

**UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD DE CIENCIAS AGRONÓMICAS
DEPARTAMENTO DE RECURSOS NATURALES Y MEDIO AMBIENTE**



**“IDENTIFICACIÓN DE ZONAS POTENCIALES DE RECARGA ACUÍFERA
SUBTERRÁNEA DEL MUNICIPIO DE LA PALMA, CHALATENANGO”**

POR:

**ABEL ALEXEI ARGUETA PLATERO
JOSE ARMANDO MARTÍNEZ ROMERO
EDUARDO ANTONIO BURGOS VIALE**

**PARA OPTAR AL TÍTULO DE:
INGENIERO AGRÓNOMO**

CIUDAD UNIVERSITARIA, 3 DE NOVIEMBRE DE 2008.

RECTOR.

ING. AGR. M.Sc. RUFINO ANTONIO QUEZADA SANCHEZ.

SECRETARIO GENERAL.

LIC. DOUGLAS VLADIMIR ALFARO CHÁVEZ

FACULTAD DE CIENCIAS AGRONÓMICAS

**Dr. ING. AGR. REYNALDO ADALBERTO LÓPEZ LANDAVERDE
DECANO.**

**ING. AGR. M.Sc. LUIS FERNANDO CASTANEDA
SECRETARIO.**

**JEFE DEL DEPARTAMENTO DE RECURSOS NATURALES Y MEDIO
AMBIENTE.**

ING. AGR. CARLOS ALBERTO AGUIRRE CASTRO

DOCENTE DIRECTOR.

ING. AGR. MIGUEL ÁNGEL HERNÁNDEZ MARTÍNEZ

RESUMEN.

El presente trabajo describe la metodología empleada para estimar la recarga acuífera subterránea potencial del municipio de La Palma, departamento de Chalatenango, ubicado en la zona norte del país a 82 kilómetros de San Salvador. La característica principal de dicha región es la ausencia de acuíferos regionales, por lo que el movimiento del flujo subterráneo se realiza a través de los alineamientos de las fracturas o fallas geológicas. Esta metodología hace uso de técnicas de sensores remotos para identificar las fallas geológicas, junto con el análisis de la distribución espacial de manantiales de época seca y otras variables biofísicas analizadas utilizando el Sistema de Información Geográfica para elaborar una cartografía temática de las áreas de recarga acuífera con escalas más detalladas, con la intención de proporcionar mejores insumos para el uso sostenible de los recursos naturales, ordenamiento territorial y desarrollo local en este municipio, fortaleciendo así la toma de decisiones respecto a estas áreas de recarga.

La metodología cuantifica de forma indirecta el caudal que los diferentes miembros geológicos y los usos del suelo del municipio de La Palma proporcionan, expresando los resultados en milímetros por año. La infiltración del agua se estima basándose en la asignación de coeficientes que los factores biofísicos de coberturas de uso de suelo proporcionan, incluyendo finalmente los datos de precipitación anual registrados por las estaciones meteorológicas más cercanas al municipio.

Se estimó un caudal total de infiltración de 0.17 metros cúbicos por segundo, para un área total de 2,947 hectáreas.

El miembro geológico predominante fue Chalatenango y el número total de manantiales identificados en estas zonas fue de 88 con un caudal total de 170.85 litros por segundo.

Al final se recomienda darle mayor énfasis a la protección de las áreas identificadas, con un manejo sostenible para que provean de agua a la población del municipio.

AGRADECIMIENTOS.

A Dios: todo poderoso por permitir en nuestras vidas obtener un triunfo mas, y darnos la fuerza de voluntad para coronarla y emprender con valor y dignidad nuestro futuro como profesionales.

A Nuestra Familia: por ser el apoyo moral y económico de nuestra carrera y sobre todo por su dedicación y comprensión en todo momento, los queremos mucho.

A Nuestro Docente Director: Ing. Miguel Hernández, por el aporte de conocimientos que nos brindo para realizar nuestro trabajo de graduación y culminarlo con satisfacción.

Agradecimiento: Ing. Jose Roberto Duarte por ofrecernos su tiempo y conocimientos, también a la alcaldía del municipio de La Palma por proporcionarnos el guía en las giras de campo, a geólogos del mundo por apórtanos sus recomendaciones para la elaboración de la investigación.

A NUESTRA ALMA MATER: Por brindarnos nuestra formación Profesional a lo largo de nuestra carrera y en especial a todos los docentes que año con año nos formaron para que hoy día seamos gente de provecho y podamos servir a nuestra sociedad.

Abel Alexei Argueta Platero.
Eduardo Antonio Burgos Viale.
José Armando Martínez Romero.

DEDICATORIA.

A DIOS por darme todo lo necesario, la fuerza y la voluntad para seguir adelante a pesar de las dificultades.

A MI PADRE: Roberto (QDDG) por ser mi mejor amigo, mi ejemplo y compañero de tantas aventuras, gracias por ser el que me dio la vida.

A MI MADRE: Por su apoyo incondicional en todo momento, por sembrar en mi los valores para ser mejor hombre, gracias por ser mi mejor amiga.

A MIS HERMANOS: Por todo su apoyo y amistad a lo largo de mi existencia.

A MIS SOBRINOS: Que tanta alegría trajeron a la familia.

A NATALIA: Por su infinito amor, por ser mi confidente y compañera en mi carrera y por apoyarme en todo los retos que faltan por vivir.

A LA FAMILIA MEDRANO: Gracias por su apoyo y por haberme aceptado como miembro de la familia.

A CLAUDITA Y FAM: Gracias por toda su ayuda en todo momento y por hacerme sentir tan bien entre ustedes.

AL ING. AGR. MIGUEL HERNÁNDEZ Y FAM. Por su amistad y apoyo.

A MIS AMIGOS: Quienes me acompañaron y formaron parte de mi vida universitaria.

Eduardo Antonio Burgos Viale.

DEDICATORIA.

A Dios por darme fortaleza y lo necesario para la vida y además brindar solución a las dificultades que se presentaron en el transcurso de la investigación.

A mis padres que infundieron en mis valores y el sentido de lo correcto y por su innegable apoyo

A mi hermana Eglis por su apoyo incondicional

A mi profesor y asesor Ing. Agr. Miguel Ángel Hernández, que incentivo mi sentido de la investigación y que con su conocimiento sobre SIG aportó mucho a este trabajo.

A Lic. Doris de Hernández por su apoyo y sus palabras de ánimo

Al Ing. Agr. Carlos Aguirre por su aporte en el área de edafología.

Al Ing. Martin Junker que aportó las bases para que se realizara la investigación.

Al Ing. José Roberto Duarte por su colaboración en el área de hidrogeología que fue fundamental para la investigación.

A mis compañeros del diplomado de “Sistemas de Información Geográfica con Enfoque al Desarrollo Local” por sus sugerencias y aportes.

A todos mis amigos que aportaron muchísimo apoyo y ánimo en momentos de flaqueza.

Abel Alexei Argueta Platero.

DEDICATORIA.

Quiero dedicar este trabajo de manera muy especial:

A Dios y a la Virgen María, por permitirme dar este paso tan importante dentro de mi vida.

A mis padres, José Armando Martínez y Concepción Romero por estar presentes durante todo el camino que implicó la realización de este, por su comprensión y apoyo incondicional.

A mis hermanos Sandy y Edwin, por mostrarme su apoyo cuando les he necesitado, sin olvidar a mis queridas sobrinas y cuñada.

Al Ing. Miguel Ángel Hernández y familia, asesor del trabajo, por su ayuda, orientación y paciencia para realizar el proyecto de la mejor manera posible.

A mis primos Juan Héctor Larios y Víctor Romero, por su ayuda, apoyo y su confianza mostrada hacia mi persona.

A mi amiga y novia Kathya, por darme su apoyo, amor y confianza en la realización de este proyecto.

A todos mis amigos y amigas, por todos esos momentos que compartimos durante toda la fase que implicó llegar a cumplir esta meta.

José Armando Martínez Romero.

INDICE DE CUADROS.

CUADRO	Pág.
Cuadro 1. Rangos de pendiente (%) y su coeficiente k_p	25
Cuadro 2. Uso de suelo asignado con su respectivo coeficiente k_v	26
Cuadro 3. Formaciones encontradas en la zona de estudio con sus respectivos miembros y su coeficiente FC y k_{fc}	27
Cuadro 4. Determinación de k_p según el rango de la pendiente.....	35
Cuadro 5. Índice k_v Asociado a Usos de Suelos.....	35
Cuadro 6. Índice Fc según Material Geológico.....	36
Cuadro 7. Datos de precipitación de la Estación Pluviométrica G4.....	37
Cuadro 8. Datos de Evapotranspiración potencial de la estación climatológica G4.....	37
Cuadro 9. Detalle de las características de las zonas con potencial de recarga acuífera encontradas en el municipio de La Palma.....	39

INDICE DE FIGURAS.

FIGURA.	Pág.
Figura No. 1: Ciclo del agua en un medio de roca fracturada. Duarte. 1998.....	17
Figura No. 2: Las aguas subterránea y el ciclo hidrológico. CATIE. 2006.....	21
Figura No. 3: Características superficiales que pueden ser indicadores de agua subterránea: vegetación, cambios abruptos, patrón de drenaje y fracturas. (Ventura Díaz 2004).....	29
Figura No. 4: Recarga acuífera subterránea del municipio de La Palma por miembro geológico en Mt ³ /año.....	41

INDICE DE ANEXOS.

ANEXO.	Pág.
Anexo 1. Mapa de ubicación geográfica del municipio de La Palma.....	51
Anexo 2. Mapa Geológico del municipio de La Palma.....	52
Anexo 3. Cuadrantes topográficos 1:50,000.....	53
Anexo 4. Red Hídrica del municipio de La Palma.....	54
Anexo 5. Mapa de pendientes del municipio de La Palma.....	55
Anexo 6. Mapa de manantiales del municipio de La Palma.....	56
Anexo 7. Imagen Ikonos del municipio de La Palma.....	57
Anexo 8. Mapa de uso de suelos del municipio de La Palma.....	58
Anexo 9. Mapa de zonas de recarga potencial con su formación geológica del municipio de La Palma.....	59
Anexo 10. Imagen Landsat del municipio de La Palma.....	60
Anexo 11. Mapa de fallas geológicas localizadas en el municipio de La Palma.....	61
Anexo 12. Mapa hidrogeológico del municipio de La Palma.....	62
Anexo 13. Mapa de recarga por miembro geológico en mts ³ /seg.....	63
Anexo 14. Mapa de recarga por unidad hidrogeológica en lts/seg.....	64
Anexo 15. Mapa de recarga por unidad hidrogeológica en mm/año.....	65
Anexo 16. Tabla balance hídrico específico zona 1, miembro l.....	66
Anexo 17. Tabla balance hídrico específico zona 2, miembro b3.....	67
Anexo 18. Tabla balance hídrico específico zona 3, miembro c1.....	68
Anexo 19. Tabla balance hídrico específico zona 4, miembro c3. .	69
Anexo 20. Tabla balance hídrico específico zona 5, miembro ch1.....	70
Anexo 21. Tabla balance hídrico específico zona 6, miembro ch2.....	71
Anexo 22. Tabla balance hídrico específico zona 7, miembro m2a.....	72

Anexo 23. Tabla balance hídrico específico zona 8, miembro m2b.....	73
Anexo 24. Tabla balance hídrico específico zona 9, miembro va...	74
Anexo 25. Tabla balance hídrico específico zona 10, miembro yo.....	75

INDICE GENERAL.	Pág.
AUTORIDADES.....	ii
RESUMEN.....	iv
AGRADECIMIENTOS.....	v
DEDICATORIAS.....	vi
INDICE CUADROS.....	ix
INDICE DE FIGURAS.....	x
INDICE DE ANEXOS.....	xii
INDICE GENERAL.....	xiv
I INTRODUCCION.....	1
1.1 ANTECEDENTES.....	3
1.2 JUSTIFICACIÓN.....	4
1.3 OBJETIVOS.....	5
1.3.1 General.....	5
1.3.2 Específicos.....	5
1.4 DESCRIPCIÓN DEL MUNICIPIO DE LA PALMA.....	6
1.4.1 Ubicación.....	6
1.4.2 Clima.....	6

1.4.3 Topografía.....	7
2. MARCO TEÓRICO.....	7
2.1 Aguas subterráneas.....	7
2.2 Recarga acuífera.....	8
2.2.1 Parámetros que definen un acuífero.....	8
2.2.2 Para qué sirve el conocimiento de la recarga acuífera	9
2.3 Geología.....	9
2.3.1 Geología local.....	10
2.3.2 Formaciones Geológicas del municipio de La Palma	10
3. HIDROGEOLOGÍA.....	14
3.1 Unidades hidrogeológicas.....	15
3.1.1 Acuífero volcánico fisurado generado por sistema de	
fallas geológicas.....	15
3.1.2 Rocas no acuíferas que presentan limitaciones en	
cuanto a almacenamiento y flujo de agua	
subterráneas.....	16
3.2 Los sensores remotos y su aplicación en la recarga	
acuífera subterránea.....	16
3.3 Dinámica hídrica subterránea.....	17
4. BALANCE HÍDRICO.....	18
4.1 Precipitación efectiva.....	18
4.2 Evapotranspiración.....	18
4.2.1 Evapotranspiración potencial.....	19
4.2.2 Humedad del suelo.....	19
4.2.3 Propiedades físicas del suelo.....	19

4.3 Recarga hídrica.....	20
5. METODOLOGÍA DEL TRABAJO.....	21
5.1 Recopilación de Información secundaria de la zona de estudio.....	21
5.1.1 Geología.....	22
5.1.2 Topografía.....	22
5.1.3 Cobertura vegetal.....	22
5.1.4 Hidrología.....	22
5.1.5 Hidrogeología.....	23
5.1.6 Mapa de cobertura vegetal detallado.....	23
5.1.7 Mapa de fallas geológicas locales.....	23
5.2.1 Visitas de reconocimiento.....	24
5.3 Procesamiento y análisis de la información.....	24
5.4 Cartografía digital utilizada para determinar zonas de recarga acuífera.....	24
5.4.1 Mapa de red hídrica.....	24
5.4.2 Mapa de pendientes.....	25
5.4.3 Mapa de manantiales.....	25
5.4.4 Mapa de uso de suelo.....	25
5.4.5 Mapa geológico.....	26
5.4.7 Mapa hidrogeológico.....	29
6. Procesamiento y análisis de la información.....	30
6.1 Balance hídrico.....	30
6.2 Desarrollo del Balance Hídrico.....	30
6.3 Metodología aplicada en el balance hídrico.....	31
6.4 Cálculo de la recarga.....	38

7. RESULTADOS	39
8. CONCLUSIONES.....	42
9. RECOMENDACIONES.....	44
IX. BIBLIOGRAFÍA.....	45
X. ANEXOS.....	50

1. INTRODUCCIÓN.

Según MINEC, 2008, El Salvador es un país con una extensión territorial de 20,742 km² (MARN, 2000) y con una población de 5,744,113 millones de habitantes, según el V Censo de Población y VI de vivienda; el crecimiento demográfico del país en los últimos años ha sido evidente, por lo que los gobiernos deberán ser creativos para plantearse estrategias a largo plazo para que no se deterioren los recursos naturales, especialmente el agua.

Según el informe de la OPS-OMS en el 2000, la principal fuente de abastecimiento de agua para la población salvadoreña, proviene de la explotación de aguas subterráneas. Por ejemplo, actualmente en el Área Metropolitana de San Salvador el 69.1% del agua que es abastecida por ANDA proviene de pozos. Antes de 1,992 casi el 100% del agua provenía de fuentes subterráneas. Este mismo caso ocurre en la zona norte de Chalatenango, debido a que el 98% de los municipios, se abastecen de agua subterránea.

Tras el valor turístico de La Palma, existen varios problemas que preocupan a los pobladores. Entre los principales se hallan la falta de empleo y el irregular servicio de agua potable. A pesar de que la flora es abundante, una buena parte de la población asegura que ahí existen problemas de escasez de agua (Ayala, 2008).

Esta investigación consiste en la estimación de la recarga acuífera subterránea en un medio en particular, como lo es la roca fracturada predominante en el municipio de La Palma, departamento de Chalatenango (Duarte, J.R., 2008), consecuentemente en la elaboración de una cartografía temática a escala más detallada que supere los aportes desarrollados por otras instituciones a escala nacional, cuya escala no permite obtener el mayor provecho a las investigaciones.

Entre las variables utilizadas para determinar las zonas de recarga acuífera potencial de este municipio son: pendiente en porcentajes, inventario de

manantiales, cobertura actual del suelo, inventario de fallas geológicas y la, hidrogeología del área.

También se describen algunas características generales de la zona como su ubicación geográfica, clima, topografía, así como también la metodología empleada en la generación del mapa de uso del suelo a escala 1:10000, mediante el uso de imágenes de alta resolución Ikonos, mapa que a su vez fue verificado en el campo, así como también fue verificado el inventario de manantiales, con lo cual la fase de campo tuvo preponderancia sobre los datos manejados en un Sistema de Información Geográfica. Se describe brevemente la metodología empleada para la identificación de las fallas geológicas locales, enriqueciendo el inventario de fallas del mapa geológico de El Salvador.

Luego se presenta la descripción de la geología e hidrogeología para determinar qué tipo de potencial hidrogeológico existe en el área de estudio. Como última etapa de este documento se presenta las conclusiones y recomendaciones de dicho estudio.

La realización de ésta investigación es importante desde dos perspectivas: a) para la integración del Mapa Hidrogeológico de El Salvador y b) como herramienta para futuros estudios hidrogeológicos, ya que actualmente la información disponible de dicha zona es escasa y poco detallada.

1.1 ANTECEDENTES.

En el año 2005 el Proyecto FORGAES “Fortalecimiento de La Gestión ambiental para El Salvador”, realizó una investigación aplicando la metodología “Recarga Acuífera Subterránea, mejor conocida como metodología RAS (Junker, 2005), la cual permitió elaborar el mapa de Recarga Acuífera Subterránea a una escala nacional. Fueron utilizados en esta actividad mapas digitales con escalas entre 50,000 y 30,0000. Esto produjo como resultado el mapa de la recarga acuífera subterránea de El Salvador permitiendo identificar las capacidades de recarga que tienen las unidades territoriales. La aplicación de estos resultados a nivel local, no resulta muy eficaz, a raíz de la escala nacional a la cual se trabajó; siendo necesario investigar la aplicación de la misma metodología RAS, utilizando escalas mas detalladas para proporcionar los insumos necesarios a los actores locales de tal forma que posean información adecuada para el uso sostenible de las zonas de recarga acuífera y con ello asegurar la producción del vital líquido a la población y producción agropecuaria.

Es de hacer notar que en el país se desconocen antecedentes de estudios realizados sobre “Flujo Subterráneo en roca fracturada” por lo que se utilizó como guía la tesis de graduación que se realizo en el año 2004 con el nombre de “Comportamiento de flujos subterráneos dentro del Complejo Volcánico Bálsamo, Región Hidrográfica E”, trabajo de graduación hecho por José Chávez, Ricardo Mata y Emilio Ventura para la Universidad Centroamericana José Simeón Cañas. Este trabajo se centra en el comportamiento de las aguas subterráneas en un medio en particular, como lo es la roca fracturada presente en la formación Bálsamo, correspondiente a la Región Hidrográfica “E” correspondiente a la parte Sur de El Salvador.

1.2 JUSTIFICACIÓN.

Según Junker, M.; 2005, la falta de información en el gobierno local del Municipio de la Palma, sobre las principales zonas de recarga hídrica, conlleva al desconocimiento de acciones eficaces y la acertada toma de decisiones para garantizar la cantidad y calidad del recurso hídrico. A ello se le suma el auge de esta zona como destino turístico y con gran potencial para la producción de frutas y verduras, fomentando la inversión de la empresa privada, en proyectos recreativos que implican en alguna medida el cambio de uso del suelo, provocando el aumento del índice de escorrentía, que indica la disminución de la cantidad de agua infiltrada a los mantos acuíferos.

Las aguas subterráneas han sido una de las alternativas como recurso natural aprovechable y han sido muy poco estudiadas; esta falta de atención en el tema ha generado un desconocimiento en cuanto a la existencia de sitios especiales por su comportamiento, forma de movimiento del agua y modo adecuado de utilización de este recurso, sin olvidar la falta de tecnología adecuada dependiendo de las condiciones naturales que pueda presentar el terreno donde se encuentran las fuentes subterráneas; esto afecta la exploración y explotación de estas fuentes. Esta situación hace que no se obtenga el máximo provecho de un recurso que potencialmente es valioso en nuestro país (casi un 80% del abastecimiento de agua potable proviene de fuentes subterráneas), sobre todo porque es un recurso que entre sus ventajas está la uniformidad en la calidad, una mejor distribución espacial y un menor grado de contaminación con respecto a las aguas superficiales.

Tomando en cuenta estos aspectos, es fundamental realizar un estudio enfocado al aprovechamiento del recurso hídrico basado en los principios del uso sostenible de las fuentes de agua y sus principales áreas de recarga potencial en el municipio de La Palma.

1.3 OBJETIVOS.

1.3.1 General.

Identificar las principales zonas de recarga acuífera subterránea en el municipio de La Palma, Chalatenango.

1.3.2 Específicos.

1. Identificar las zonas potenciales de recarga acuífera subterránea en el municipio de La Palma, Chalatenango.
2. Generar cartografía temática de la recarga acuífera a escalas más aplicables a nivel local con base a la información geográfica con mayor detalle referente a la zona de estudio.
3. Relacionar los resultados con los datos obtenidos con información a escala nacional.

