Ciprés	Astillero Municipal	2008	500/ha	1.8	5
	Santa Elena Barillas	Ciprés	Astillero Municipal	2008	600/ha	2	15
	San José el Tablón	Ciprés	Astillero Municipal	2008	600/ha	2.5	15
San Pedro Sacatepéquez	San Juan Buena Vista	Ciprés	Astillero Municipal	2008	999/ha	1.8	10
San Juan Sacatepéquez	Escuela Politécnica	Pino	Propiedad Estatal	2008	833/ha	1.25	8
Palencia	Los Cubes	Pino y Ciprés	Astillero Municipal	2009	833/ha	1.6	10
San José Pínula	La ventana	Pino	Propiedad Privada	2009	833/ha	2.5	14

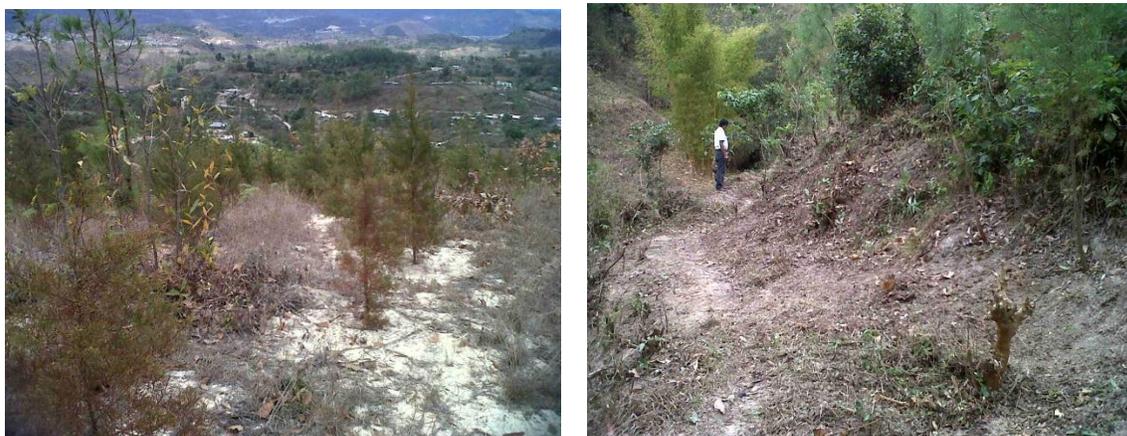
Fuente: elaboración propia, 2017.

Así mismo el mantenimiento posterior también fue descuidado, debido a que, para las municipalidades no es importante el cuidado de los recursos naturales de su jurisdicción (figura 2, y 3)



Fuente: elaboración propia, 2017.

Figura 2. Polígono El Porvenir, en propiedad municipal de Villa Canales



Fuente: elaboración propia, 2017.

Figura 3. Polígono Los Cubes en terrenos municipales de Palencia.

Caso contrario los proyectos realizados en los polígonos Escuela Politécnica y La Ventana muestran mejores condiciones, ya que para la institución y los propietarios privados es de mucho valor económico una plantación forestal (figura 4)



Fuente: elaboración propia, 2017.

Figura 4. Plantación de *Pinus Maximinoi* dentro de las instalaciones de Escuela Politécnica.

Las fotografías tomadas en el polígono San Juan Buena Vista, muestran la falta de criterios técnicos en el establecimiento de plantaciones forestales pues se ubicaron dentro de un bosque maduro de quercus y sin un marco de plantación definido. La densidad estimada en el establecimiento considerando el distanciamiento promedio observado fue de 2000 árboles (figura 5).



Fuente: elaboración propia, 2017.

Figura 5. Plantación de ciprés dentro de un bosque natural de *Quercus sp*,

1.6 CONCLUSIONES

1. El Programa de Bosques y Agua Para la Concordia, fue un programa desarrollado sobre un compromiso político, muy alejado del objetivo de su creación. Es de subrayar que nunca tuvo una relación directa con el Instituto Nacional de Bosques (INAB), como ente encargado de los temas forestales en el país. La ubicación y selección de áreas, el trazado del marco de plantación, la limpia y siembra fue un proceso realizado por los participantes del programa, definido en su mayoría por conveniencias como cercanía al municipio encargado, amistad con propietarios, o ser terrenos baldios a cargo de la administración municipal. De esta actividad no se cuenta con ninguna memoria técnica que permita establecer consideraciones técnicas, tales como calidad de sitio, tipo de suelos área total del terreno, pendiente y cobertura inicial. Así como las características y calidad en la ejecución de la reforestación como marco de plantación, densidad por hectarea etc.
2. La implementación de estos proyectos en propiedades privadas y municipales presentó una gran diferencia en su mantenimiento, pues al hacerlo en terrenos municipales no son valorados, y más bien son considerados cargas para las autoridades municipales. Por su parte el propietario privado valora estos proyectos, pues representa para ellos un beneficio económico.
3. Es necesaria la intervención bien planificada de los polígonos que aún existen en el departamento de Guatemala, para lograr un buen desarrollo de los árboles. Por lo que es recomendado iniciar con la limpieza y construcción de rondas cortafuegos en el perímetro de los polígonos. En este momento es de suma importancia pues los polígonos se encuentran muy enmontados lo que representa riesgos de un incendio forestal.

CAPÍTULO II

INVESTIGACIÓN

**RECONOCIMIENTO HIDROGEOLÓGICO DE LA MICROCUENCA DEL RÍO FRIO,
MUNICIPIO DE SAN RAYMUNDO,
DEPARTAMENTO DE GUATEMALA.**

HYDROGEOLOGICAL RECOGNITION OF THE MICRO BASIN OF THE COLD RIVER

2.1 INTRODUCCIÓN.

El estudio de aguas subterráneas a nivel regional adquiere importancia constantemente esto debido al incremento de la población que demanda el recurso y al grado de contaminación de las aguas superficiales, siendo necesario realizar estudios de planificación y manejo de los recursos naturales a nivel de cuenca hidrográfica, como el escenario donde se desarrollan las interacciones humanas con los recursos naturales y se identifican las zonas de mayor vulnerabilidad a la contaminación y las características de las unidades hidrogeológicas que actualmente se explotan.

En Guatemala a través de estudios realizados en las últimas décadas se han delimitado 4 distintas regiones hidrogeológicas: a) llanuras aluviales de pacífico, b) el altiplano volcánico, c) tierras altas cristalinas y d) región sedimentaria septentrional (MAGA 1991). Cada una de estas zonas utiliza agua subterránea para cubrir sus necesidades debido a que las fuentes de agua superficiales se han afectado en cantidad y calidad. Esto ha provocado que el aprovechamiento de las aguas subterráneas sea cada vez mayor, ahí la importancia de conocer las características hidrogeológicas de determinada región (cuenca, sub cuenca, micro cuenca) que ayuden al aprovechamiento racional que garantice la disponibilidad y calidad para futuras generaciones.

La micro cuenca del Río Frío se localiza en el municipio de San Raymundo, al norte del departamento de Guatemala, integrada a la sub cuenca del Rio Las Vacas, tributario principal de la cuenca del rio Motagua, en este departamento. Como muchas en el país, se ve afectada de la tala de bosques, cambio de uso de la tierra para agricultura, construcción de urbanizaciones de forma desordenada, deposición de aguas servidas hacia ríos y residuos sólidos en barrancos etc.

El aumento en la demanda del recurso hídrico para cubrir las diferentes necesidades, de consumo humano, uso agrícola y otros cada vez son mayores y las aguas superficiales insuficientes y no aptas para su uso. Ante esta demanda, autoridades municipales y empresas privadas de urbanización y agrícolas, han encaminado sus acciones a la construcción de pozos mecánicos con el objetivo de proveerse del recurso en mejor calidad y cantidad. El reconocimiento hidrogeológico de esta micro cuenca ayudara a establecer zonas de recarga hídrica, tipos de

acuíferos, dirección del flujo subterráneo, volumen de recarga y otros parámetros de importancia, que brinden a los actores sociales, lineamientos técnicos y científicos básicos para el mejor aprovechamiento y manejo de las aguas subterráneas.

2.2 MARCO TEÓRICO.

2.2.1 Marco conceptual.

2.2.1.1. Hidrogeología.

La hidrología subterránea o hidrogeología, es aquella parte de la hidrología que corresponde al almacenamiento, circulación y distribución de las aguas terrestres en la zona saturada de las formaciones geológicas, teniendo en cuenta sus propiedades físicas y químicas, sus interacciones con el medio físico y biológico, y sus reacciones con el hombre. (Custodio y Llamas, 1983)

2.2.1.2. Reconocimientos geológicos.

Mediante los reconocimientos geológicos es posible obtener conclusiones hidrogeológicas de una región, pudiéndose avanzar en forma rápida gracias al desarrollo y uso de mapas geológicos; sin embargo, en cualquier estudio siempre serán necesarios los reconocimientos de campo, que permiten afinar lo observado en mapas. (Herrera Ibáñez, I. 2004)

2.2.1.3. Geología estructural.

La geología estructural estudia las deformaciones de las rocas y la disposición tan peculiar de los materiales en los conjuntos regionales. Prácticamente es sinónimo de tectónica, cuya aceptación es, sin embargo, un poco más amplia. Por lo que la geología estructural se reserva al estudio de deformaciones de pequeñas dimensiones o de tipo local.

Las principales estructuras geológicas son:

- Diaclasas
- Fallas

- Pliegues
- Discordancias

La Geología estructural junto con la estratigrafía, se utiliza en la localización de los horizontes acuíferos que hayan sido desplazados por movimientos tectónicos.

Los estudios estructurales son también utilizados para localizar zonas de fracturación en rocas compactas pero frágiles; o bien en la localización de fallas en materiales no consolidados que en ocasiones pueden formar barreras hidrológicas, las cuales son importantes en el estudio del movimiento del agua subterránea. (Herrera Ibáñez, I. 2004)

2.2.1.4. La estratigrafía.

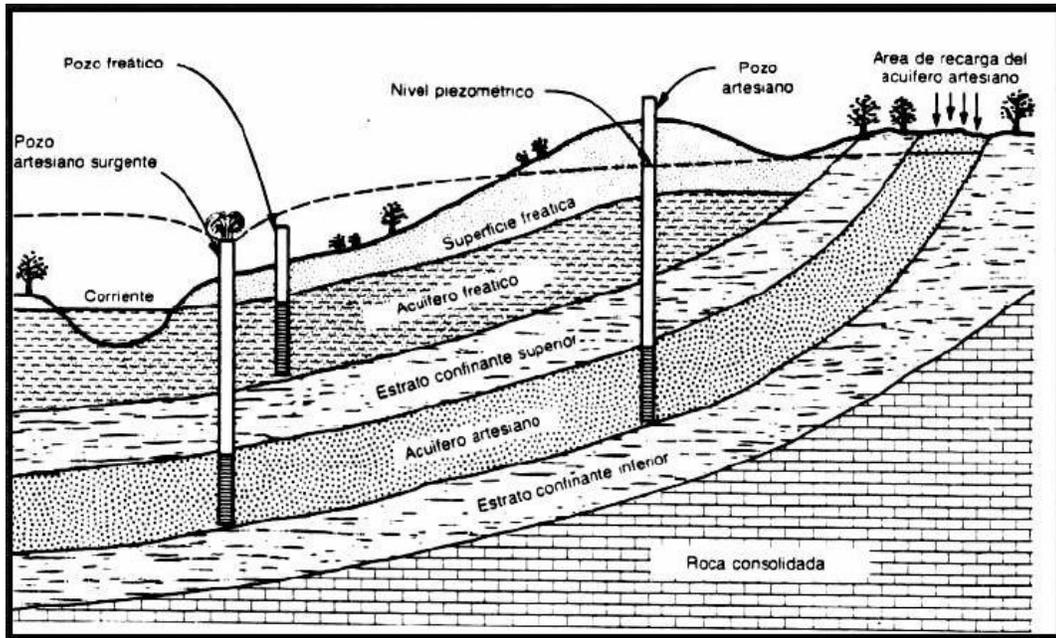
Es un instrumento esencial para la prospección hidrogeológica de extensas regiones de rocas sedimentarias o volcánicas. La posición y el espesor de los horizontes acuíferos, así como la continuidad de las capas confinantes tienen particular importancia, por lo que el auxilio de la estratigrafía resulta siempre indispensable.

La estratigrafía es la rama de la geología que trata de la formación, composición, distribución, cronología, clasificación, secuencia y correlación temporal de las rocas dispuestas en capas o estratos. La unidad principal es el estrato, que es la capa o unidad sedimentaria comprendida entre dos superficies paralelas que corresponden a discontinuidades o a bruscas variaciones petrográficas, que permiten separarla otras unidades de los materiales próximos. (Herrera Ibáñez, I. 2004).

2.2.1.5. Acuífero.

Es una unidad geológica saturada capaz de suministrar agua a pozos y manantiales, los que a su vez sirven de fuertes prácticas de abastecimiento del líquido. Para que un acuífero sea funcional, sus poros o intersticios deben de estar llenos de agua y ser lo suficientemente grandes

como para que permitan que el agua se desplace hacia los pozos y manantiales con un caudal apreciable. (Taracena H, JJ. 1999) (figura 6).



Fuente: Herrera Ibáñez, I. 2004.

Figura 6. Dinámica de captación y movimiento de agua hacia los acuíferos.

A. Acuíferos libres.

Son una capa permeable parcialmente saturada de agua y situada sobre una capa relativamente impermeable, su límite superior está formado por una superficie libre de agua o de nivel freático, a una presión igual a la atmósfera. El nivel del agua en un pozo que se haya penetrado en un acuífero libre, no está en general por encima del nivel freático. En acuíferos de material granular fino o medio, el drenaje por gravedad de los poros no es instantáneo, de aquí que después de un bombeo, el nivel freático tarda en estabilizarse, cuando esto sucede los acuíferos se llaman libres con rendimiento retardado.

B. Acuíferos confinados.

Un acuífero confinado es el que está totalmente saturado de agua y sus límites superiores e inferiores son capas relativamente impermeables. En general, son poco comunes y en ellos la presión del agua suele ser mayor que la atmosférica, así como el nivel del agua en los pozos de observación es más alto que el nivel del límite superior del acuífero. Al agua que contienen estos acuíferos se les llama confinada o artesisiana.

Si al perforar un pozo en un acuífero de este tipo, el agua supera el nivel de la superficie del terreno, entonces el pozo es surgente.

C. Acuíferos semi-confinados.

Son de este tipo los acuíferos que están totalmente saturados de agua, y en su límite inferior hay una capa impermeable o semipermeable, y en su límite superior una capa semipermeable. Una capa es semipermeable cuando la permeabilidad es baja, pero aún medible. Para detectar el movimiento de este tipo de acuíferos, es necesario instalar un piezómetro tanto en el acuífero como en la capa semipermeable superior, y a veces también en la inferior. También en este caso el nivel piezométrico es superior al que tiene el agua dentro del acuífero, ya que se encuentra a mayor presión que la atmosférica, y en general, el descenso del nivel del agua en la capa semipermeable es muy pequeño en comparación con el descenso del nivel piezométrico del acuífero.

D. Acuíferos semi-libres.

Se presentan cuando la conductividad hidráulica de la capa de material granular fino en un acuífero semiconfinado es tan grande que la componente horizontal del flujo no puede despreciarse, (como se hace en semiconfinados), entonces, el acuífero está situado entre los semilibres y los semiconfinados (Taracena H JJ 1999).

2.2.1.6. Reconocimientos hidrológicos.

Los reconocimientos hidrológicos resultan de gran utilidad en la exploración del agua subterránea, ya que pueden aportar información acerca de la cantidad de agua útil para la recarga de los acuíferos, de la facilidad con que se produce la misma y de la localización y cuantificación del volumen de agua subterránea que se descarga en la superficie.

La cantidad de agua útil para la recarga está íntimamente relacionada con la precipitación, así como con las aguas superficiales que circulan en corrientes permanentes. En general la localización del agua subterránea depende, en mucho, de las condiciones hidrológicas que predominen en una región, ya que en función de éstas habrá una mayor o menor recarga útil. Por ejemplo, una región desértica tendrá menos posibilidades en cuanto a la existencia de agua subterránea, que las que tenga una región húmeda, aunque en ambas los medios geológicos sean similares. (Aparicio, M. 2001).

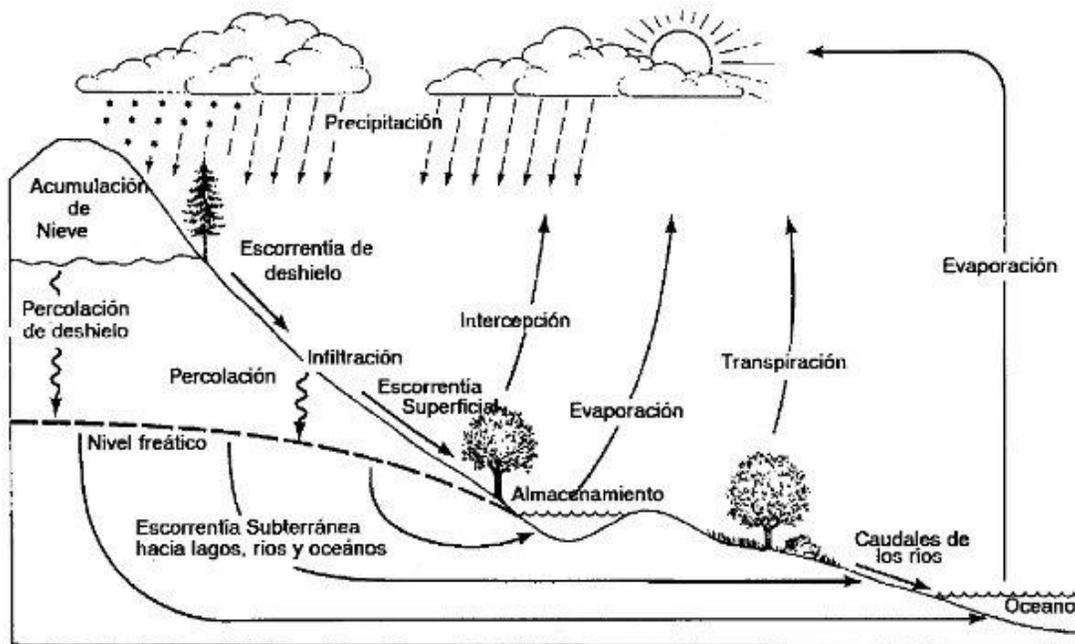
La facilidad con que se produzca la recarga es otra variable hidrológica importante que depende de las características de la tierra, tales como la pendiente la cobertura, el uso de la tierra, los suelos, la precipitación, la evapotranspiración, la temperatura.

2.2.1.7. El ciclo hidrológico.

El ciclo hidrológico inicia con la evaporación del agua en los océanos transportándose hacia los continentes a través de masas móviles de aire que bajo condiciones adecuadas se condensan y forman nubes o también puede transformarse en precipitación. La precipitación se dispersa, parte es retenida por el suelo y regresa a la atmósfera por evaporación y transpiración de las plantas.

Otra porción viaja por la superficie en forma de escorrentía y una pequeña parte llega a los acuíferos en forma de agua subterránea. Por gravedad tanto el agua superficial como la subterránea llegan en algún momento a ser parte de los océanos, aunque hay pérdidas por evaporación, transpiración, escorrentía superficial y subterránea.

El ciclo hidrológico se refiere a la circulación general que resulta del hecho de que en promedio hay más precipitación que evaporación sobre la superficie continental de la tierra. El agua precipitada sobre la tierra pasa a través de varios medios de almacenamiento que pueden referirse como subsistemas del ciclo hidrológico. (Padilla Cámara, T; Salguero Barahona M; Orozco y Orozco, E. 2003) (figura 7).



Fuente: Herrera Ibáñez, I. 2004.

Figura 7. Ciclo Hidrológico.

2.2.1.8. Precipitación pluvial.

Cantidad de agua caída en una zona determinada, ya sea en forma de lluvia, nieve, granizo o rocío. El pluviómetro es el instrumento más utilizado para la medición de las precipitaciones, que se expresan en litros o mm/m^2 .

Según los fenómenos meteorológicos que las originan existen tres tipos de precipitación, convectiva, frontal o ciclónica y orográfica o lluvia de relieve, (Custodio, E; Llamas, MR. 2001).

Los aspectos fundamentales de un evento de precipitación que son de interés para la recarga hídrica son la duración, intensidad y frecuencia. Los factores regionales o locales determinan aspectos tales como la mayor humedad de las zonas costeras y la mayor frecuencia de lluvias en las barreras montañosas, en especial en su vertiente orientada al mar.

2.2.1.9. Precipitación efectiva.

La precipitación efectiva es aquella fracción de la precipitación total que se infiltra en el suelo y es aprovechada por las plantas o percola a estratos más profundos y alimenta al acuífero subterráneo. Depende de múltiples factores como pueden ser la intensidad de la precipitación o el tipo de clima, y también de otros como la inclinación del terreno, contenido de humedad del suelo o velocidad de infiltración. Schosinsky, obtuvo la ecuación que relaciona la capacidad de infiltración de agua en el suelo (infiltración básica) con la intensidad de lluvia, que es la siguiente:

$$K_{fc} = 0.267 \ln (f_c) - 0.000154 (f_c) - 0.72$$

Dónde:

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/día.

Con valores de infiltración básica obtenidos en pruebas de infiltración, se aplica la anterior fórmula y se obtienen valores de K_{fc} .

2.2.1.10. Evapotranspiración.

El fenómeno físico de la evaporación no es más que el paso del agua líquida al estado de vapor a la temperatura ambiente y constituye un proceso de suma importancia porque contribuye como factor dinámico en el ciclo hidrológico del agua. Según Costumer, dice que la evaporación depende de la energía calorífica recibida por el sol, de la temperatura, de la humedad del ambiente, de la velocidad del viento y dirección, de la constitución química del agua, de la presión barométrica del agua, (Monsalve Sáenz, G. 1999)

El efecto del viento es el de remover las masas de aire húmedo en contacto con la superficie evaporante, y facilita la llegada de aire más seco. Es por ello que existe un incremento de la evaporación a medida que los valores de temperatura y viento son mayores. La humedad relativa influye en una forma inversamente proporcional en la evaporación, ya que la tensión del vapor que se manifiesta cuando la atmósfera se satura de humedad actúa y frena la tasa de evaporación o sea que, a una mayor humedad relativa del aire, menor evaporación. Es un proceso por el cual el agua se evapora del terreno, ya sea por la superficie del suelo o por la superficie de las hojas de las plantas, la transpiración resulta del desprendimiento del agua en forma de vapor de las hojas de las plantas, la cual ha sido absorbida desde el suelo y llevada a través de los tallos hasta la superficie foliar de donde pasa a la atmósfera. La evapotranspiración, aun en igualdad de suelo, planta y clima, es variable, por una parte, por la humedad que retenga el suelo en el momento considerado y de otra con el estado de la vegetación, por eso es llamada evapotranspiración actual para conocer la evapotranspiración en un momento dado, (Herrera Ibáñez, I. 2004)

2.2.1.11. Esgurrimiento.

Se entiende por escurrimiento al flujo superficial, sub superficial y al flujo subterráneo provenientes de la precipitación pluvial los cuales generalmente son captados por los cauces de los ríos. En el caso de presentarse capas de menor permeabilidad, el agua infiltrada puede moverse horizontalmente proceso conocido como inter flujo.

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.

El régimen de los caudales de un curso de agua durante un periodo determinado, es el único parámetro del balance hidrológico de una cuenca que puede ser medido con una buena precisión. (Herrera Ibáñez, I. 2004)

2.2.1.12. Infiltración.

Se define como el movimiento del agua, a través de la superficie del suelo y hacia adentro del mismo, producido por la acción de las fuerzas gravitacionales y capilares.

2.2.1.13. Recarga hídrica.

La recarga hídrica es el proceso que implica el incremento de agua hasta la zona de saturación donde se encuentra el nivel de las aguas subterráneas. Es decir, es la cantidad de agua adicionada a un acuífero o recarga artificial. Mientras que la recarga natural se refiere a la cantidad de agua absorbida de la infiltración de la lluvia y también de la infiltración de agua de los ríos influentes y lagos que llegan a un acuífero. Además, puede ser directa y lateral. Las aguas infiltradas en el subsuelo permanecen estáticas, parcialmente retornan a la atmósfera por evaporación, o bien emergen a la superficie del suelo como manantiales y aporta el gasto base de escurrimientos perennes o al encontrarse almacenadas en acuíferos costeros descargan sus excedentes directamente al mar.

2.2.1.14. Ríos efluentes e influentes.

Los ríos se llaman efluentes, cuando el acuífero le da una parte de agua al río o el río gana agua. En este caso el nivel freático se inclina hacia el cauce del río, de modo que el gradiente hidráulico es hacia el río. (Martínez, E. 2001).

En las partes altas de las cuencas hidrográficas, los ríos se alimentan de flujo superficial en inter flujo. A medida que disminuye la lluvia, el río desciende su nivel. Esto ocasiona que la infiltración decrezca y que el nivel freático sea más profundo. Si el nivel del río se encuentra a mayor altura que el nivel freático, el agua puede drenar del río hacia el suelo, es decir, el río estará perdiendo agua por infiltración hacia el acuífero y el río se llama influente.

2.2.1.15. Agua subterránea.

El agua subterránea representa una fracción importante de la masa de agua presente en los continentes, con un volumen mucho más importante que la masa de agua retenida en lagos o circulante, y aunque menor al de los mayores glaciares, las masas más extensas pueden alcanzar volúmenes enormes.

El agua del subsuelo es un recurso importante, pero de difícil gestión, por su sensibilidad a la degradación y a la sobreexplotación, el aprovechamiento de este recurso es muy importante y es la opción más usada en la actualidad porque a pesar de su sensibilidad se podría determinar que es la que se encuentra en un nivel más óptimo de calidad.

2.2.1.16. Circulación subterránea del agua.

Existe un fenómeno del escurrimiento del agua denominado circulación subterránea y no es más que el agua subterránea que se encuentra dentro de la litósfera. A la parte de la Hidrología que se ocupa del agua subterránea se le da el nombre de Hidrogeología y cabe mencionar que ésta se dedica exclusivamente a la hidráulica subterránea.

La Hidrogeología estudia al agua subterránea, desde su origen, su movimiento, su distribución debajo de la superficie de la tierra y su conservación.

2.2.1.17. Distribución del agua en el subsuelo.

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

A. Zona de aireación.

La zona de aireación comprende a su vez tres franjas: la del agua del suelo, la intermedia y la capilar. En la franja del agua del suelo se encuentran tres tipos de agua:

- Agua higroscópica: Es la que el suelo absorbe y pasa a formar películas muy delgadas alrededor de las partículas que lo forman.
- Agua capilar: Es la que existe en los intersticios del suelo debido a fenómenos de capilaridad. Esta es el agua que aprovechan muchas plantas para satisfacer sus necesidades.
- Agua libre o de gravedad: Es la que se mueve bajo la influencia de la gravedad, una vez satisfecha la humedad del suelo; es la que comunica a la franja del agua del suelo con la capilar. El agua aquí existente se debe a fuerzas higroscópicas, capilares y de gravedad. La franja capilar es una capa humedecida por el agua que asciende de la zona de saturación debido a fenómenos capilares. Al agua contenida en la zona de aireación se le conoce con el nombre de agua suspendida, es decir, agua infiltrada que se dirige hacia el manto freático.

B. Zona de saturación.

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

La capa saturada es el manto freático y la parte superior de esta, es decir, el límite de la zona libre del agua que ocupa esta región, es la superficie freática que por lo general, sigue débilmente las ondulaciones del terreno. Al agua que llega a esta zona se le llama agua freática. La parte inferior de la zona de saturación está compuesta por una capa impermeable, la cual impide que el agua siga descendiendo. Puede suceder que haya otras zonas de saturación de menor extensión sobre la principal, en cuyo caso se les llama zonas de saturación colgadas. El agua se mueve hacia el manto freático por filtración, una vez en él, el movimiento lento que adquiere al llegar a la zona de saturación se llama percolación.

2.2.1.18. Flujo del agua subterránea.

Un sistema hidrológico en el que se considera que el agua subterránea fluye en forma horizontal y en el cual normalmente la información hidrológica se utiliza para describir un sistema estático en un medio geológico considerado equivalente a un medio granular con propiedades (porosidad y permeabilidad), cuyo valor es igual en todas direcciones; rara vez se presenta en el medio natural.

Un sistema hidrológico subterráneo dinámico es más representativo de la realidad y las investigaciones en este campo toman en cuenta el movimiento vertical del agua subterránea. En acuíferos de gran espesor (1000 m o más), el flujo vertical controla el movimiento del agua subterránea, control que marca un comportamiento particular en las zonas de extracción por pozos, en especial en las zonas de recarga (hacia abajo) y en las de descarga (hacia arriba). Si se detiene por un instante el flujo de agua subterránea, se puede estimar la forma de su movimiento en el plano horizontal y en el plano vertical, lo que resultará en la definición de áreas de recarga y áreas de descarga.

Existen tres sistemas principales de flujo de agua subterránea que se establecen de acuerdo con la topografía y al marco geológico presente: local, intermedio y regional. Una topografía abrupta producirá varios sistemas locales, en cada topografía el agua entra y sale en el mismo valle.

En algunos casos parte del agua de recarga podrá descargar en otro valle localizado a un nivel topográfico menor, esto definirá un sistema intermedio. Los sistemas regionales se desarrollan a mayor profundidad y van de las partes más altas a las zonas de descarga más bajas de la cuenca.

Todos estos flujos, en un ambiente natural, mantienen un recorrido separado, al igual que las corrientes marinas o las aguas de dos ríos antes de confluir para formar otra. Las zonas de recarga y descarga están estrictamente controladas por un flujo vertical con una componente de movimiento hacia abajo y hacia arriba, respectivamente.

2.2.1.19. La micro cuenca como ámbito de planificación.

La micro cuenca es un ámbito geográfico, hidrológico, económico, social y ambiental complementario con otros ámbitos. Hacia adentro, se complementa con las fincas (familias) y comunidad (estructura social); hacia afuera, se complementa con ámbitos naturales, como la sub cuenca, cuenca y ámbitos político-administrativos, como los municipios y departamentos.

Es el ámbito lógico para planificar el uso y manejo de los recursos naturales, en la búsqueda de la sostenibilidad de los sistemas de producción y los diferentes medios de vida. Es en este espacio donde ocurren las interacciones más fuertes entre el uso y manejo de los recursos naturales (acción antrópica) y el comportamiento de estos mismos recursos (reacción del ambiente). Ningún otro ámbito que pudiera ser considerado (municipio, cantón, caserío, finca) guarda esta relación de forma tan estrecha y tangible.

De esta manera cuando se busca conciliar e integrar los objetivos de producción y protección de los recursos naturales, tomar la micro cuenca como ámbito de planificación de las acciones resulta ser la mejor opción técnica y estratégica para introducir cambios en los sistemas de producción y el manejo de los temas ambientales. (MAGA, 1991).

La planificación de micro cuenca facilita la percepción de las personas individuales y de la comunidad sobre las interacciones existentes entre la producción (uso y manejo de los recursos

por el ser humano) y el comportamiento de los recursos naturales utilizados para la producción (suelo, agua, bosques). La micro cuenca permite que tanto quienes usan el agua de la cuenca (población, actividades de ganadería, riego, etc.), como quienes la aprovechan de afuera (población de los pueblos, y ciudades, industrias, etc.) perciban la relación estrecha que tienen con las personas propietarias o usuarias directas de la tierra, a través de la producción y uso del recurso agua.

2.2.2 Marco referencial.

2.2.2.1. Localización geográfica de la micro cuenca del Rio Frio.

Localizada dentro del territorio municipal de San Raymundo con coordenadas geográficas; latitud 14° 45' 55" y longitud Oeste 90° 35' 45", cuenta con una extensión territorial de 65 km². Se ubica en una altitud promedio de 1,570 m s.n.m.

Colindancias físicas:

NORTE: Aldea el Ciprés, Aldea San Martineros
 SUR: Aldea la Ciénaga y Chillani.
 ESTE: San Antonio Las Flores, Chinautla.
 OESTE: Concepción el Ciprés, Pachali y Llano de la Virgen

2.2.2.2. Acceso al área de estudio.

Se encuentra inserta al sur oeste de la sub cuenca del rio Las Vacas, tributario del rio Motagua en el departamento de Guatemala. Cuenta con tres accesos; uno desde la Ciudad de Guatemala, a la cabecera municipal de San Raymundo por la ruta nacional RN-5. Vía san Juan Sacatepéquez, con una distancia de 43 km. Vía Lo de Bran, vía Ciudad Quetzal, 30 km y por el municipio de Chinautla y llega a San Antonio Las Flores con un recorrido de 19 km. (figura 8)

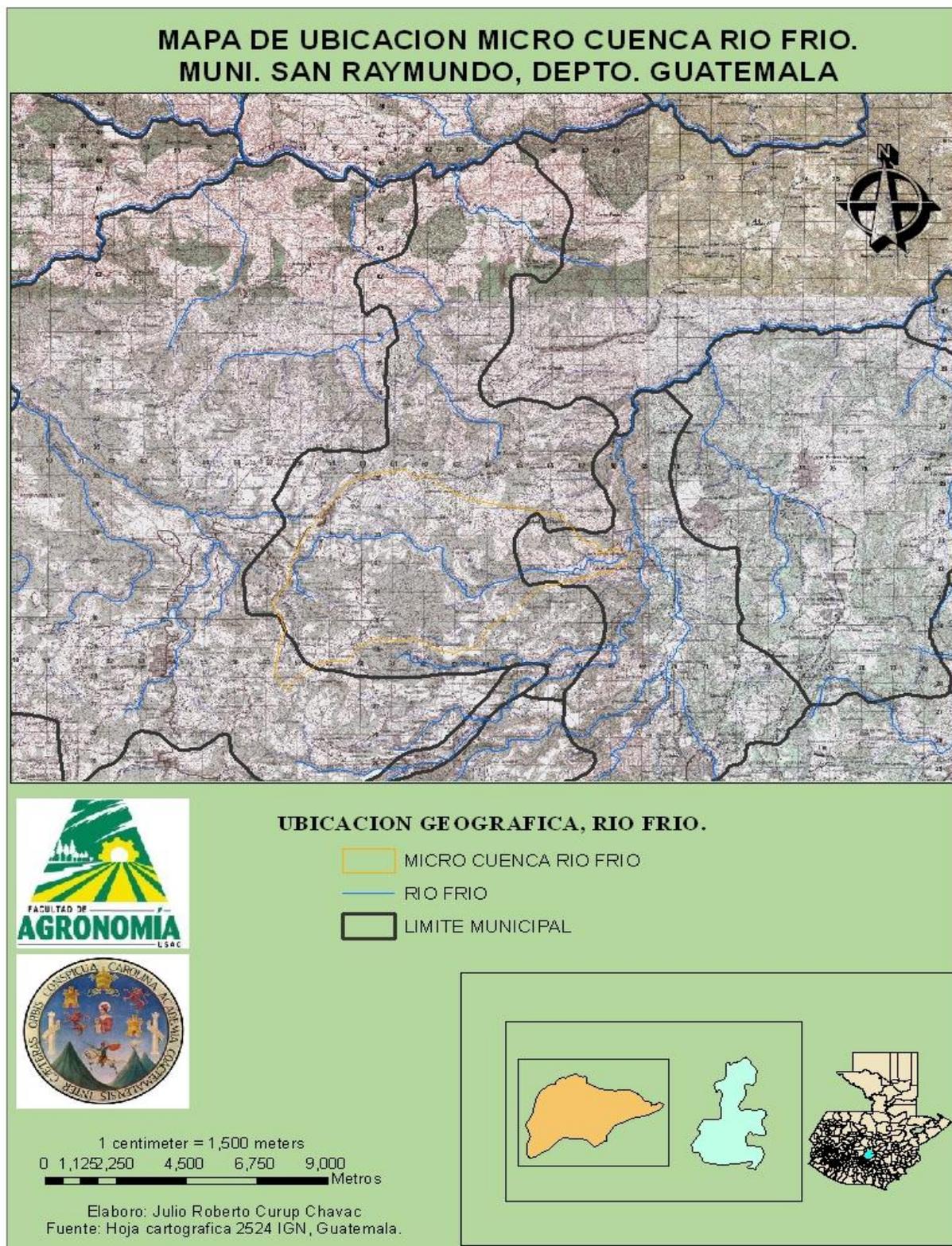
2.2.2.3. Población dentro del área de la micro cuenca del Rio Frio.

Dentro de la micro cuenca se establece la cabecera municipal del municipio de San Raymundo, la población en el año 2002 se calculó en 23,720 habitantes y según proyecciones realizadas con base al censo, para el año 2,010 se estimó en 28,757 habitantes, al observar esta dinámica se determina que la proyección estimada de población para el año 2025, será de 41,042 habitantes. (Plan de desarrollo de San Raymundo, Guatemala 2010) (cuadro 6).

Cuadro 6. Proyecciones de población 2002-2015

	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015
Femenino	12118	12468	12824	13202	13498	13805	14127	14474	14850
Masculino	11602	11903	12198	12490	12782	13054	13335	13619	13907
Total	23720	24371	25022	25692	26280	26859	27462	28093	28757

Fuente: elaboración propia, 2017.



Fuente: elaboración propia, 2017.

Figura 8. Ubicación geográfica, micro cuenca del Rio Frio.

Cuadro 7. Accidentes hidrográficos de la micro cuenca del Rio Frio.

Ríos	Quebradas
Cotzibal Frío	Aguacate del escribano El Pajón La Máquina San Antonio Catalán El Ciprés El Riachuelo La Soledad San Isidro El Cuajilote El Sacul Los Cedros San Miguel Chuapón

Fuente: elaboración propia, 2017.

2.2.2.4. Características fisiográficas –geomorfológicas.

Según la memoria técnica del mapa fisiográfico-geomorfológico elaborado por MAGA (2000), de la república de Guatemala, escala 1: 250,000; el área de estudio pertenece a dos regiones fisiográficas, la región Tierras Altas Volcánicas y a la región Fisiográfica de las Tierras Altas Cristalinas.

A. Sub región zona montañosa y planicie central (Tecpán-Jalpatagua).

La unidad fisiográfica en mención, se ubica y localiza en los Departamentos de Sololá, Chimaltenango y Guatemala; el norte de los Departamentos de Santa Rosa, Jutiapa y parte de Jalapa. Es un relieve muy complejo con alturas de 500 m s.n.m, a 2,500 m s.n.m. Hay presencia de drenaje del tipo dendrítico, subdendrítico, paralelo, subparalelo, trellis y trenzado. Es un ambiente volcánico, los materiales geológicos que se observan son rocas volcánicas, andesitas y basaltos, flujos riolíticos (obsidianas y perlitas); materiales aluviales, sedimentos fluvio-lacustres, lahares y ceniza volcánica.

La edad de esos materiales corresponde al Plioceno, Pleistoceno, Cuaternario Antiguo, Cuaternario.

a. Gran paisaje: montañas volcánicas del centro del país.

Por razones de forma, se ha limitado esta unidad de Chichicastenango en el departamento de El Quiché (al Oeste), hasta Mataquescuintla al Suroeste de Jalapa.

b. Morfografía.

Es una gran franja de terreno que se extiende de Noroeste a Sureste. El relieve está caracterizado por valles con laderas de pendientes muy fuertes y en algunos lugares escarpadas. Las divisorias suelen ser angostas. La presencia colinas de forma cónica sugiere la existencia de viejos conos volcánicos con alturas mayores de los 2,500 m s.n.m, como los cerros al noreste de Sololá, norte de Tecpán, sur de Patzun (Los Encuentros), la Montaña El Soco al suroeste de San Andrés Itzapa, sur de Palencia, este de Mataquescuintla. Un rasgo volcánico que caracteriza esta unidad es que, dentro de esta, se encuentran las calderas de Atitlán, Amatitlán, Ayarza y un intenso fallamiento volcánico que ha formado horsts y grabens. Otro aspecto que caracteriza esta

geoforma, es también el afloramiento de pequeñas masas intrusivas y carbonatos del basamento Cretácico.

c. Tipo de roca.

Las rocas típicas de esta unidad son de tipo volcánico, como andesitas y basaltos en su mayor parte. Además, se encuentran flujos riolíticos (obsidianas y perlitas), piroclastos, aglomerados, tobas e ignimbritas.

d. Morfogénesis.

Al parecer la zona durante el Cretácico tardío hasta el Paleoceno temprano, las rocas ígneas consistentes de granodiorita, diorita y monzonita, instruyeron las series cretácicas, y origina un movimiento geotectónico agudo, con amplios levantamientos, subsidencias locales, fallas y plegamientos.

A través de los períodos del Mioceno al Plioceno, ocurrieron grandes erupciones volcánicas en todas las partes al Sur de la falla del Motagua. Las actividades iniciales principalmente en el Mioceno, lanzaron grandes cantidades de tobas dacíticas y lavas basálticas a andesíticas; mientras que las actividades secundarias ocurridas en el Plioceno, lanzaron volúmenes importantes de flujos andesíticos y riolíticos con flujos piroclásticos. Supuestamente los centros de estas erupciones volcánicas se localizaban dentro de las cuencas intermontañosas actuales en focos ya inactivos.

Después hubo un período relativamente calmado que duró hasta el Pleistoceno temprano, durante el cual la superficie de las cuencas inter montañosas fueron ampliándose a través de los efectos de erosión. Luego empezaron los movimientos de bloques, levantamientos, fallas y subsidencia del área local. Durante el Pleistoceno medio, ocurrieron grandes erupciones que

arrojaron materiales volcánicos ácidos (pómez) a lo largo de la zona volcánica los que cubrieron la topografía terciaria y originaron zonas con relieve suave.

e. Morfocronología.

La edad de esta geo forma es compleja, debido a que comprende desde finales del Terciario hasta principios del Cuaternario.

B. Subregión montañas de San Raymundo-Progreso-Jalapa-Espíritu Santo.

Se ubica y localiza desde los municipios de San Raymundo, San Pedro Ayampuc del Departamento de Guatemala; Jocotán y Camotán de Chiquimula; las montañas de Chiquimula y Zacapa. El drenaje superficial observado es del tipo dendrítico, subparalelo y angular. Hay rocas ígneas, metamórficas, carbonatos y rocas clásticas. Su edad corresponde al Cretácico, Terciario y Cuaternario (MAGA 2000).

a. Gran paisaje del macizo intrusivo de San Raymundo-San Pedro Ayampuc.

Abarca desde el norte de San Juan Sacatepéquez, San Raymundo, Chinautla hasta llegar a San Pedro Ayampuc en el departamento de Guatemala.

b. Morfografía.

La unidad está constituida por varias colinas de laderas de fuerte pendiente. Los drenajes que cortan esta unidad son de cauce superficial. La unidad presenta elevaciones de 1,400 m snm a 1,800 m s.n.m. y se extiende de Este a Oeste en una franja de más de 30 km de longitud y un ancho promedio de 7 km. El patrón de drenaje es subdendrítico y se orienta de sur a norte.

c. Tipo de roca.

La unidad está formada por rocas ígneas intrusivas graníticas a dioríticas que en algunas partes están cubiertas por piroclastos de pómez.

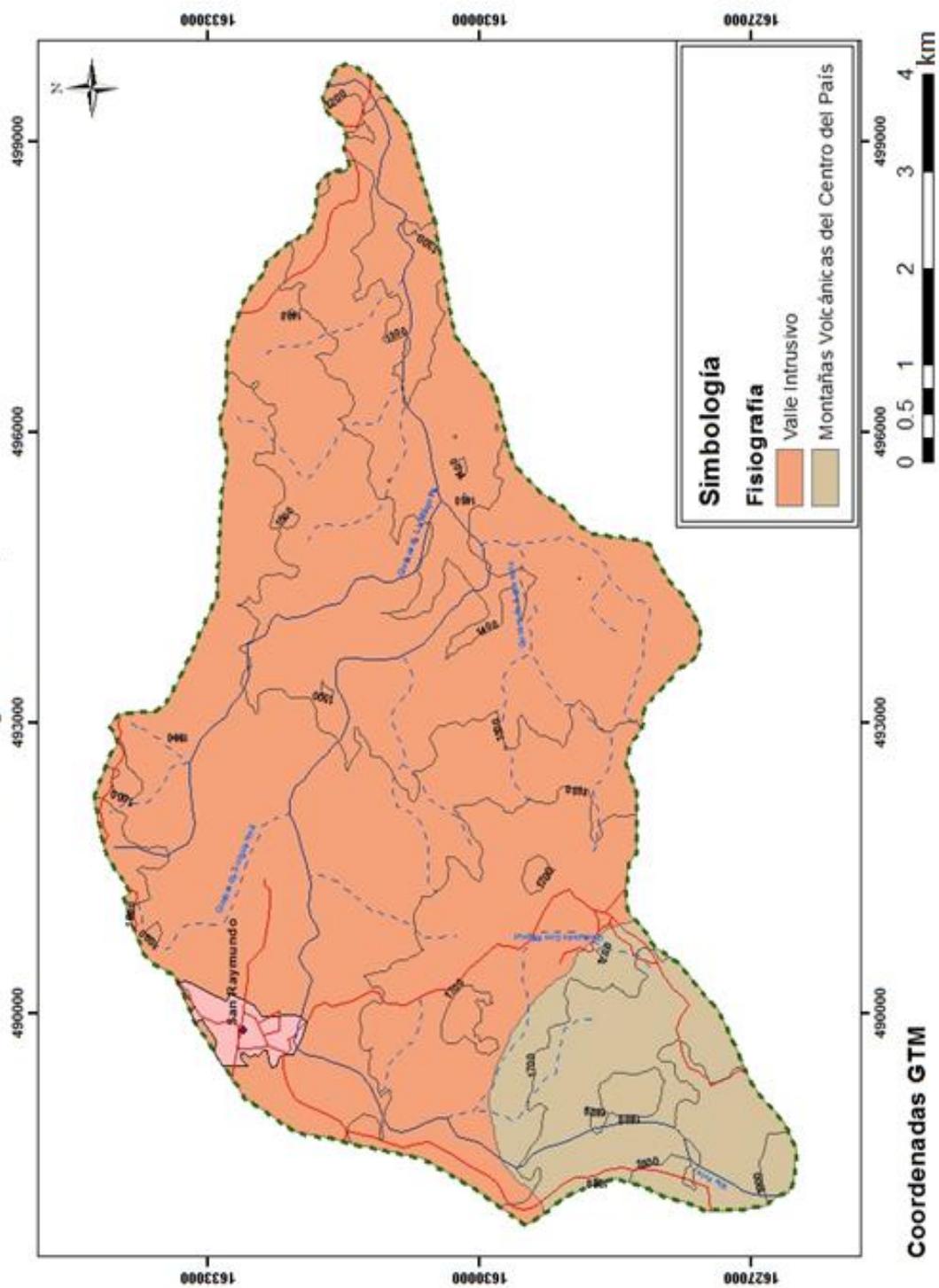
d. Morfogénesis.

La unidad se formó por la acción causada por cuerpos intrusivos y la posterior erosión hídrica que ha causado la denudación de esta unidad.

e. Morfocronología.

La edad de las rocas es del Cretácico superior, por lo que la unidad se considera del Terciario. La descripción del área se realiza partiendo de un análisis general de subregión fisiográfica, hasta llegar a los elementos de gran paisaje complementado con la información de tipos de rocas, orígenes y periodos de formación (figura 9).

Mapa Fisiográfico, Microcuenca Río Frío San Raymundo, Guatemala



Fuente: elaboración propia, 2017.

Figura 9. Mapa de fisiografía de la micro cuenca del Río Frío.

2.2.2.5. Suelos

A. Serie Guatemala.

Estos suelos se encuentran en el 80 % del área de la micro cuenca. Son suelos profundos, bien drenados, desarrollados sobre ceniza volcánica débilmente cementadas, en un clima húmedo y seco. Ocupan un relieve que es casi plano, con algunas partes onduladas o suavemente onduladas.

Los suelos Guatemala están asociados con los suelos Cauqué, pero se distinguen de éstos porque se encuentran en planicies y los otros en relieve de ondulado ha inclinado. Además, porque los suelos Guatemala son más profundos.

La profundidad del suelo varía según el grado de erosión al cual ha estado sujeto durante su desarrollo. Incluidos están unos suelos desarrollados sobre superficies más antiguas de terrenos que emergen a través del material acumulado más reciente; algunos están sobre materiales volcánicos y otros sobre materiales sedimentarios como caliza y esquisto arcilloso. Son suelos con un horizonte interno que tiene altos contenidos de arcilla con relación a los horizontes superficiales, son suelos maduros con un grado de desarrollo avanzado.

Están secos entre 90 y 180 días del año en su interior. Presentan déficit de humedad. Ofrecen buenas condiciones para la producción agropecuaria, pero en caso de actividades agrícolas, se requiere de la suplementación de agua, para tener cultivos con más de una cosecha por año.

En el Horizonte rocoso el substrato es de piedra pómez gruesa cementada débilmente. Casi todos los fragmentos tienen un grueso de alrededor de 1 cm. Se excava fácilmente y las paredes verticales se sostienen por años sin soporte alguno. Una separación en tamaño de partículas tuvo lugar, asumiéndose por esto, que estos valles fueron rellenados durante un periodo de actividad volcánica intensa acompañada de fuertes lluvias, lo que dio por resultado la formación de una masa semifluida, pero lo suficientemente consistente como para haber sido contenida en un área restringida (Simmons, Tarano y Pinto. 1959)

B. Serie Guatemala fase pendiente.

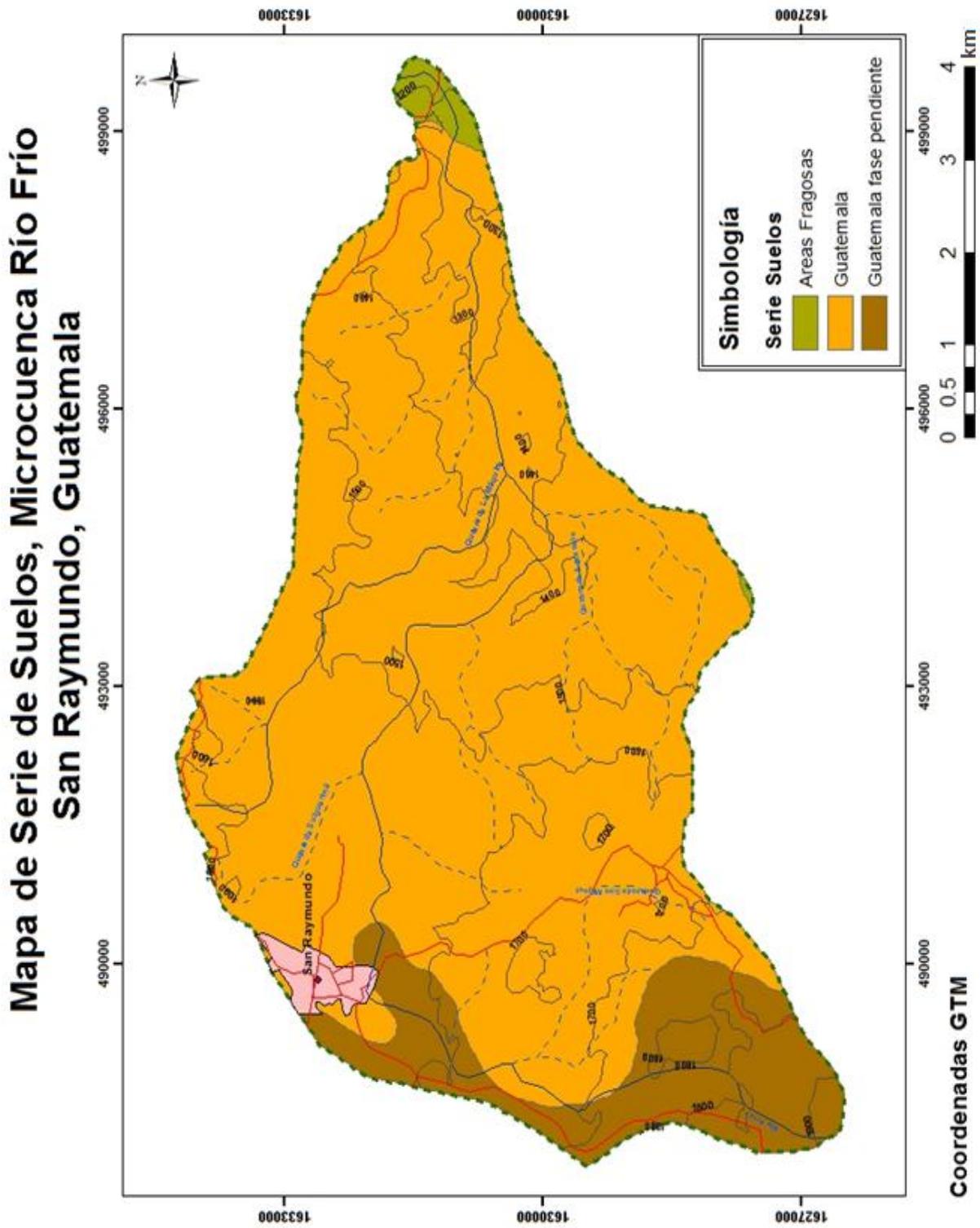
Suelos poco profundos sobre material volcánico débilmente cementado de relieve demasiado escarpado por el uso de cultivos limpio. Desarrollados sobre ceniza volcánica que tienen baja densidad aparente (menor de 0.9 g/cm^3) y con altos contenidos de alófana. En condiciones de fuerte pendiente tienden a erosionarse con facilidad. Están secos entre 90 y 180 días del año en su interior. Presentan deficiencia de humedad. (Simmons, Tarano y Pinto. 1959).