1.4 DESCRIPCIÓN DEL MUNICIPIO DE LA PALMA.

1.4.1 Ubicación

El estudio se realizó en el municipio de La Palma, el cual está ubicado a 82 Km. de San Salvador, a una altitud de 1000 msnm la zona urbana y la parte más alta se encuentra a 2300 msnm. Está limitado al norte por los municipios de Citala y San Ignacio, al noreste por la República de Honduras, al este por el municipio de San Fernando, al sureste por el municipio de La Reina, al sur por los municipios de Agua Caliente y La Reina, al suroeste por Agua Caliente, al oeste por el municipio de Metapán y al noroeste por Citala; riegan al municipio los principales ríos: Lempa, Sumpul que parte le sirve de límite con la República de Honduras; cuenta con una población de 12,235 habitantes (MINEC, 2008); teniendo una demanda de 523,278 metros cúbicos por año (ANDA 2006). El municipio de La Palma se encuentra localizado entre la coordenada geográfica inferior izquierda 14°14'37.325" N, 89°17'42.511" W. y la coordenada superior derecha 14°22'7.163" N, 89°02'25.895" W. Dicho municipio cuenta con un Área de 154.279Km² (MARN 2000). (Anexo 1).

1.4.2 Clima.

Según Artiga, R; 2003. En el área de estudio, se distinguen las siguientes zonas:

Sabanas Tropicales Calurosas: (Tierras templadas) comprendidas entre 800 y 1,200 msnm. La temperatura media anual varía según la altura entre los 19° C y los 21° C en las faldas de las montañas y entre los 20° C y los 22° C en los valles y planicies altas. La estación seca es entre noviembre y abril y las temperaturas máximas se registran un poco antes del inicio de la estación lluviosa.

Clima Tropical de Alturas: Compreendido entre los 1.200 y los 2.700 m.s.n.m, donde se distinguen dos franjas:

1) De 1,200 a 1,800 msnm. (Tierras templadas) con temperaturas medias anuales según la altura, entre 16° C y 19° sin peligro de heladas en las faldas de las montañas y entre 16° C y 20° C con posibles heladas para diciembre, entre enero

y febrero en las planicies altas.

2) De 1,800 a 2,700 m.s.n.m. (Tierras frías) con temperaturas medias anuales según la altura, entre 16° C a 10° C con heladas y escarchas en hondonadas y valles. La estación seca es de tan sólo tres o cuatro meses.

1.4.3 Topografía.

Se divide la zona de influencia en tres rangos de pendientes, el primero de 0 a 30 grados, el segundo de 30 a 60 grados y el tercero de 60 a 90 grados, como se puede apreciar la parte oriental y occidental de la zona de estudio presentan las mayores pendientes, la parte central resulta relativamente plana.

2. MARCO TEÓRICO.

2.1 Aguas subterráneas

Según CATIE (2006), por agua subterránea se entiende el agua que ocupa todos los vacíos dentro del estrato geológico, comprende toda el agua que se encuentra por debajo del nivel freático. El agua subterránea es de gran importancia, especialmente en aquellos lugares secos, donde el escurrimiento se reduce mucho en algunas épocas del año. Las aguas subterráneas provienen de la infiltración directa en el terreno de las lluvias o indirectas de ríos o lagos.

Según Heras, R. (1970). La infiltración es el proceso por el cual el agua penetra en las capas superiores del suelo, mientras que la percolación es el movimiento del agua en las capas del subsuelo. Si el nivel del agua superficial está por encima del nivel freático, (influyente) se produce un aporte a las aguas subterráneas, por el contrario, si el nivel de las aguas superficiales, está por debajo del nivel freático (efluente), se produce un aporte a las aguas superficiales, es por esto que se tienen las corrientes perennes, a pesar de que no se produzca precipitación.

El agua subterránea se encuentra normalmente saturando materiales geológicos permeables que constituyen formaciones o niveles a los que llamamos acuíferos. Un acuífero es aquella área bajo la superficie de la tierra donde el agua de la

superficie percola y se confina, donde a veces lentamente se mueve subterráneamente al océano por ríos subterráneos.

2.2 Recarga acuífera.

Según CATIE; 2006, la recarga acuífera es la infiltración del agua superficial que pasa por la zona no saturada del sub-suelo y llega a la zona saturada del agua subterránea y forma parte del agua del acuífero.

Según Guzmán Monge, A. 2007, al hablar de un acuífero nos estamos refiriendo a una o más capas subterráneas de roca o de otros elementos geológicos saturados que tienen la suficiente porosidad y permeabilidad capaz de almacenar y transmitir agua subterránea y que puede ser aprovechada para uso humano.

Según Junker, 2005, los criterios más importantes que influyen sobre la recarga acuífera son los siguientes: precipitación, evaporación/transpiración, geología, sub-suelo, vegetación, uso de suelo, topografía, profundidad del acuífero

2.2.1 Parámetros que definen un acuífero

Según IGME, 2007, la propiedad de una roca que la hace poder contener agua se define técnicamente como porosidad y para ser verdaderamente acuífera, la roca, además de contener agua, necesita poder cederla, cualidad que se denomina permeabilidad.

1. Porosidad: determina la capacidad de almacenar de agua de un acuífero. Se define como el cociente entre el volumen de huecos y el volumen total de la roca. Existe una porosidad primaria, generada durante la formación de la roca y que está controlada por la forma, grado de selección y empaquetamiento de los clastos; y una porosidad secundaria producida con posterioridad a la formación de ésta. La porosidad secundaria va a depender de la distribución y número de fracturas y el grado de alteración de la roca.

2. Permeabilidad: también denominada como conductividad hidráulica, es la facilidad con que un acuífero transmite agua. Y esta depende del tamaño de los poros.

2.2.2 Para qué sirve el conocimiento de la recarga acuífera.

Según Hernández, M; 2006. La teoría de la sostenibilidad del manejo de un acuífero dice, que no se debe extraer más agua subterránea que la que se recupera a través de la recarga acuífera en un año. Con la información de la recarga acuífera se puede determinar: Áreas de protección del acuífero, zonas de recuperación (“cosecha de agua subterránea”), apoyar al ordenamiento territorial, dar recomendaciones en gestión de riesgos, identificar zonas de descontaminación, delimitar zonas de protección alrededor de pozos, etc.

2.3 Geología.

Según SNET, 2007. Geológicamente hablando El Salvador es un país extremadamente joven. Una cuarta parte del territorio nacional es de edad pleistocénica y tres cuartas partes están cubiertas por rocas de edad terciaria, predominando la época pliocénica. Por eso, las capas de edad cretácica, que cubren aproximadamente un 5% del territorio salvadoreño no juegan un papel importante para la constitución geológica total de la república. Solamente estas últimas capas son de origen sedimentario marino, todas las demás rocas, con pocas excepciones, están originadas por fenómenos volcánicos. En otros lugares se conocen además rocas intrusivas que pertenecen a la época miocénica, es decir también son terciarias.

En el cálculo de la recarga acuífera, la conjunción de miembros geológicos con el fallamiento de la zona, nos permite asociar fuentes de agua y también delimitar posibles zonas de recarga potencial.

2.3.1 Geología local

En el municipio de La Palma, el 66% está constituido por rocas piroclásticas ácidas, epiclásticas volcánicas ignimbritas perteneciente a la formación Chalatenango, también se encuentran unidades tanto sedimentarias como volcánicas, rocas volcánicas de tipo andesítica y basáltica, y principalmente los colados de lava lo cual lo constituye la formación Cuscatlán (15%).

Otro material geológico presente en la zona de estudio son rocas efusivas intermedias hasta intermedias ácidas y piroclásticas subordinadas y en parte silicificadas denominada formación Morazán (9%), en un menor porcentaje las siguientes formaciones: valle de ángeles, Morazán - Chalatenango, Bálsamo y grupo Yojoa. Fuente de información: (Mapa geológico de El Salvador, escala 1:100000).

2.3.2 Formaciones Geológicas del municipio de La Palma.

Formación Chalatenango.

Durr (1960: 9-13), introduce el término estratos de Chalatenango, y lo describe como una sección de espesor superior a los 500 metros constituida por rocas volcánicas, de tipo riolítico-dacítico ignimbritas y epiclastitas principalmente. Los afloramientos presentan una orientación este-oeste siguiendo un patrón en echelón. Se localizan en toda la zona de La Palma y San Ignacio, en concreto el miembro ch1. Se le atribuye una edad del Mioceno.

Miembro ch1.

El miembro ch1 fue introducido por Wiesemann (1975: 562) y lo define como rocas piroclásticas ácidas epiclastitas volcánicas, ignimbritas y rocas efusivas intercaladas localmente silicificadas su distribución está limitada al NE, y NO del país, en el sector del río Torola y el río Lempa respectivamente.

En el sector noroeste de El Salvador en la Sierra del Norte, Sürton & Gealey (1949: 1741) mencionan una sección de casi 1000 m (300 pies) al noroeste de

San Ignacio (Esemiles o Sisimiles) en el cual están incluidos flujos de lavas intermedias básicas, tobas y tobas brechosas, similares y probablemente de la misma serie, que la sección entre La Palma y Tejutla al sur de San Ignacio; presumen que estas secciones se continúan al este.

Miembro ch2.

Wiessemann (1975: 562) introduce el término miembro superior en la formación Chalatenango. La unidad está constituida por rocas efusivas ácidas de tipo riolítico, eventualmente en transición al miembro c2 de la formación Cuscatlán, y por piroclastitas subordinadas, aflora principalmente en el sector norte, al este y oeste de El Salvador.

Es equivalente a las rocas volcánicas (tipo Santa Cruz) escritas por Dürr & Stober (1956: 49-50) en el sector noroeste del país, y es una secuencia de tobas andesíticas de color verdoso violeta, con cristales de feldespato idiomórfico. La quebrada Valle Santa Cruz, cerca de las Victorias, Quebrada El Tigre y en la Hacienda San Miguel son localidades tipo.

Formación bálsamo.

Dürr (1969: 9,13) introduce el término Estratos de Bálsamo, y posteriormente Wiessemann (1975: 561-564) lo eleva a Formación el cual se divide en tres miembros; b1, b2 y b3.

Son rocas volcánicas ácidas en el nivel inferior e intermedias a máficas en la parte superior. Afloran en el sector norte de La Palma, en concreto el miembro b3. Esta formación es mucho más joven que las ignimbritas de la formación Chalatenango. Se le atribuye una edad de 1.8-2.8 millones de años (Mioceno superior-Pleistoceno).

Miembro b3.

Introducido por Wiessemann (1975: 562), es el miembro superior de la Formación Bálsamo, en parte contemporáneo con el miembro b2, y constituido por rocas efusivas básicas-intermedias. Localmente con alteración hidrotermal, silicificación y limos rojos (Rotlehm).

Formación Cuscatlán.

Wiessemann (1975: 561) introduce el término, y lo describe (Wiessemann et al, 1978) como una secuencia volcano-sedimentaria del Plio-pleistoceno, el cual se divide en tres miembros c1, c2, c3.

La sección volcánica está constituida por tobas ácidas en la base, seguido por lavas ácidas intermedias y andesitas-basaltos en la parte superior. Secuencia volcánica del Plio-Pleistoceno, que aflora a lo largo de una lineación noroeste-oeste en zonas localizadas y limita al norte con las estructuras este-oeste y con muchas de las rocas más antiguas. En conjunto corresponde a materiales sedimentarios, que no se encuentran en la zona de estudio, y materiales volcánicos: principalmente tobas félsicas en la base y lavas félsica-intermedias a andesitas basaltos en la parte superior. En la zona de La Palma tan solo se encuentran cartografiados los materiales del miembro c3. Estos corresponden a lavas basálticas y andesíticas.

Miembro c1.

Es el miembro inferior de la Formación Cuscatlán, y esta constituido por unidades, tanto sedimentarias como volcánicas. Las primeras son fluvio-lacustres y se ubican en cuencas intermontañas alineadas rumbo noroeste.

Miembro c3.

Wiessemann (1975: 561) introduce el término y lo define como una unidad constituida por rocas volcánicas de tipo andesítica y basáltica, en parte contemporánea con el miembro c2.

Las coladas de lava constituyen la parte principal de esta unidad, sin embargo, conos de cinder y escorias han sido reportadas.

Formación Morazán.

El término de formación Morazán fue introducido por Wiesemann (1975: 561), posteriormente el mismo autor (1978) lo redefine en cuatro miembros, a saber, m1a, m1b, m2a, y m2b. Está compuesta por rocas volcánicas: lavas de intermedias a ácidas, ignimbritas y piroclástitas que presentan metamorfismo de contacto o alteración hidrotermal. Las erupciones que las generaron pueden deberse a la fusión andesítica de diferentes niveles químicos de la corteza. Presenta un contacto discordante con la formación subyacente (Formación Valle de Angeles). Los afloramientos aparecen alineados con rumbos este-oeste, siguiendo la dirección de las estructuras tectónicas principales presentes en la subcuenca de los ríos La Palma y El Gramal. En concreto en la zona estudiada se encuentran los materiales del miembro m2'a. Su edad se ha atribuido, con reservas, al Oligoceno.

Miembro m2a.

Wiesemann (1978) introducen el término, y corresponde a la parte basal del miembro m2, reportada previamente por el mismo autor (1975: 562). La sección está constituida por rocas efusivas intermedias hasta intermedias-ácidas y piroclástitas subordinadas, en parte silicificadas, con metamorfismo de contacto o con alteración hidrotermal; aflora en la faja comprendida entre los sectores noroccidental y nororiental de El Salvador. Equivale en parte a la Serie Pliocénica descrita por Stirton & Gealey (1949: 1738).

Miembro m2b.

Introducido por Wiesemann et al (1978), equivale a la parte superior del miembro m2 descrito por el mismo autor (1975: 562), y consiste en una secuencia de piroclástitas intermedias hasta intermedias-ácidas, epiclastitas volcánicas y efusivas subordinadas, con evidencias de metamorfismo de contacto y alteración

hidrotermal. Subyace al miembro ch1 de la Formación Chalatenango y los afloramientos están limitados a la franja noroccidental a nororiental de El Salvador.

Formación valle de ángeles.

La Formación Valle de Ángeles fue introducida por Carpenter (1954, 1970, : 15) y elevada al status de Grupo por Mills et al (1967, 1969: 14-15), Weber (1979: 49) lo describe en Metapán como una secuencia de depósitos terrestres y rocas volcánicas entre el grupo Yojoa y las rocas volcánicas del Terciario, cuya composición sugiere una canibalización de las unidades inferiores, (Horne et al, 1957: 185), Equivalen en parte a las Series de los Conglomerados Superiores descritas por Dürr & Stober (1956: 48) y a las areniscas, conglomerados y rocas volcánicas pliocénicas de Stirton & Gealey (1949: 1740).

Grupo Yojoa.

El Termino fue introducido por Mills et al (1967: 1969: 13) en Honduras y, Weber (1979) lo define en el área de Metapán, al NO de El Salvador, como una secuencia de rocas clásticas y carbonáticas que sobreyacen concordantemente a la Formación Todos Santos (Formación Metapán).

Formación Morazán-Chalatenango.

La unidad está constituida por granito, Granodiorita, la cual corresponde a rocas acidas intrusivas.

3. HIDROGEOLOGÍA.

Según Mijailov, L. 1985, es la ciencia que estudia el origen y la formación de las aguas subterráneas, las formas de yacimiento, su difusión, movimiento, régimen y reservas, su interacción con los suelos y rocas, su estado (líquido, sólido y gaseoso) y propiedades (físicas y químicas); así como las condiciones que determinan las medidas de su aprovechamiento.

La información hidrogeológica consiste en describir el movimiento de las aguas subterráneas dentro de las diferentes unidades hidrogeológicas de la zona de

estudio, para ello es necesario estudiar la presencia de manantiales, su caudal y asociación con las fallas geológicas presentes.

3.1 Unidades hidrogeológicas.

Según Duarte, J. 1998, se entiende como unidad hidrogeológica a la conjunción de los distintos materiales de miembros geológicos con similares propiedades o características hidráulicas que conllevan a la unificación en un mismo agrupamiento. Las unidades hidrogeológicas se determinan por el tipo de material geológico, manantiales presentes y el fallamiento. Al asociar esta información, se obtienen las dos unidades hidrogeológicas que se detallan a continuación.

3.1.1 Acuífero volcánico fisurado generado por sistema de fallas geológicas.

Esta unidad está formada por múltiples materiales de origen volcánico con características de infiltración bajas, por lo cual el agua se moviliza mediante un sistema de fallas geológicas.

Entre los materiales que componen esta unidad se pueden mencionar: rocas piroclásticas, silicificadas, limos rojos, etc.

De manera general las rocas alteradas y fracturadas, que a grandes rasgos son acuíferos de permeabilidad y transmisividad baja, pero que se caracterizan por su alta respuesta hídrica. Algunos de ellos pueden llegar a almacenar un volumen importante de agua si la conexión entre las fracturas es alta, tal y como puede observarse en el campo. No obstante, la presencia de múltiples pantallas impermeables, ya sea por las discontinuidades estructurales y litológicas o bien por la presencia de arcillas de alteración, provoca una descarga rápida y por tanto un período de almacenamiento hídrico corto.

3.1.2 Rocas no acuíferas que presentan limitaciones en cuanto a almacenamiento y flujo de agua subterráneas.

La mayor parte del municipio de La Palma, está conformada por este tipo de materiales, algunos de los miembros presentes son: b3, c1, c3, ch1, ch2, etc.

Los acuíferos de las formaciones jóvenes descansan sobre las rocas no acuíferas que actúan como un basamento impermeable, pero cuando estas rocas no acuíferas están en la superficie pueden ser productivas a lo largo de fracturas generalmente verticales entre los diferentes materiales que la conforman. El movimiento de las aguas subterráneas se da gracias al transporte por gravedad del agua a través de la roca fracturada.

Las rocas no acuíferas son especialmente susceptibles a la contaminación debido a que el agua se introduce rápidamente con poca o sin filtración de contaminantes. Los sistemas de fractura también transportan la contaminación en otras direcciones aparte de seguir la pendiente de la superficie.

3.2 Los sensores remotos y su aplicación en la recarga acuífera subterránea.

Según Brinker, 2000. El término “sensor remoto” se refiere a una herramienta que se emplea para estudiar las características de objetos usando datos recopilados desde un punto remoto de observación.

Dicho término abarca el estudio de datos de satélite y fotografías aéreas, siendo una técnica extremadamente poderosa para la exploración, el mapeo y la administración de los recursos hídricos.

Los sensores remotos nos ayudan a identificar las fallas geológicas y las coberturas del suelo, como partes fundamentales del cálculo de la recarga acuífera. Para ello, existen diferentes tipos de imágenes satelitales que se adquieren de distintos sensores, entre los más comunes el LANDSAT, que provee imágenes con una resolución espectral de siete bandas, de las cuales la banda 4, 3 y 2, en arreglo 4-3-2, nos permiten identificar las fallas geológicas, mediante el uso de programas informáticos especializados. Por su parte, la IKONOS, es un tipo de imagen satelital de alta resolución espacial cuyas aplicaciones en la elaboración de mapas de cobertura vegetal es de mucha relevancia, sobre todo por producir mapas a escala mas detalladas (Hernández, 2006).

3.3 Dinámica hídrica subterránea.

El agua de precipitación que llega al suelo circula, en un porcentaje muy elevado, por escorrentía superficial y tan solo una pequeña parte llega a infiltrar. Según

ANDA (1995) el rango de infiltración del agua en el subsuelo es de entre 0 y 10 %. Por tanto, considerando las zonas de recarga y el tipo de acuíferos existentes, la poca agua de infiltración circula inicialmente a través de los suelos, pasa a los acuíferos rocosos a través de las fracturas existentes y fluye hacia niveles inferiores siguiendo caminos preferenciales de acuerdo con la conexión de las fracturas.

Las características anisótropas del medio y el buzamiento de las fracturas hacen pensar en un gradiente hidráulico elevado, esto implica que el flujo hídrico sea bastante vertical, o al menos con dominancia de la componente vertical respecto a la horizontal. El elevado gradiente hidráulico implica también una mayor energía del agua. Es posible que el flujo hídrico subterráneo sea normal a las curvas de nivel siguiendo pues una dirección hacia los valles. No obstante, si consideramos la mayoría de los sistemas anisótropos y heterogéneos, tenemos que la red de flujo es bastante complicada por lo que es difícil establecer la dirección máxima de permeabilidad. (Figura 1).