Su principal problema, además de las limitantes mencionadas a nivel del orden, es la falta de humedad la mayor parte del año, esta es una limitante para las actividades agrícolas.

C. Áreas fragosas.

Es una clase de terreno donde barrancas de ladera perpendiculares de casi 100 m de profundidad, cortan la planicie de Guatemala y otros cercanos, y deja inaccesibles unas partes potenciales arables. Estos suelos se encuentran desde la parte baja de la micro cuenca.

De manera general los suelos de la micro cuenca pertenecen a la serie Guatemala en sus dos fases conocidas, determinadas esencialmente por el porcentaje de pendiente en que se encuentran desarrollados (figura 10).



Fuente: elaboración propia, 2017.

Figura 10. Mapa de series de suelos de la micro cuenca del Rio Frío.

2.2.2.6. Drenaje.

El drenaje que se encuentra en la micro cuenca es del tipo Dendrítico, Sub dendrítico, Paralelo, Sub paralelo, Trellis y Trenzado.

2.2.2.7. Zona de vida.

A. Bosque húmedo subtropical (templado).

Esta zona de vida es predominante en un 60 % de la micro cuenca aproximadamente, en la parte media y baja, en la cual se incluye el área de los municipios de Guatemala San Raymundo y Chinautla en la cual se encontrarán diversas asociaciones edáficas. Se caracteriza por tener una relación de evapotranspiración potencial entre 1.00 – 0.50 y biotemperatura media anual entre 20 °C y 26 °C. La precipitación varía entre 1,000 mm, a 2,000 mm; precipitación promedio entre 1,100 mm, a 1,349 mm (Cruz S, JR De La. 1982)

Los terrenos correspondientes a esta zona de vida son de relieve ondulado a accidentado y escarpado. La vegetación natural está constituida especialmente por las siguientes especies: *Quercus* spp., *Pinus pseudostrobus*, *Pinus montezumae*, *Juniperus comitana*, *Alnus jorullensis*, *Ostrya* spp., *Carpinus* spp., *Prunus serotina capuli*, *Arbutus xalapensis*, *Pinus maximinoi*, *Pinus oocarpa*, *Ficus* spp, *Quercus* spp, *Eriquina* spp, *Curatella americana*, que son las especies características de esta zona.

B. Bosque húmedo montano bajo subtropical.

Dentro de la micro cuenca esta zona se encuentra ubicada en la parte alta y media. Se localiza en los municipios de Guatemala, San Pedro Sacatepéquez y San Juan Sacatepéquez, El patrón de lluvias varía entre 1,057 mm y 1,588 mm, con un promedio de 1,344 mm de precipitación anual. Las biotemperaturas oscilan entre 15 °C a 23 °C. La evapotranspiración potencial puede estimarse en promedio de 0.75. La topografía en general es plana y está dedicada a uso urbano

y pastos naturales, sin embargo, las partes accidentadas están cubiertas de vegetación. *Especies Indicadoras*: Pinus oocarpa, Curatella americana, Quercus spp., Byrsonima crassifolia.

2.2.2.8. Aspectos climáticos.

A. Altitud.

Presenta una altura máxima de 1600 m s.n.m. y su punto más bajo (punto de aforo) a 1,340 m s.n.m. La diferencia de altura entre la altura máxima y el punto de aforo, es determinante en el tipo de y distribución del drenaje, además influye en el arrastre de sedimentos.

B. Temperatura.

En la estación INSIVUMEH se registra una temperatura media anual máxima de 19.7 °C para los años de 1,990 a 1,997.

C. Humedad relativa media.

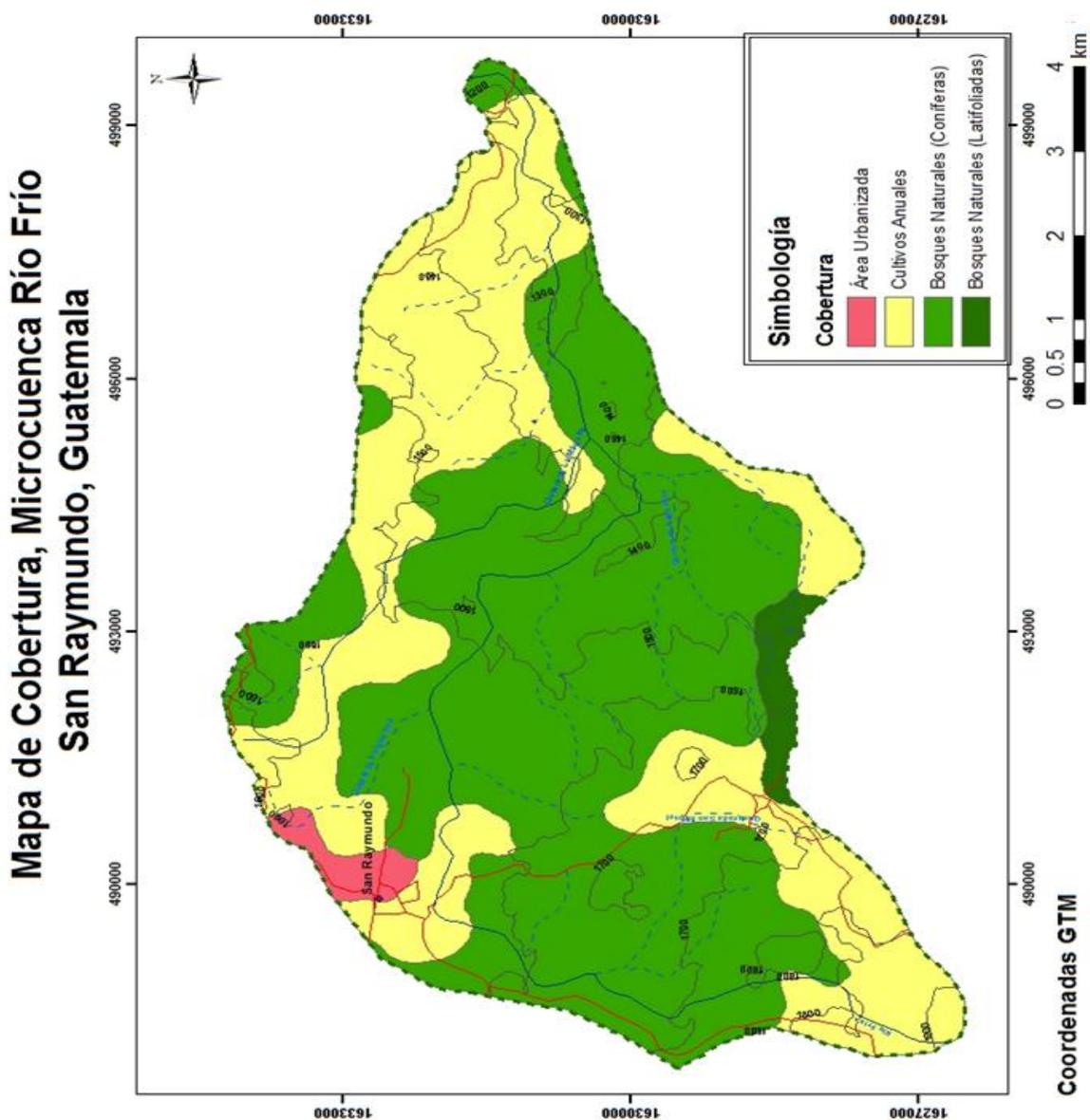
Se registra una media de 81 % para los años de 1,990 hasta 1,997.

D. Precipitación.

En la estación INSIVUMEH se ha registrado una precipitación media de 1,113.5 mm que data de los años 1,990 a 1,997.

2.2.2.9. Uso de la tierra (cobertura).

Para generalizar, la micro cuenca Río Frío es una de las unidades hidrométricas que en el departamento de Guatemala mantiene gran parte de su superficie con cubierta forestal. Esto representa un 61 % del área. Existe un 22 % de tierras destinadas a la producción agrícola tradicional, un 5 %, a las actividades agroindustriales, y un 12 % es ocupado por la zona urbana. (INAB, Instituto Nacional De Bosques, GT. 2000) (figura 11).



Fuente: elaboración propia, 2017.

Figura 11. Mapa de cobertura micro cuenca del Río Frío.

2.3 OBJETIVOS.

2.3.1 Objetivo general.

Reconocimiento de características hidrogeológicas de la micro cuenca del Río Frio, que sirva como una herramienta en la toma de decisiones en el manejo del recurso hídrico en el municipio de San Raymundo.

2.3.2 Objetivos específicos.

1. Establecer la geología y la estratigrafía.
2. Determinar el tipo de acuífero mediante la estimación de los parámetros de transmisividad y coeficiente de almacenamiento.
3. Determinar la dirección del flujo de agua subterránea en base al análisis de la red de flujo.
4. Realizar el balance hídrico de la micro cuenca con la finalidad de determinar la recarga del acuífero.
5. Identificar zonas potenciales de recarga hídrica para el acuífero.

2.4 METODOLOGÍA.

2.4.1 Delimitación del área de estudio.

Se llevó a cabo la delimitación de la micro cuenca y se hizo uso del programa QGis 2.2®. Mediante esta herramienta se visualizó las otras fotos del 2006 y la hoja topográfica número 1,524 del Instituto Geográfico Nacional (IGN) de Guatemala. Se identificó y delimitó el parte aguas sobre las curvas de nivel.

Las coordenadas proyectadas de ubicación de la micro cuenca fueron tomadas sobre el datúm WGS 84 UTM, zona 15N.

2.4.2 Análisis de la geología.

La geología del sector se estableció mediante cuatro fuentes de información:

- Bibliografía de la geomorfología del departamento de Guatemala
- Mapa geológico de San Juan Sacatepéquez, escala 1:50,000, del Instituto Geográfico Nacional (IGN) de Guatemala.
- Reconocimiento de afloramientos y formaciones rocosas en el cauce principal del río Frio y corrientes tributarias.
- Estratigrafía registrada mediante la excavación de pozos mecánicos, por parte de la municipalidad de San Raymundo.

2.4.3 Tipo de acuífero.

El tipo y características del acuífero se establecieron mediante las columnas estratigráficas de los pozos existentes en el área; para los parámetros hidrogeológicos, coeficiente de almacenamiento y la transmisividad, se utilizó la información de dos pozos: pozo La Unión ubicado en la finca Concepción y pozo municipal del casco urbano San Raymundo

Los niveles y movimiento del agua en el acuífero se establecieron, construyendo isofreáticas con la información de nivel estático de los pozos existentes.

2.4.4 Cálculo de la transmisividad.

Para calcularla se usaron los datos de pruebas de bombeo, realizadas en los pozos que se incluyen en el área de estudio. Las pruebas incluyen tiempo y abatimiento, caudal constante en L/s, diámetro, profundidad total, columna de agua y nivel estático, utilizando el Software Aquifer Test®, que desarrolla los cálculos con los métodos de Jacob y Theis.

2.4.5 Cálculo del coeficiente de almacenamiento.

El coeficiente de almacenamiento se determinó mediante los registros de las pruebas de bombeo realizadas en los pozos y se hizo uso del software Aquifer test®, que desarrolla los cálculos con los métodos de Jacob y Theis.

2.4.6 Hidrología superficial.

2.4.6.1. Precipitación pluvial.

Se utilizó la información generada en las estaciones climáticas de INSIVUMEH y San Pedro Ayampuc, durante el periodo 1,997-2,007.

2.4.6.2. Precipitación efectiva.

La fórmula general utilizada para la precipitación efectiva es la siguiente:

$$P_{ef} = P \times R \times K_{fc}$$

Dónde:

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

P: precipitación mensual.

R: general, 0.12 y para techos de casas, caminos y áreas construidas, es de 0.1 a 0.05.

K_{fc} : Valor de retención (para bosques es de 0.20).

Schosinsky, obtuvo la ecuación que relaciona la capacidad de infiltración de agua en el suelo (infiltración básica) con la intensidad de lluvia, que es la siguiente:

$$K_{fc} = 0.267 \ln(fc) - 0.000154(fc) - 0.72358$$

Dónde:

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

$\ln(fc)$: Logaritmo neperiano (natural).

fc: Valor de infiltración básica en mm/día.

Con los valores de infiltración básica obtenidos en las pruebas de infiltración, se aplicó la anterior fórmula y se obtienen los valores de K_{fc} .

2.4.6.3. Aforos.

Se establecieron cinco puntos de aforo a lo largo del cauce principal del río frío, en los que se utilizó el método de sección velocidad. Este ejercicio se realizó en un intervalo de treinta días durante los meses de octubre 2,012 a febrero 2,013.

2.4.6.4. Pruebas de infiltración

Se realizaron pruebas de infiltración para determinar el movimiento del agua, a través de la superficie del suelo y hacia dentro del mismo, producido por la acción de las fuerzas gravitacionales y capilares. Las pruebas de infiltración se realizaron en las diferentes subunidades de la micro cuenca, generadas a partir de la región fisiográfica y la cobertura actual.

2.4.7 Red de flujo.

Con la elaboración de la red de flujo de la micro cuenca se utilizó el programa QGis 2.2®, se estimaron, la longitud del cauce principal y causes tributarios e intermitentes, necesarios para calcular los parámetros hidrográficos de la micro cuenca.

2.4.8 Evapotranspiración.

Se recabó información de las estaciones meteorológicas descritas anteriormente, para los años 1990-1997. La información fue procesada con la ecuación propuesta por Hargreaves que mejora la estimación de la evapotranspiración debido a que involucra indirectamente un término de radiación solar, temperatura media, humedad relativa mensual y brillo solar incidente. Para el cálculo de la evapotranspiración potencial mensual, se aplicó la fórmula:

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

Dónde:

ETP = Evapotranspiración Potencial

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

Grados Fahrenheit = $1.8 * T \text{ (°C)} + 32$

RSM = Radiación Solar incidente mensual

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

RMM = Radiación mensual extraterrestre (mm/mes)

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

R_s , Radiación solar

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

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

$K_s = 12.5$ (valor constante)

HR = Humedad Relativa en % (1 a 100)

2.4.9 Muestreo de suelos.

Los muestreos de suelos se realizaron con el objetivo de determinar la capacidad de campo, el punto de marchitez permanente, la densidad aparente y textura a nivel de laboratorio. Se utilizó el mapa de suelos de Simmons para la determinación de los diferentes polígonos existentes en la micro cuenca. Las muestras se obtuvieron de los agujeros realizados para las pruebas de infiltración de los 5 polígonos establecidos. Esta información contribuyó al cálculo de la infiltración por unidad de muestreo.

2.4.10 Identificación y mapeo de unidades de recarga hídrica.

Al hacer uso de Q Gis 2.2®, los mapas de taxonomía de suelos de Guatemala, cobertura de la tierra, y Geología, se identificaron zonas de recarga hídrica. A cada una de estas unidades se realizó el cálculo de recarga hídrica con los datos climáticos de las estaciones meteorológicas del INSIVUMEH.

2.5 RESULTADOS Y DISCUSIÓN.

2.5.1 Delimitación del área de estudio.

Se establecieron las principales de vías de acceso, las corrientes de agua, el cauce principal, los centros poblados, y el parteaguas de la micro cuenca (figura 12).

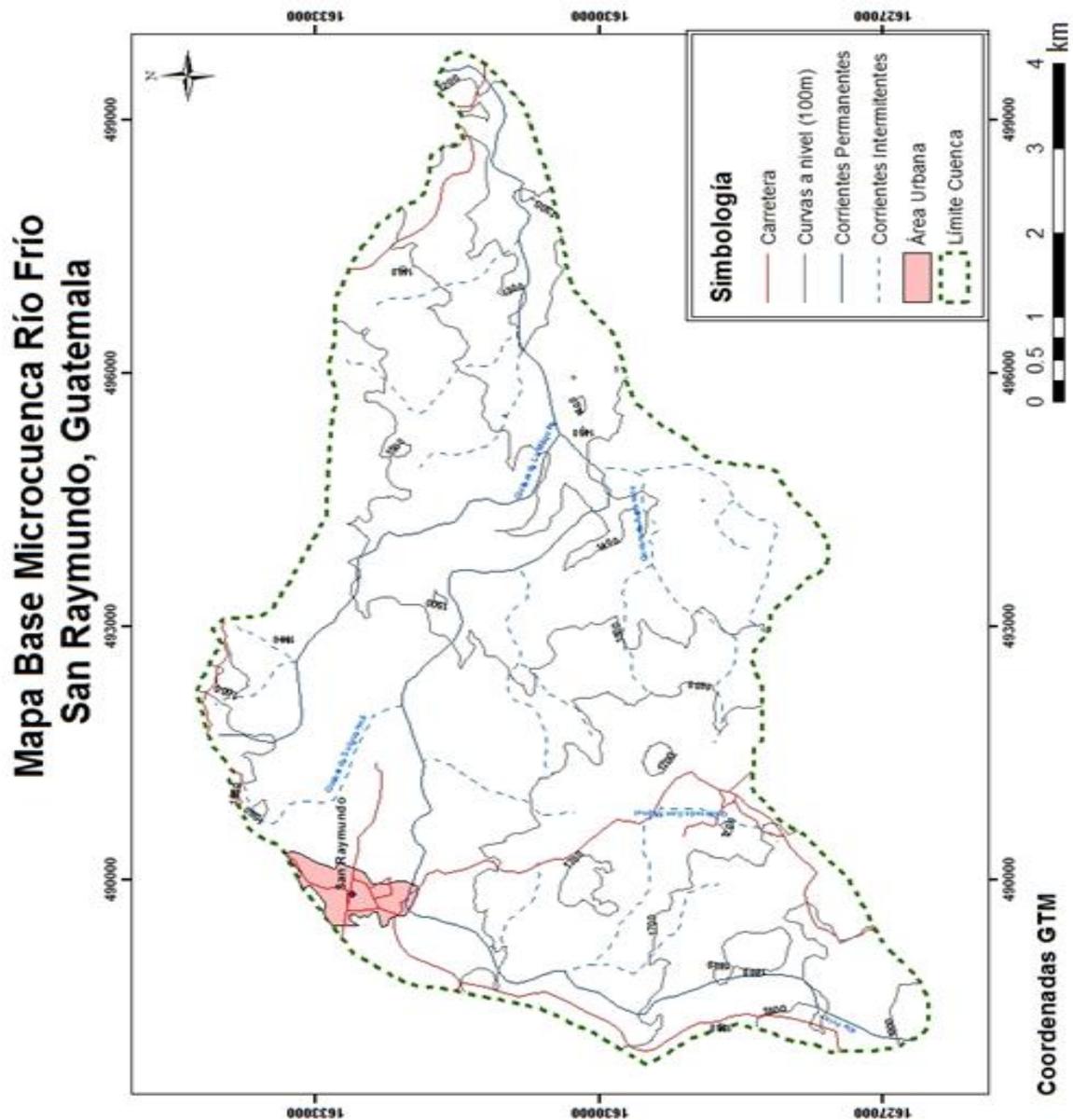


Figura 12. Mapa base de la micro cuenca del Río Frío.

2.5.2 Fisiografía.

2.5.2.1. Subregión montañas de San Raymundo-Progreso-Jalapa-Espíritu Santo.

A. Gran paisaje del macizo intrusivo de San Raymundo-San Pedro Ayampuc.

Dentro de este gran paisaje, se ubican los paisajes específicos del área de análisis fisiográfico realizado para la caracterización.

a. Paisaje de las planicies del Río Frio.

Este paisaje se ubica en la parte central y en la parte suroeste de la micro cuenca. Estos paisajes son utilizados especialmente para cultivos de maíz, frijol y vegetales de exportación. Sobre este también se encuentran localizados, el casco urbano del municipio, y colonias privadas. Las pendientes van desde el 5 % hasta un 20 %. El paisaje corresponde al 19.04% del área de la micro cuenca.

b. Paisaje de las laderas moderadas del Río Frio.

Este paisaje es el de menores pendientes en la micro cuenca, las pendientes que posee van desde los 26 % a 36%, en algunas áreas las pendientes son mayores de este rango, principalmente en los taludes de los ríos sin embargo son áreas muy pequeñas, la mayor parte de las pendientes son homogéneas, lo que permite observar laderas de longitudes similares, y sin mayores variaciones del micro relieve, la altitud máxima de este paisaje es de 1584 m s.n.m. El área dentro del cual se encuentra este paisaje ocupa el 34.35 % del área total analizada.

c. Paisaje del sistema colinado este del Río Frio.

Con pendientes intermedias, está ubicado en el extremo sur este de la micro cuenca, tiene pendientes entre 36 % a 55%, las pendientes son extremadamente heterogéneas, desde el parte aguas suroeste, se visualizan montículos o colinas pequeñas que se extienden hasta el límite del cauce del Río Frio. Este paisaje ocupa el 11.04 % del área total.

2.5.2.2. Sub región zona montañosa y planicie central (Tecpán-Jalpatagua).

A. Gran paisaje: Montañas volcánicas del centro del país.

Dentro de este gran paisaje, se ubican los paisajes específicos del área de análisis fisiográfico realizado para la caracterización.

a. Paisaje de las laderas fuertemente escarpadas este del Río Frio

Parte oeste de la micro cuenca, entre el parte aguas sur, suroeste y el cauce del río frio, tiene pendientes que van en su mayoría por encima de 55%, que son las pendientes más fuertes de la micro cuenca, tiene áreas intercolinares relativamente planas pero de extensión por debajo de las unidades mínimas de mapeo (7 ha), tiene un micro relieve irregular, a diferencia de los otros paisajes, las pendientes son variables, incluye pequeñas áreas en las partes medias de la cuenca que son mesetas de dimensiones pequeñas. El área dentro del cual se encuentra este paisaje ocupa el 35.54 % del área total analizada. (figura 13)

Mapa de Paisaje, Microcuenca Río Frío San Raymundo, Guatemala

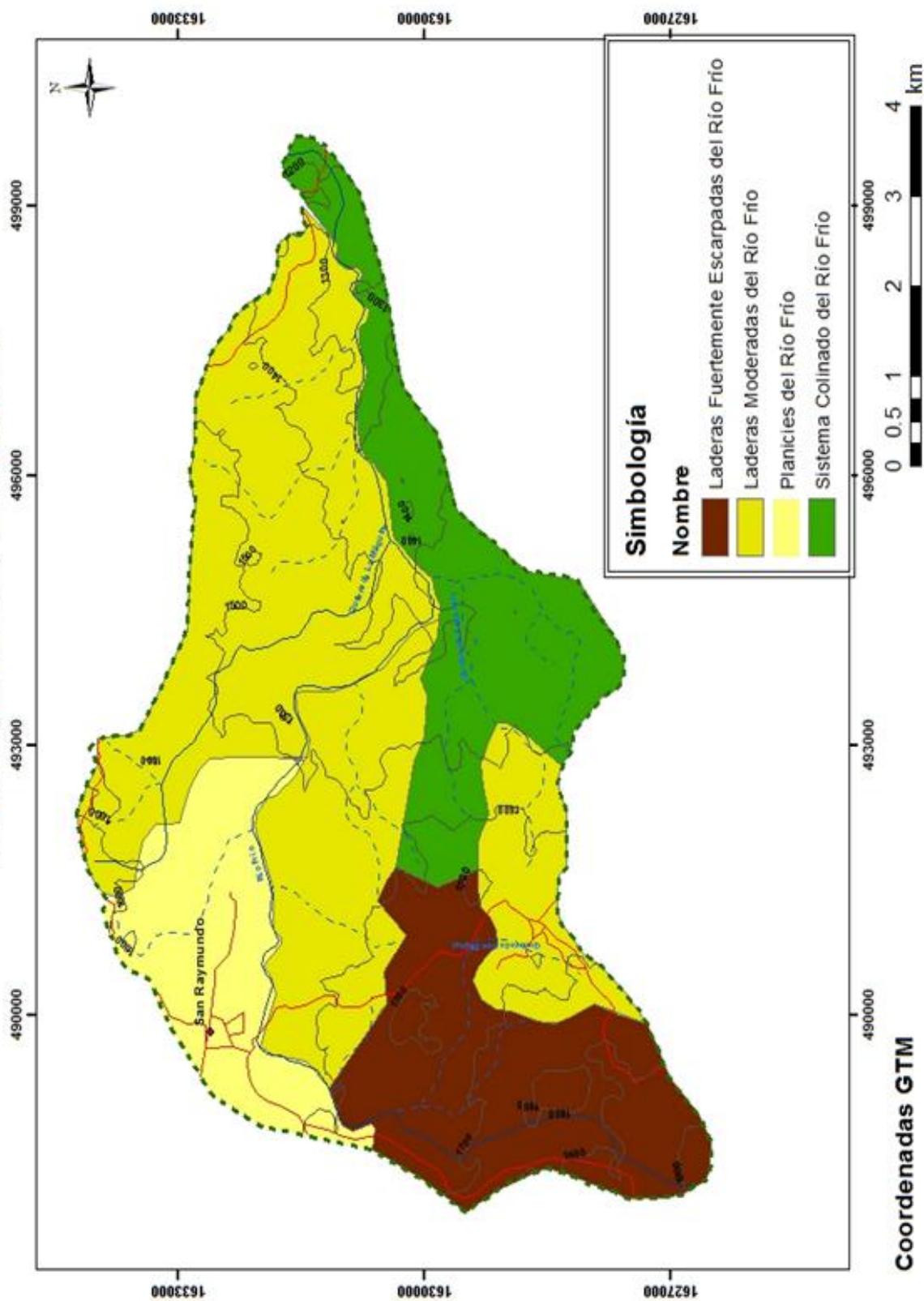


Figura 13. Mapa de fisiografía de la micro cuenca.

2.5.3 Geología.

2.5.3.1. Depósitos volcánicos.

Los depósitos volcánicos están compuestos por una alternancia de depósitos de flujo (lahares volcánicos) y de caída de piro clastos. Constituyen las superficies topográficas que se encuentran en mayor área al noroeste y en menor área al sureste de la micro cuenca, cubriendo las rocas preexistentes en forma total o parcial, y se hizo uso de espesores de casi 150 metros sobre las otras rocas y constituyen el principal material donde han sido formadas las formas fisiográficas del área de estudio.

2.5.3.2. Rocas del terciario.

Estas rocas forman una acumulación de productos volcánicos de formaciones muy variadas, lavas andesíticas y tobas soldadas. Gran parte de estas rocas están cubiertas por las cenizas cuaternarias. Estas rocas han sido afectadas por la tectónica del terciario y cuaternario, lo que da origen a un fraccionamiento. En el área sur oeste de la micro.cuenca se encuentran los horts que marcan el límite oriental y occidental del graben de la ciudad de Guatemala, y muestran muchos afloramientos de este tipo de rocas.