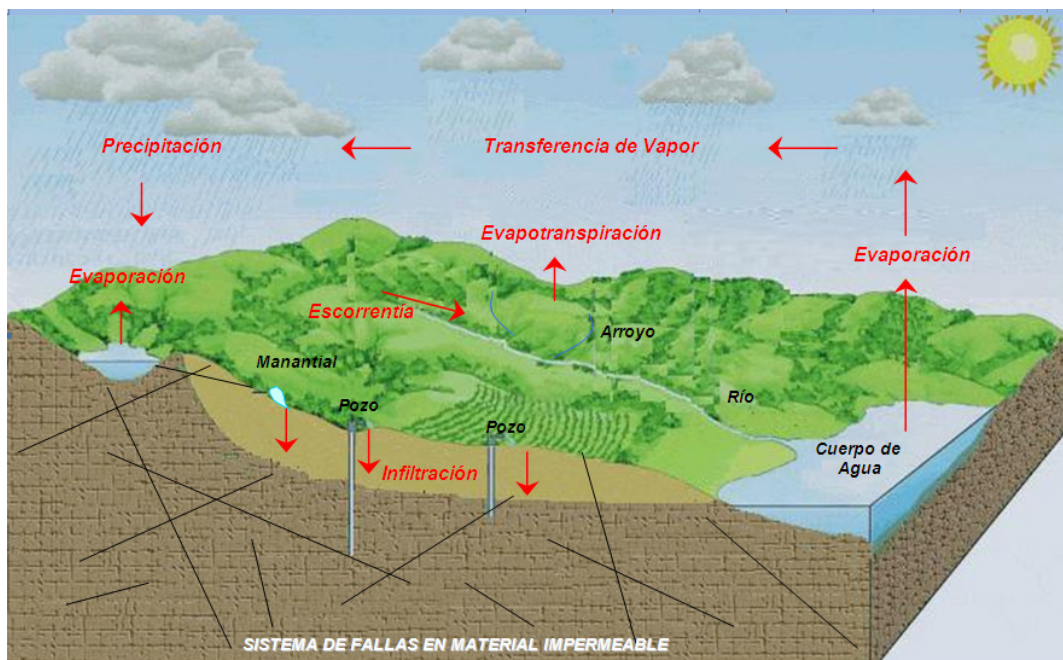


Figura 1: Ciclo del agua en un medio de roca fracturada. Duarte. 1998

4. BALANCE HÍDRICO.

Según Duarte, J. 1998. Balance hídrico es un análisis de los aportes y pérdidas de agua para un periodo determinado que toma en cuenta la constitución de reservas y las extracciones ulteriores sobre esas reservas, la determinación del balance hídrico es la de establecer y analizar las entradas, salidas y cambios de humedad del suelo dentro de un área determinada. La recarga del acuífero es una de las salidas de humedad del suelo que se analiza por medio del balance hídrico, el cual involucra para su determinación los componentes básicos del ciclo hidrológico (precipitación, evapotranspiración e infiltración), además de los principales grados de humedad del suelo (capacidad de campo, y punto de marchitez) y de la profundidad de raíces de las plantas, considerada como la profundidad donde suceden los cambios de humedad.

4.1 Precipitación efectiva.

Según Duarte, 1998. La precipitación efectiva se considera como la porción de la precipitación pluvial que logra infiltrarse en el suelo y que se encuentra disponible para ser utilizada por las raíces de las plantas o para recargar al acuífero.

Existen varios factores que intervienen en la determinación de la precipitación efectiva, entre los que se mencionan a los siguientes: intensidad de la precipitación, la velocidad de intensidad de infiltración en el suelo, la cobertura vegetal y la topografía. A partir de estos factores existen diversos métodos, basados en fórmulas, para calcular la precipitación efectiva.

4.2 Evapotranspiración.

En general la evapotranspiración es la pérdida del agua contenida en el suelo producto de la evaporación más la pérdida del agua contenida en la vegetación por medio de la transpiración, también constituye un factor de gran importancia para conocer la cantidad de agua infiltrada en el subsuelo.

4.2.1 Evapotranspiración potencial.

Según IDEAM, 2007. Es la cantidad máxima de agua capaz de ser perdida por una capa continua de vegetación que cubra todo el terreno cuando es ilimitada la cantidad de agua suministrada al suelo. Es un importante elemento para el balance hídrico ya que nos permite estimar el máximo de pérdidas causado por el complejo planta-suelo, que a la vez nos sirve para conocer la cantidad que logra percolar hasta el acuífero.

4.2.2 Humedad del suelo.

Según UDEP, 2007. El término o humedad del suelo se emplea para referirse al agua retenida por él, y así distinguirla del agua subterránea propiamente dicha. La humedad del suelo juega un papel importante en ciertos fenómenos como la evapotranspiración y la infiltración consecuentemente desde los puntos de vista hidrológico y agrícola, su estudio es muy interesante.

Algunos valores característicos que determinan el contenido de humedad de un suelo son:

1. Capacidad de Campo: Cantidad de agua que el suelo puede retener en contra del efecto de la gravedad, que hace que el agua vaya a las zonas profundas o deslice naturalmente, generando un flujo a través del terreno denominado interflujo.
2. Punto de Marchitez: es el grado de humedad de un suelo que rodea la zona radicular de la vegetación.

4.2.3 Propiedades físicas del suelo.

Según UDEP, 2007. En el estudio físico del suelo interesan los siguientes aspectos.

1. Textura: proporción relativa en que se presentan los distintos materiales sólidos que lo componen: arenas, limos y arcillas. Esta proporción se expresa en

porcentaje del peso de materiales comprendidos en el intervalo de tamaño respecto al peso total de la muestra seca.

2. La estructura: es la disposición relativa de esos materiales, en las condiciones naturales de un determinado suelo.

3. Permeabilidad: esta es la propiedad de una formación acuífera en lo referente a su función trasmisora o de conducto, se denomina permeabilidad, y se define como la capacidad de un medio poroso para transmitir agua.

4.3 Recarga hídrica.

Es el proceso a través del cual un acuífero recupera su nivel de agua normal, esto se debe a la percolación del agua precipitada que llega a la zona saturada del acuífero.

Según Jorge Faustino (2006), el agua del suelo se renueva en general por procesos activos de recarga desde la superficie. La renovación se produce lentamente cuando se compara con la de los depósitos superficiales, como los lagos, y los cursos de agua. El tiempo de residencia (el periodo necesario para renovar por completo un depósito a su tasa de renovación normal) es muy largo. En algunos casos la renovación está interrumpida, por la impermeabilidad de las formaciones geológicas superiores (acuitardos), o por circunstancias climáticas sobrevenidas de aridez.

La proporción de infiltración respecto al total de las precipitaciones depende de varios factores. La litología (la naturaleza del material geológico que aflora e la superficie) influye a través de su permeabilidad, la cual depende de la porosidad, del diaclasamiento (agrietamiento) y de la mineralogía del sustrato.

En la zona de estudio, la recarga natural de los acuíferos procede básicamente del agua de lluvia que a través del terreno pasa por infiltración a los acuíferos. Esta

recarga es muy variable y es la que geológicamente ha originado la existencia de los acuíferos.

La salida natural de un acuífero a la superficie terrestre en un punto localizado se denomina manantial. En el municipio de la Palma esta salida se debe al fallamiento de la zona (figura 2).

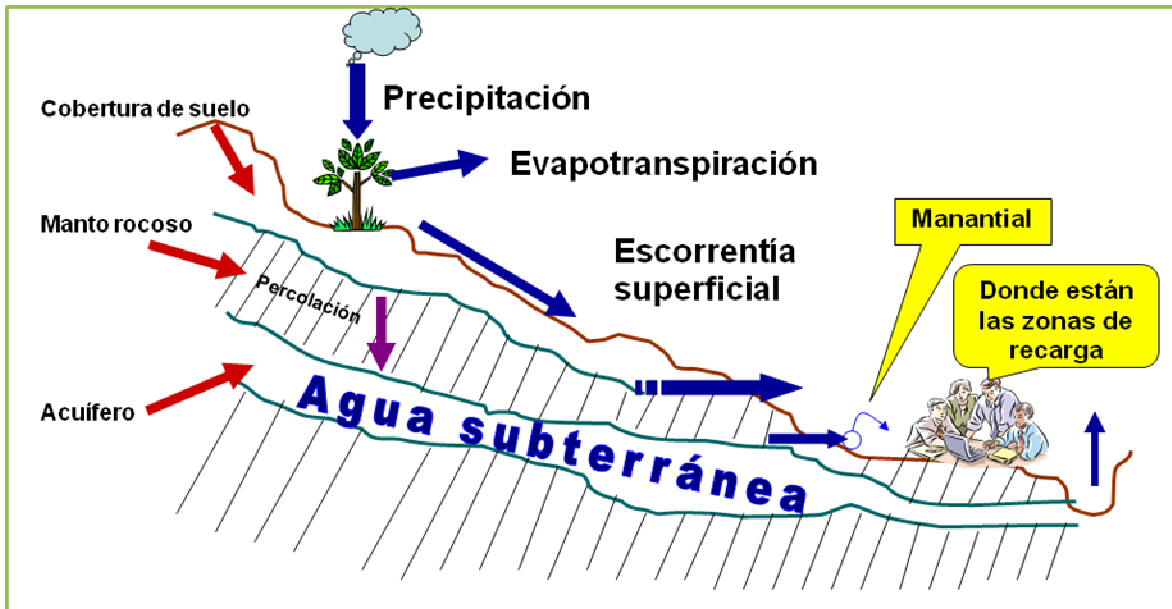


Figura 2. Las aguas subterráneas y el ciclo hidrológico. CATIE. 2006.

5. METODOLOGÍA DEL TRABAJO.

5.1 Recopilación de Información secundaria de la zona de estudio.

El objetivo de recopilar la información existente de la zona, fue para lograr establecer una asociación entre las estructuras geológicas (fallas) y los afloramientos de agua, para lo cual fue necesario conocer el marco geológico, el contexto hidrogeológico, red hídrica, topografía, y cobertura vegetal de la zona. Toda esta información estuvo complementada por la imagen satelital Ikonos de alta resolución y Landsat TM, imágenes aportadas por la Facultad de Ciencias Agronómicas de la Universidad de El Salvador.

5.1.1 Geología

Para el conocimiento de la geología de la zona, se revisó el mapa geológico de El Salvador en escala 1:100000 del Instituto Geográfico Nacional, Ing. Pablo Arnoldo Guzmán del Centro Nacional de Registro (CNR), proporcionado en forma impresa por la Facultad de Ciencias Agronómicas de la Universidad de El Salvador, así como el Léxico Estratigráfico de El Salvador (Scott Baxter, 1984), de este mapa general del país. (Anexo 2).

5.1.2 Topografía.

La información topográfica consistió de cuadrantes topográficos a escala 1:50000 del el Instituto Geográfico Nacional, Ing. Pablo Arnoldo Guzmán del Centro Nacional de Registro (CNR). Los cuadrantes topográficos utilizados fueron: Tejutla (2358 I), Masahuat (2358 IV), San Ignacio (2359 II). (Anexo 3).

El objetivo de este tipo de información fue conocer las características topográficas del municipio de la Palma para la elaboración de las curvas de nivel de la zona.

5.1.3 Cobertura vegetal.

En cuanto a la información sobre cobertura vegetal, se consultó el mapa de uso de suelo producto del proyecto SHERPA CLC 2002, escala 1:50000, proporcionado por el Laboratorio SIG de la Facultad de Ciencias Agronómicas de la Universidad de El Salvador, cabe mencionar que hubo necesidad de elaborar un mapa más detallado de la cobertura del suelo escala 1:10000, proceso que se detalla en otro apartado de este documento.

5.1.4 Hidrología.

La información hidrológica fue consultada en los cuadrantes topográficos escala 1:50000 del Instituto Geográfico Nacional “Ing. Pablo Arnoldo Guzmán” (IGN), del Centro Nacional de Registro. Con la cual se pudo identificar la red hídrica y los patrones de drenaje de la zona en estudio.

5.1.5 Hidrogeología.

Para obtener esta información se utilizaron bases de datos geográficas digitales sobre inventarios de manantiales del proyecto FORGAES (Fortalecimiento de la Gestión Ambiental en El Salvador). 2005. en época de invierno y el Inventario de los Recursos Hídricos, Plan Trifinio, Proyecto Agua como Bien Público Regional ABPR. 2008.

5.1.6 Mapa de cobertura vegetal detallado

- Para determinar este mapa se hizo uso de la técnica de sensores remotos. Las imágenes satelitales utilizadas en la zona de estudio Ikonos de 4 metros a color y 1 metro en Pancromática, año 2003, proporcionada por la Facultad de Ciencias Agronómicas mediante el proyecto Trifinio-GTZ

5.1.7 Mapa de fallas geológicas locales

- Para elaborar este mapa se utilizó la Imagen Landsat 5 TM 1997, proporcionada por la Universidad de El Salvador. Esta imagen es captada por el satélite Landsat 5 mediante un sensor remoto TM, la cual contiene 7 bandas espectrales donde se archiva la información recolectada. Con esta imagen se determinaron los alineamientos de las fallas geológicas en la zona, con el objetivo de correlacionarlas con las fuentes de agua subterránea presentes en el municipio.

5.2 FASE DE CAMPO

Se realizaron 3 visitas de reconocimiento de la zona, 3 visitas de carácter investigativo a diferentes instituciones nacionales, 3 para la verificación de ubicación de las fuentes de agua, 10 visitas para actualizar el mapa de uso de suelo del municipio.

5.2.1 Visitas de reconocimiento.

Como parte del trabajo de campo se realizaron visitas de reconocimiento y de carácter investigativo. Con dichas visitas se hace un reconocimiento de la zona,

para verificar los inventarios de fuentes de agua utilizando equipo GPS de navegación "eTrex" Vista de seis metros de precisión. Dichas visitas de reconocimiento sirvieron también para conocer la topografía de la zona de estudio y para verificar el mapa de uso de suelo.

Las visitas de carácter investigativo a las instituciones nacionales se hizo con el objetivo de obtener información de la zona de estudio.

5.3 Procesamiento y análisis de la información.

El análisis y la interpretación de la información consistió básicamente en la elaboración de la cartografía para determinar la asociación entre las fuentes de agua y los alineamientos de las fracturas de las fallas geológicas de la zona.

Con la información existente referente al marco geológico, contexto hidrogeológico, sistema hidrológico, topografía, se procedió a determinar las zonas de recarga potencial del municipio.

5.4 Cartografía digital utilizada para determinar zonas de recarga acuífera

Para la estimación de la recarga potencial fue necesario utilizar información cartográfica básica: mapas climáticos, hidrogeológicos, pendientes, usos de suelos, geológico, manantiales, esta información se procesó mediante el software ArcGIS 9.0, el formato de archivo que se utilizó para cada cobertura fue el de tipo Shape file, nativo de ESRI.

5.4.1 Mapa de red hídrica.

Se elaboró el mapa de la red hídrica del municipio con el fin de apoyar el proceso de detección de fallas, esta información fue consultada en el Instituto Geográfico Nacional (IGN)(Anexo 4).

5.4.2 Mapa de pendientes.

El mapa de pendientes se elaboró utilizando un modelo digital de elevación del terreno a 10 metros, clasificándolo en tres rangos: 0–15%, 15–30 %, mayores de 30 %.

El objetivo de obtener este mapa es conocer la fracción infiltrada de agua por acción de la topografía del terreno la cual está representada por el coeficiente k_p , propuesto para la pendiente en el balance hídrico según Gunther Schosinsky. 2001. Asignado a cada rango respectivamente como se muestra en el cuadro 1. (Anexo 5).

Cuadro 1. Rangos de pendiente (%) y su coeficiente k_p .

Rangos de pendientes (%)	Coeficiente k_p
0 – 15	0.27
15 – 30	0.1
Mayores de 30	0.04

Fuente: Gunther Schosinsky. 2001

5.4.3 Mapa de manantiales.

Se utilizaron los mapas de manantiales levantados por el proyecto FORGAES, (Fortalecimiento de la Gestión Ambiental en El Salvador) en época de invierno y del Inventario de los Recursos Hídricos del 2008, desarrollado por el Plan Trifinio, Proyecto Agua como Bien Público Regional ABPR en época seca. (Anexo 6).

5.4.4 Mapa de uso de suelo.

Se elaboró un mapa nuevo de uso del suelo, a una escala 1:10,000 utilizando una imagen satelital Ikonos del año 2003 proporcionada por la Facultad de Ciencias Agronómicas mediante el proyecto Trifinio-GTZ, con el objetivo de obtener información más actualizada y con mayor detalle, esta poseía las características siguientes:

- Imagen pancromática de 1 metro de resolución.

- Imagen multiespectral a color de 4 metros de resolución, con cuatro bandas, (anexo 7).

Se utilizó la nomenclatura Corine Land Cover, asignándose para los diferentes usos del suelo un coeficiente kv propuesto en el balance hídrico según Schosinsky, 2000, que representa la fracción infiltrada por acción de la cobertura vegetal, (Cuadro 2, Anexo 8).

Cuadro 2. Uso de suelo asignado con su respectivo coeficiente Kv.

Uso de suelo	Coeficiente Kv
Bosque de Coníferas	0.2
Bosque Mixto	0.2
Café	0.19
Granos Básicos	0.1
Mosaico de Cultivos y Pastos	0.1
Pastos Naturales	0.1
Vegetación Arbustiva Baja	0.2
Tejido Urbano Discontinuo	0.1

Fuente: Schosinsky, 2000

5.4.5 Mapa geológico.

A las unidades hidrogeológicas identificadas en la zona, con la ayuda del mapa geológico, les fueron asignados sus respectivos coeficientes con base al material geológico y la capacidad de infiltración del mismo, representado por el factor FC, producto de investigaciones anteriores realizadas por Schosinsky, 2000 el cual es necesario para calcular el coeficiente kfc, que es uno de los que determinan la recarga potencial. (Cuadro 3, Anexo 9).

Cuadro 3. Formaciones encontradas en la zona de estudio con sus respectivos miembros y su coeficiente FC y kfc.

FORMACIÓN	MIEMBRO	FC	kfc
Bálsamo	b3	45	0.28645
Cuscatlán	c1	65	0.38155
Cuscatlán	c3	45	0.28645
Chalatenango	ch1	45	0.28645
Chalatenango	ch2	45	0.28645
Morazán	m2a	45	0.28645
Morazán	m2b	45	0.28645
Morazán -Chalatenango	l	45	0.28645
Valle de Angeles	Va	45	0.28645
Grupo Yojoa	Yo	45	0.28645

Fuente: Schosinsky, 2000

5.4.6 Mapa de fallas geológicas.

Debido a que el mapa geológico nacional no dispone de cobertura de fallas en el municipio de La Palma, fue necesario identificar las fallas locales utilizando una imagen Landsat 5 TM de 1997, con un tamaño de píxel de 25 metros y resolución espectral de siete bandas (Anexo 10).

Para la interpretación de la imagen LANDSAT, se aplicaron filtros para el realce de bordes con el objetivo de acentuar aspectos topográficos de la imagen y las combinaciones de bandas, 4-3-2 propuesta por (Mata, 2004), y 2-4-7 (CLIRSEN, 2007). La imagen fue procesada con el software ERDAS IMAGINE utilizado en versión demo (Anexo 11).

Los criterios para la identificación de las fallas geológicas fueron los propuestos por Mata 2004:

Topografía

Los cambios en la topografía causados por sombras, por ejemplo, depresiones en la superficie que están alineadas o cambios abruptos en la topografía asociados con fallas mayores.

Patrones de drenaje

El drenaje sirve de ayuda para localizar alineamientos, éstos se pueden identificar, por ejemplo, en los cambios abruptos en la dirección que lleva el drenaje (90°), teniéndose una relación entre los alineamientos y el sistema de drenaje.

La vegetación anómala

Sirvió como una guía directa para las investigaciones de agua subterránea. El agua que fluye entre las fracturas puede mantener constantemente vegetación no importando si es estación seca. Se puede observar en patrones lineales comúnmente asociados con el drenaje, canales o agrupaciones individuales de árboles donde el agua subterránea es poco profunda (figura 3).

Al tomar en cuenta todos estos criterios, se creó un archivo Shape de tipo línea en el cual se digitalizaron por interpretación visual de la imagen en pantalla, líneas que representaron las fallas geológicas, la digitalización fue elaborada utilizando el software ArcGIS 9.0, utilizando las diferentes combinaciones de bandas RGB 4,3,2 y 2,4,7 para hacer la identificación de los alineamientos; Teniendo esto, se hace la sobreposición de cada una de las interpretaciones dándonos como resultado el archivo SHAPE de fallas geológicas. (Figura 3).

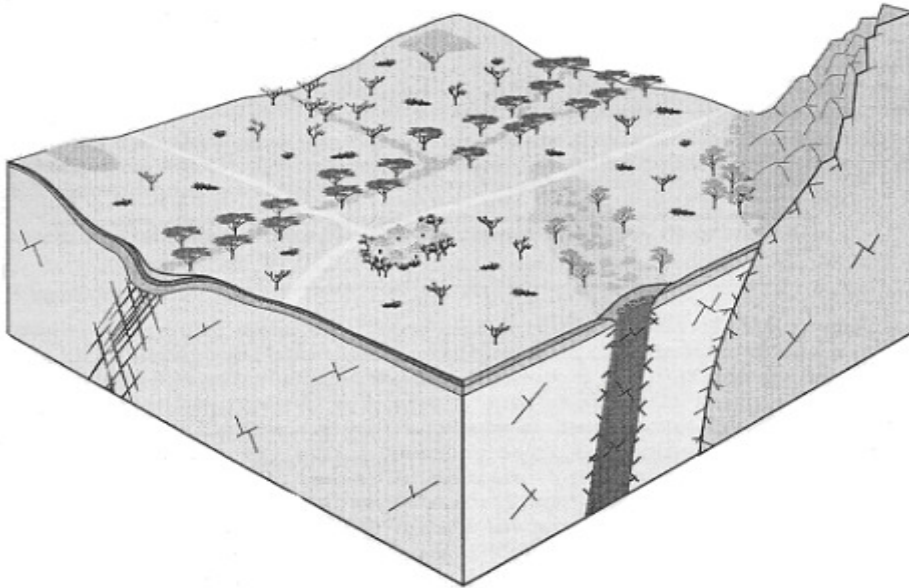


Figura 3. Características superficiales que pueden ser indicadores de agua subterránea: vegetación, cambios abruptos, patrón de drenaje y fracturas. (Ventura Díaz. 2004).

5.4.7 Mapa hidrogeológico.

Para la elaboración del mapa hidrogeológico se superpusieron los tres mapas siguientes: el de manantiales, fallas geológicas y de curvas a nivel.

Se tomó en cuenta que debido a las características de los materiales geológicos del municipio de La Palma y su topografía, la presencia de manantiales y la de fallas geológicas en un área determinada está asociada a la presencia de aguas subterráneas, tomando como criterio de análisis la asociación de la cobertura de manantiales, su altura y el fallamiento del municipio de La Palma, se delimitaron las unidades hidrogeológicas con la dirección de flujo hídrico de los manantiales para cada una de ellas. (Anexo 12).