2.5.3.3. Intrusivo de San Raymundo.

Según lo observado en los recorridos el intrusivo el basamento constituye el 80 % de la micro cuenca, observándose dos cuerpos de composición diferentes: granito y otro de composición diorítica. Este último se observa en las áreas del punto de aforo cerca de los márgenes del río Las Vacas, el cual está profundamente cortado por el río, hasta 25 m de altura, cubiertos por materiales fluviales y volcánicos.

El granito presenta una cristalización que varía de fina a media, con alto grado de meteorización, en la mayor parte de los afloramientos especialmente en los márgenes del río frío, presenta una coloración pardusca producto del intenso intemperismo. (figura 14)

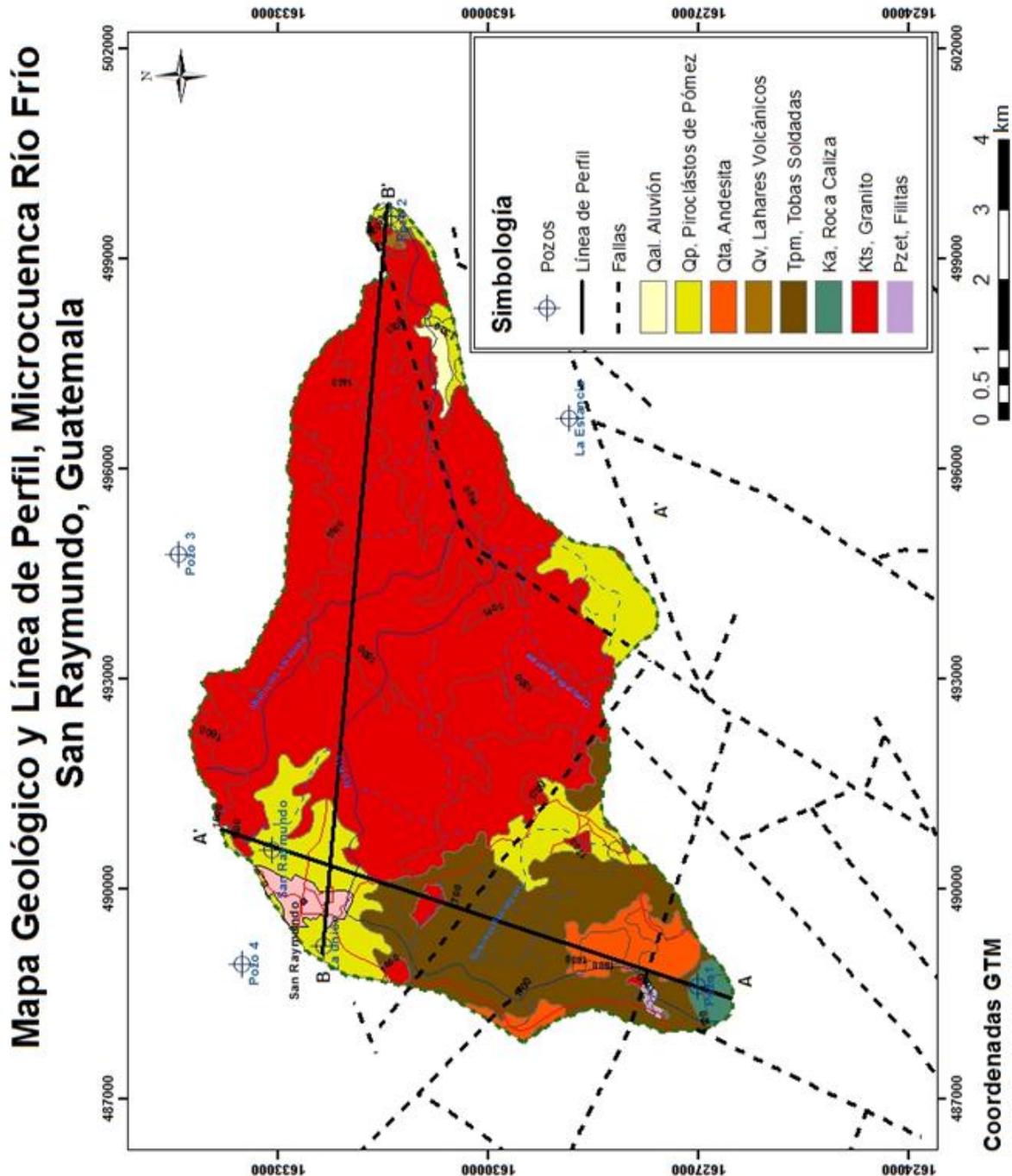


Figura 14. Mapa geológico y línea de perfil de la micro cuenca del Río Frío.

El perfil geológico A-A', (figura 15) muestra los espesores del relleno piro clástico superficial (150 m), lava andesita-riolita (300 m) y la toba soldada (400 m) intermedia y la caliza dolomítica a 600 m de profundidad lo que forma el piso descendido de la falla normal alineada al Río Frio.

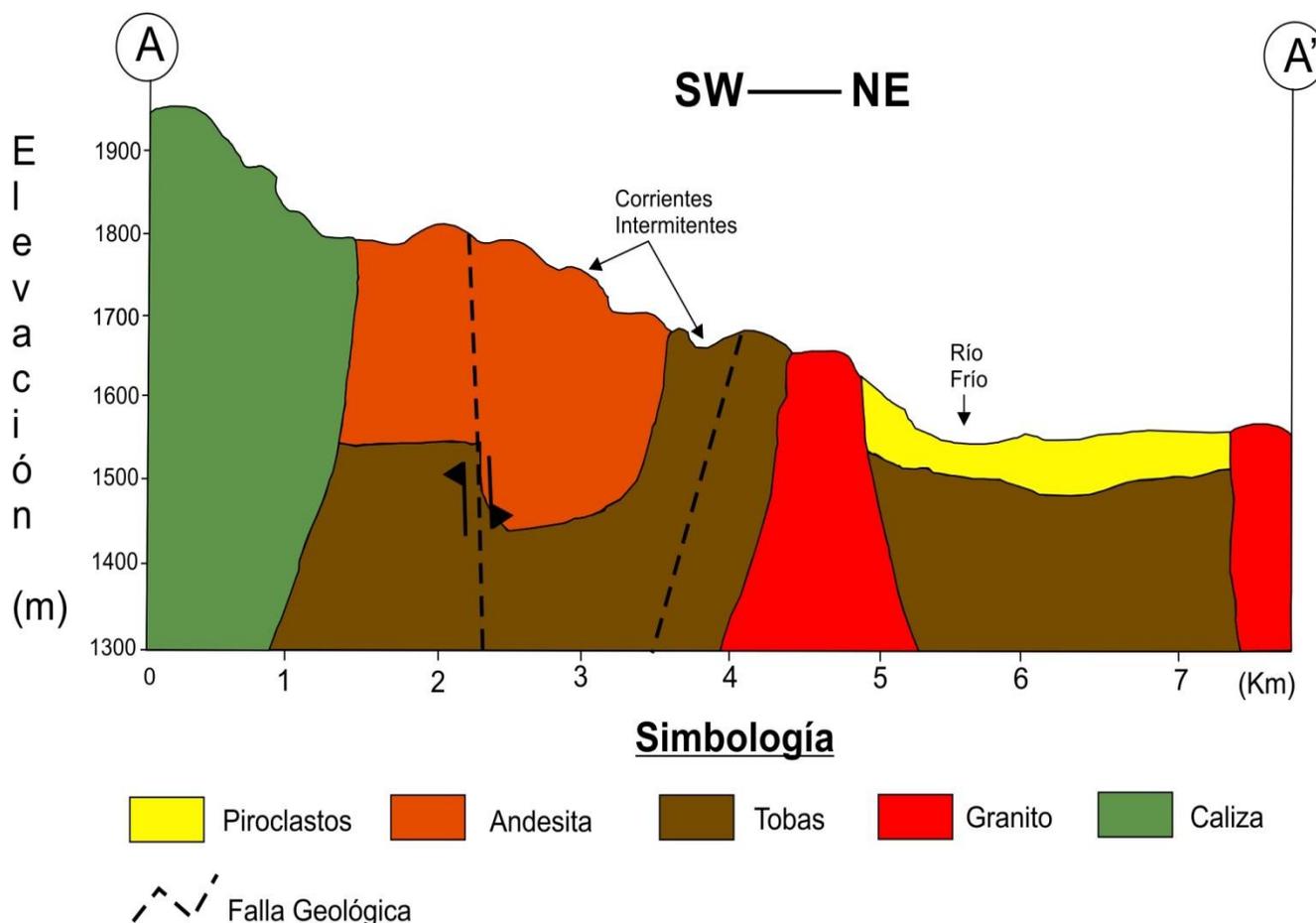


Figura 15. Perfil geológico sur a norte, de la micro cuenca del Río Frio.

El perfil B-B' (figura 16) presenta las formaciones geológicas, sobresaliendo la intrusión de granito, conocida como el Intrusivo de San Raymundo, el depósito de piroclastos en el valle donde se ubica el casco urbano y en la parte baja de la micro cuenca en el punto de aforo.

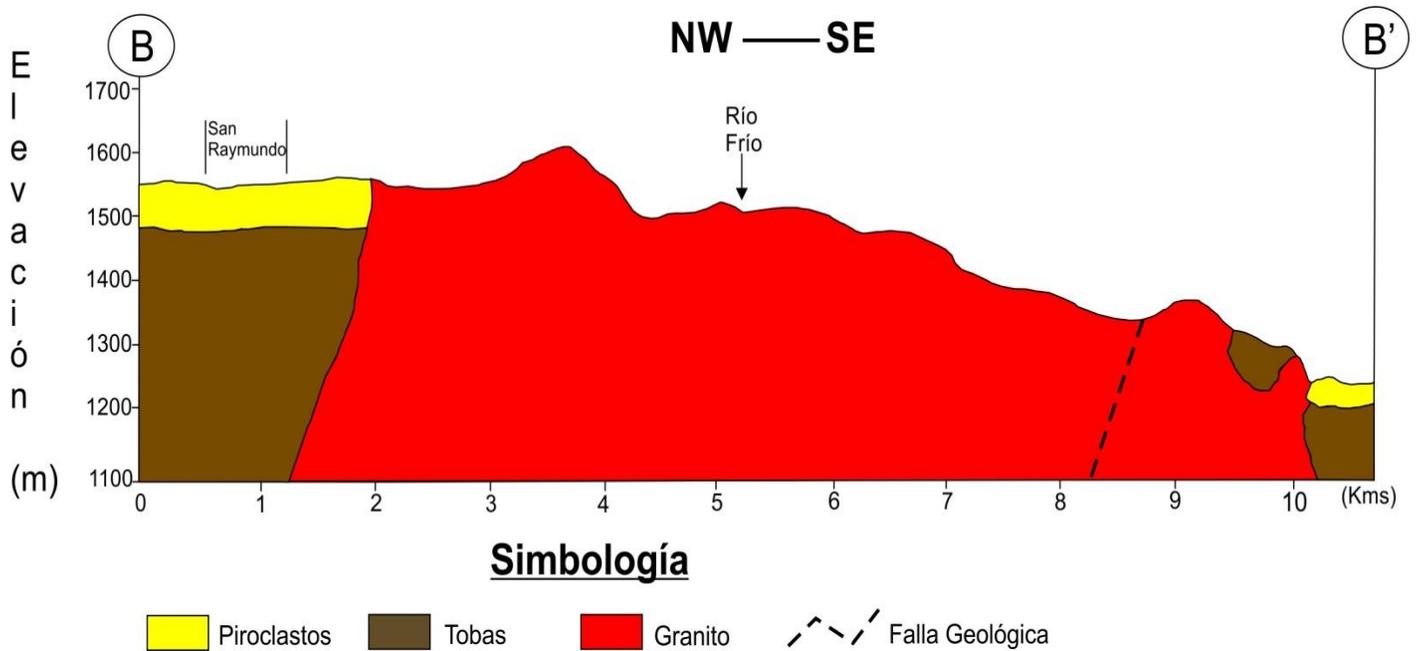


Figura 16. Perfil geológico de oeste a este, de la micro cuenca del Rio Frio.

2.5.4. Hidrogeología.

2.5.4.1. Acuíferos.

El movimiento de las aguas subterráneas se da en grandes extensiones de tierra, a través de sistemas de rocas o formaciones geológicas, homogéneas o heterogéneas, con espacios huecos, ya sean estos poros o ya sean grietas o fracturas; acumulaciones de sedimentos volcánicos, como lo es muy particular en el departamento de Guatemala y los municipios aledaños.

En la micro cuenca del Rio Frio subyacen materiales de origen volcánico, medio que por actividad de fallas se ha fracturado y con ello se permite el flujo horizontal del agua por las cavidades de roca. El acuífero superior se distribuye a través de depósitos piro clástico del cuaternario. El acuífero inferior se desplaza a través de rocas volcánicas que se encuentran entre los 200 m y 500 m, las cuales están fracturadas y con características de permeabilidad, se define como el principal acuífero dentro de la micro cuenca.

En la figura 17 se observa como se ha calculado y establecido el espesor y la longitud de dos acuíferos.

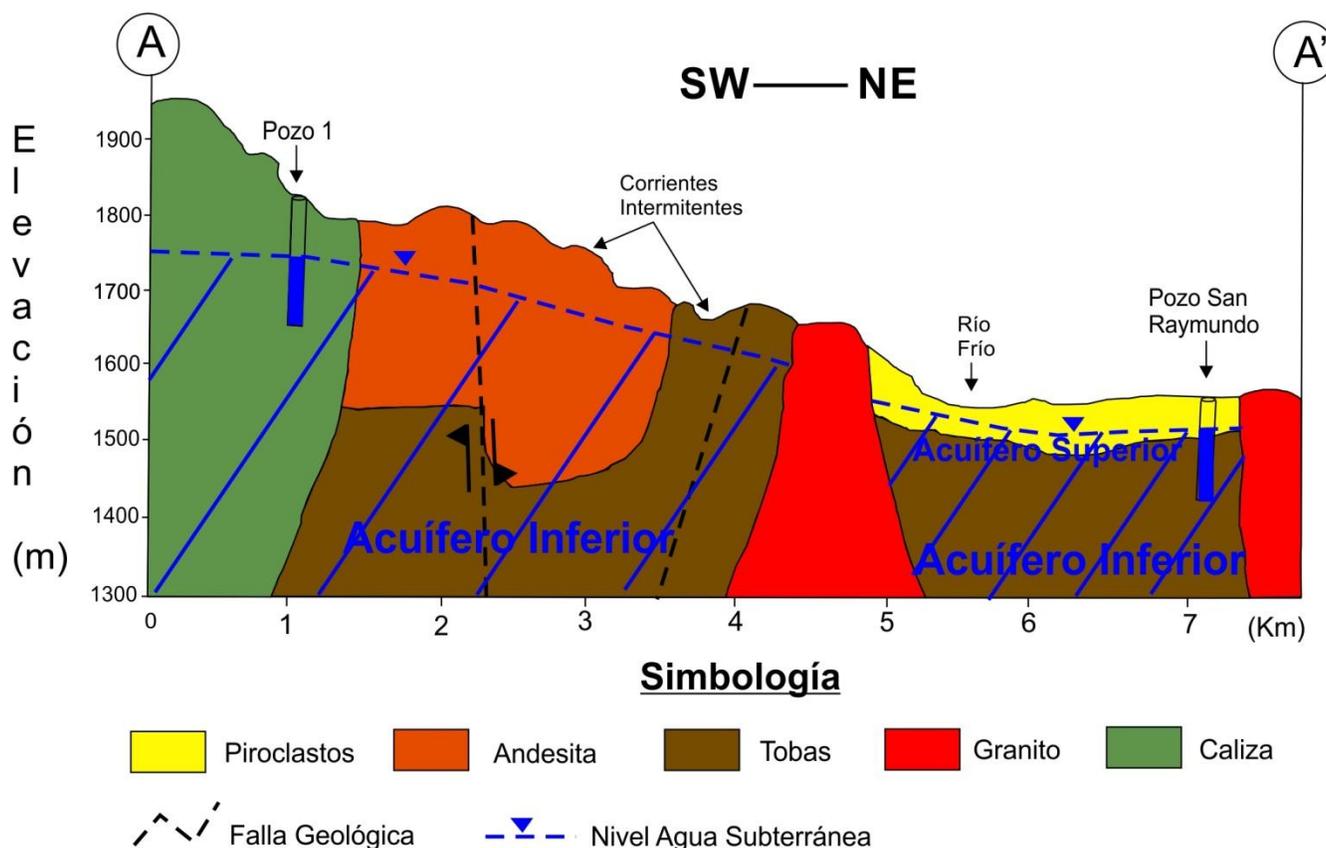


Figura 17. Disposición y tipos de acuíferos de la micro cuenca del Rio Frio.

En esta figura, debe observarse como se corta en la zona roja que se identifica como una sección geológica de granito el cual es impermeable, luego se establece otra sección de acuífero que nuevamente es cortado por otra sección de granito. El primer acuífero tiene su origen desde el área del Cerro Alux con una extensión de más de 30 km con una dirección de flujo de sur a norte. En el segundo acuífero debe ponerse especial atención a la dirección de las redes de flujo que tienen una orientación de norte a sur y esto es debido a que las formas geológicas tienen su orientación hacia el valle de Guatemala. En la interpretación de la estructura del graben de la

Ciudad de Guatemala, se indica que el graben se encuentra delimitado en el norte por rocas intrusivas y metamórficas del Cretácico, al sur de la falla del Motagua; al sur lo limita la cordillera volcánica del Cuaternario, específicamente por los volcanes de Agua y Pacaya. Lo anterior permite comprender el movimiento de aguas subterráneas hacia el sur de la micro cuenca dirigidas al valle de Guatemala.

En esta área se describen un acuífero superior y un inferior, lo que significa que hay movimiento de agua en dos diferentes tipos de materiales. Obsérvese que el acuífero superior se moviliza a través de la sección amarilla que son materiales sedimentarios en su mayoría ceniza volcánica (que de manera empírica es conocida como material selecto) y el segundo por un medio rocoso fracturado que es de mayor espesor por lo que conduce mayor cantidad de agua y si se considera su dirección y sus límites a través de las intrusiones graníticas que no aportan ni aceptan agua, se forma en una especie de embudo que aumenta sus valores de transmisividad. (figura 18).

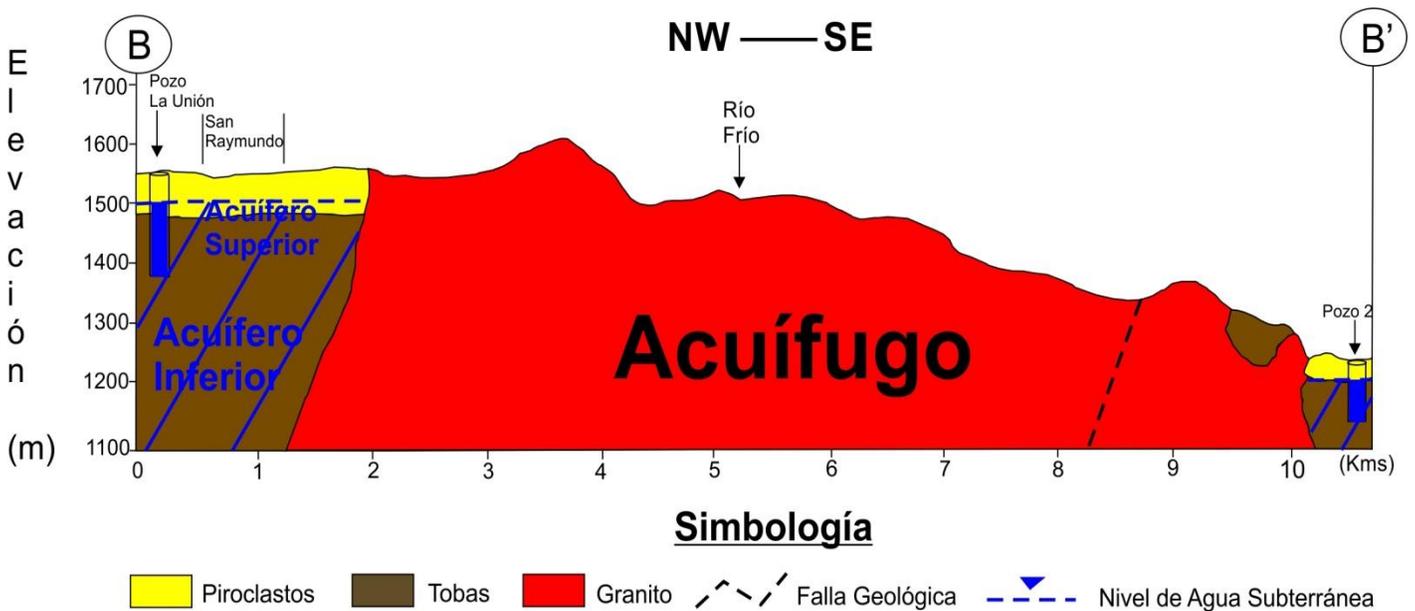


Figura 18. Disposición y tipos de acuíferos de la micro cuenca del Río Frio.

2.5.5. Parámetros hidrogeológicos micro cuenca del Río Frio.

Para los cálculos de los parámetros hidrogeológicos de la micro cuenca se utilizó la información de dos pozos, el pozo del casco urbano y el pozo de San Raymundo. En cuadro 8, figuras 19 y 20, se presenta la información de parámetros hidrogeológicos del pozo San Raymundo.

Cuadro 8. Datos de tiempo y abatimiento pozo San Raymundo.

Tiempo (minutos)	Abatimiento (m)	Tiempo (minutos)	Abatimiento (m)
0	0	150	0.072
1	0	210	0.074
5	0	260	0.076
6	0	310	0.076
7	0.004	370	0.078
8	0.004	400	0.078
9	0.005	460	0.082
10	0.008	520	0.092
15	0.013	580	0.11
20	0.016	640	0.13
30	0.029	700	0.14
40	0.041	760	0.16
50	0.047	820	0.17
60	0.049	880	0.18
70	0.055	940	0.182
80	0.058	1000	0.189
90	0.06	1060	0.189
100	0.065	150	0.072

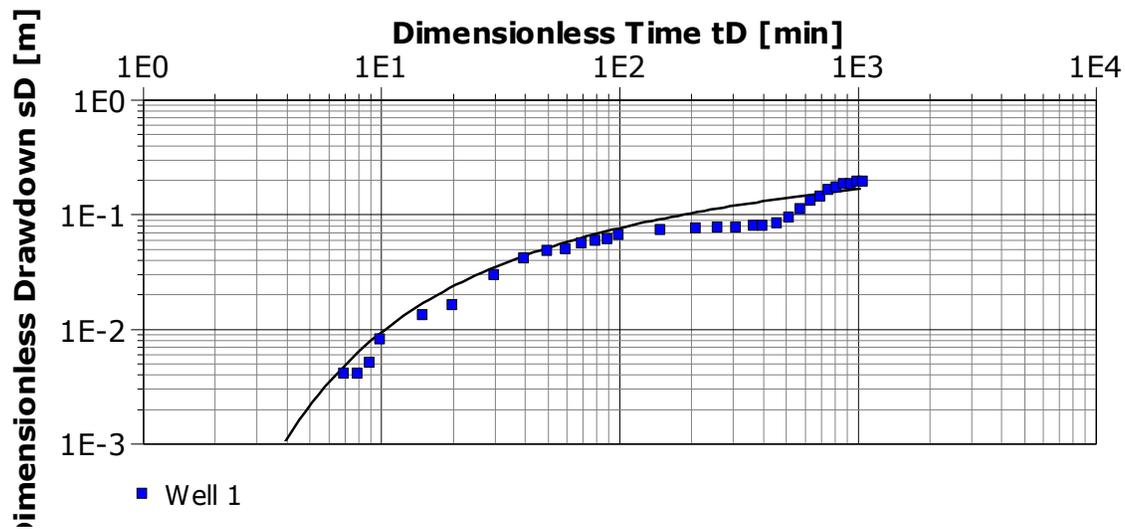


Figura 19. Transmisividad pozo San Raymundo.

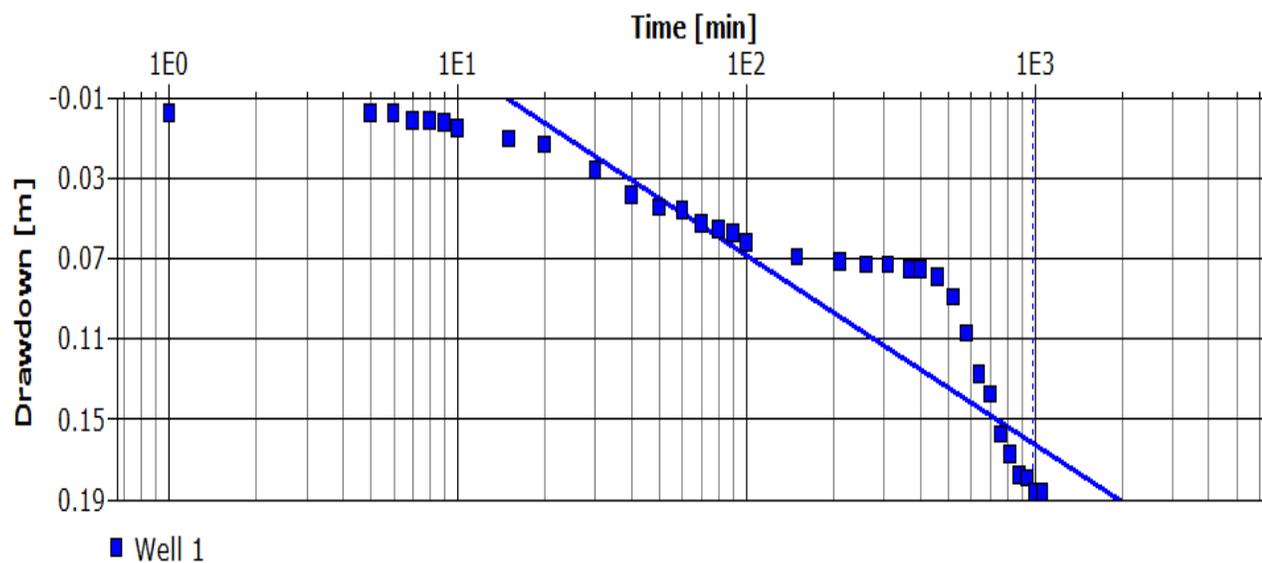


Figura 20. Coeficiente de almacenamiento pozo San Raymundo.

Radio Pozo: 0.36 m

Q: 540 m³/día
 Profundidad de Pozo: 160 m
 Nivel Estático: 60 m
 T: 1050 (m²/día)
 S: 0.022
 K: 6.56 (m/día)
 Tipo de Material: Arena limpia (mezcla de grava y arena)
 Clasificación de Acuífero: Buen Acuífero
 Clasificación de la permeabilidad: Permeable
 Capacidad de Drenaje: Drena Bien

Según el método utilizado se obtiene una transmisividad de 1,050 m/día lo que ubica al acuífero como buen transmisor. Por otra parte, su coeficiente de almacenamiento de 2.2×10^{-2} indica que es un acuífero semiconfinado, con un medio fracturado.

En el cuadro 9 y figuras 21 y 22, se presenta la información de parámetros hidrogeológicos del pozo La Unión, finca Concepción.

Cuadro 9. Datos de tiempo y abatimiento pozo La Unión finca Concepción.

Tiempo	Abatimiento	Tiempo (min)	Abatimiento
1.4	0.25	59	0.84
2.33	0.33	80	0.86
3.36	0.44	95	0.89
4	0.47	139	0.92
5.35	0.52	181	0.95
6.8	0.55	245	0.99
8.3	0.59	300	1.05
10	0.62	360	1.09
13.1	0.65	480	1.11
18	0.69	600	1.11
27	0.76	728	1.13
33	0.77	830	1.15
41	0.79		
48	0.81		

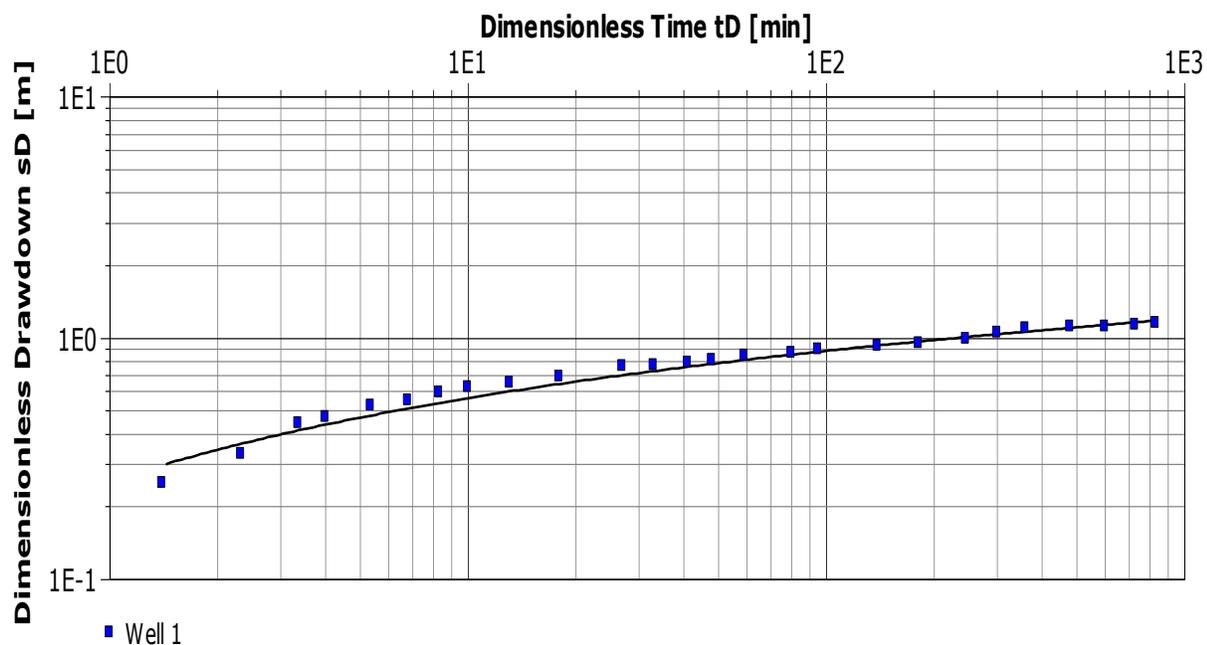


Figura 21. Transmisividad pozo La Unión, finca Concepción.

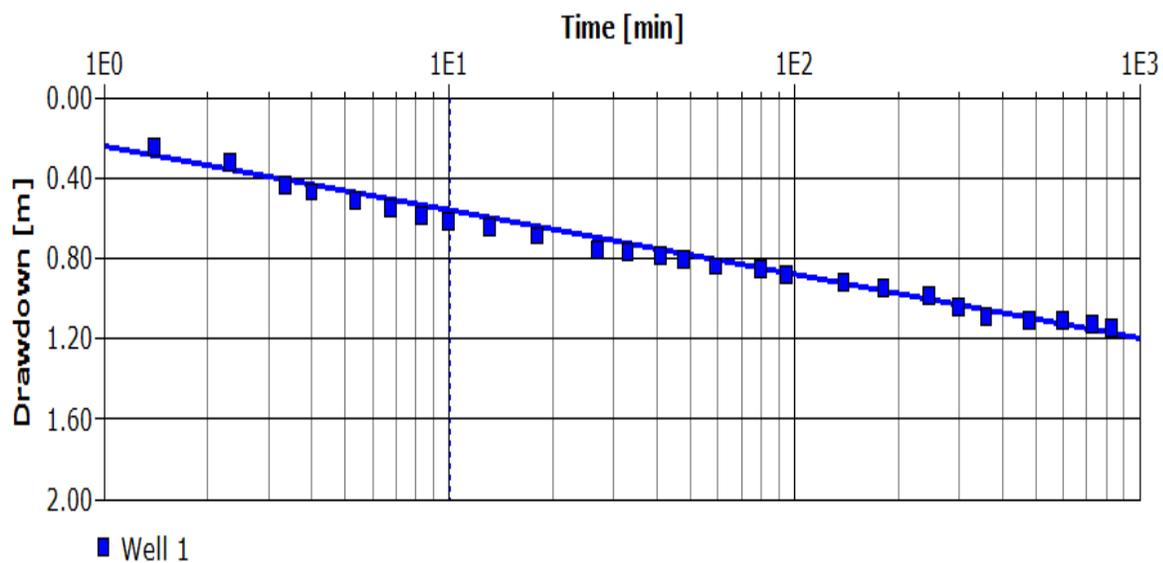


Figura 22. Coeficiente de almacenamiento, pozo La Unión, finca Concepción.

Radio Pozo: 4 in
Q: 10 L/s
Profundidad de Pozo: 140 m
Nivel Estático: 60 m
T: 442 (m²/día)
S: 0.0002
K: 3.18 (m/día)
Tipo de Material: Arena limpia (mezcla de grava y arena)
Clasificación de Acuífero: Buen Acuífero
Clasificación de la permeabilidad: Permeable
Capacidad de Drenaje: Drena Bien

Según el método utilizado se obtiene una transmisividad de 442 m/día lo que ubica al acuífero como buen transmisor. Por otra parte, su coeficiente de almacenamiento de 2×10^{-3} indica que es un acuífero semiconfinado, con un medio fracturado.

2.5.6. Hidrología.

2.5.6.1. Precipitación pluvial.

Se obtuvieron datos climáticos de estaciones meteorológicas adyacentes a la micro cuenca del río Frio. Se recabó información de las estaciones INSIVUMEH (en las coordenadas latitud norte 14°35'14" y longitud oeste 90°31'58" a una altura de 1,502 m s.n.m.) y San Pedro Ayampuc, del periodo correspondiente a los años 1990-1997, la media de estos valores sirvió para el cálculo de la recarga hídrica del acuífero (cuadros 10 y 11).

Cuadro 10. Precipitación pluvial, estación INSIVUMEH (Periodo 1990-1997)

Año	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Anual
1990	4.5	0.4	0.7	21.9	190. 6	205.6	156.6	64.1	242.6	58.5	46.2	6.6	998.3
1991	4.6	0.8	0	14.4	128. 9	328.6	157.6	68.3	180.8	189.7	161	51.8	1286. 5
1992	1.5	0	11. 7	32.5	21.9	261.3	189.2	210.5	151.5	134	21.8	0.6	1036. 5
1993	0.1	0	11. 4	97.4	65.3	300.4	110.4	233.9	229	112.9	29.5	0.2	1190. 5
1996	14. 4	2	2.3	80.9	105. 3	228.5	184.1	111.6	339.9	134.4	20.6	4.4	1228. 4
1997	10. 6	10. 7	2.1	13.4	58.9	170.6	148.2	254.6	91.4	130.9	37	12.3	940.7
medi a	5.9 5	2.3 2	4.7	43.4 2	95.1 5	249.1 7	157.6 8	157.1 7	205.8 7	126.7 3	52.6 8	12.6 5	1113. 5

Fuente: INSIVUMEH, 2012.

Cuadro 11. Precipitación pluvial, estación SAN PEDRO AYAMPUC (Periodo 1990-1997).

Año	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Anual
1990	11.1	1.4	1	47.4	185.3	90.5	125.7	137.9	339.4	94.1	73.4	26.4	1133.6
1991	6.2	2.2	1.2	16.5	155	219	62.3	94.2	257.1	118.4	12.8	28.1	973
1992	0.7	1	10.2	46.4	14.8	331.5	160.4	159.7	96.6	61.8	42.5	73	998.6
1993	0.9	2.2	8.9	85.9	62.3	39.4	140.4	14.2	148	86.4	13	6.7	608.3
1996	2.6	3.4	3.3	183.4	192.6	256.6	239.3	118.4	191.4	207.5	24.6	0.6	1423.7
1997	2.7	0.8	5.1	56.9	38.1	273.1	140.2	94.1	352.8	145.4	107.5	19.2	1235.9
media	4.03	1.83	4.95	72.75	108.02	201.68	144.72	103.08	230.88	118.93	45.63	25.67	1062.2

Fuente: INSIVUMEH, 2012.

El cauce principal del río presenta disminución en su ancho conforme el avance de los meses. La disminución del caudal nos muestra que este, es originado principalmente por escorrentía y que no recibe aporte del acuífero (cuadro 13).

Cuadro 13. Datos de medición en ancho de cauce.

No.	Punto de aforo	Oct.	Nov.	Dic.	Ene.	Feb.	Promedio
1	Concepción el Ciprés.	3.15	2.75	2.55	2.30	1.75	2.50
2	Puente río frío	2.08	1.90	1.65	1.25	0.90	1.56
3	La Comunidad	2.50	2.15	1.90	1.50	1.25	1.86
4	Lo de Boc.	3.05	3.00	3.00	2.85	2.80	2.94
5	San Rafael las flores.	4.20	4.00	3.25	3.00	2.50	3.39

La profundidad del cauce es un dato que varía en igual proporción al ancho del cauce. Se utilizó este dato para generar gráficas que ayudarán a observar y analizar las fluctuaciones de caudal en todo el recorrido del río. Importante es señalar que existe socavamiento del cauce producto de sedimentación durante la época de lluvia y que a través de esta acumulación de arenas, se da movimiento de agua (cuadro 14 y figura 23).

Cuadro 14. Datos de medición de profundidad del cauce.

No.	Punto de aforo	Oct.	Nov.	Dic.	Ene.	Feb.	Promedio
1	Concepción el Ciprés.	0.32	0.28	0.26	0.23	0.18	0.25
2	Puente río frío	0.16	0.15	0.13	0.10	0.07	0.12
3	La Comunidad	0.23	0.20	0.17	0.14	0.11	0.17
4	Lo de Boc.	0.44	0.43	0.43	0.41	0.40	0.42
5	San Rafael las flores.	0.41	0.39	0.32	0.29	0.24	0.33

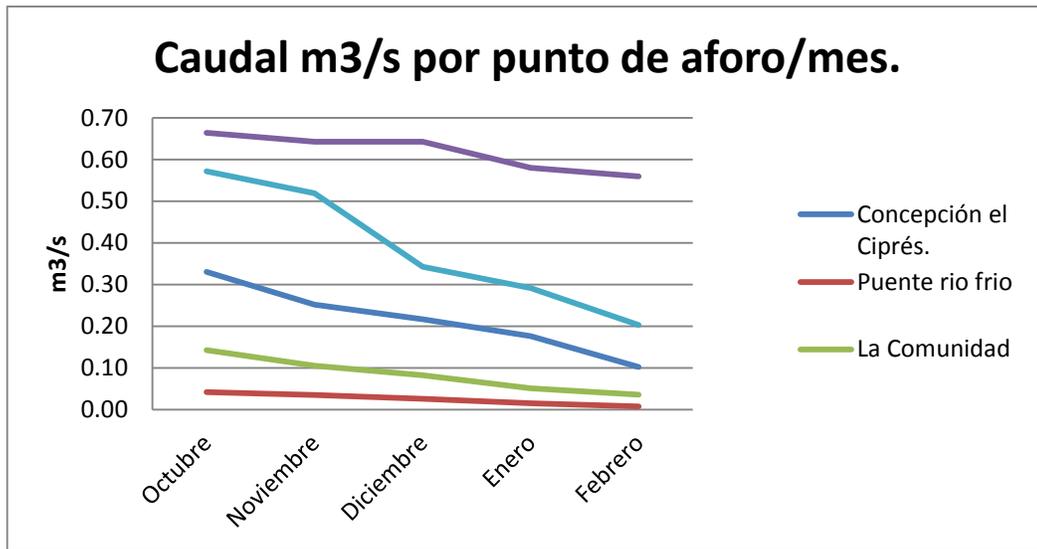


Figura 23. Comportamiento de caudal en el cauce principal.

2.5.7. Pruebas de infiltración.

Realizadas en los polígonos establecidos como zonas de recarga hídrica (figuras 24, 25, 26, 27 y 28).

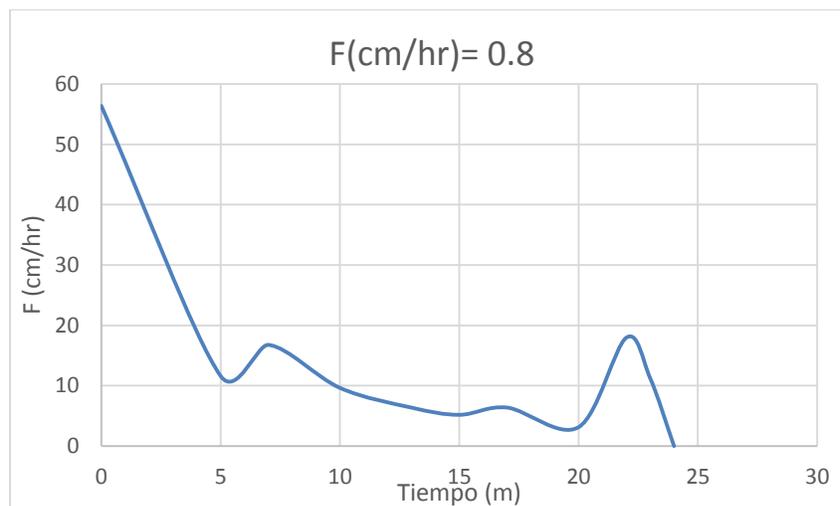


Figura 24. Comportamiento de infiltración macizo intrusivo + infraestructura.

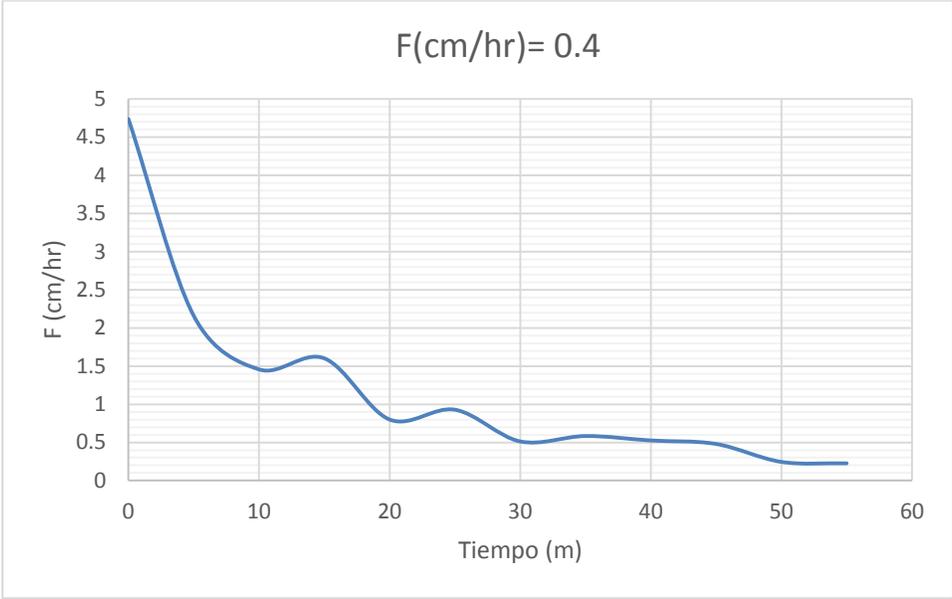


Figura 25. Comportamiento de infiltración macizo intrusivo + bosque natural.

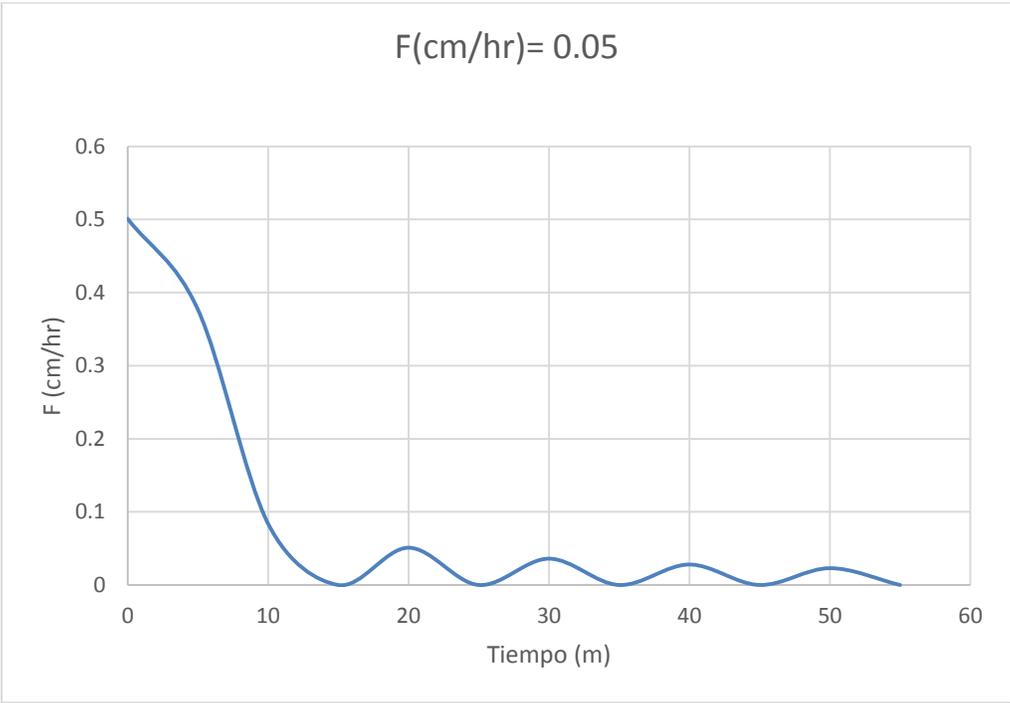


Figura 26. Comportamiento de infiltración macizo intrusivo + cultivos.

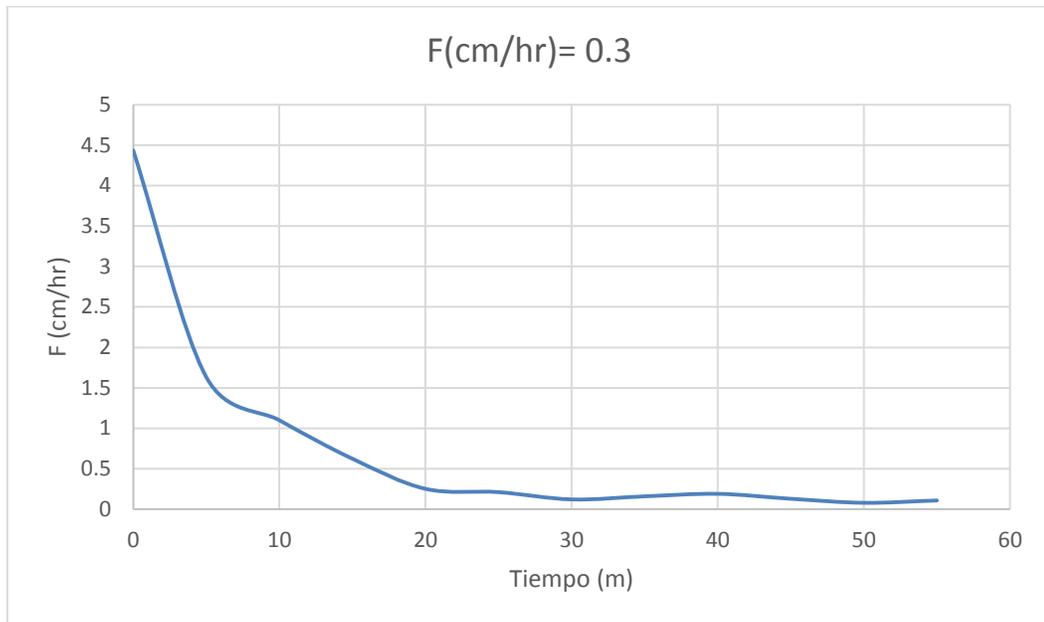


Figura 27. Comportamiento de infiltración montañas volcánicas + bosque natural.

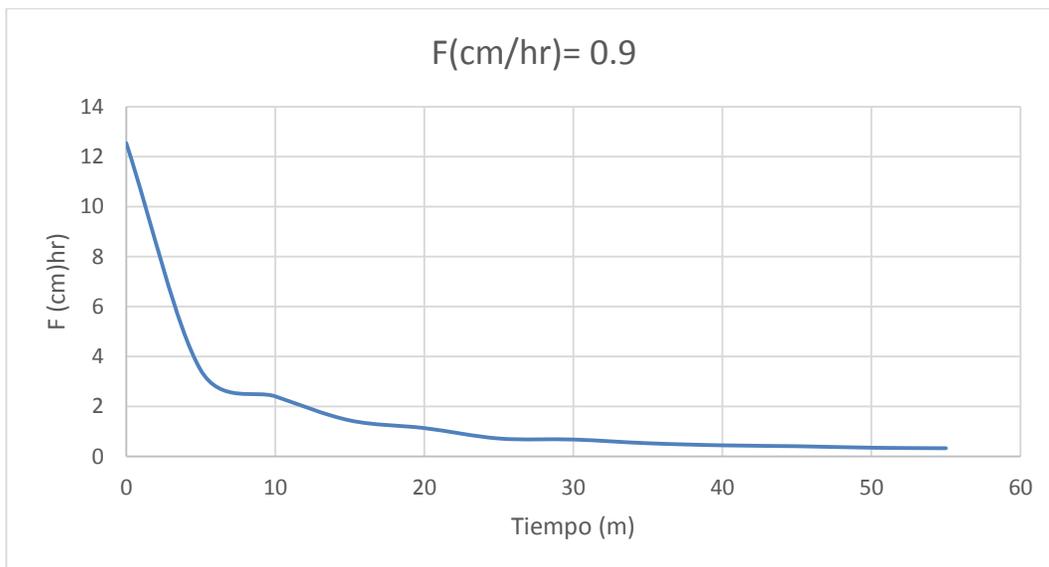


Figura 28. Comportamiento de infiltración Montañas volcánicas + cultivos.

2.5.8. Hidrografía.

2.5.8.1. La curva hipsométrica.

Mostrada a continuación indica que si bien existen cambios significativos de pendientes a lo largo del eje longitudinal de la misma, no muestra cambios bruscos de la parte alta, media y baja, en lo que respecta al área de influencia de cada una de ellas es decir que las altitudes están representadas en igual proporción dentro de la micro cuenca, esto básicamente se explica porque la forma del sistema de drenaje en la parte alta es más angosta (figura 29).

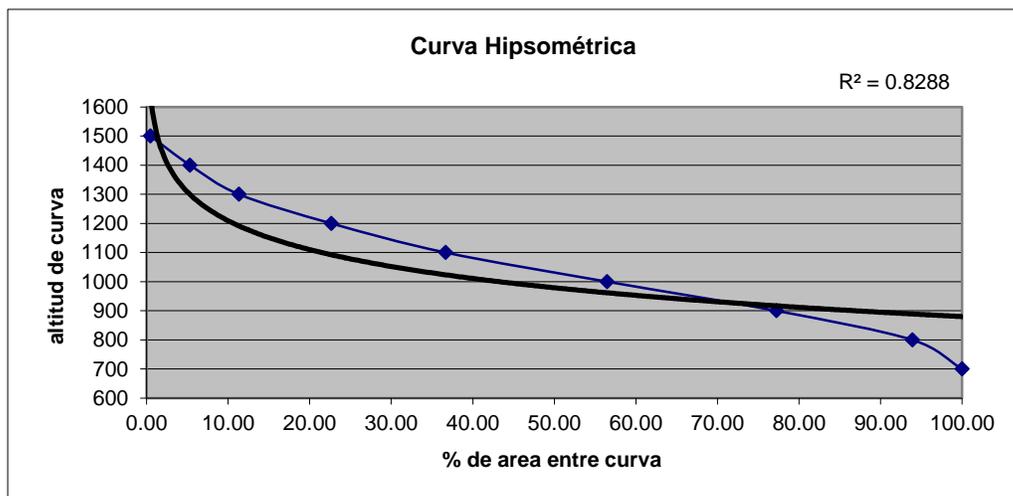


Figura 29. Curva Hipsométrica de la micro cuenca.

2.5.8.2. Pendiente media de la micro cuenca.

El cálculo es de 33.33 %, el cauce principal tiene una pendiente de 1.95 % lo cual se considera bajo, es decir que si bien no es un cauce estable, la pendiente no es tan abrupta, por lo que el río transcurre en una formación de taludes pronunciados durante la mayor parte del recorrido.

2.5.8.3. Orden de corrientes.

En el cuadro 15, se presenta el orden de corrientes dentro de la micro cuenca.

Cuadro 15. Orden de corrientes dentro de la micro cuenca

Orden de Corrientes	Número de Corrientes	Longitud de Corrientes (km)
1	17	9,8
2	12	9,2
3	10	10,44
4	7	7,68
5	1	16,75
Totales	50	53.87

2.5.8.4. Aspectos de superficie

- Área de la cuenca (método de la cuadrícula) 47.62 km².
- Forma de la cuenca: 0,125 = cuenca alargada.
- Densidad de drenaje: 1,53
- Frecuencia o densidad de corrientes: 1,41

2.5.8.5. Aspectos lineales

- Radio de bifurcación medio: 2,25 km.
- Longitud media de corrientes: 1.08 km.
- Radio de longitud medio: 3,804 km.
- Longitud acumulada de corrientes: 53,87 km.

2.5.9. Evapotranspiración.

2.5.9.1. Método de ETP (Hargreaves)

El cálculo de la evapotranspiración se realizó al hacer uso de los datos obtenidos de las estaciones meteorológicas del INSIVUMEH y la estación ubicada en el municipio de San Pedro Ayampuc (cuadro 16).