6. Procesamiento y análisis de la información

Para determinar los resultados finales de la investigación desarrollamos la metodología Schosinsky con el propósito de obtener la recarga potencial al acuífero mediante un balance de suelos.

6.1 Balance hídrico.

La finalidad de la determinación del balance hídrico es la de establecer y analizar las entradas, salidas y cambios de humedad del suelo dentro de un área determinada. La recarga del acuífero es una de las salidas de humedad del suelo que se analiza por medio del balance hídrico, el cual involucra para su determinación los componentes básicos del ciclo hidrológico (precipitación, evapotranspiración e infiltración), además de los principales grados de humedad del suelo (capacidad de campo, y punto de marchitez) y de la profundidad de raíces de las plantas, considerada como la profundidad donde suceden los cambios de humedad.

6.2 Desarrollo del Balance Hídrico.

La determinación del balance hídrico se hizo tomando en cuenta el material geológico de las unidades hidrogeológicas identificadas en el área de estudio las cuales fueron diez, cabe mencionar que ciertos parámetros como lo es el factor de infiltración, el cual involucra textura, estructura de suelo fueron consultados en estudios realizados por Gunther Schosinsky (Ing. Civil Hidrogeólogo, profesor de la maestría de hidrogeología de la Universidad Nacional de Costa Rica).

Zona I, miembro ch1 el material geológico predominante son las rocas piroclásticas ácidas, epiclastitas volcánicas ignimbritas y rocas efusivas intercaladas, su edad es del mioceno de baja permeabilidad, coeficiente de infiltración igual a 0.29.

Zona II, miembro ch2, esta constituida por rocas efusivas acidas de tipo riolítico y por piroclastitas subordinadas, su edad es del mioceno de baja permeabilidad, coeficiente de infiltración igual a 0.29.

Zona III, miembro b3, constituido por rocas efusivas básicas intermedio, su edad es del plioceno–pleistoceno de baja permeabilidad, coeficiente de infiltración igual a 0.29.

Zona IV, miembro c1, constituido por unidades tanto sedimentarias como volcánicas, su edad del plioceno-pleistoceno, de baja permeabilidad, coeficiente de infiltración igual a 0.38.

Zona V, miembro c3, constituido por rocas volcánicas de tipo andesítica y basáltica y principalmente los colados de lava, su edad plioceno-pleistoceno, de baja permeabilidad, coeficiente de infiltración igual a 0.29.

Zona VI, miembro m2a, constituido por rocas efusivas intermedias hasta intermedias ácidas y piroclásticas subordinadas y en parte silicificadas, su edad oligoceno, de baja permeabilidad, coeficiente de infiltración igual a 0.29

Zona VII, miembro m2b, secuencia de piroclásticas intermedias hasta intermedias ácidas, epiclásticas volcánicas y efusivas subordinadas, su edad es del mioceno, de baja permeabilidad, coeficiente de infiltración igual a 0.29

Zona VIII, miembro yo, secuencia de rocas clásticas y carbonáticas, su edad albio tardío, de baja permeabilidad, coeficiente de infiltración igual a 0.29.

Zona IX, miembro va, secuencia de depósitos terrestres y rocas volcánicas, areniscas y conglomerados, su edad oligoceno, de baja permeabilidad, coeficiente de infiltración igual a 0.29.

Zona X, miembro I, características similares a miembro ch1 y m2a, de baja permeabilidad, coeficiente de infiltración igual a 0.29.

6.3 Metodología aplicada en el balance hídrico.

Se utilizó la fórmula de correlación estadística desarrollada por Gunther Shosinsky y Marcelino Losílla, la cual considera a la velocidad de infiltración del suelo (capacidad de infiltración) como el factor principal que condiciona la cantidad de precipitación pluvial que puede infiltrarse; ya que depende básicamente de las características físicas del suelo, como lo son la textura, estructura, compactación y contenido de humedad.

La cantidad de precipitación que infiltra en el subsuelo, estuvo condicionada por el factor de coeficiente de infiltración, es cual está sujeto a las condiciones de pendiente del terreno (k_p), vegetación existente (k_v), y tipo de suelo (k_{fc}).

Las fórmulas utilizadas son las siguientes:

$$K_{fc} = 0.267 \ln(f_c) - 0.000154 f_c - 0.723 \quad (\text{ec. 1})$$

$$C = K_p + K_v + K_{fc} \quad (\text{ec. 2})$$

$$I = 0.88 * C * P \quad (\text{ec. 3})$$

Donde:

C: Coeficiente de infiltración.

P: Precipitación (mm/mes)

K_p : Fracción que infiltra por efecto de la pendiente del terreno. (Valores propuestos en la metodología).

K_v : Fracción que infiltra por efecto de la cobertura vegetal. (Valores propuestos en la metodología de acuerdo al tipo de uso del suelo).

K_{fc} : Fracción que infiltra por efecto de la textura del suelo. (Calculado a partir de la capacidad de infiltración básica del suelo).

f_c : Infiltración básica del suelo (mm/día).

Se determinan los coeficientes de infiltración a partir de la sumatoria de cada uno de los parámetros asignados.

Los valores de precipitación mensual son evaluados de acuerdo a la ec. 3, donde se determina la cantidad de precipitación mensual que infiltra (P_i).

Los valores de humedad inicial en el suelo (H_{si}), se determina considerando que el suelo se encuentra a capacidad de campo (CC), en la zona radicular (PR) de la vegetación existente, y la densidad del suelo (DS) a partir de la siguiente ecuación:

$$H_{si} = \frac{CC * PR * DS}{100} \text{ (ec. 4)}$$

El resultado obtenido a partir de la ec. 4, es utilizado únicamente en el mes con que se inicia el balance hídrico, en el caso analizado se ha iniciado con el mes de octubre, para tener la certeza que el suelo esté en el punto de capacidad de campo, considerando que las precipitaciones de los meses previos han provisto de suficiente humedad al suelo, para que se encuentre en dicha condición. En los meses siguientes, la humedad inicial corresponde a la húmeda final del mes anterior al que se va a analizar.

La determinación de la humedad final del suelo se calculó considerando los factores C_1 (ec. 5) y C_2 (ec. 6), los cuales se refieren al coeficiente antes de que ocurra la evapotranspiración real (ETR) y después de que ocurre la evapotranspiración real (ETR), respectivamente.

$$* C_1 = \frac{H_{si} - PM + P_i}{CC - PM} \text{ (ec. 5)}$$

Donde:

PM: Punto de Marchitez.

* Si $C_1 > 1$, entonces $C_1 = 1$.

$$C_2 = \frac{H_{si} - PM + P_i - (ETP * C_1)}{CC - PM} \text{ (ec. 6)}$$

La humedad disponible está condicionada por la humedad inicial del suelo más la precipitación que infiltra menos el punto de marchitez permanente (ec. 7).

$$HD = H_{si} - PM + P_i \text{ (ec. 7)}$$

La evapotranspiración real que ocurre durante el proceso se calculó a partir de los índices C_1 y C_2 .

$$ETR = \left(\frac{C_1 + C_2}{2} \right) ETP \text{ (ec. 8)}$$

Cálculo de humedad final:

$$H_{sf} = H_{si} + P_i - ETR \text{ (ec. 9)}$$

Si la humedad final es mayor que la capacidad de campo, el valor que se le asigna es el de capacidad de campo, debido a que el suelo no puede retener mayor humedad, que la correspondiente a dicho punto. Por lo que la recarga potencial a los acuíferos se da cuando la humedad final es mayor a la capacidad de campo, y se calcula de acuerdo a la siguiente ecuación:

$$R_p = H_{si} - H_{sf} + P_i - ETR \text{ (ec. 10)}$$

La determinación de cada uno de los factores involucrados en el cálculo de la infiltración se realizó considerando:

El mapa de pendientes de la cuenca: a partir de las curvas de nivel a cada 10 m se generó el modelo de elevación digital del terreno a partir del cual se obtuvo el

mapa de pendientes y se clasificó de acuerdo a los rangos propuestos por la metodología antes mencionada. (cuadro 4).

Cuadro 4. Determinación de Kp según el Rango de la Pendiente.

Rangos de pendientes (%)	Coefficiente kp
0 – 15	0.27
15 – 30	0.1
Mayores de 30	0.04

Fuente: Ing. Roberto Duarte. 2008.

El mapa de índices de cobertura vegetal fue generado a partir del mapa de uso de suelo elaborado por el proyecto SHERPA. Los índices asignados se detallan a continuación. (Cuadro 5).

Cuadro 5. Índice K_v Asociado a Usos de Suelo

Uso de Suelo	Coefficiente Kv
Bosque de Coníferas	0.2
Bosque Mixto	0.2
Café	0.19
Granos Básicos	0.1
Mosaico de Cultivos y Pastos	0.1
Pastos Naturales	0.1
Vegetación Arbustiva Baja	0.2
Tejido Urbano Discontinuo	0.1

Fuente: Junker, 2005. Schosinsky, 2000.

El mapa de índice K_{fc} , fue determinado a partir de la zonificación realizada considerando la capacidad de infiltración de los materiales presentes en la cuenca (Figura 12). La zonificación con base a los índices K_{fc} , se realizó considerando los diferentes miembros geológicos que afloran en la zona de estudio (Cuadro 3). En las áreas urbanas se consideró que las zonas no impermeabilizadas corresponden a un 25% de área total, por lo que se obtuvo un índice k_{fc} ponderado de cada zona, el cual dependió del tipo de suelo predominante en cada una de ellas. (Cuadro 6).

Cuadro 6. Índice Fc según Material Geológico.

FORMACIÓN	MIEMBRO	FC	kfc
Bálsamo	b3	45	0.28645
Cuscatlán	c1	65	0.38155
Cuscatlán	c3	45	0.28645
Chalatenango	ch1	45	0.28645
Chalatenango	ch2	45	0.28645
Morazán	m2a	45	0.28645
Morazán	m2b	45	0.28645
Morazán-Chalatenango	l	45	0.28645
Valle de Ángeles	va	45	0.28645
Grupo Yojoa	yo	45	0.28645

Fuente: Ing. Roberto Duarte, 1998.

Una vez obtenido el valor de K_{fc} se determinó el coeficiente de infiltración “C” para cada una de las zonas establecidas para la realización del balance hídrico. La obtención de coeficiente de infiltración se obtuvo mediante la aplicación de la expresión (ec. 2), donde se considera que es la suma de los coeficientes K_p , K_v y K_{fc} .

La determinación de la cantidad de agua que infiltra en una zona determinada depende principalmente del coeficiente de infiltración “C”, y se encuentra directamente relacionado con la precipitación que tiene lugar en el sitio.

Para la realización del balance hídrico de suelos se utilizaron los promedios de las precipitaciones registradas en un período de 30 años, en la estación G4 (La Palma, Chalatenango, cuadro 7), siendo la más cercana al área de estudio.

Cuadro 7. Datos de Precipitación de la Estación Pluviométrica G4.

EST.	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ANUAL
G4	8.0	5.6	22.6	71.7	224.0	490.9	319.7	367.2	417.7	239.8	49.9	8.3	2225.4

Fuentes: Servicio Nacional de Estudios Territoriales, 2008.

Como se mostró anteriormente, la metodología empleada para el cálculo del balance hídrico de suelos, considera los siguientes factores:

Evapotranspiración: se define como la pérdida de humedad de una superficie por evaporación directa junto con la pérdida de agua por transpiración de la vegetación.

Para el cálculo de la recarga del acuífero proveniente de la precipitación, se consideró la evapotranspiración potencial promedio de 30 años de la estación G4 (La Palma, Chalatenango, cuadro 8). Esta estación fue considerada por su representatividad en la zona:

Cuadro 8. Datos de evapotranspiración potencial de la estación climatológica G4.

EST.	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ANUAL
G4	125.5	143.6	155.9	150.9	128.0	110.9	126.8	121.7	105.5	107.9	114.6	112.4	1503.5

Fuentes: Servicio Nacional de Estudios Territoriales, 2008.

Contenido de humedad del suelo: este aspecto considera el agua retenida en el suelo. Teniendo en cuenta dos puntos característicos para cada tipo de suelo: la capacidad de campo, y el punto de marchitez; los cuales representan la máxima humedad retenida por el suelo sometido a la fuerza de gravedad, y el mínimo

contenido de humedad que el suelo puede tener, el cual representan el agua que no puede ser extraída del suelo por las plantas, respectivamente.

El área de estudio fue zonificada considerando los siguientes aspectos:

Coeficiente de infiltración: en este parámetro se consideran los factores K_v , K_p , y K_{fc} . El cual es utilizado para el cálculo de la precipitación que infiltra en el suelo.

Precipitación promedio en la zona: considerando la distribución de la precipitación medida por la estación que se encuentran en la zona de estudio se selecciono esta por ser representativa del lugar.

Tipo de suelo: Este factor se consideró nuevamente, debido a que para el cálculo de la recarga al acuífero se consideran los parámetros de densidad aparente, capacidad de campo, y punto de marchitez, propios para cada material. El método aplicado evalúa por separado la precipitación que infiltra (C) y el agua retenida en el suelo por lo que fue necesario considerarlo en los criterios de zonificación.

6.4 Cálculo de la recarga.

Una vez obtenidos los valores de precipitación efectiva, evapotranspiración potencial y los contenidos de humedad (capacidad de campo y punto de marchitez), se procedió al cálculo de la recarga del acuífero, la cual es producida por infiltración directa de la precipitación.

El balance hídrico utilizado se basó en el método de Penman y Grindley, considerando una variación lineal de la evapotranspiración potencial con respecto a la evapotranspiración real. Esta relación establece que a medida que el contenido de humedad del suelo se aproxima a su punto de marchitez, se incrementa, para las plantas, la dificultad de obtener agua del suelo a través de las raíces, por lo que las plantas cierran sus estomas con el fin de guardar humedad, es decir que existe menos evapotranspiración.

El área de estudio fue clasificada en 10 zonas, considerando los aspectos descritos anteriormente. El detalle de los datos característicos para cada una de las zonas se presentan en el cuadro 9.

7. RESULTADOS

A partir de los resultados obtenidos del balance hídrico de suelos se determinó que el volumen de recarga potencial es de 0.17 metros cúbicos por segundo en el área total en estudio. (Anexo 13).

Cabe mencionar que también se determinó el volumen de la recarga potencial en unidades de lts/seg por cada unidad hidrogeológica dando como resultado un caudal de 170.85 lts/seg. (Anexo 14).

La recarga ocurre principalmente durante los meses de julio a octubre según el comportamiento normal de la precipitación efectiva de la zona. La distribución de la recarga mensualmente se encuentra detallada en los balances hídricos de suelo de cada una de las zonas del área estudio. (Cuadro 9).

Cuadro 9. Detalle de las características de las zonas con potencial de recarga acuífera encontradas en el municipio de La Palma.

ZONA	MIEMBRO	Coefficiente de infiltración (C)	ÁREA (Has)	RECARGA POTENCIAL (Mt ³ /seg)	RECARGA POTENCIAL (mm/año)	Volumen total recargado por año (m ³)
I	ch1 (e)	0.53	1774.4	0.11577	205.75	3650828
II	Va (i)	0.53	1.4	0.00009	205.75	2880.5
III	Yo (j)	0.53	4.6	0.00029	205.75	9464.5
IV	b3 (b)	0.62	92.8	0.00591	200.94	186472.32
V	c1 (c)	0.43	427.0	0.02201	162.56	694131.2
VI	c3 (d)	0.53	42	0.00198	149.28	62697.6
VII	m2a (g)	0.43	245.5	0.01162	149.28	366482.4
VIII	m2b (h)	0.53	15.1	0.00071	149.28	22541.28
IX	ch2 (f)	0.43	173.6	0.00626	113.74	197452.64
X	l (a)	0.43	171.3	0.00618	113.74	194836.02
Promedio				0.017082	165.607	
Total			27.920			5387786.46

- (a). Tabla balance hídrico específico de la zona 1, miembro I. Ver anexo 15.
- (b). Tabla balance hídrico específico de la zona 2, miembro b3. Ver anexo 16.
- (c). Tabla balance hídrico específico de la zona 3, miembro c1. Ver anexo 17.
- (d). Tabla balance hídrico específico de la zona 4, miembro c3. Ver anexo 18.
- (e). Tabla balance hídrico específico de la zona 5, miembro ch1. Ver anexo 19.
- (f). Tabla balance hídrico específico de la zona 6, miembro ch2. Ver anexo 20.
- (g). Tabla balance hídrico específico de la zona 7, miembro m2a. Ver anexo 21.
- (h). Tabla balance hídrico específico de la zona 8, miembro m2b. Ver anexo 22.
- (i). Tabla balance hídrico específico de la zona 9, miembro va. Ver anexo 23.
- (j). Tabla balance hídrico específico de la zona 10, miembro yo. Ver anexo 24.

El promedio de recarga estimado fue de 165.6 mm/año, con un máximo de recarga de 205.75 mm/año(por los miembros geológicos (va, yo y ch1) y con un mínimo de recarga de 113.74 mm/año por los miembros geológicos (I y Ch2) (Anexo 15). De las 2,948 Has que se encontraron con alto potencial para recarga acuífera, el 60% (1,768.8 Has) pertenecen al miembro geológico Ch1 de la Formación Geológica Chalatenango, con un volumen total de recarga de 3,650,828 Mt³/año, seguido por el miembro geológico c1 de la formación geológica Cuscatlán, con un total de 694,131.2 Mt³/año, representando el 14% (412.72 Has). (Figura 4).

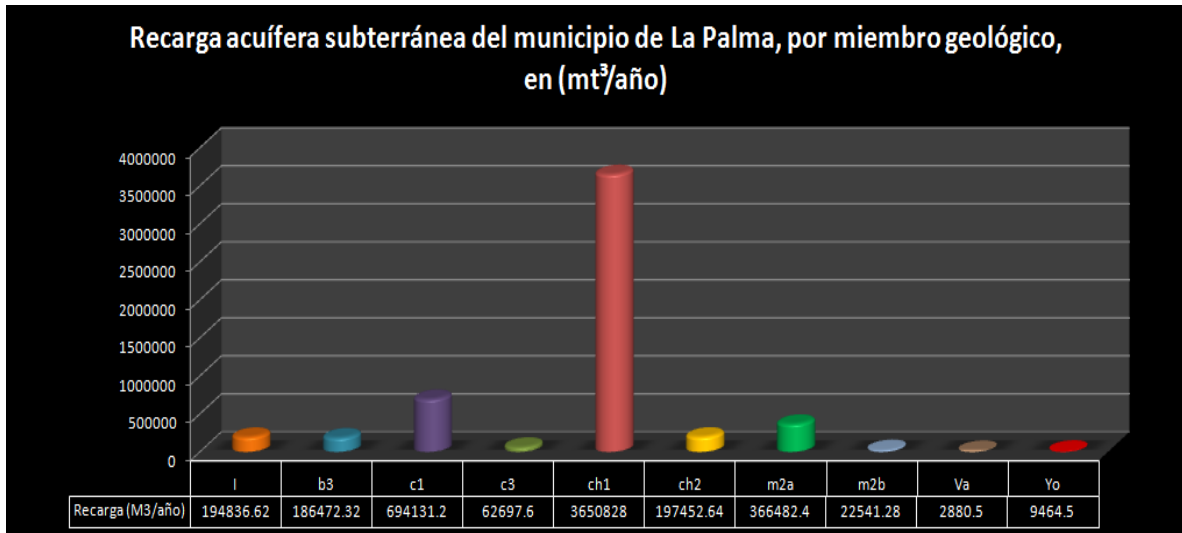


Figura 4. Recarga acuífera subterránea del municipio de La Palma, por miembro geológico en Mt³/año.

8. CONCLUSIONES.

1. La metodología del Balance Hídrico específico calcula con precisión el caudal de recarga acuífera subterránea de cada miembro geológico, datos consistentes con los caudales de los manantiales en época seca existentes en el municipio de La Palma.
2. Las zonas con formación geológica Chalatenango miembro ch1, son las que poseen el mayor potencial de recarga acuífera Subterránea.
3. Las variables físicas locales de fracturas geológicas, juntamente con el inventario de fuentes de agua indicaron con primicia las zonas de recarga acuífera subterránea, resultado obtenido visualmente a través de una simple sobreposición de mapas utilizando Sistema de Información Geográfica;
4. El uso de cartografía temática con escala local (1:10000), permitió señalar con mejor precisión la ubicación de las áreas de recarga acuífera, en comparación con los resultados de la Metodología RAS desarrollado por el Proyecto FORGAES en el año 2005 a escala 1:50000. La escala de 1:10000 trabajada en esta investigación específicamente con el mapa de uso actual del suelo, permitió señalar sitios más pequeños, facilitando la relación de los mapas obtenidos con el contexto real del territorio.
5. Haciendo una sobre posición del mapa de la Recarga Acuífera Subterránea RAS del Proyecto FORGAES, con el método del Balance hídrico específico aplicado en esta investigación, se puede notar que este último nos indica con más detalle las zonas de recarga, debido a que las unidades cartográficas definitivas fueron más pequeñas, gracias al aporte del mapa de cobertura vegetal elaborado con escala 1:10000, mediante las imágenes Ikonos de alta resolución.

6. El volumen total de recarga estimado (5,387,786 Mts³/año), es suficiente para cubrir la demanda de agua por la población, basado en el censo poblacional del 2007.

7. El caudal total que producen los manantiales del municipio de La Palma en época seca (295,586 Mts³/año), solamente tienen la capacidad de satisfacer el 56% de la demanda de agua de la población (6911 habitantes).

9. RECOMENDACIONES.

1. Habiéndose utilizado algunos parámetros de índole teóricos con base a otras investigaciones en condiciones similares, se recomienda realizar más investigación en el tema de la Recarga Acuífera en el municipio de La Palma, sobre todo, que se generen datos locales sobre parámetros como permeabilidad hidráulica, densidad aparente, punto permanente de marchitez y precipitación efectiva; de tal forma que se fortalezca y depure la metodología del balance hídrico específico. Esto no debe de restar importancia a los resultados obtenidos en este trabajo.