Cuadro 16. Cálculos de evapotranspiración para un periodo de 12 meses.

Mes	° C	° F	HR	S	No. Días	RMM	RSM	ETP (mm)	ETP (cm)
Enero	17.4	63.32	80	55.90	31	377.61	211.75	100.56	10.06
Febrero	18.2	64.76	78	58.63	28	375.84	215.84	104.83	10.48
Marzo	18.5	65.3	77	59.95	31	458.30	266.13	130.34	13.03
Abril	20.4	68.72	76	61.24	30	472.89	277.54	143.05	14.30
Mayo	19.9	67.82	80	55.90	31	497.55	279.00	141.92	14.19
Junio	19.6	67.28	88	43.30	30	481.44	237.60	119.89	11.99
Julio	19.8	67.64	85	48.41	31	497.86	259.80	131.80	13.18
Agosto	19.5	67.1	86	46.77	31	494.45	253.61	127.63	12.76
Septiembre	19.4	66.92	90	39.53	30	458.91	216.39	108.61	10.86
Octubre	19.5	67.1	90	39.53	31	433.69	204.50	102.92	10.29
Noviembre	18.9	66.02	90	39.53	30	376.80	177.68	87.98	8.80
Diciembre	17.7	63.86	86	46.77	31	365.65	187.55	89.83	8.98
Total								1389.34	138.93

2.5.10. Suelos

Los suelos originados a partir de materiales metamórficos y volcánicos presentes en los diferentes paisajes mencionados anteriormente son diversos. Los factores formadores del suelo, especialmente el relieve y el clima son determinantes en la configuración de los suelos del área. La precipitación pluvial en los últimos años y las altas pendientes favorecen el proceso de meteorización en diferente forma y el desgaste posterior de los mismos.

2.5.10.1. Serie de suelos Guatemala fase pendiente

Se observó, profundidades menores a los 20 cm. La parte superficial erosionada debido a que ocupan pendientes en el rango del 36 % al 55 %, en el análisis de laboratorio se determinó una clase textural Franco Arcillo-Arenoso, de color gris oscuro, densidad aparente 1.3333 g/cm³ y constantes de humedad (capacidad de campo 23.24 % y Punto de marchites permanente 16.24 %). La observación de campo y el análisis de laboratorio de la muestra de suelo, permitieron corroborar que las características indicadas en el estudio realizado por Simmons, Tarano y Pinto aún se mantienen en la zona. Esto debido a que las características físicas de textura no tienden a cambiar con el tiempo más aún si no hay un dinamismo de los factores y procesos formadores del suelo. Esta serie ocupa un 18.25 % del área total de la micro cuenca del río Frio.

2.5.10.2. Serie de suelos Guatemala.

En esta área se realizaron 2 muestreos en cada sitio donde se ubicarán los polígonos hechos con QGis 2.2®. El análisis de laboratorio de la muestra permitió establecer que tienen una textura franco-arcillosa y franco arcillo arenosa y la densidad aparente 1.4815 g/cm³ y 1.9048 g/cm³, color gris oscuro a negra, capacidad de campo 17.32 % y 16.42 %, y Punto de marchitez permanente 9.50 % y 9.25 %, para cada una de las muestras. En la observación de campo se verificó que los horizontes superficiales han sido removidos por procesos de erosión y no se han agregado

nuevos, debido a que se han desarrollado actividades de agricultura limpia con cultivos de maíz y frijol en su mayoría. Esta serie representa el 78.75 % del área total.

2.5.10.3. Áreas fragosas.

Áreas de suelos ubicadas en la parte baja de la micro cuenca donde por la topografía, la formación de suelos es casi nula debido a las pendientes muy abruptas, que provocan la erosión y sedimentación de materiales orgánicos formadores de suelos hacia el cauce del río.

La descripción de los suelos de la micro cuenca se realizó en función del estudio de Simmons, Tarano y Pinto (1,959); del reconocimiento de suelos de Guatemala, donde se describen las unidades de suelo a nivel de series (figura 30).

Mapa de Serie de Suelos, Microcuenca Río Frío San Raymundo, Guatemala

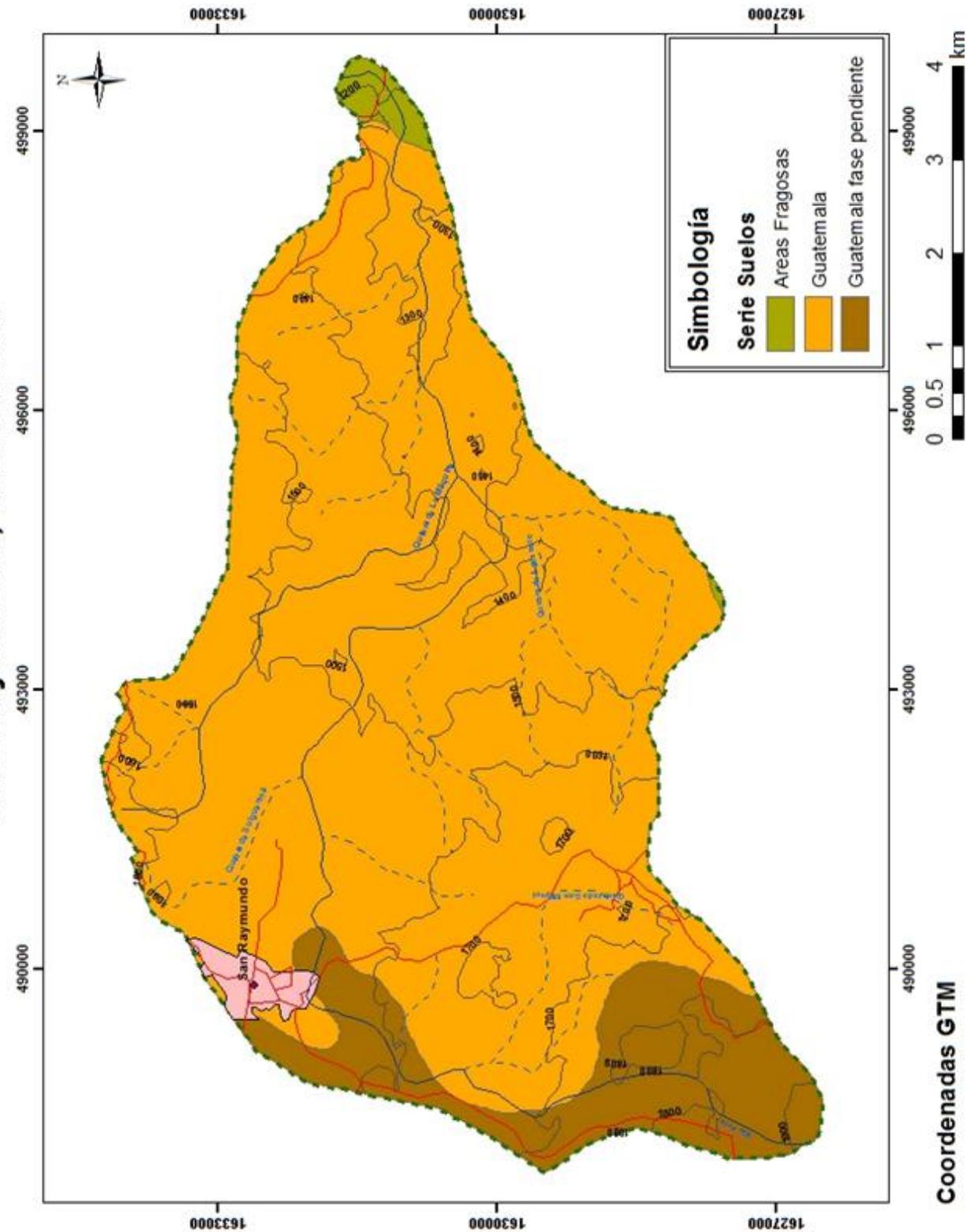


Figura 30. Serie de suelos de la micro cuenca según Simmons, Tarano y Pinto.

2.5.11. Zonas de muestreo

Al montar las capas de la fisiografía suelos y cobertura se identificaron zonas de muestreos (figura 31) para medir los parámetros de infiltración, capacidad de campo evapotranspiración, y puntos de marchitez permanente de cada zona. Esta información es básica para el cálculo del balance hídrico.

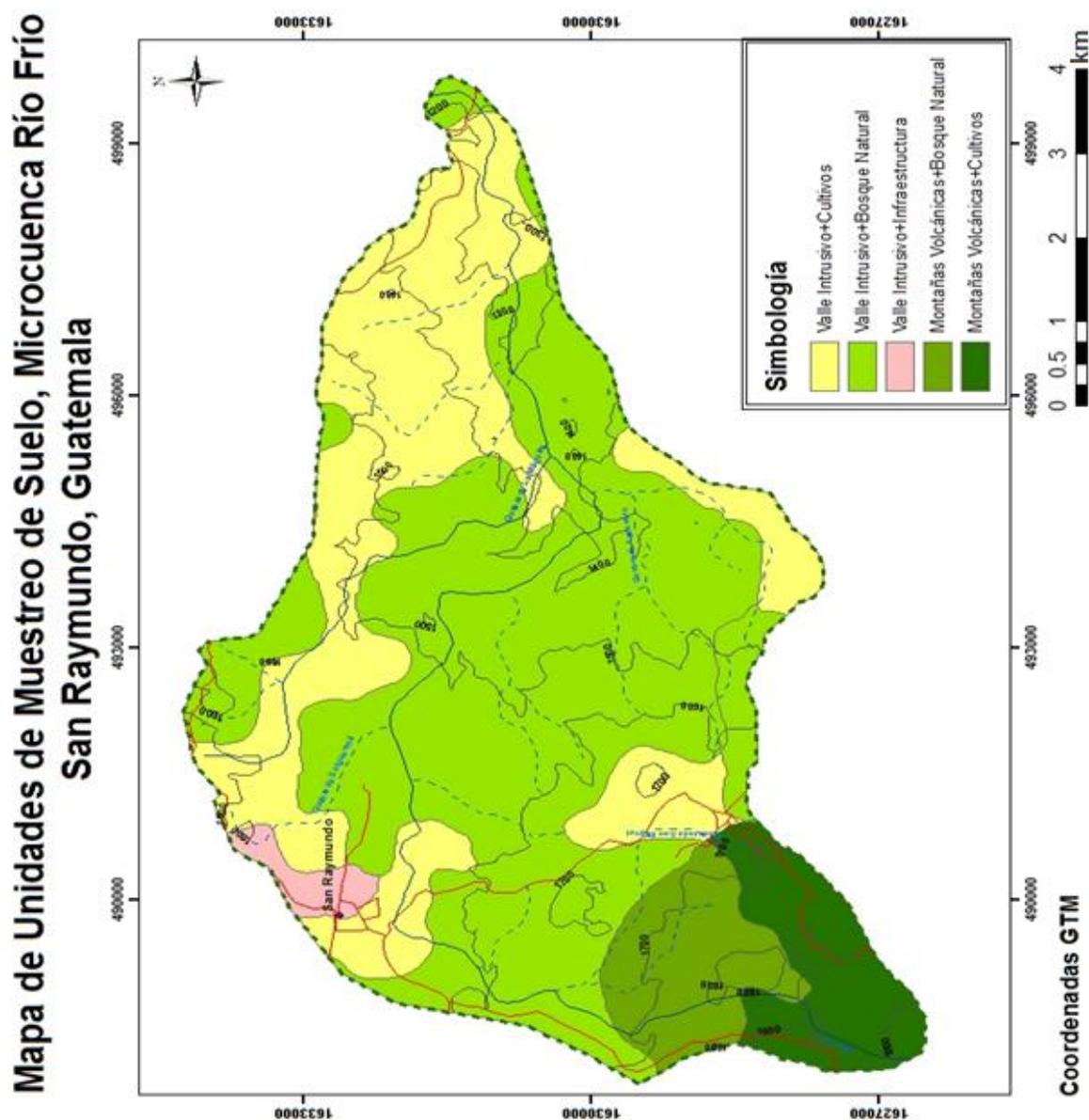


Figura 31. Mapa de unidades de muestreo de suelos, micro cuenca del Río Frío.

2.5.12. Balance hídrico

En el cuadro 17, se presenta el balance hídrico de las zonas de muestreo.

Cuadro 17. Balance hídrico de las zonas de muestreo delimitadas.

Unidad	Recarga (mm)	Recarga (m)	Área (ha)	Área (m ²)	Área (Km ²)	% Área	Vol. Recarga (m ³)	Recarga total m ³ /km/año	Rango de Recarga
Infraestructura+ macizo Intrusivo	8.11	0.00811	72.81	728100	0.7281	1.53	5904.891	8110	Baja
Bosque+macizo Intrusivo	0	0	2546.99	25469900	25.469	53.48	0	0	Sin Recarga
Cultivo+macizo Intrusivo	113.7	0.1137	1475.49	14754900	14.754	30.98	1677632.13	113700	Media
Bosque+Montañas Volcánicas	288.78	0.28878	330.92	3309200	3.3092	6.95	955630.776	288780	Alta
Cultivo+Montañas Volcánicas	229.01	0.22901	336.24	3362400	3.3624	7.06	770023.224	229010	Alta
TOTAL	639.6	0.6396	4762.45	47624500	47.624	100.00	3409191.02		

Los volúmenes de recarga en cada unidad de estudio son resultado de la intersección de las características de cobertura, suelo y material geológico, y muestra de qué manera se recarga cada una de las combinaciones presentadas en el cuadro anterior.

Muy alta: > de 300,000 m³/km²/año.

Alta: entre 150,000 a 300,000 m³/km²/año.

Media: entre 50,000 a 150,000 m³/km²/año.

Baja: < de 50,000 m³/km²/año.

Sin recarga

Se puede definir que las áreas con mayor recarga hídrica son aquellas ubicadas en las montañas volcánicas donde el uso de la tierra es agrícola y forestal. A nivel más detallado, se puede inferir en que los suelos de la Serie Guatemala es la que más aporte de agua hacen a los acuíferos,

independientemente al uso que se le esté dando al suelo, esto hace pensar que las propiedades físicas del suelo como lo son su relación granulométrica, estructura, porosidad y densidad; en conjunto hacen que sea eficiente para captar precipitación. Estos aportes se observan en la zona de recarga de infraestructura que se encuentra sobre suelos Guatemala.

2.5.13. Red de flujo de aguas subterráneas.

En la figura 32, se presenta el mapa de redes de flujo de la microcuenca

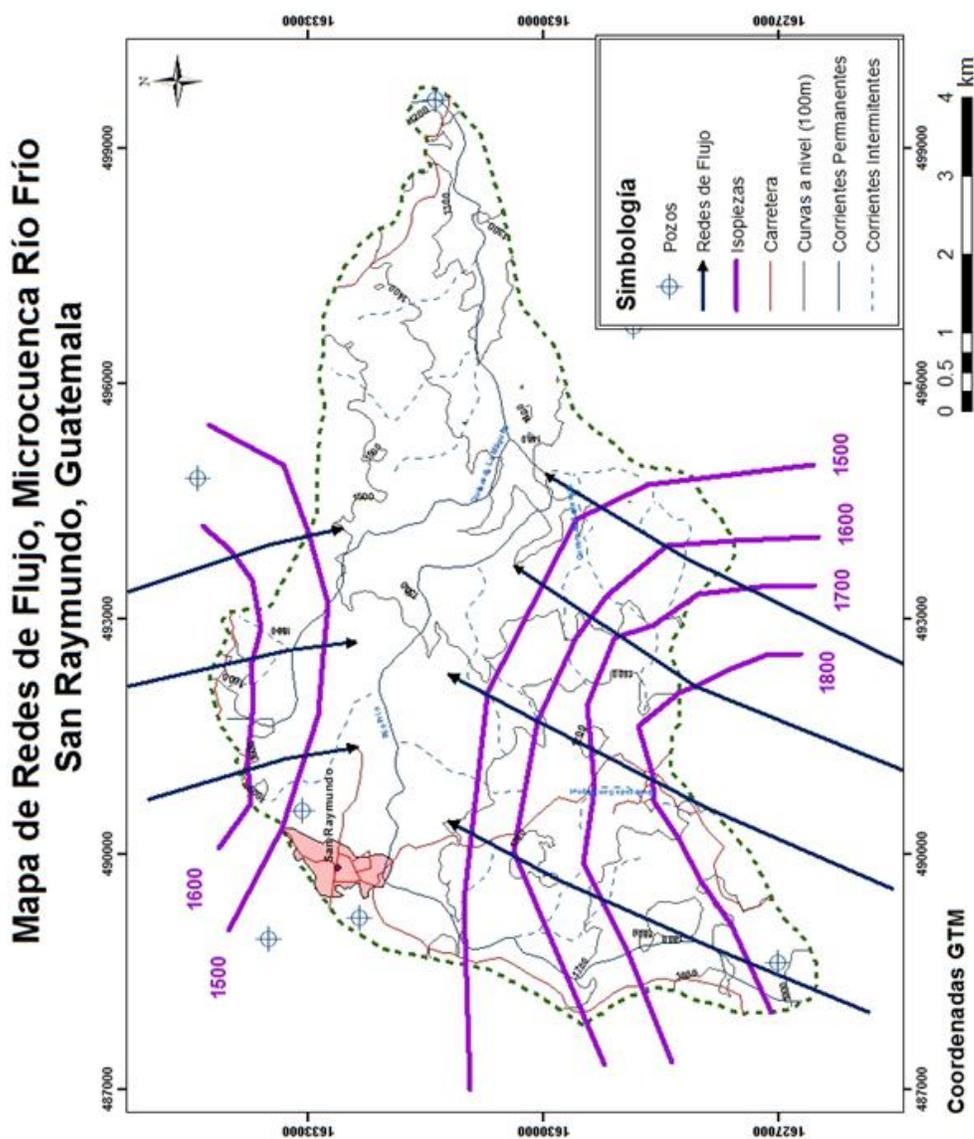


Figura 32. Mapa de redes de flujo, micro cuenca del Rio Frio.

2.6. CONCLUSIONES

1. Es importante considerar que los acuíferos del que se extrae el agua en el pozo San Raymundo, que abastece a la mayoría del casco urbano, tiene su origen en el parteaguas norte, donde deben realizarse actividades de protección de zonas de recarga. Otra consideración importante es notar que el área que ocupa este acuífero dentro de la micro cuenca lo muestra como un reservorio que es alimentado por infiltración in situ.
2. El acuífero descrito por los estudios hechos en el pozo La Unión ubicado en la finca Concepción, es un acuífero alimentado en zonas de recarga que se encuentran en su mayoría fuera de los límites municipales de San Raymundo, dentro de los límites municipales de San Pedro Sacatepequez y San Juan Sacatepequez.
3. La micro cuenca en más del 80 % de su área se encuentra ubicada sobre el macizo intrusivo de San Raymundo, por lo que las aguas subterráneas no son una opción para las comunidades que se encuentren en la parte media y baja de esta.

2.7. RECOMENDACIONES

1. Al continuar con la construcción de infraestructura, dentro del área del casco urbano, sin consideraciones técnicas para mantener la infiltración, disminuirá en el corto plazo la disponibilidad de agua para la población. Por lo que se recomienda crear un reglamento municipal de construcción que contemple dejar un porcentaje del área de los terrenos sin pavimentación donde puedan construirse drenajes de tipo francés que ayuden a la infiltración del agua.
2. Debe ser considerado por las autoridades municipales que la mayor parte de zonas de recarga hídrica en la parte alta de la micro cuenca se encuentran en los municipios aledaños de San Juan Sacatepequez y San Pedro Sacatepequez. Por lo que se recomienda, crear alianzas que los lleve a formular estrategias de conservación mancomunadas, con los municipios de San Juan Sacatepéquez y San Pedro Sacatepéquez.
3. Ante la situación de que aproximadamente el 80 % del área de la micro cuenca se encuentra sobre el macizo intrusivo, se recomienda tomar medidas de protección y conservación suelos y la cobertura forestal en la parte alta de la micro cuenca, con el objetivo de obtener una mayor cantidad y calidad de aguas superficiales, aptas para ser utilizadas, de lo contrario la escasez del recurso será un problema que enfrentar en el corto plazo.

CAPÍTULO III

SERVICIOS REALIZADOS EN LA UNIDAD ESPECIAL DE EJECUCIÓN BOSQUES Y AGUA PARA LA CONCORDIA

3.1. SERVICIOS PRESTADOS

- Realizar la ubicación de los polígonos de reforestación establecidos en el departamento de Guatemala.
- Cuantificación del área de cobertura actual de las plantaciones.
- Formular y desarrollar el plan de mantenimiento para el Polígono los Cubes, en el municipio de Palencia.

3.2. METODOLOGÍA

3.2.1. Fase de gabinete 1

Identificación de la ubicación geográfica de los polígonos de reforestación en los cuales se desarrollaron las actividades de mediciones dasométricas, y establecimiento del número de árboles por hectárea.

3.2.2. Fase de campo

Desarrollo del cronograma de actividades planificadas en la fase de gabinete.

3.2.3. Fase de gabinete final

- Procesamiento de la información recabada en la fase de campo.
- Elaboración del informe final
- Presentación de los resultados.

3.3. RESULTADOS

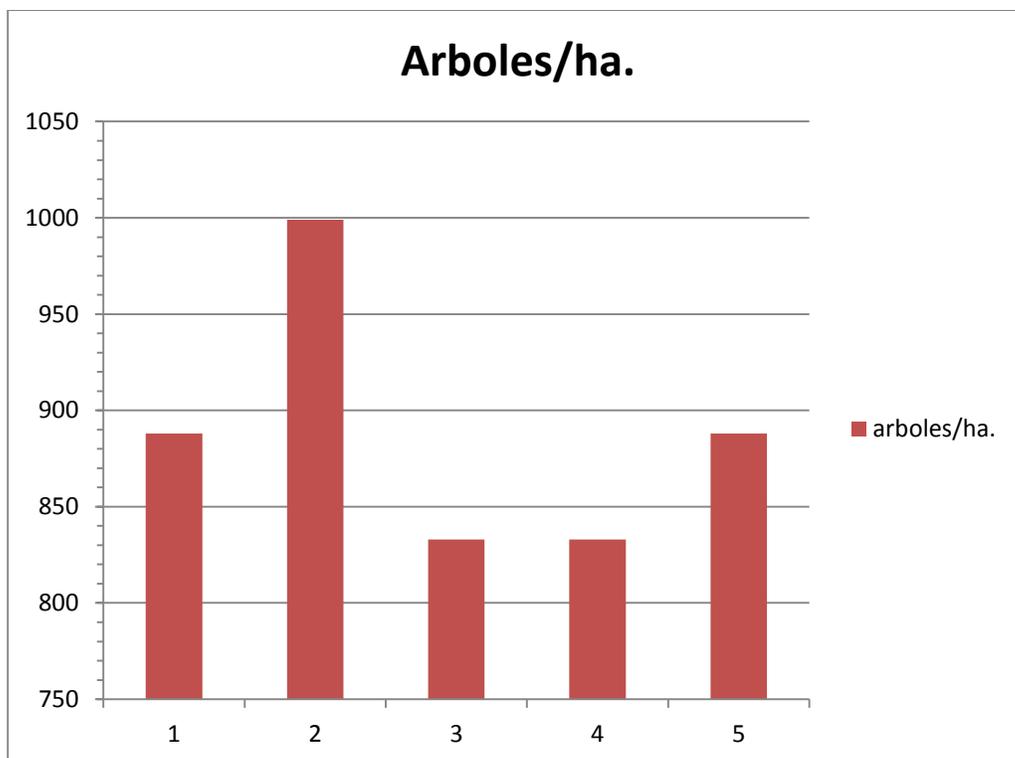
Al observar el promedio de las diferentes variables presentadas, se determina que el proyecto en donde mayor es la densidad de árboles por hectárea, menor es el DAP, encontrándose esta situación en los polígonos El Porvenir, y San Juan Buena Vista (cuadro 18).

Cuadro 18. Información cuantitativa de las Parcelas de Muestreo levantadas dentro de cada polígono.

No.	Nombre	Año de siembra	Área m ²	Especie	Densidad árboles/ha.	Altura promedio	DAP (cm.)
1	El Porvenir	2008	1000	<i>Cupressus lusitánica</i>	888	1.8	5
2	San Juan Buena Vista	2008	1000	<i>Cupressus lusitánica</i>	999	1.8	10
3	Los Cubes	2010	1000	<i>Pinus maximinoi</i>	833	1.25	8
4	La Ventana	2010	1000	<i>Cupressus lusitánica</i>	833	1.6	10
5	Escuela Politécnica	2008	1000	<i>Pinus maximinoi</i>	833	2.05	14

Fuente: elaboración propia, 2017.

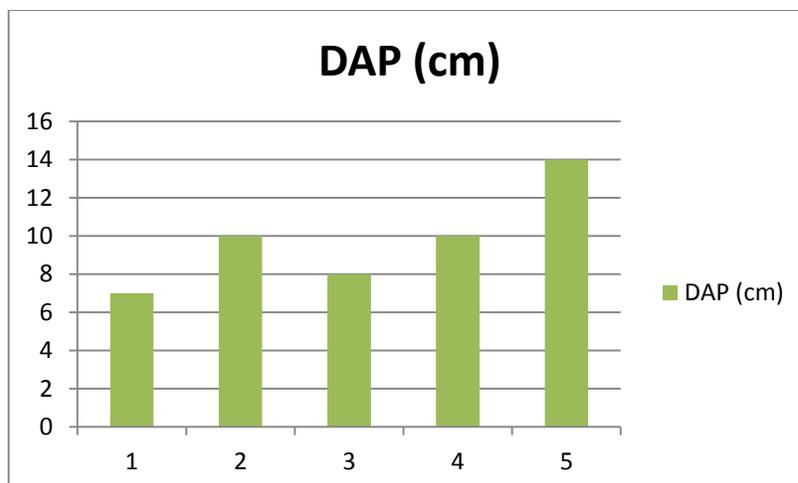
La gráfica (figura 33) muestra que el polígono San Juan Buena Vista y El Porvenir tienen la densidad de árboles más alta. Se determinó que en realidad el número de árboles inicialmente no fue el adecuado (mayor a 1111/ha) además de que ha tenido un alto porcentaje de supervivencia (89%) disminuyendo la posibilidad de crecer con características ideales. El polígono Escuela Politécnica muestra una mejor densidad para su edad lo cual es lógico debido a que ha recibido mantenimiento silvicultural desde su establecimiento por la institución. Los polígonos Los Cubes y La Ventana fueron establecidos un año después con una mejor planificación y dirección en su establecimiento.



Fuente: elaboración propia, 2017.