2. Desarrollar e implementar planes de manejo de las zonas de recarga acuífera identificadas en el municipio de La Palma, involucrando a los actores locales relacionados directamente con estas áreas, entre ellos los propietarios, gobierno municipal y la comunidad que hace uso directo del recurso hídrico.

3. Considerar acciones de pago por servicios ambientales, iniciando en las áreas identificadas en este trabajo para fomentar el uso sostenible y preservación de las capacidades de infiltración del suelo.

4. Realizar obras de conservación de suelos para favorecer la infiltración de agua y evitar la escorrentía.

IX. BIBLIOGRAFÍA.

Ayala, S. 2008. La Palma, sitio de problemas. Consultado 29 de mayo de 2008. Disponible en www.elsalvador.com/noticias/EDICIONESANTERIORES/junio16/DEPARTAMENTALES/depar1.html.

Almeida, A. 2007. Manual de Teledetección. CLIRSEN. Centro de Levantamientos Integrados de Recursos Naturales Por Sensores Remotos. Ecuador.

ANDA (Administración nacional de acueductos y alcantarillados). 2006. Consultado 5 de abril de 2008. Disponible en <http://www.anda.gob.sv/2007/estadistica.asp>.

Artiga, R. H. (2003). Análisis de amenazas y propuesta de plan de reducciones municipal de desastres. Agencia suiza para el desarrollo y la cooperación. COSUDE.

American Society of Photogrammetry and Remote Sensing. 1987. Satellite Land Remote Sensing. Current Programs and a Look to the Future. Memorias del Simposio Pécora II. American Society of Photogrammetry, Falls Church, Virginia, 482 p.

AEROTERRA. 2008. Consultado el 10 de octubre de 2007. Disponible en www.aeroterra.com/p-ikonos.htm

Baxter, S. 1984. Léxico Estratigráfico de El Salvador, San Salvador, El Salvador.

Brinker RC, Wolf PR. 2000. Topografía. 9ª Edición. Alfaomega, S.A. Santafé de Bogotá, Colombia.

Chávarri Velarde, E. 2007. Hidrología Aplicada. Universidad Nacional Agraria La Molina, Facultad de Ingeniería Agrícola. Perú.

Duarte, J. R. 1998. Estudio Hidrogeológico del Acuífero de Guluchapa, San Salvador, El Salvador.

CATIE (Centro Agronómico tropical de Investigación y Enseñanza). 2006. Identificación, evaluación y manejo de zonas de recarga hídrica. Turrialba, Costa Rica.

Escuela de Ingenieros Militares, 1977. Agua Subterránea y Perforación de Pozos, Bogotá. Escuela Superior Politécnica del Litoral, 1986. El Agua Subterránea y los Pozos, Ecuador. Custodio, E., Llamas, R. 1983. Hidrología Subterránea - Barcelona, España.

Enciclopedia libre. Agua Subterránea. Consultada 25 de febrero de 2007. Disponible en http://es.wikipedia.org/wiki/Agua_subterr%C3%A1nea.

Enciclopedia Libre. Fallas Geológicas. Consultada 28 de mayo de 2007. Disponible en: <http://es.wikipedia.org/wiki/Falla>.

Faivre, Christelle. Proyecto Sherpa 2002-2003. Consultado 12 de noviembre de 2006. Disponible en <http://www.ignfi.fr/sherpa/>.

Gil Montes, J. 2000. Recursos Hidrogeológicos. CATIE (Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza). Turrialba, Costa Rica.

GEOLOGOS DEL MUNDO. (2001). Introducción a la Hidrogeología. España. Consultado el 17 de noviembre de 2007. Disponible en www.xeologosdelmundu.org/files/PresentaciónHidrogeologiaZamonano05.pdf

Guzmán Monge, A; Díaz Hernández, A. (2007). Identificación de las áreas de recarga acuífera y zonas de protección de los manantiales del cantón Central de Cartago. Cartago, Costa Rica. Consultado el 17 de noviembre de 2007. Disponible en www.cientec.or.cr/exploraciones/ponencias2007/AnaGuzman-ArnulfoDiaz.pdf

HYPERGEO (Enciclopedia Electrónica). Balance hídrico. Consultado 15 de diciembre de 2007. Disponible en www.hypergeo.eu/article.php/article.php3?id_article=300

Hernández, M. A. 2003. Sistemas de Información Geográfica (Datos Geográficos e Información Geográfica). San Salvador, SV, Universidad de El Salvador.

Heras, R. (1970). Manual de Hidrología. Centro de estudios hidrográficos. Consultado 12 de diciembre de 2007. Disponible en ing.unne.edu.ar/pub/infi.pdf.

IDEAM (Instituto de hidrológica, meteorología y estudios ambientales de Colombia). Consultado 10 de septiembre de 2007. Disponible en www.ideam.gov.co/files/atlas/evapotranspiracion.htm - 83k

IGME (Instituto geológico y minero de España). 2007. Los sistemas acuíferos. Consultado 28 de agosto de 2007. Disponible en http://aguas.igme.es/igme/publica/libro20/pdf/lib20/los_s_a_1.pdf

Jiménez, F. 2005. Metodologías de investigación en Sistemas Agroforestales. CATIE (Centro Agronómico tropical de Investigación y Enseñanza). Turrialba, Costa Rica.

Junker, M. 2005. Metodología RAS para determinar la recarga de agua subterránea. FORGAES. Fortalecimiento de la gestión ambiental en El Salvador.

MINEC (Ministerio de Economía). 2008. VI Censo de población 2007 y V censo de vivienda. Consultado 29 de mayo de 2008. Disponible en <http://www.censos.gob.sv/util/datos/Resultados%20VI%20Censo%20de%20Población%20V%20de%20Vivienda%202007.pdf>

Mata, R. 2000. Estudio Geológico-ambiental de las microcuencas de los ríos el Gramal, la palma y san Ignacio. Departamento de Chalatenango. El Salvador Tesis Ing. Civil. El Salvador, UCA. 128p.

Miguel, PC. 2003. Estudio piloto de cartografía de cobertura y uso de suelo de alta resolución. Tesis Ing. Agr. San Salvador, SV. 59p.

Martínez, R.E. (2008). Elaboración del mapa hidrogeológico de la zona norte de Morazán, correspondiente a la región hidrográfica "A". Tesis Ing. Civil El Salvador, UCA. 147p.

Mijailov, L. 1985. Hidrogeología. Editorial Mir. Moscú, Rusia. 285 p. Consultado 10 de septiembre de 2007. Disponible en <http://es.wikipedia.org/wiki/Hidrogeolog%C3%ADa>.

Plan Trifinio, 2008. Diagnóstico de los Recursos Hídricos en la Región del Trifinio El Salvador. Proyecto Agua Como Bien Público Regional ABPR. 80p.

Programa de las Naciones Unidas, OPS, OMS, ANDA (2002). Estudios Hidrogeológicos del departamento de Sonsonate, San Salvador, El Salvador.

SNET (Servicio Nacional de Estudios Territoriales). 2007. Geología de El Salvador Consultado 28 de mayo de 2007. Disponible en www.snet.gob.sv/ver/geologia/geologia+de+el+salvador/

Schosinsky, Losilla. 2000. Modelo analítico para determinar la infiltración con base en la lluvia mensual. Revista Geológica de América Central.

SNET (Servicio Nacional de Estudios Territoriales). 2005. Balance Hídrico Integrado y Dinámico en El Salvador. Consultado 10 de noviembre de 2006. Disponible en www.snet.gob.sv/Documentos/balanceHidrico.pdf

Sánchez, J. 2005. Precipitaciones. Universidad de Salamanca. Dpto. Geología. España. 2005

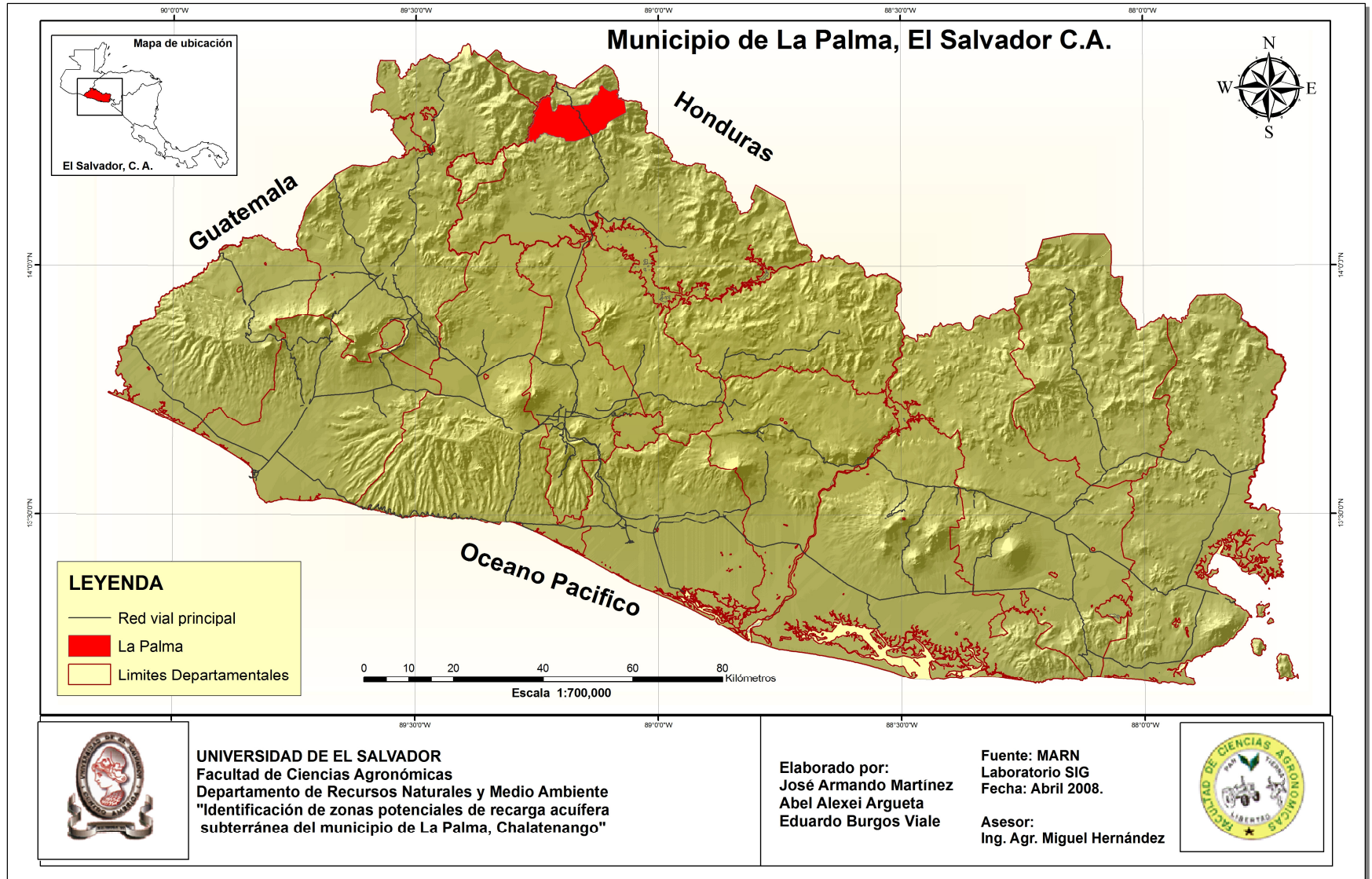
USAL (Universidad de Salamanca). Evaporación y evapotranspiración. Consultado 4 de abril de 2007. Disponible en eb.usal.es/~javisan/hidro/temas/T040.pdf

UDEP (Universidad de Piura, Campus Lima). 2007. Suelos y zona no saturada. Consultado 28 de agosto de 2007. Disponible en <http://www.udep.edu.pe/recursoshidricos/SUELOS.PDF>.

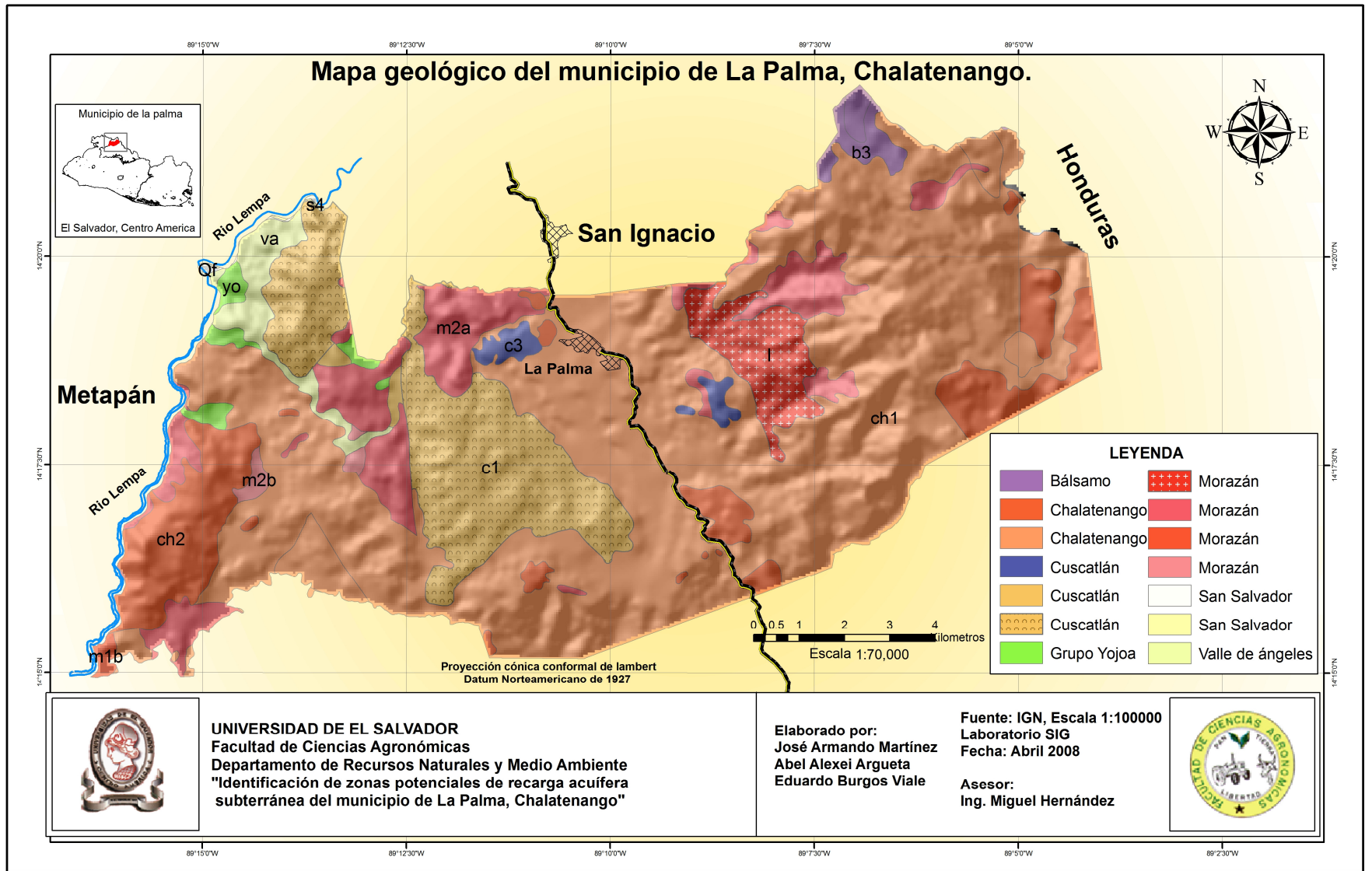
Ventura Díaz, E.M; Chávez Hernández, J.A; Mata Zelaya; R.A. (2004). Comportamiento de flujos subterráneos dentro del complejo volcánico, región hidrográfica "E". Tesis Ing. Civil El Salvador, UCA. 128p.

X. ANEXOS

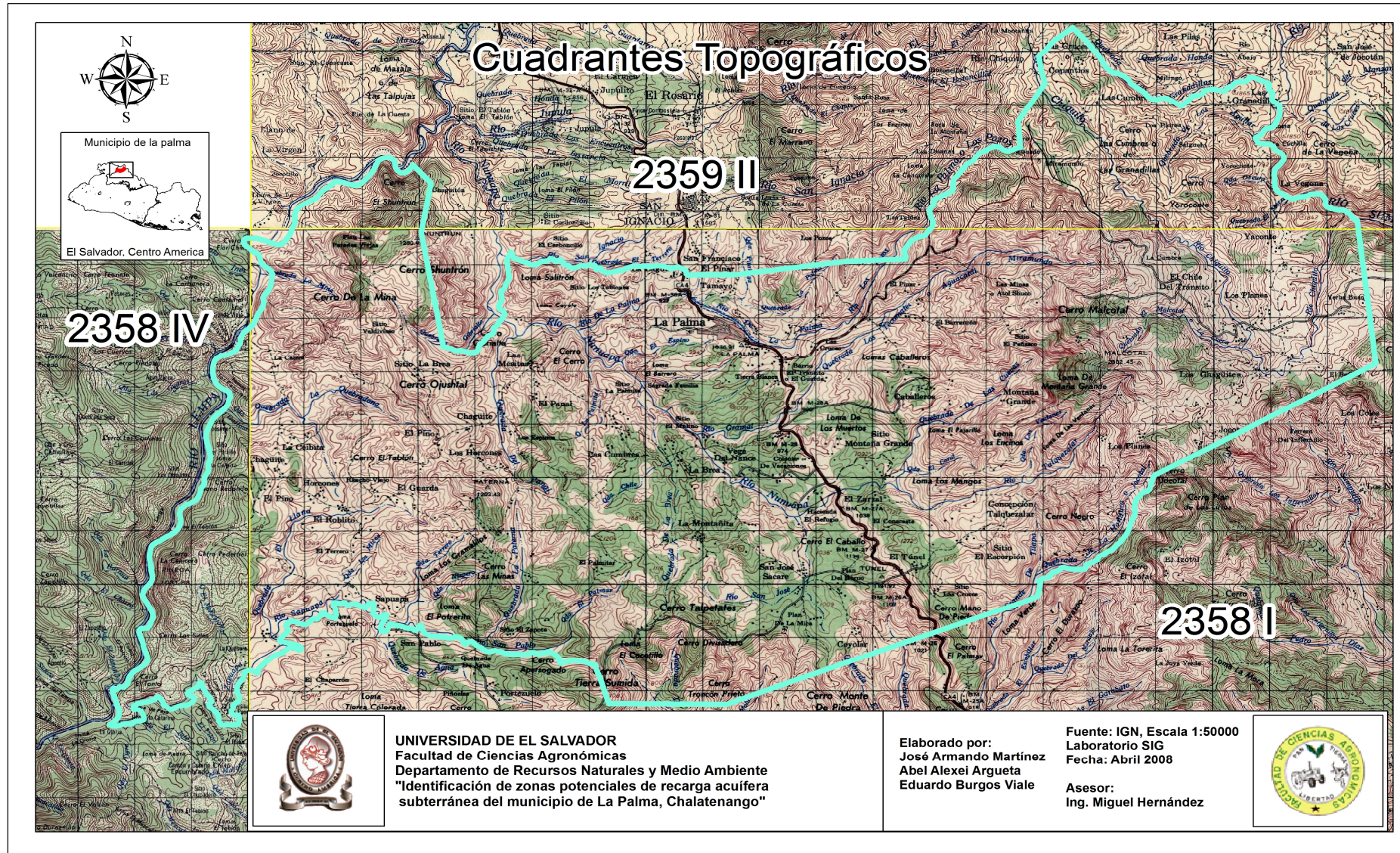
Anexo 1. Mapa de Ubicación geográfica del municipio de La Palma.



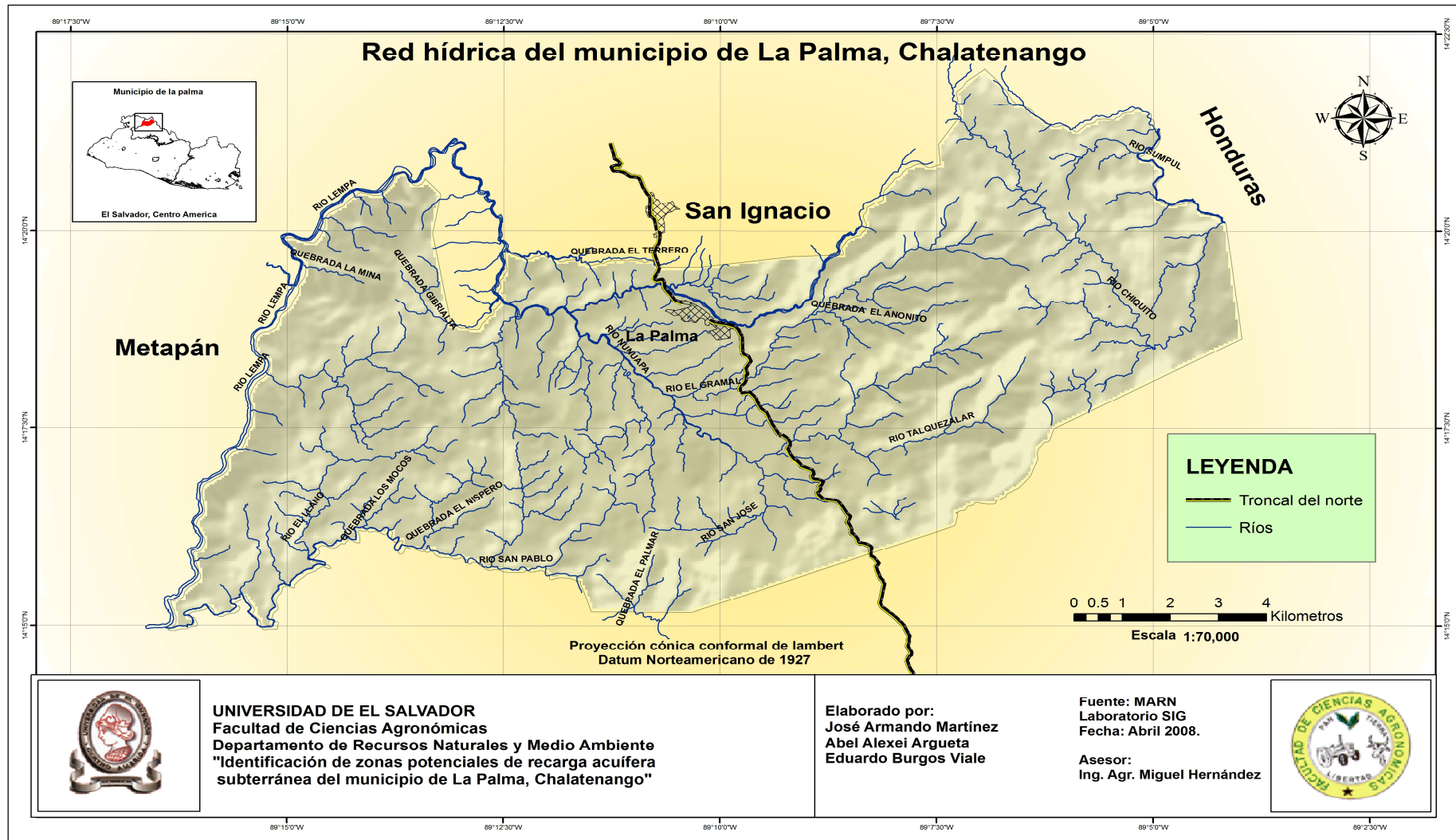
Anexo 2. Mapa geológico del municipio de La Palma.



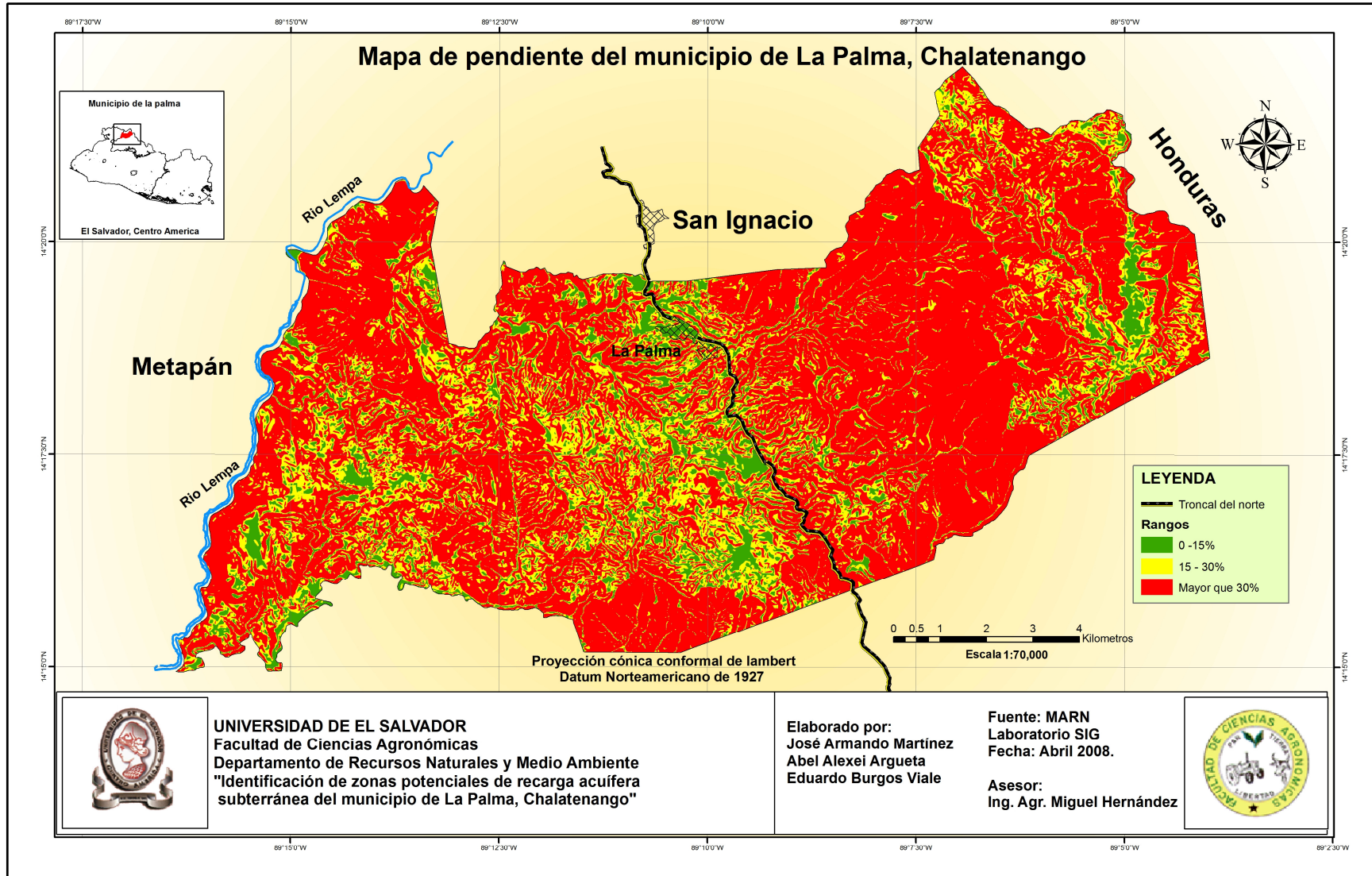
Anexo 3. Cuadrantes topográficos 1:50000



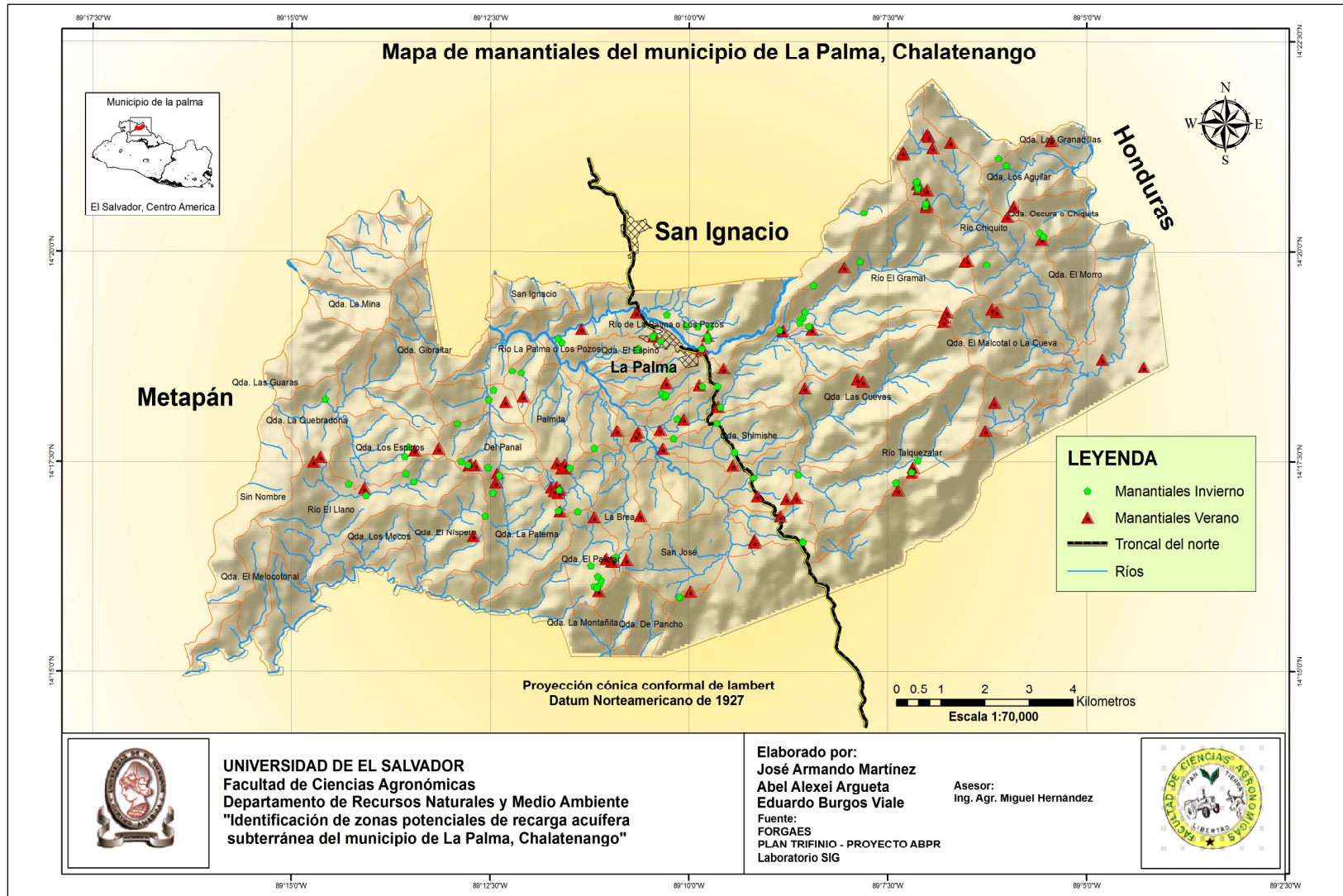
Anexo 4. Red Hídrica del municipio de La Palma.



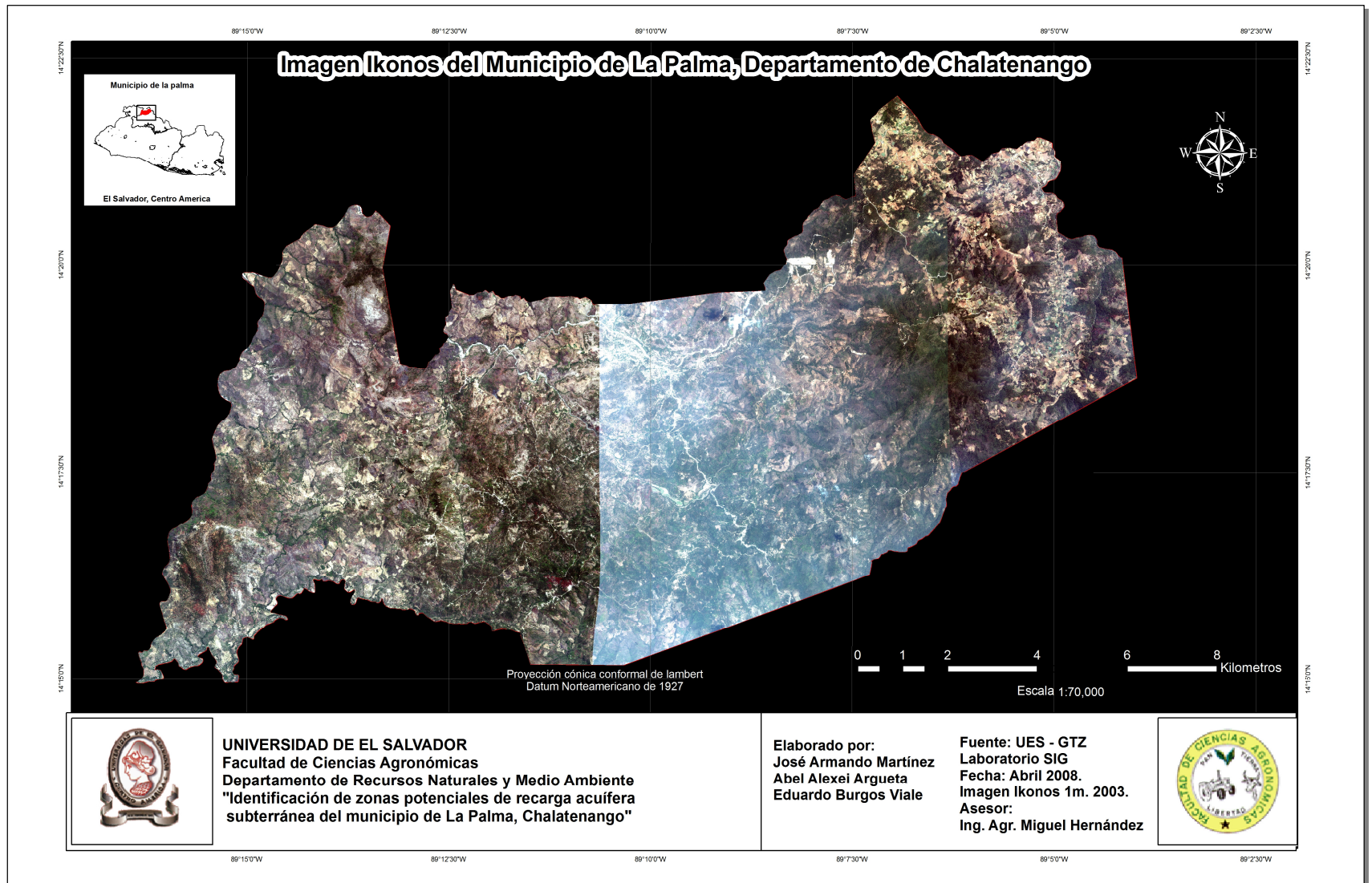
Anexo 5. Mapa de pendientes del municipio de La Palma.



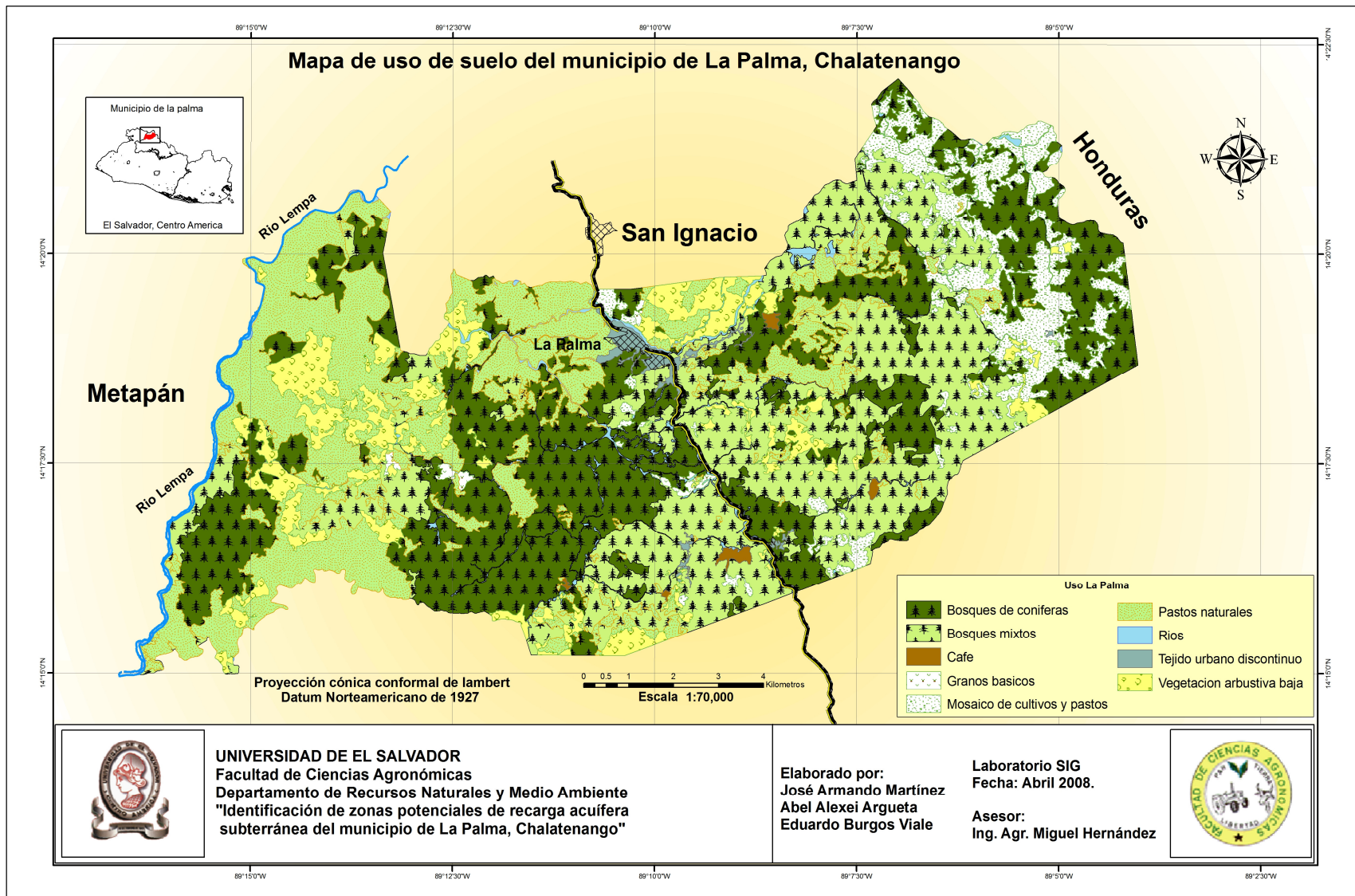
Anexo 6. Mapa de manantiales del municipio de La Palma.



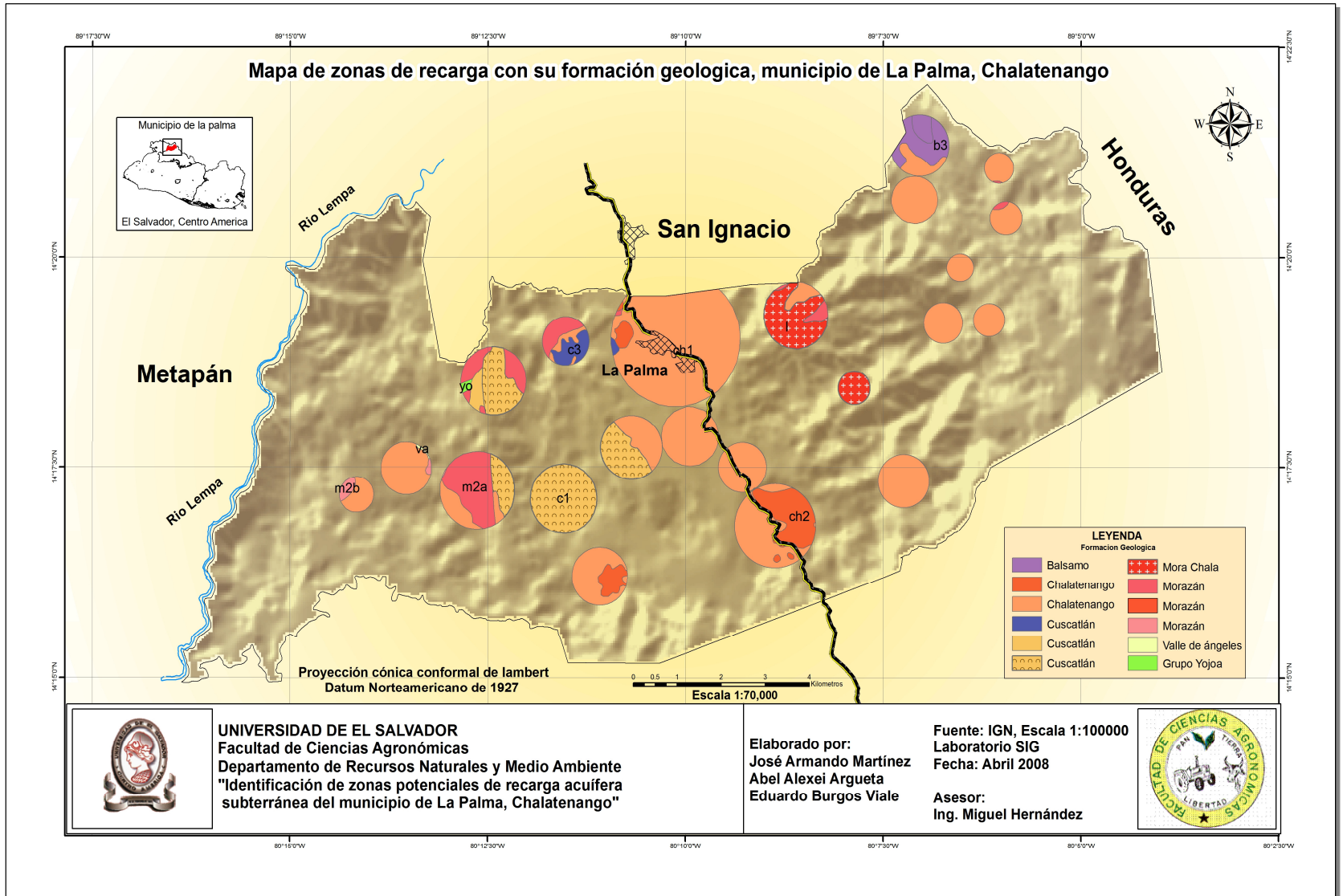
Anexo 7. Imagen Ikonos del municipio de La Palma.