Figura 33. Densidad por polígono de reforestación

La variable DAP (figura 34) nos muestra el efecto de la elevada densidad y la falta de intervención silvicultural dentro de los polígonos El Porvenir y San Juan Buena Vista con los menores valores de crecimiento anual promedio, 0.5 cm. Contrario a estos polígonos, Escuela Politécnica presenta las mejores condiciones, efecto del mantenimiento forestal. Los cubes y la ventana y se considera su establecimiento dos años después muestran mejor desarrollo en el DAP.



Fuente: elaboración propia, 2017.

Figura 34. DAP promedio por polígono de reforestación.

La variable altura (figura 35) confirma los efectos que se tienen cuando un polígono no cuenta con mantenimiento debido ya que las alturas en El Porvenir, San Juan Buena Vista y Escuela Politécnica son muy similares por el tiempo en que fueron establecidos, sin embargo el desarrollo en diámetro en el polígono Escuela Politécnica es superior a los dos anteriores.



Fuente: elaboración propia, 2017.

Figura 35. Altura promedio por polígono de reforestación.

Cuadro 19. Área por polígono medida durante el desarrollo de los servicios.

Nombre polígono	Municipio	Hectáreas
El Porvenir	Villa Canales	35
San Juan Buena Vista	San Pedro Sacatepéquez	20
Los Cubes	Palencia	20
La Ventana	San José Pinula	6
Escuela Politécnica	San Juan Sacatepéquez	2
Total		83

Fuente: elaboración propia, 2017.

Dentro de las actividades para el manejo de los polígonos edintificados se propuso darle el manejo forestal adecuado a los polígonos de Los Cubes y San Juan Buena Vista, logrando aun dentro de este ejercicio la realización del manejo del polígono Los Cubes.

Se realizó como primer paso la elaboración de un expediente de registro que permitiera la identificación de los polígonos y guardara el registro de la actividad y la fecha en que se hizo la intervención forestal. El expediente fue avalado por el departamento de desarrollo forestal de la Unidad Especial de Ejecución de Bosques y Agua para la Concordia (figura 36, 37, 38, 39).

Este expediente se compuso de los siguientes elementos:

- ✓ Formulario de evaluación de terrenos para mantenimiento
- ✓ Plano de ubicación del polígono
- ✓ Plano de acceso al polígono
- ✓ Croquis de ubicación



Viceministerio de Desarrollo Económico Rural
Programa Bosques y Agua para la Concordia

EVALUACION DE TERRENOS PARA MANTENIMIENTO

Nombre del Técnico: Julio Roberto Curup Chavac

Fecha de evaluación: Diciembre 2012

DATOS DEL TERRENO

Nombre del terreno: Los Cubes

Representante legal y/o propietario: Ramiro Pérez Hernández

Ubicación: Aldea los Cubes

Municipio: Palencia Departamento: Guatemala

Coordenadas del polígono (WGS 4): X 486502 Y 1622975

Área Total (Ha): 24 Área disponible (Ha): 24 Área a utilizar (Ha): 2

CARACTERÍSTICAS DEL BOSQUE DEL POLÍGONO.

Espécie/s forestada/s: Pinus maximinoi

Distanciamiento: Entre surcos: 3 entre plantas: 3

Método de siembra: Al tres bolillo

Edad de la plantación: 3 años

Altura promedio 1.25 metros.

Presencia de plagas y enfermedades No. x Si: _____

Especifique _____

ACTIVIDADES DE MANTENIMIENTO:

Se encuentra limpio: Si _____, No. x Especifique: Esta plantación no ha recibido mantenimiento alguno desde su siembra _____

Plateo: Si _____ No x Poda Si _____ No x

ACTIVIDADES DE PROTECCIÓN:

Rondas perimetrales: No x Si _____, Especifique _____

Fajas Corta fuego No x Si _____, Especifique _____

Cercos Si _____ No x

DENSIDAD DE LA PLANTACIÓN

Árboles por hectárea: 825 árboles por hectárea. Porcentaje de prendimiento: 75%

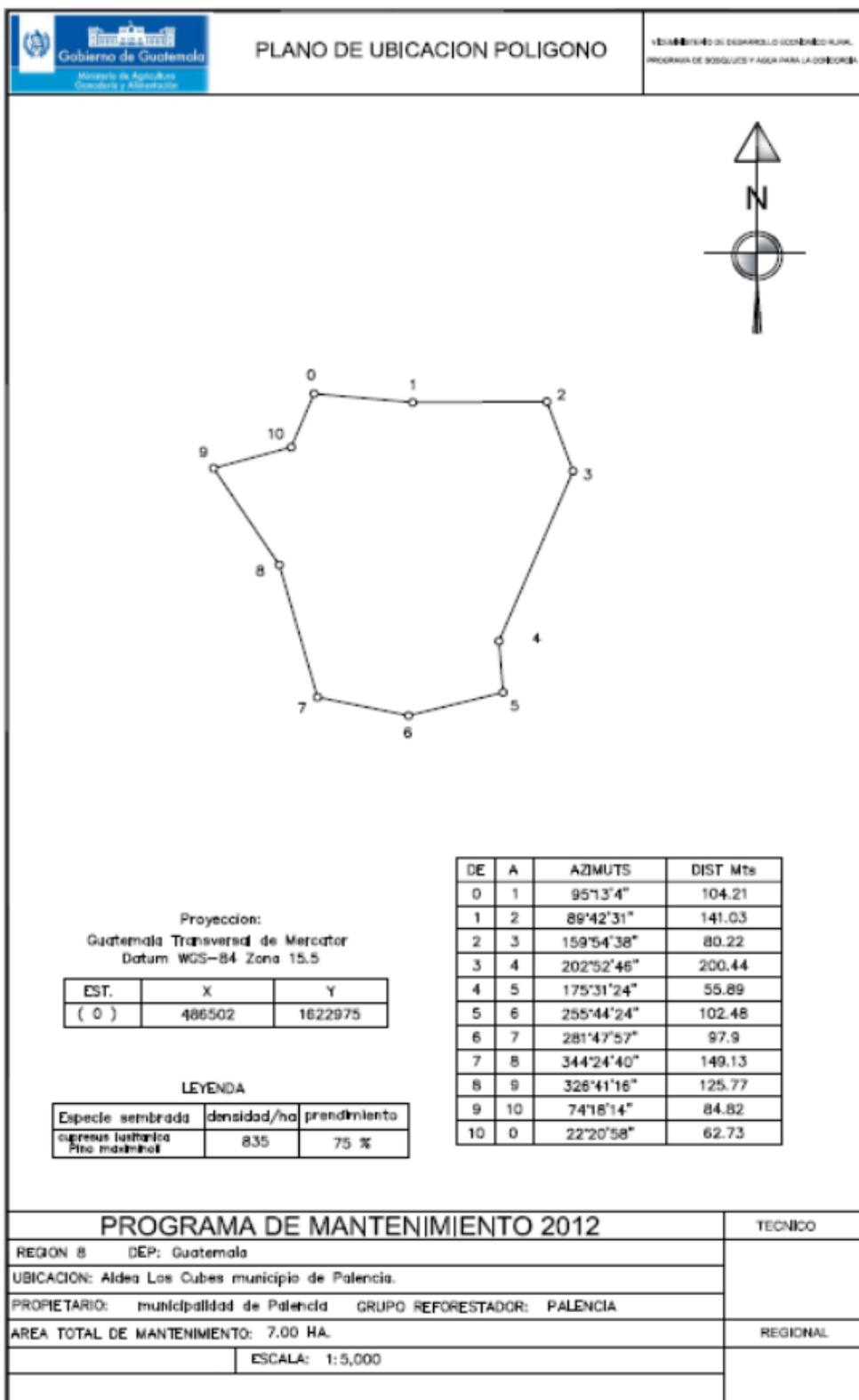
Recomendación:

Después de haber realizado la visita de campo se determinó lo siguiente: Este polígono debe ser intervenido con una limpieza del guatal para evitar incendios en el verano. No es recomendable la actividad de plateo en algunas partes del polígono porque la pendiente es mayor a 35% y en el suelo es muy susceptible a la erosión. Sin embargo se recomienda el plateo en las partes con menor pendiente. La poda aun nos es aplicable porque la altura del árbol no es la adecuada y el área foliar es baja.

Firma _____

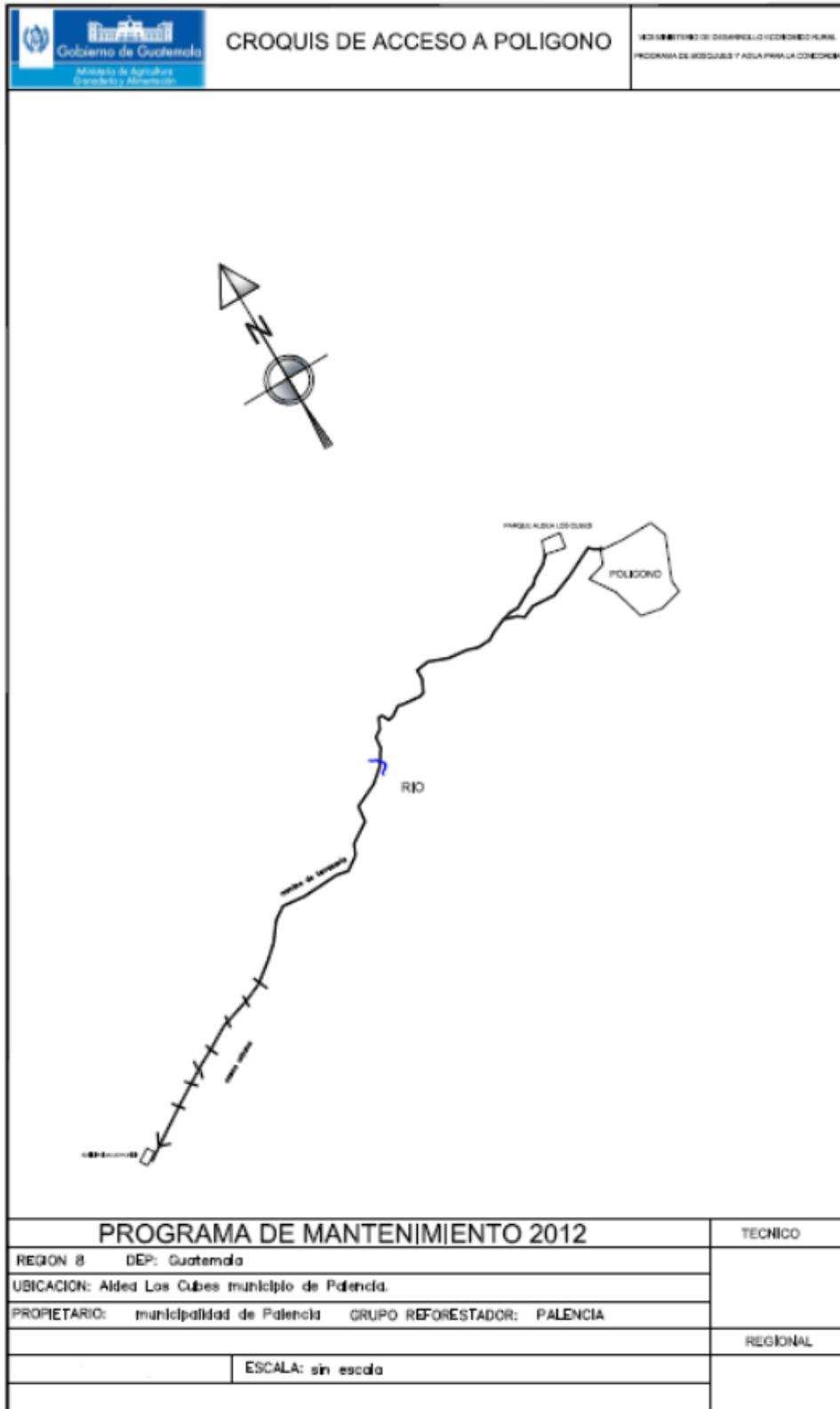
Fuente: Departamento de Desarrollo Forestal, Bosques y Agua Para la Concordia. 2014

Figura 36. Formulario de evaluación de terrenos para mantenimiento.



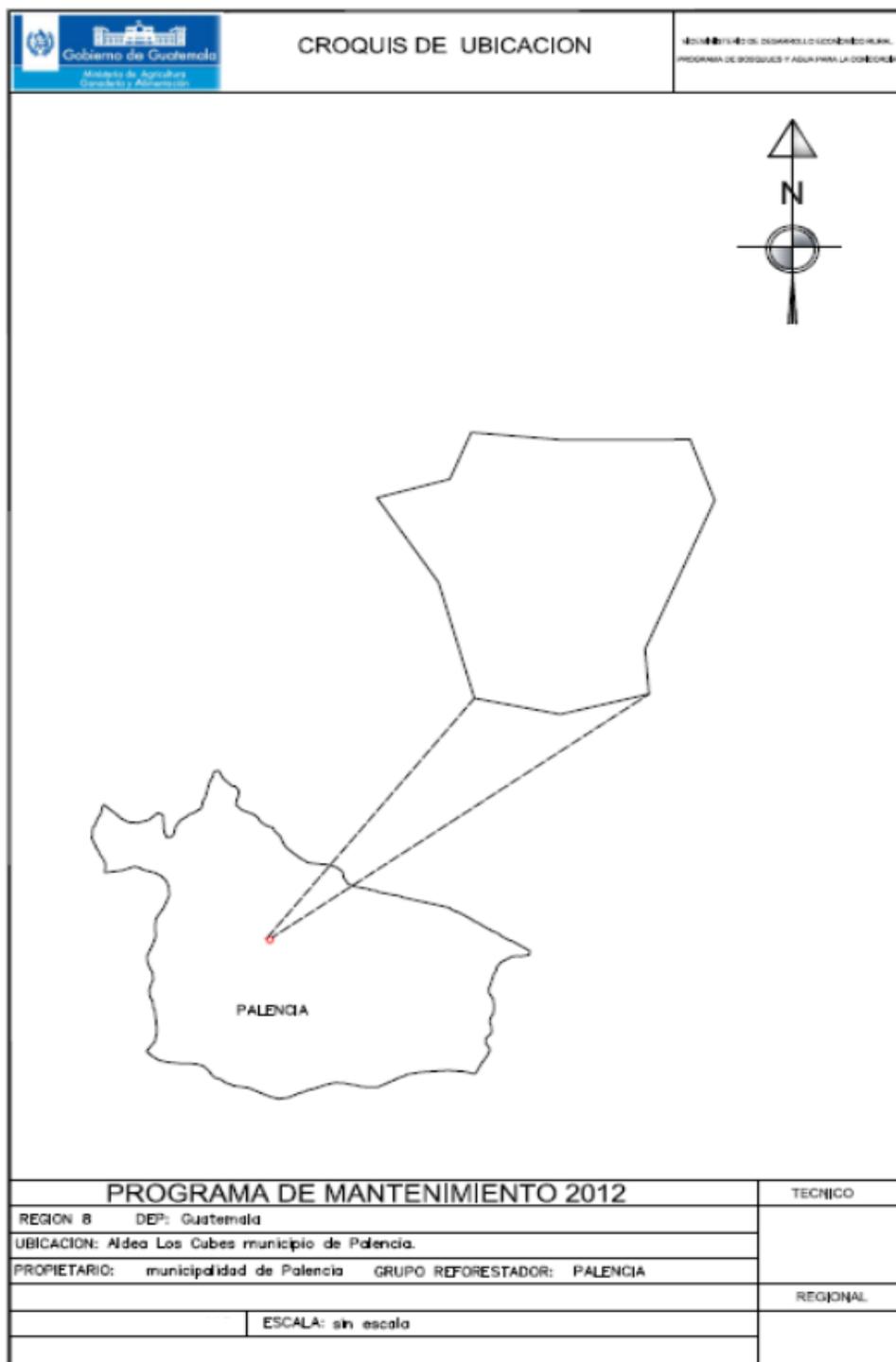
Fuente: Departamento de Desarrollo Forestal, Bosques y Agua Para la Concordia. 2014

Figura 37. Plano de ubicación del polígono.



Fuente: Departamento de Desarrollo Forestal, Bosques y Agua Para la Concordia. 2014.

Figura 38. Croquis de acceso al polígono.



Fuente: Departamento de Desarrollo Forestal, Bosques y Agua Para la Concordia. 2014.

Figura 39. Croquis de ubicación.

En el expediente se presentaron las consideraciones técnicas básicas para intervenir una plantación forestal, el cual fue establecido como formato general para todas las demás regiones del país.

Junto a este expediente se presentó un cuadro matriz elaborado por el Departamento de Desarrollo Forestal de la Unidad, el cual tenía como fin el registro de las personas, número de participantes, polígono reforestado por el programa, trabajo realizado y verificación de que fueran personas participantes del programa en los años anteriores en los que se realizaron las reforestaciones. Todo este expediente fue acompañado de un informe de fotografías (figura 40, 41, 42).

				MINISTERIO DE AGRICULTURA, GANADERIA Y ALIMENTACIÓN UNIDAD ESPECIAL DE EJECUCIÓN BOSQUES Y AGUA PARA LA CONCORDIA DEPARTAMENTO DE OPERACIONES DE DESARROLLO FORESTAL DEPARTAMENTO DE GUATEMALA											
MUNICIPIO	ASIGNADOS 2,012	Arboles a limpiar por municipio	Area a limpiar por municipio	REUNION CON LIDERES LOCALES		COMPARACIÓN DE LISTADOS (columna D vrs I)		NOMBRE Y UBICACIÓN DE POLIGONO		AREA		TIPO DE PROPIEDAD		SOLICITUDES	
				NOMBRE DEL ASISTENTE	FECHA	No. De personas depurada	Diferencia (+, -)	NOMBRE	UBICACIÓN	DISPONIBLE	A EMPLEAR	PRIVADA	ESTATAL	LLENADAS	ENVIADAS
AMATITLAN	8	800	0.727												
CHUARRANCHO	32	3200	2.909												
FRAIJANES	13	1300	1.182												
GUATEMALA	71	7100	6.455												
MIXCO	5	500	0.455												
PALENCIA	64	6400	5.818												
SAN JOSE DEL GOLFO	7	700	0.636												
SAN JOSE PINULA	46	4600	4.182												
SAN JUAN SACATEPEQUEZ	176	17600	16.000												
SAN MIGUEL PETAPA	13	1300	1.182												
SAN PEDRO AYAMPUC	8	800	0.727												
SAN PEDRO SACATEPEQUEZ	104	10400	9.455												
SAN RAYMUNDO	40	4000	3.636												
STA. CATARINA PINULA	3	300	0.273												
VILLA CANALES	148	14800	13.455												
VILLA NUEVA	10	1000	0.909												

Fuente: Departamento de Desarrollo Forestal, Bosques y Agua Para la Concordia. 2014.

Figura 40. Cuadro matriz de registro de actividades de mantenimiento.



Fuente: elaboración propia, 2017.

Figura 41. Actividades de intervención forestal polígono Los Cubes.



Fuente: elaboración propia, 2017.

Figura 42. Actividades de intervención forestal polígono Los Cubes.

3.4. CONCLUSIONES

1. Por los datos obtenidos de DAP y altura los proyectos con mayores problemas en el desarrollo de los árboles son El Porvenir y San Juan Buena Vista, debido a una mala planificación de la reforestación, en su marco de plantación y la densidad inicial. A esto se suma que durante un periodo aproximado de cinco años no hubo asistencia en técnicas de manejo y limpieza de la plantación por lo que muchos de los árboles fueron dominados por el monte, disminuyendo su desarrollo y muchos otros murieron afectados por la competencia de nutrientes y agua así como por la corta, por personas de la comunidad.
2. Los que presentan mayor desarrollo son el polígono La Ventana y Escuela Politécnica. El polígono Los Cubes presentó un mayor desarrollo que los polígonos El Porvenir y San Juan Buena Vista que en común tenían el estar establecidos en terrenos municipales. Cabe mencionar y subrayar que por estar en propiedad privada la intervención con actividades de mantenimiento por parte de propietarios y la institución permitieron el mejor desarrollo en altura y DAP. Esto es importante a considerar cuando instituciones de gobierno participen en programas forestales, puesto que comúnmente con los cambios de gobernantes estos son abandonados perdiéndose así grandes cantidades de recursos económicos.
3. Por la edad de las plantaciones es aun tiempo de nuevas intervenciones de manejo dentro de los polígonos con el objetivo de lograr el mejor desarrollo de los árboles de esta manera dar valor a los recursos invertidos por el gobierno en las actividades realizadas por el Programa de Bosques y Agua para la Concordia, durante el período que se tomó para la realización de este ejercicio supervisado.

4. BIBLIOGRAFÍA

1. Aparicio, M. 2001. Fundamentos de hidrología de superficie. México, Limusa. 303 p.
2. Cruz S, JR De La. 1982. Clasificación de zonas de vida de Guatemala a nivel de reconocimiento. Guatemala, INAFOR. 42 p.
3. Custodio, E; Llamas, MR. 2001. Hidrología subterránea. 2 ed. Barcelona, España, Omega. v. 1, 1157 p.
4. Herrera Ibáñez, I. 2004. Manual de hidrología. Guatemala, USAC, Facultad de Agronomía. 241 p.
5. IGN (Instituto Geográfico Nacional, GT). 1977. Mapa geológico de la república de Guatemala; hoja San Juan Sacatepéquez, no. 2059–IG. Guatemala. Esc. 1:50,000. Color.
6. _____1983. Mapa topográfico de la república de Guatemala; hoja 1524. Guatemala. Esc. 1:50,000. Color.
7. INAB (Instituto Nacional De Bosques, GT). 2000. Manual de Clasificación de Tierras por Capacidad de Uso. Instituto Nacional de Bosques. Ed. Guatemala, 96 p.
8. Informe de auditoría unidad ejecutora de bosques y agua para la concordia. Consultado 23 de enero 2013. Disponible en www/.maga.gob.gt/grupo4.pdf.
9. INSIVUMEH (Instituto Nacional de Sismología, Vulcanología, Meteorología e Hidrología, Departamento de Investigación y Servicios Hídricos, GT). 2005. Análisis regional de crecidas en la república de Guatemala: resumen ejecutivo. Guatemala 3 p.
10. INSIVUMEH (Instituto Nacional de Sismología, Vulcanología, Meteorología e Hidrología, GT). 2009. Registros Climáticos. Hojas electrónicas.
11. MAGA, (Ministerio de Agricultura, Ganadería y Alimentación, Guatemala) 1991. Plan Maestro de riego y drenaje, con énfasis en disponibilidad de agua subterránea, a nivel de la república de Guatemala. 75 p.
12. _____. 2000. fisiográfico - geomorfológico de la república de Guatemala. Guatemala (Memoria técnica). 120 p.

13. Martínez, E. 2001. Hidráulica fluvial, principios y práctica. Madrid, Ediciones Técnicas y Científicas. 382 p.
14. Monsalve Sáenz, G. 1999. Hidrología en la ingeniería. México, Alfa omega. 383 p.
15. Oliva E. 2012. Programa de bosques y agua para la concordia. (entrevista) ciudad de Guatemala, Guatemala. Unidad de bosques y agua para la concordia, Ministerio de agricultura ganadería y alimentación.
16. Padilla Cámbara, T; Salguero Barahona M; Orozco y Orozco, E. 2003. Metodología para la determinación de áreas de recarga hídrica natural: manual capacitación técnica. Guatemala, FAUSAC-INAB. 62 p.
17. Perfil de fideicomisos (en línea). Guatemala, Ministerio de Finanzas Públicas. Consultado 23 de enero 2013. Disponible en transparencia.minfin.gob.gt/Documento5Cfideicomisos.
18. SEGEPLAN (Secretaria de planificación y Programación de la Presidencia, Guatemala) 2010. Plan de desarrollo de San Raymundo, Guatemala 2010. Guatemala 84 p.
19. Simmons, CS; Tarano, JM; Pinto, JH. 1959. Clasificación de suelos de la república de Guatemala a nivel de reconocimiento. Guatemala. 1059 p.
20. Taracena H, JJ. 1999. Determinación de la disponibilidad del recurso hídrico subterráneo y propuestas de políticas y estrategias de uso en la cuenca del río Itzapa del departamento de Chimaltenango. Tesis Ing. Agr. Guatemala, USAC, Facultad de Agronomía. 103 p.



5. ANEXOS

5.1. Estratigrafía de pozos



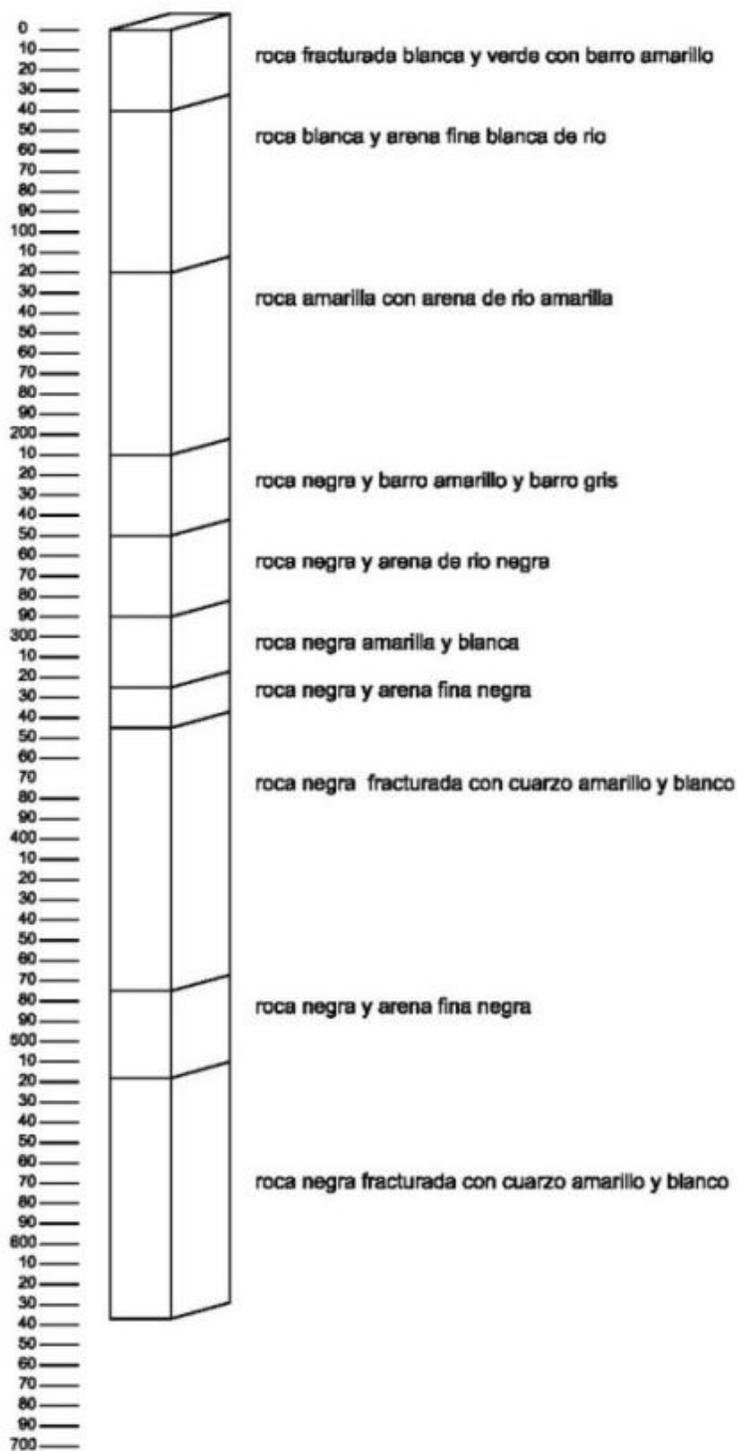
Fuente: Oficina de Planificación Municipal, San Raymundo, 2017.