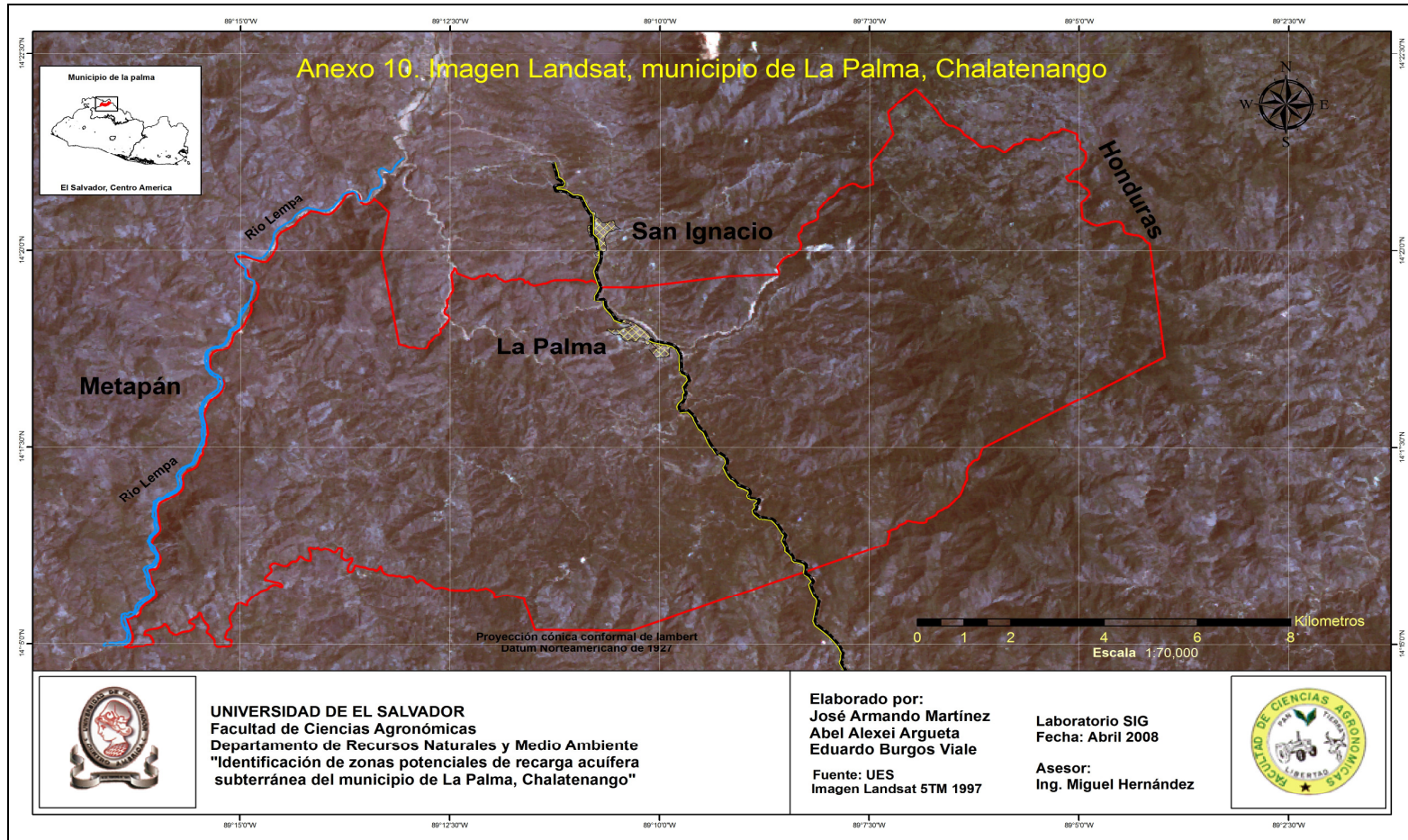
Anexo 8. Mapa de uso de suelo del municipio de La Palma.



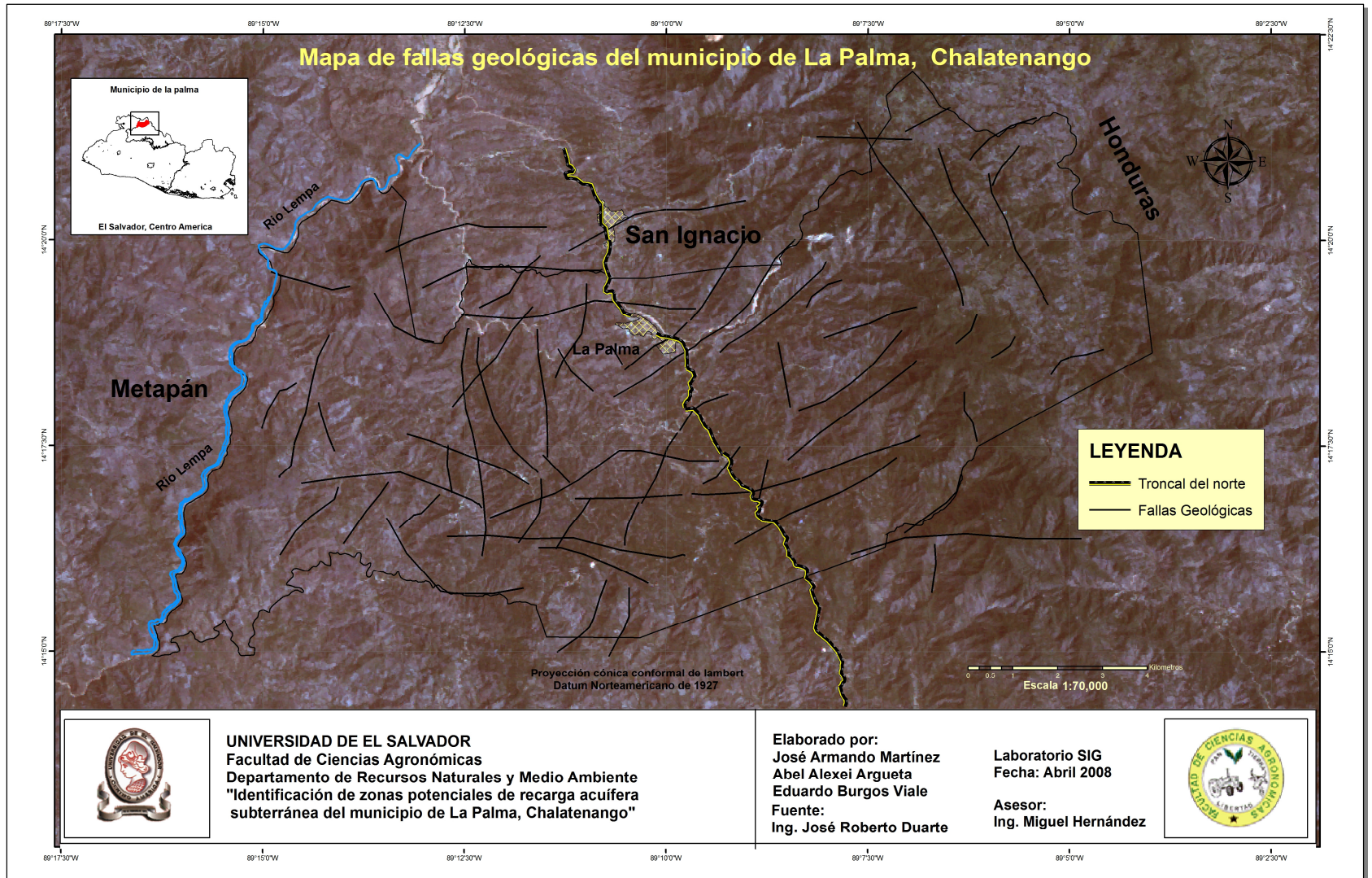
Anexo 9. Mapa de zonas de recarga potencial con su formación geológica del municipio de La Palma.



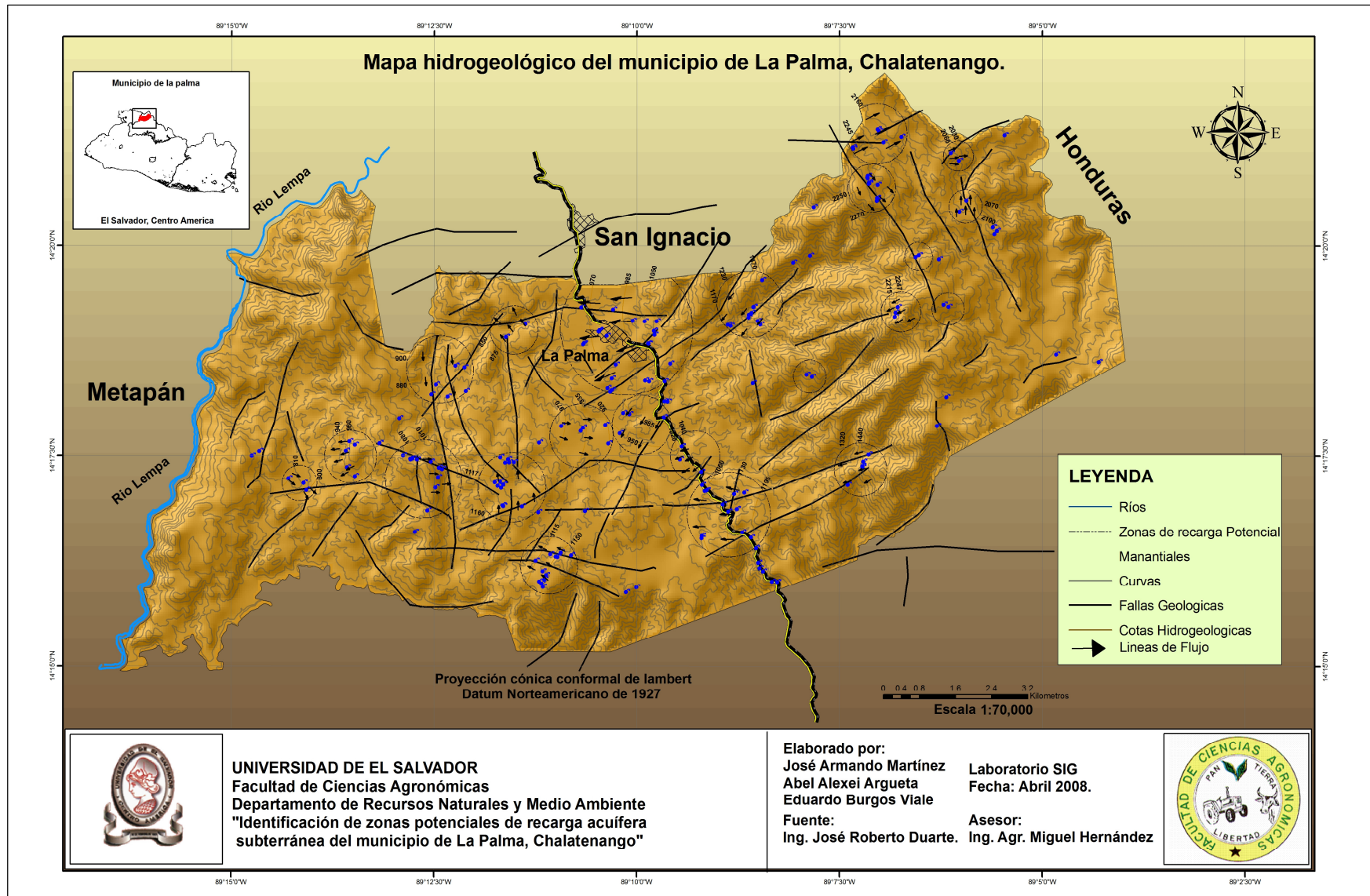
Anexo 10. Imagen Landsat del municipio de La Palma



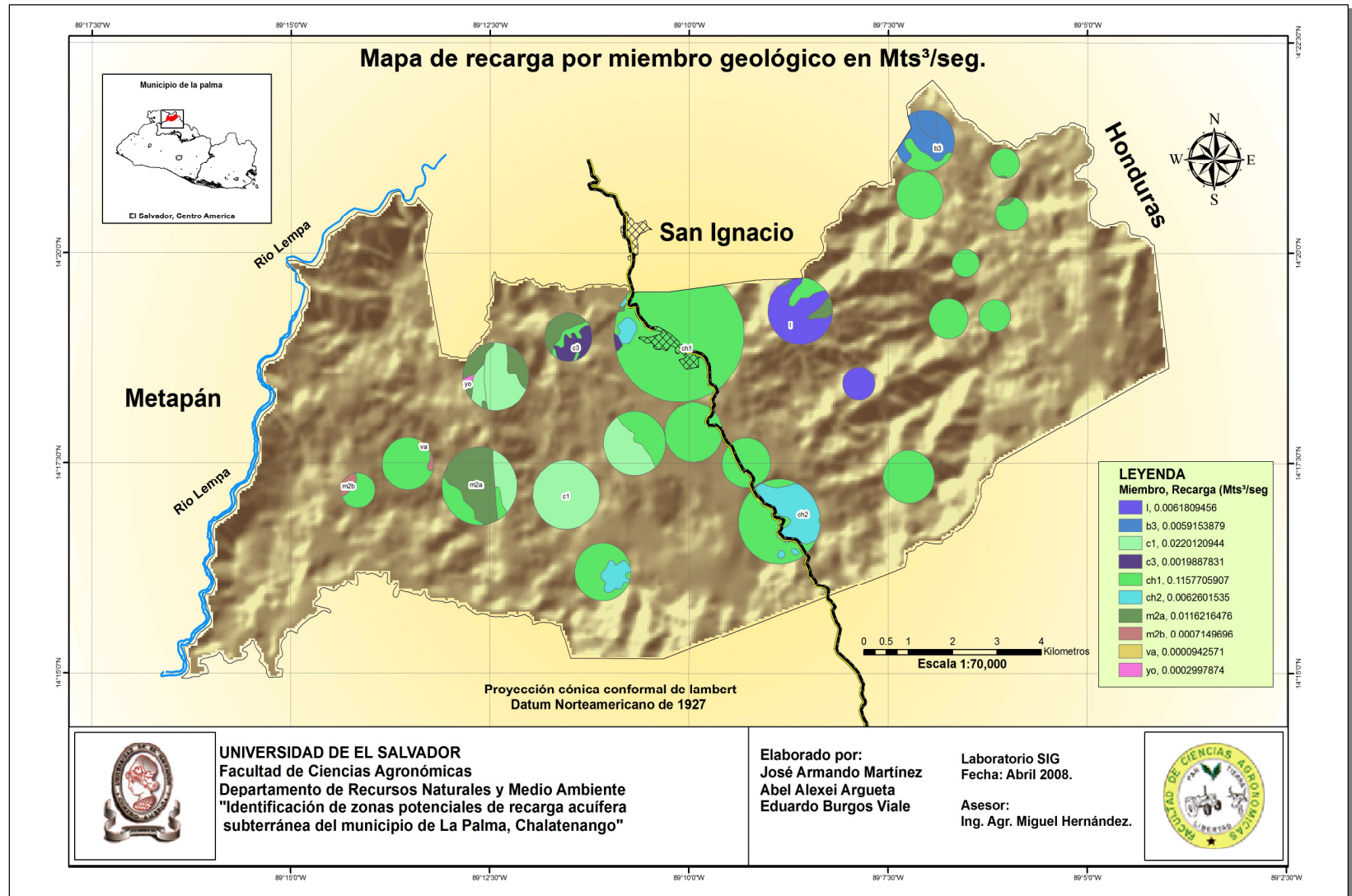
Anexo 11. Mapa de fallas geológicas localizadas en el municipio de La Palma.



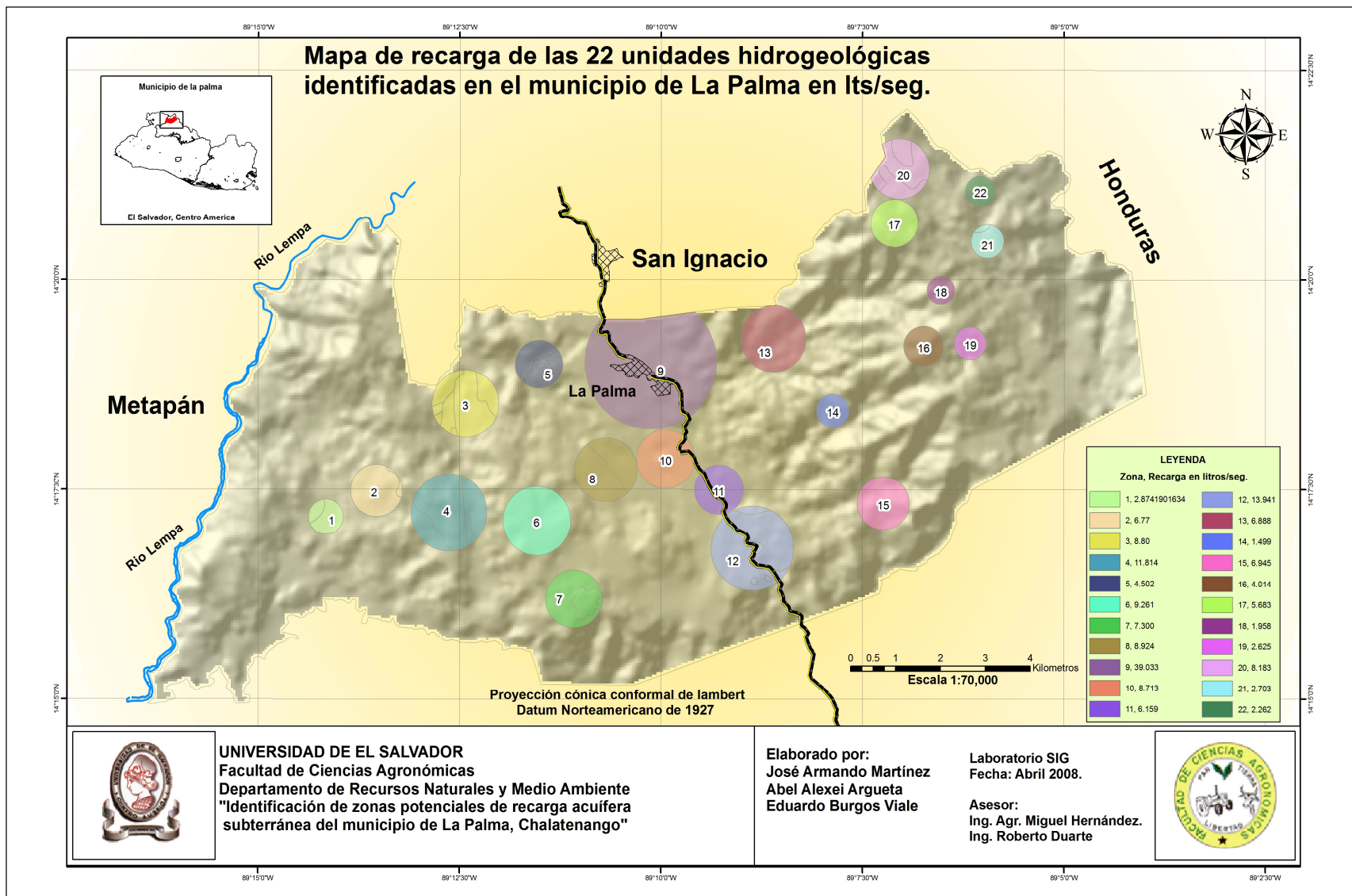
Anexo 12. Mapa hidrogeológico del municipio de La Palma.



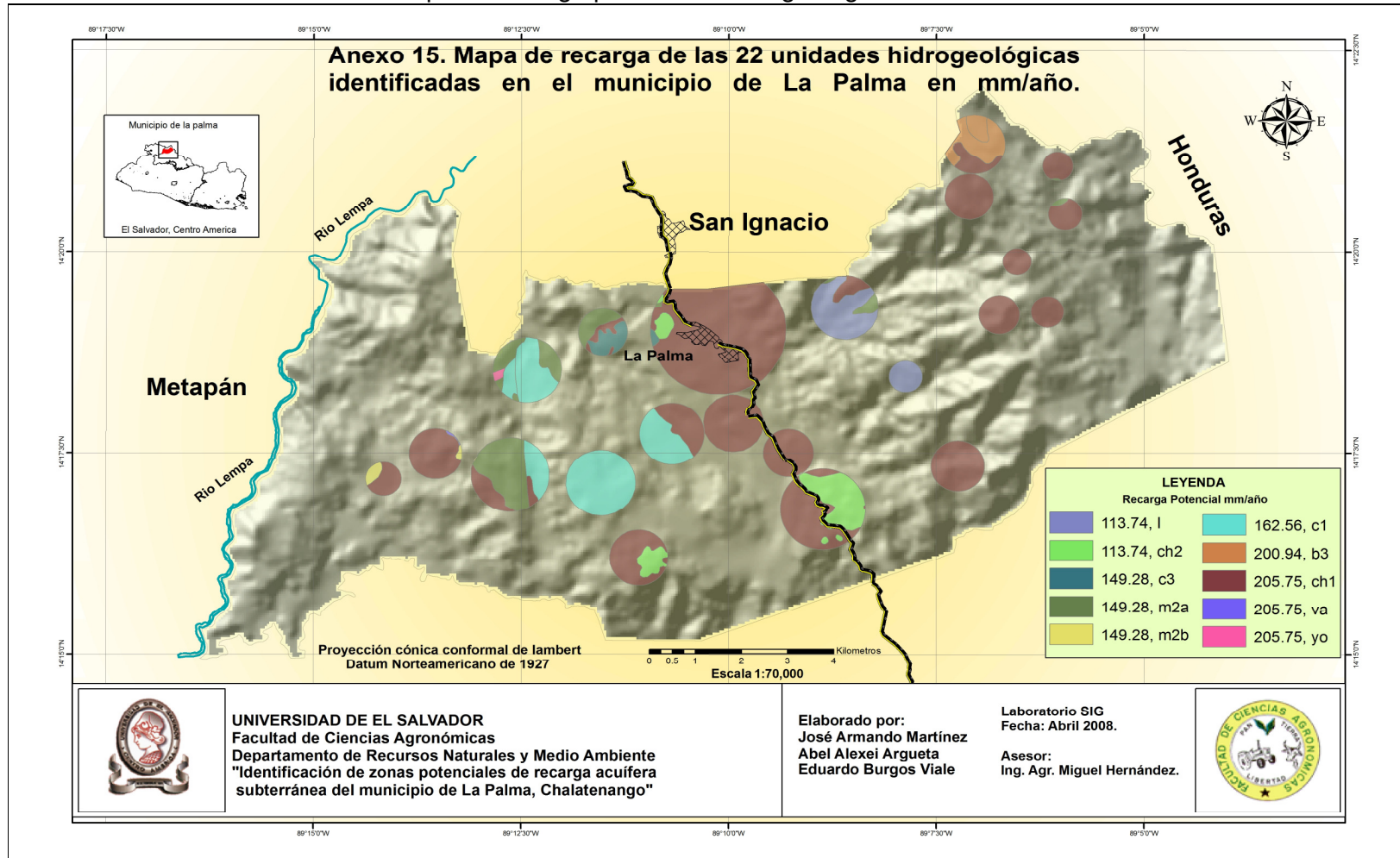
Anexo 13. Mapa de recarga por miembro geológico en mts³/seg.