Figura 43 A. Pozo Cabecera Municipal.



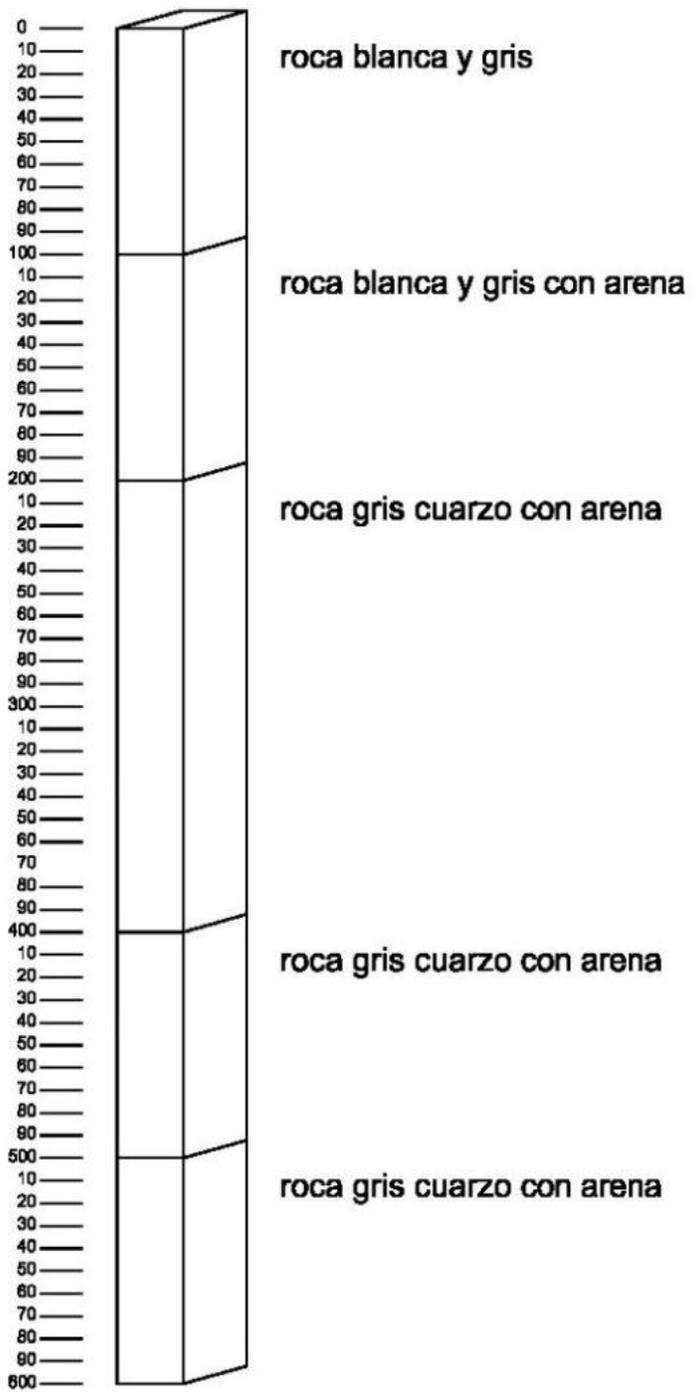
Fuente: Oficina de Planificación Municipal, San Raymundo, 2017.

Figura 44 A. Pozo La unión Finca Concepción



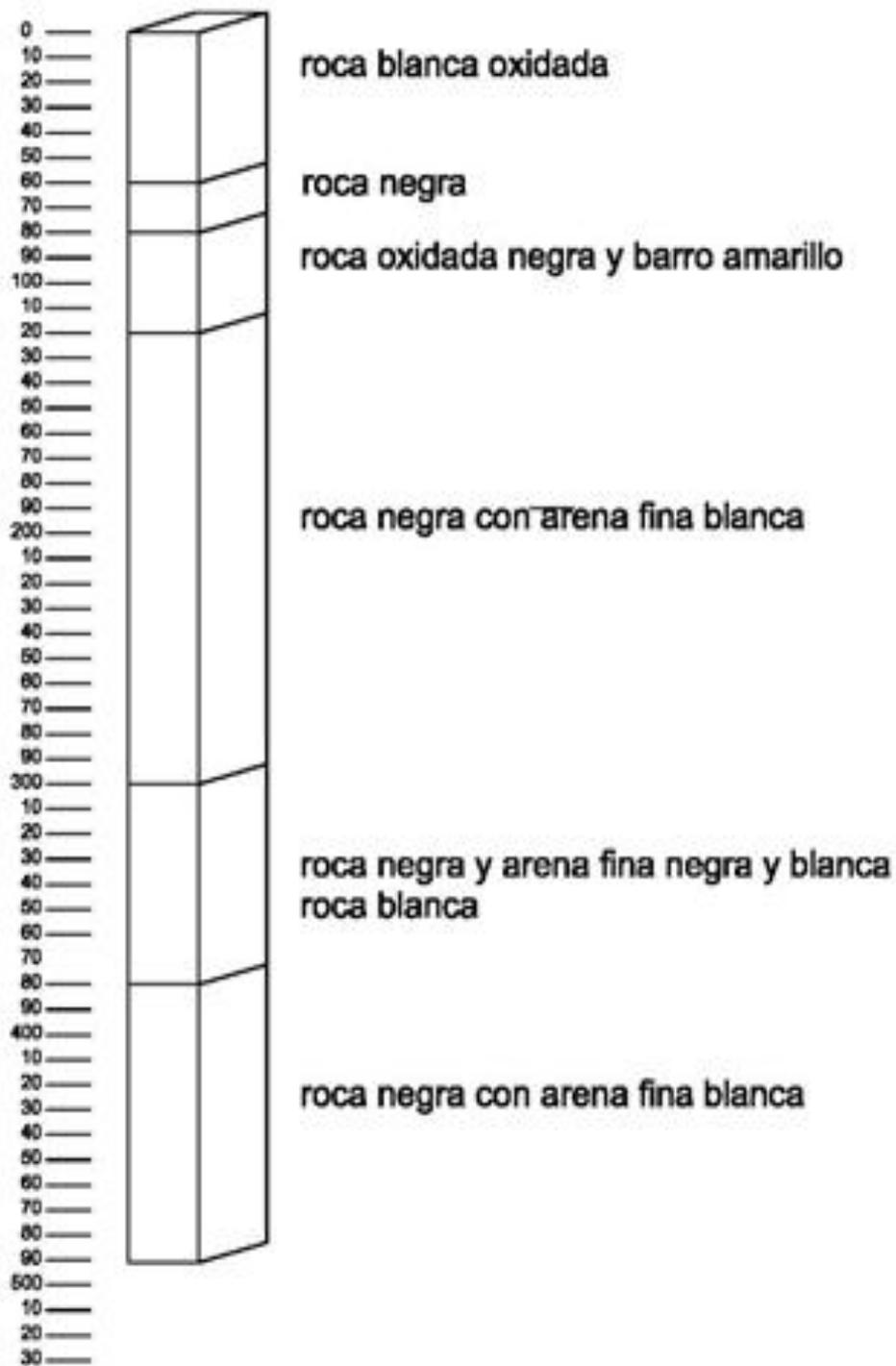
Fuente: Oficina de Planificación Municipal, San Raymundo, 2017.

Figura 45 A. Pozo 4 (Llano de la Virgen)



Fuente: Oficina de Planificación Municipal, San Raymundo, 2017.

Figura 46 A. Pozo 3 (Aldea el Ciprés)



Fuente: Oficina de Planificación Municipal, San Raymundo, 2017.

Figura 47 A. Pozo 1 (Aldea Concepción el Ciprés)

Cuadro 21 A. Balance hídrico de suelos de la zona de muestreo de las montañas volcánicas y cultivos anuales

BALANCE HÍDRICO DE SUELOS													
Zona de Estudio:	Montañas volcánicas+ Cultivos anuales												
Fecha:	Junio de 2013												
Textura de Suelo:	Franco Arcilloso												
Cultivo:	Cultivos anuales												
Simbología													
fc: Capacidad de Infiltración.							P: Precipitación Media Mensual.						
I: Infiltración.							Pi: Precipitación que infiltra.						
CC: Capacidad de Campo.							ESC: Escorrentía Superficial						
PM: Punto de Marchitez.							ETP: Evapotranspiración Potencial.						
PR: Profundidad de Raíces.							ETR: Evapotranspiración Real.						
(CC-PM): Rango de Agua Disponible.							HSi: Humedad de Suelo Inicial.						
DS: Densidad de Suelo.							HD: Humedad Disponible						
C1: Factor de ETP, por cierre de estomas, antes que ocurra ETR							HSf: Humedad de Suelo Final.						
C2: Factor de ETP, por cierre de estomas, después que ocurre ETR							DCC: Déficit de Capacidad de Campo.						
Kp: Factor por pendiente (ver léame)							Rp: Recarga Potencial						
Kv: Factor por vegetación (ver léame)							NR: Necesidad de Riego.						
Kfc: Factor estimado con base a la prueba de infiltración							Ret: Retención de lluvia						
fc [mm/d]	216.00												
Kp [0.01%]	0.10												
Kv [0.01%]	0.10						Por peso						
Kfc [0.01%]	0.41						(%)						
I [0.01%]	0.61						(mm)						
DS (g/cm ³):	1.1565						CC 26.98 124.81						
PR (mm)	400.00						PM 19.53 90.35						
HSi (mm)	231.00						(CC-PM) 7.45 34.46						
Nº de mes con que inicia HSi;1,2,3...12?	1												
Lluvia retenida [0.01%] : Bosques=0.2, otros=0.1	0.12												
Concepto	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Total
P (mm)	278.0	13.8	9.3	1.7	0.7	1.2	7.2	146.5	171.6	125.4	196.8	297.3	1249.50
Ret [mm]	33.36	5.00	5.00	1.70	0.70	1.20	5.00	17.58	20.59	15.05	23.62	35.68	164.47
Pi (mm)	149.23	5.37	2.62	0.00	0.00	0.00	1.34	78.64	92.11	67.31	105.64	159.59	661.87
ESC (mm)	95.41	3.43	1.68	0.00	0.00	0.00	0.86	50.28	58.89	43.04	67.54	102.03	423.16
ETP (mm)	102.92	87.98	89.83	100.56	104.83	130.34	143.05	141.92	119.89	131.8	127.63	108.61	1389.36
HSi (mm)	231.00	124.81	90.35	90.35	90.35	90.35	90.35	90.35	98.03	124.81	124.81	124.81	
C1	1.00	1.00	0.08	0.00	0.00	0.00	0.04	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	
C2	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.36	1.00	
HD (mm)	289.88	39.83	2.62	0.00	0.00	0.00	1.34	78.64	99.80	101.78	140.11	194.05	
ETR (mm)	102.92	39.83	2.62	0.00	0.00	0.00	1.34	70.96	59.95	65.90	86.92	108.61	539.05
HSf (mm)	124.81	90.35	90.35	90.35	90.35	90.35	90.35	98.03	124.81	124.81	124.81	124.81	
DCC (mm)	0.00	34.46	34.46	34.46	34.46	34.46	34.46	26.78	0.00	0.00	0.00	0.00	
Rp (mm)	152.50	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	5.39	1.41	18.73	50.98	229.01
NR (mm)	0.00	82.61	121.67	135.02	139.29	164.80	176.17	97.74	59.95	65.90	40.71	0.00	1083.88

Fuente: elaboración propia, 2017.

Cuadro 23 A. Balance hídrico de suelos del valle intrusivo y bosque.

BALANCE HÍDRICO DE SUELOS													
Zona de Estudio:	Valle Intrusivo + Bosque												
Fecha:	Junio de 2013												
Textura de Suelo:	Limo Arcilloso												
Cultivo:	Bosque												
Simbología													
fc: Capacidad de Infiltración.											P: Precipitación Media Mensual.		
I: Infiltración.											Pi: Precipitación que infiltra.		
CC: Capacidad de Campo.											ESC: Escorrentía Superficial		
PM: Punto de Marchitez.											ETP: Evapotranspiración Potencial.		
PR: Profundidad de Raíces.											ETR: Evapotranspiración Real.		
(CC-PM): Rango de Agua Disponible.											HSi: Humedad de Suelo Inicial.		
DS: Densidad de Suelo.											HD: Humedad Disponible		
C1: Factor de ETP, por cierre de estomas, antes que ocurra ETR											HSf: Humedad de Suelo Final.		
C2: Factor de ETP, por cierre de estomas, después que ocurre ETR											DCC: Déficit de Capacidad de Campo.		
Kp: Factor por pendiente (ver léame)											Rp: Recarga Potencial		
Kv: Factor por vegetación (ver léame)											NR: Necesidad de Riego.		
Kfc: Factor estimado con base a la prueba de infiltración											Ret: Retención de lluvia		
fc [mm/d]	12.00												
Kp [0.01%]	0.15												
Kv [0.01%]	0.10										Por peso		
Kfc [0.01%]	0.2										(%)		
I [0.01%]	0.45										(mm)		
DS (g/cm ³):	1.0900										CC	42.00	457.80
PR (mm)	1000										PM	32.62	355.56
HSi (mm)	231.00										(CC-PM)	9.38	102.24
Nº de mes con que inicia HSi;1,2,3...12?	1												
Lluvia retenida [0.01%] : Bosques=0.2, otros=0.1	0.12												
Concepto	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Total
P (mm)	278.0	13.8	9.3	1.7	0.7	1.2	7.2	146.5	171.6	125.4	196.8	297.3	1249.50
Ret [mm]	33.36	5.00	5.00	1.70	0.70	1.20	5.00	17.58	20.59	15.05	23.62	35.68	164.47
Pi (mm)	110.09	3.96	1.94	0.00	0.00	0.00	0.99	58.01	67.95	49.66	77.93	117.73	488.26
ESC (mm)	134.55	4.84	2.37	0.00	0.00	0.00	1.21	70.91	83.05	60.69	95.25	143.89	596.77
ETP (mm)	102.92	87.98	89.83	100.56	104.83	130.34	143.05	141.92	119.89	131.8	127.63	108.61	1389.36
HSi (mm)	231.00	355.56	357.58	357.56	356.56	356.05	355.74	355.91	373.42	391.06	385.83	399.95	
C1	-0.14	0.04	0.04	0.02	0.01	0.00	0.01	0.57	0.84	0.83	1.00	1.00	
C2	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.52	
HD (mm)	-14.47	3.96	3.95	2.01	1.00	0.49	1.17	58.36	85.81	85.16	108.20	162.12	
ETR (mm)	-14.47	1.94	1.95	1.00	0.51	0.31	0.82	40.51	50.31	54.89	63.82	82.73	284.31
HSf (mm)	355.56	357.58	357.56	356.56	356.05	355.74	355.91	373.42	391.06	385.83	399.95	434.95	
DCC (mm)	102.24	100.22	100.24	101.24	101.75	102.06	101.89	84.38	66.74	71.97	57.85	22.85	
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)	219.63	186.26	188.12	200.80	206.07	232.09	244.12	185.80	136.32	148.88	121.67	48.73	2118.5

Fuente: elaboración propia, 2017.

Cuadro 24 A. Balance hídrico de suelos del valle intrusivo e infraestructura

BALANCE HÍDRICO DE SUELOS													
Zona de Estudio:	Valle Intrusivo + Infraestructura												
Fecha:	Junio de 2013												
Textura de Suelo:	Franco Arcilloso												
Cultivo:													
Simbología													
fc: Capacidad de Infiltración.							P: Precipitación Media Mensual.						
I: Infiltración.							Pi: Precipitación que infiltra.						
CC: Capacidad de Campo.							ESC: Escorrentía Superficial						
PM: Punto de Marchitez.							ETP: Evapotranspiración Potencial.						
PR: Profundidad de Raíces.							ETR: Evapotranspiración Real.						
(CC-PM): Rango de Agua Disponible.							HSi: Humedad de Suelo Inicial.						
DS: Densidad de Suelo.							HD: Humedad Disponible						
C1: Factor de ETP, por cierre de estomas, antes que ocurra ETR							HSf: Humedad de Suelo Final.						
C2: Factor de ETP, por cierre de estomas, después que ocurre ETR							DCC: Déficit de Capacidad de Campo.						
Kp: Factor por pendiente (ver léame)							Rp: Recarga Potencial						
Kv: Factor por vegetación (ver léame)							NR: Necesidad de Riego.						
Kfc: Factor estimado con base a la prueba de infiltración							Ret: Retención de lluvia						
fc [mm/d]	192.00												
Kp [0.01%]	0.20												
Kv [0.01%]	0.00						Por peso						
Kfc [0.01%]	0.1						(%)						
I [0.01%]	0.3						(mm)						
DS (g/cm ³):	1.1565						CC	20.90	193.37				
PR (mm)	800.00						PM	14.70	136.00				
HSi (mm)	231.00						(CC-PM)	6.20	57.36				
Nº de mes con que inicia HSi; 1,2,3...12?	1												
Lluvia retenida [0.01%] : Bosques=0.2, otros=0.1	0.12												
Concepto	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Total
P (mm)	278.0	13.8	9.3	1.7	0.7	1.2	7.2	146.5	171.6	125.4	196.8	297.3	1249.50
Ret [mm]	33.36	5.00	5.00	1.70	0.70	1.20	5.00	17.58	20.59	15.05	23.62	35.68	164.47
Pi (mm)	73.39	2.64	1.29	0.00	0.00	0.00	0.66	38.68	45.30	33.11	51.96	78.49	325.51
ESC (mm)	171.25	6.16	3.01	0.00	0.00	0.00	1.54	90.24	105.71	77.25	121.23	183.14	759.52
ETP (mm)	102.92	87.98	89.83	100.56	104.83	130.34	143.05	141.92	119.89	131.8	127.63	108.61	1389.36
HSi (mm)	231.00	193.37	152.02	139.76	136.47	136.04	136.00	136.00	136.00	136.00	136.00	136.00	
C1	1.00	1.00	0.30	0.07	0.01	0.00	0.01	0.67	0.79	0.58	0.91	1.00	
C2	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
HD (mm)	168.39	60.00	17.30	3.75	0.46	0.04	0.66	38.68	45.30	33.11	51.96	78.49	
ETR (mm)	102.92	43.99	13.55	3.29	0.42	0.04	0.66	38.68	45.30	33.11	51.96	54.31	388.22
HSf (mm)	193.37	152.02	139.76	136.47	136.04	136.00	136.00	136.00	136.00	136.00	136.00	160.19	
DCC (mm)	0.00	41.35	53.61	56.90	57.32	57.36	57.36	57.36	57.36	57.36	57.36	33.18	
Rp (mm)	8.11	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	8.11
NR (mm)	0.00	85.34	129.89	154.17	161.73	187.66	199.75	160.61	131.95	156.06	133.04	87.49	1587.68

Fuente: elaboración propia, 2017.

Cuadro 25 A. Datos de pruebas de infiltración del valle intrusivo e infraestructura.

Valle Intrusivo+Infraestructura					
Tiempo (min)	Altura (mts)	R/2 (t2-t1)	$((2h_1+R)/(2h_2+R))$	Ln	F(cm/hr)
0	0.6	4.3	1.24	0.22	56.38
5	0.44	3.07	1.065	0.06	11.61
7	0.4	2.15	1.139	0.13	16.77
10	0.33	1.66	1.102	0.09	9.64
13	0.28	1.43	1.077	0.07	6.37
15	0.24	1.27	1.071	0.06	5.18
17	0.21	1.08	1.104	0.09	6.38
20	0.17	1	1.055	0.05	3.13
22	0.15	0.94	1.377	0.32	17.96
23	0.05	0.89	1.233	0.21	11.24
24	0				
		F(cm/hr)	Tiempo		
		56.38	0		
		11.61	5		
		16.77	7		
		9.64	10		
		6.37	13		
		5.18	15		
		6.38	17		
		3.13	20		
		17.96	22		
		11.24	23		
		0	24		

Fuente: elaboración propia, 2017.

Cuadro 26 A. Datos de pruebas de infiltración del valle intrusivo y bosque natural

Valle Intrusivo+BosqueNatural					
Tiempo (min)	Altura (mts)	R/2 (t2-t1)	$((2h_1+R)/(2h_2+R))$	Ln	F(cm/hr)
0	46.5	6	1.013	0.0132	4.737
5	45.5	3	1.012	0.012	2.159
10	44.6	2	1.012	0.0121	1.457
15	43.7	1.5	1.018	0.0178	1.602
20	42.4	1.2	1.011	0.0111	0.8
25	41.6	1	1.016	0.0155	0.929
30	40.5	0.857	1.010	0.01	0.513
35	39.8	0.75	1.013	0.013	0.584
40	38.9	0.667	1.013	0.0131	0.526
45	38	0.6	1.013	0.0133	0.48
50	37.1	0.545	1.008	0.0075	0.245
55	36.6	0.5	1.008	0.0075	0.226
60	36.1				
	F(cm/hr)	Tiempo			
	4.737	0			
	2.159	5			
	1.457	10			
	1.602	15			
	0.8	20			
	0.929	25			
	0.513	30			
	0.584	35			
	0.526	40			
	0.48	45			
	0.245	50			
	0.226	55			

Fuente: elaboración propia, 2017.

Cuadro 27 A. Datos de pruebas de infiltración del valle intrusivo y cultivos anuales.

Valle Intrusivo+Cultivos					
Tiempo (min)	Altura (mts)	R/2 (t2-t1)	$((2h_1+R)/(2h_2+R))$	Ln	F(cm/hr)
0	55	2.9	1.003	0.0029	0.501
5	54.8	1.45	1.004	0.0043	0.377
10	54.5	0.967	1.001	0.0015	0.084
15	54.4	0.725	1	0	0
20	54.4	0.58	1.001	0.0015	0.051
25	54.3	0.483	1	0	0
30	54.3	0.414	1.001	0.0015	0.036
35	54.2	0.363	1	0	0
40	54.2	0.322	1.001	0.0015	0.028
45	54.1	0.29	1	0	0
50	54.1	0.264	1.001	0.0015	0.023
55	54	0.242	1	0	0
60	54				
	F(cm/hr)	Tiempo			
	0.501	0			
	0.377	5			
	0.084	10			
	0	15			
	0.051	20			
	0	25			
	0.036	30			
	0	35			
	0.028	40			
	0	45			
	0.023	50			
	0	55			

Fuente: elaboración propia, 2017.

Cuadro 28 A. Datos de pruebas de infiltración de las montañas volcánicas y bosque natural.

Montañas Volcánicas + Bosque Natural					
Tiempo (min)	Altura (mts)	$R/2 (t_2-t_1)$	$((2h_1+R)/(2h_2+R))$	Ln	F(cm/hr)
0	54.9	5.5	1.014	0.0134	4.435
5	53.8	2.75	1.01	0.0099	1.632
10	53	1.83	1.01	0.01	1.099
15	52.2	1.38	1.008	0.0076	0.623
20	51.6	1.1	1.004	0.0038	0.251
25	51.3	0.92	1.004	0.0038	0.21
30	51	0.79	1.003	0.0026	0.12
35	50.8	0.69	1.004	0.0038	0.158
40	50.5	0.61	1.005	0.0051	0.189
45	50.1	0.55	1.004	0.0039	0.128
50	49.8	0.5	1.003	0.0026	0.078
55	49.6	0.458	1.004	0.0039	0.107
60	49.3				
	F(cm/hr)	Tiempo			
	4.435	0			
	1.632	5			
	1.099	10			
	0.623	15			
	0.251	20			
	0.21	25			
	0.12	30			
	0.158	35			
	0.189	40			
	0.128	45			
	0.078	50			
	0.107	55			

Fuente: elaboración propia, 2017.

Cuadro 29 A. Datos de pruebas de infiltración de las montañas volcánicas y cultivos anuales

Montañas Volcánicas + Cultivos					
Tiempo (min)	Altura (mts)	R/2 (t2-t1)	$((2h1+R)/(2h2+R))$	Ln	F(cm/hr)
0	55.5	2.8	1.078	0.074	12.54
5	50.5	1.4	1.042	0.041	3.45
10	47.9	0.933	1.044	0.043	2.403
15	45.3	0.7	1.035	0.034	1.441
20	43.3	0.56	1.034	0.033	1.133
25	41.4	0.467	1.026	0.025	0.717
30	40	0.4	1.029	0.028	0.676
35	38.5	0.35	1.025	0.025	0.527
40	37.2	0.311	1.024	0.023	0.443
45	36	0.28	1.025	0.024	0.408
50	34.8	0.255	1.023	0.022	0.348
55	33.7	0.233	1.023	0.023	0.327
60	32.6				
	F(cm/hr)	Tiempo			
	12.54	0			
	3.45	5			
	2.403	10			
	1.441	15			
	1.133	20			
	0.717	25			
	0.676	30			
	0.527	35			
	0.443	40			
	0.408	45			
	0.348	50			
	0.327	55			

Fuente: elaboración propia, 2017.

Cuadro 30 A. Coordenadas donde se realizaron las zonas de muestreo.

X	Y	Nombre_UHG
490149	1632919	valleintrusivo+infraestructura
494933	1632546	valleintrusivo+cultivos
493360	1630276	valleintrusivo+cultivos
489468	1628751	monta±asvolcanicas+bosque
488852	1627048	monta±asvolcanicas+cultivo

Fuente: elaboración propia, 2017.

Cuadro 31 A. Datos climáticos utilizados para los cálculos de evapotranspiración.

Radiación Solar Extraterrestre												
Lat. Nort	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sept	Oct	Nov	Dic
15.5	12.181	13.423	14.784	15.763	16.05	16.048	16.06	15.95	15.297	13.99	12.56	11.795
	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sept	Oct	Nov	Dic
pp(media) (mm)	1.7	0.7	1.2	7.2	146.5	171.6	125.4	196.8	297.3	278.0	13.8	9.3
	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sept	Oct	Nov	Dic
T(°C)	17.4	18.2	18.5	20.4	19.9	19.6	19.8	19.5	19.4	19.5	18.9	17.7
	80	78	77	76	80	88	85	86	90	90	90	86

Fuente: elaboración propia, 2017.