Anexo 14. Mapa de recarga por unidad hidrogeológica en lts/seg.



Anexo 15. Mapa de recarga por unidad hidrogeológica en mm/año.



Anexo 15. Tabla balance hídrico específico zona 1, miembro I.

BALANCE HIDRICO DE SUELOS

Gunther Schosinsky

Zona de Estudio: ZONA I

Fecha:

Textura de Suelo:

Simbología

fc: Capacidad de Infiltración.

I: Infiltración.

CC: Capacidad de Campo.

PM: Punto de Marchitez.

PR: Profundidad de Raíces.

(CC-PM): Rango de Agua Disponible.

DS: Densidad de Suelo.

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

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

Kp: Factor por pendiente (ver léame)

Kv: Factor por vegetación (ver léame)

Kfc: Factor estimado con base a la prueba de infiltración

P: Precipitación Media Mensual.

Pi: Precipitación que infiltra.

ESC: Escorrentía Superficial

ETP: Evapotranspiración Potencial.

ETR: Evapotranspiración Real.

HSi: Humedad de Suelo Inicial.

HD: Humedad Disponible

HSf: Humedad de Suelo Final.

DCC: Déficit de Capacidad de Campo.

Rp: Recarga Potencial

NR: Necesidad de Riego.

Ret: Retención de Iluvia

fc [mm/d]

45.00

Kp [0.01%]

0.04

Kv [0.01%]

0.20

Kfc [0.01%]

0.28645

I [0.01%]

0.52645

DS (g/cm³):

1.48

PR (mm)

1500.00

HSi (mm)

277.50

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

10

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

0.12

por peso

(%)

(mm)

CC 25.00 555.00

PM 13.06 289.93

(CC-PM) 11.94 265.07

Concepto	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Total
P (mm)	8.00	5.60	22.60	71.70	224.00	490.90	319.70	367.20	417.70	239.80	49.90	8.30	2225.40
Ret [mm]	5.00	5.00	5.00	8.60	26.88	58.91	38.36	44.06	50.12	28.78	5.99	5.00	281.71
Pi (mm)	1.58	0.32	9.27	33.22	103.77	227.42	148.11	170.11	193.51	111.09	23.12	1.74	1023.25
ESC (mm)	1.42	0.28	8.33	29.88	93.35	204.57	133.23	153.02	174.07	99.93	20.79	1.56	920.44
ETP (mm)	125.50	143.60	155.90	150.90	128.00	110.90	126.80	121.70	105.50	107.90	114.60	112.40	1503.70
HSi (mm)	330.62	316.92	306.45	305.01	318.56	373.83	503.88	532.32	555.00	277.50	356.61	349.29	
C1	0.16	0.10	0.10	0.18	0.50	1.00	1.00	1.00	1.00	0.37	0.34	0.23	
C2	0.08	0.05	0.04	0.08	0.26	0.76	0.89	1.00	1.00	0.22	0.19	0.13	
HD (mm)	42.26	27.31	25.79	48.30	132.40	311.32	362.06	412.50	458.58	98.66	89.79	61.10	
ETR (mm)	15.27	10.79	10.71	19.67	48.50	97.38	119.67	121.70	105.50	31.99	30.43	20.42	632.01
HSf (mm)	316.92	306.45	305.01	318.56	373.83	503.88	532.32	555.00	555.00	356.61	349.29	330.62	
DCC (mm)	238.08	248.55	249.99	236.44	181.17	51.12	22.68	0.00	0.00	198.39	205.71	224.38	
Rp (mm)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	25.73	88.01	0.00	0.00	0.00	113.74
NR (mm)	348.30	381.36	395.18	367.67	260.67	64.64	29.81	0.00	0.00	274.31	289.88	316.37	2728.19

Anexo 16. Tabla balance hídrico específico zona 2, miembro b3.
BALANCE HIDRICO DE SUELOS
Gunther Schosinsky

Zona de Estudio: ZONA 2

Fecha:

Textura de Suelo:

Simbología

fc: Capacidad de Infiltración.

I: Infiltración.

CC: Capacidad de Campo.

PM: Punto de Marchitez.

PR: Profundidad de Raíces.

(CC-PM): Rango de Agua Disponible.

DS: Densidad de Suelo.

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

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

Kp: Factor por pendiente (ver léame)

Kv: Factor por vegetación (ver léame)

Kfc: Factor estimado con base a la prueba de infiltración

P: Precipitación Media Mensual.

Pi: Precipitación que infiltra.

ESC: Escorrentía Superficial

ETP: Evapotranspiración Potencial.

ETR: Evapotranspiración Real.

HSi: Humedad de Suelo Inicial.

HD: Humedad Disponible

HSF: Humedad de Suelo Final.

DCC: Déficit de Capacidad de Campo.

Rp: Recarga Potencial

NR: Necesidad de Riego.

Ret: Retención de Lluvia

fc [mm/d]	45.00
Kp [0.01%]	0.04
Kv [0.01%]	0.10
Kfc [0.01%]	0.28645
I [0.01%]	0.42645
DS (g/cm ³):	1.48
PR (mm)	400.00
HSi (mm)	277.50
Nº de mes con que inicia HSi:1,2,3...12?	10
Lluvia retenida [0.01%] : Bosques=0.2, otros=0.12	0.12

por peso	
(%)	(mm)
CC	25.00 148.00
PM	13.06 77.32
(CC-PM)	11.94 70.68

Concepto	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Total
P (mm)	8.00	5.60	22.60	71.70	224.00	490.90	319.70	367.20	417.70	239.80	49.90	8.30	2225.40
Ret [mm]	5.00	5.00	5.00	8.60	26.88	58.91	38.36	44.06	50.12	28.78	5.99	5.00	281.71
Pi (mm)	1.28	0.26	7.51	26.91	84.06	184.22	119.98	137.80	156.75	89.99	18.73	1.41	828.89
ESC (mm)	1.72	0.34	10.09	36.19	113.06	247.77	161.36	185.34	210.82	121.03	25.19	1.89	1114.81
ETP (mm)	125.50	143.60	155.90	150.90	128.00	110.90	126.80	121.70	105.50	107.90	114.60	112.40	1503.70
HSi (mm)	84.18	78.23	77.32	77.32	77.32	97.38	148.00	147.30	148.00	277.50	148.00	109.43	
C1	0.12	0.02	0.11	0.38	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.47	
C2	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.00	0.90	1.00	1.00	1.00	0.00	0.00	
HD (mm)	8.15	1.17	7.51	26.91	84.06	204.28	190.66	207.78	227.44	290.18	89.41	33.52	
ETR (mm)	7.23	1.17	7.51	26.91	64.00	110.90	120.68	121.70	105.50	107.90	57.30	26.65	757.45
HSf (mm)	78.23	77.32	77.32	77.32	97.38	148.00	147.30	148.00	148.00	148.00	109.43	84.18	
DCC (mm)	69.77	70.68	70.68	70.68	50.62	0.00	0.70	0.00	0.00	0.00	38.57	63.82	
Rp (mm)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	22.70	0.00	15.40	51.25	111.59	0.00	0.00	200.94
NR (mm)	188.04	213.11	219.08	194.68	114.62	0.00	6.82	0.00	0.00	0.00	95.87	149.57	1181.80

Anexo 17. Tabla balance hídrico específico zona 3, miembro c1.
BALANCE HIDRICO DE SUELOS
Gunther Schosinsky

Zona de Estudio: ZONA 3

Fecha:

Textura de Suelo:

Simbología

fc: Capacidad de Infiltración.

I: Infiltración.

CC: Capacidad de Campo.

PM: Punto de Marchitez.

PR: Profundidad de Raíces.

(CC-PM): Rango de Agua Disponible.

DS: Densidad de Suelo.

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

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

Kp: Factor por pendiente (ver léame)

Kv: Factor por vegetación (ver léame)

Kfc: Factor estimado con base a la prueba de infiltración

P: Precipitación Media Mensual.

Pi: Precipitación que infiltra.

ESC: Escorrentía Superficial

ETP: Evapotranspiración Potencial.

ETR: Evapotranspiración Real.

HSi: Humedad de Suelo Inicial.

HD: Humedad Disponible

HSf: Humedad de Suelo Final.

DCC: Déficit de Capacidad de Campo.

Rp: Recarga Potencial

NR: Necesidad de Riego.

Ret: Retención de lluvia

fc [mm/d]

65.00

Kp [0.01%]

0.04

Kv [0.01%]

0.20

Kfc [0.01%]

0.38155

I [0.01%]

0.62155

DS (g/cm³):

1.48

PR (mm)

1500.00

HSi (mm)

277.50

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

10

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

0.20

por peso

(%) (mm)

CC 25.00 555.00

PM 13.06 289.93

(CC-PM) 11.94 265.07

Concepto	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Total
P (mm)	8.00	5.60	22.60	71.70	224.00	490.90	319.70	367.20	417.70	239.80	49.90	8.30	2225.40
Ret [mm]	5.00	5.00	5.00	14.34	44.80	98.18	63.94	73.44	83.54	47.96	9.98	5.00	456.18
Pi (mm)	1.86	0.37	10.94	35.65	111.38	244.10	158.97	182.59	207.70	119.24	24.81	2.05	1099.66
ESC (mm)	1.14	0.23	6.66	21.71	67.82	148.62	96.79	111.17	126.46	72.60	15.11	1.25	669.56
ETP (mm)	125.50	143.60	155.90	150.90	128.00	110.90	126.80	121.70	105.50	107.90	114.60	112.40	1503.70
HSi (mm)	333.99	319.26	307.90	306.84	321.09	380.26	522.14	554.48	555.00	277.50	362.11	354.05	
C1	0.17	0.11	0.11	0.20	0.54	1.00	1.00	1.00	1.00	0.40	0.37	0.25	
C2	0.09	0.05	0.04	0.09	0.28	0.84	1.00	1.00	1.00	0.24	0.21	0.14	
HD (mm)	45.93	29.70	28.91	52.56	142.54	334.42	391.18	447.13	472.77	106.81	96.99	66.17	
ETR (mm)	16.60	11.73	12.00	21.40	52.21	102.21	126.64	121.70	105.50	34.63	32.87	22.11	659.60
HSf (mm)	319.26	307.90	306.84	321.09	380.26	522.14	554.48	555.00	555.00	362.11	354.05	333.99	
DCC (mm)	235.74	247.10	248.16	233.91	174.74	32.86	0.52	0.00	0.00	192.89	200.95	221.01	
Rp (mm)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	60.36	102.20	0.00	0.00	0.00	162.56
NR (mm)	344.64	378.97	392.06	363.41	250.53	41.55	0.69	0.00	0.00	266.16	282.68	311.29	2631.97

Anexo 18. Tabla balance hídrico específico zona 4, miembro c3.

BALANCE HIDRICO DE SUELOS

Gunther Schosinsky

Zona de Estudio: **ZONA 4**

Fecha:

Textura de Suelo:

Simbología

fc: Capacidad de Infiltración.

I: Infiltración.

CC: Capacidad de Campo.

PM: Punto de Marchitez.

PR: Profundidad de Raíces.

(CC-PM): Rango de Agua Disponible.

DS: Densidad de Suelo.

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

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

Kp: Factor por pendiente (ver léame)

Kv: Factor por vegetación (ver léame)

Kfc: Factor estimado con base a la prueba de infiltración

P: Precipitación Media Mensual.

Pi: Precipitación que infiltra.

ESC: Escorrentía Superficial

ETP: Evapotranspiración Potencial.

ETR: Evapotranspiración Real.

HSi: Humedad de Suelo Inicial.

HD: Humedad Disponible

HSf: Humedad de Suelo Final.

DCC: Déficit de Capacidad de Campo.

Rp: Recarga Potencial

NR: Necesidad de Riego.

Ret: Retención de Lluvia

fc [mm/d]

45.00

Kp [0.01%]

0.04

Kv [0.01%]

0.10

Kfc [0.01%]

0.28645

I [0.01%]

0.42645

DS (g/cm³):

1.48

PR (mm)

500.00

HSi (mm)

277.50

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

10

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

0.12

por peso

(%)

(mm)

CC 25.00 185.00

PM 13.06 96.64

(CC-PM) 11.94 88.36

Concepto	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Total
P (mm)	8.00	5.60	22.60	71.70	224.00	490.90	319.70	367.20	417.70	239.80	49.90	8.30	2225.40
Ret [mm]	5.00	5.00	5.00	8.60	26.88	58.91	38.36	44.06	50.12	28.78	5.99	5.00	281.71
Pi (mm)	1.28	0.26	7.51	26.91	84.06	184.22	119.98	137.80	156.75	89.99	18.73	1.41	828.89
ESC (mm)	1.72	0.34	10.09	36.19	113.06	247.77	161.36	185.34	210.82	121.03	25.19	1.89	1114.81
ETP (mm)	125.50	143.60	155.90	150.90	128.00	110.90	126.80	121.70	105.50	107.90	114.60	112.40	1503.70
HSi (mm)	115.27	102.41	97.77	97.66	100.72	120.94	185.00	183.07	185.00	277.50	185.00	146.43	
C1	0.23	0.07	0.10	0.32	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.58	
C2	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.00	0.92	1.00	1.00	1.00	0.00	0.00	
HD (mm)	19.91	6.03	8.63	27.92	88.14	208.52	208.33	224.23	245.11	270.85	107.08	51.19	
ETR (mm)	14.14	4.90	7.62	23.85	63.84	110.90	121.90	121.70	105.50	107.90	57.30	32.56	772.11
HSf (mm)	102.41	97.77	97.66	100.72	120.94	185.00	183.07	185.00	185.00	185.00	146.43	115.27	
DCC (mm)	82.59	87.23	87.34	84.28	64.06	0.00	1.93	0.00	0.00	0.00	38.57	69.73	
Rp (mm)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	9.26	0.00	14.17	51.25	74.59	0.00	0.00	149.28
NR (mm)	193.95	225.93	235.62	211.33	128.22	0.00	6.82	0.00	0.00	0.00	95.87	149.57	1247.31

Anexo 19. Tabla balance hídrico específico zona 5, miembro ch1.

BALANCE HIDRICO DE SUELOS

Gunther Schosinsky

Zona de Estudio: **ZONA 5**

Fecha:

Textura de Suelo:

Simbología

fc: Capacidad de Infiltración.

I: Infiltración.

CC: Capacidad de Campo.

PM: Punto de Marchitez.

PR: Profundidad de Raíces.

(CC-PM): Rango de Agua Disponible.

DS: Densidad de Suelo.

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

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

Kp: Factor por pendiente (ver léame)

Kv: Factor por vegetación (ver léame)

Kfc: Factor estimado con base a la prueba de infiltración

P: Precipitación Media Mensual.

Pi: Precipitación que infiltra.

ESC: Escorrentía Superficial

ETP: Evapotranspiración Potencial.

ETR: Evapotranspiración Real.

HSi: Humedad de Suelo Inicial.

HD: Humedad Disponible

HSF: Humedad de Suelo Final.

DCC: Déficit de Capacidad de Campo.

Rp: Recarga Potencial

NR: Necesidad de Riego.

Ret: Retención de Lluvia

fc [mm/d]

45.00

Kp [0.01%]

0.04

Kv [0.01%]

0.20

Kfc [0.01%]

0.28645

I [0.01%]

0.52645

DS (g/cm³):

1.48

PR (mm)

750.00

HSi (mm)

277.50

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

10

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

0.12

por peso

(%) (mm)

CC 25.00 277.50

PM 13.06 144.97

(CC-PM) 11.94 132.53

Concepto	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Total
P (mm)	8.00	5.60	22.60	71.70	224.00	490.90	319.70	367.20	417.70	239.80	49.90	8.30	2225.40
Ret [mm]	5.00	5.00	5.00	8.60	26.88	58.91	38.36	44.06	50.12	28.78	5.99	5.00	281.71
Pi (mm)	1.58	0.32	9.27	33.22	103.77	227.42	148.11	170.11	193.51	111.09	23.12	1.74	1023.25
ESC (mm)	1.42	0.28	8.33	29.88	93.35	204.57	133.23	153.02	174.07	99.93	20.79	1.56	920.44
ETP (mm)	125.50	143.60	155.90	150.90	128.00	110.90	126.80	121.70	105.50	107.90	114.60	112.40	1503.70
HSi (mm)	187.09	166.88	155.15	152.98	162.72	205.80	277.50	277.50	277.50	277.50	277.50	225.57	
C1	0.33	0.17	0.15	0.31	0.92	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.62	
C2	0.02	0.00	0.00	0.00	0.03	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.31	0.09	
HD (mm)	43.70	22.23	19.45	41.23	121.53	288.26	280.64	302.65	326.04	243.63	155.65	82.34	
ETR (mm)	21.79	12.04	11.44	23.47	60.69	110.90	126.80	121.70	105.50	107.90	75.05	40.22	817.50
HSF (mm)	166.88	155.15	152.98	162.72	205.80	277.50	277.50	277.50	277.50	277.50	225.57	187.09	
DCC (mm)	110.62	122.35	124.52	114.78	71.70	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	51.93	90.41	
Rp (mm)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	44.82	21.31	48.41	88.01	3.19	0.00	0.00	205.75
NR (mm)	214.33	253.91	268.98	242.21	139.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	91.48	162.59	1372.51

Anexo 20. Tabla balance hídrico específico zona 6, miembro ch2.

BALANCE HIDRICO DE SUELOS

Gunther Schosinsky

Zona de Estudio: **ZONA 6**

Fecha:

Textura de Suelo:

Simbología

fc: Capacidad de Infiltración.

I: Infiltración.

CC: Capacidad de Campo.

PM: Punto de Marchitez.

PR: Profundidad de Raíces.

(CC-PM): Rango de Agua Disponible.

DS: Densidad de Suelo.

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

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

Kp: Factor por pendiente (ver léame)

Kv: Factor por vegetación (ver léame)

Kfc: Factor estimado con base a la prueba de infiltración

P: Precipitación Media Mensual.

Pi: Precipitación que infiltra.

ESC: Escorrentía Superficial

ETP: Evapotranspiración Potencial.

ETR: Evapotranspiración Real.

HSi: Humedad de Suelo Inicial.

HD: Humedad Disponible

HSF: Humedad de Suelo Final.

DCC: Déficit de Capacidad de Campo.

Rp: Recarga Potencial

NR: Necesidad de Riego.

Ret: Retención de Iluvia

fc [mm/d]

45.00

Kp [0.01%]

0.04

Kv [0.01%]

0.20

Kfc [0.01%]

0.28645

I [0.01%]

0.52645

DS (g/cm³):

1.48

PR (mm)

1500.00

HSi (mm)

277.50

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

10

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

0.12

por peso

(%) (mm)

CC 25.00 555.00

PM 13.06 289.93

(CC-PM) 11.94 265.07

Concepto	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Total
P (mm)	8.00	5.60	22.60	71.70	224.00	490.90	319.70	367.20	417.70	239.80	49.90	8.30	2225.40
Ret [mm]	5.00	5.00	5.00	8.60	26.88	58.91	38.36	44.06	50.12	28.78	5.99	5.00	281.71
Pi (mm)	1.58	0.32	9.27	33.22	103.77	227.42	148.11	170.11	193.51	111.09	23.12	1.74	1023.25
ESC (mm)	1.42	0.28	8.33	29.88	93.35	204.57	133.23	153.02	174.07	99.93	20.79	1.56	920.44
ETP (mm)	125.50	143.60	155.90	150.90	128.00	110.90	126.80	121.70	105.50	107.90	114.60	112.40	1503.70
HSi (mm)	330.62	316.92	306.45	305.01	318.56	373.83	503.88	532.32	555.00	277.50	356.61	349.29	
C1	0.16	0.10	0.10	0.18	0.50	1.00	1.00	1.00	1.00	0.37	0.34	0.23	
C2	0.08	0.05	0.04	0.08	0.26	0.76	0.89	1.00	1.00	0.22	0.19	0.13	
HD (mm)	42.26	27.31	25.79	48.30	132.40	311.32	362.06	412.50	458.58	98.66	89.79	61.10	
ETR (mm)	15.27	10.79	10.71	19.67	48.50	97.38	119.67	121.70	105.50	31.99	30.43	20.42	632.01
HSf (mm)	316.92	306.45	305.01	318.56	373.83	503.88	532.32	555.00	555.00	356.61	349.29	330.62	
DCC (mm)	238.08	248.55	249.99	236.44	181.17	51.12	22.68	0.00	0.00	198.39	205.71	224.38	
Rp (mm)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	25.73	88.01	0.00	0.00	0.00	113.74
NR (mm)	348.30	381.36	395.18	367.67	260.67	64.64	29.81	0.00	0.00	274.31	289.88	316.37	2728.19

Anexo 21. Tabla balance hídrico específico zona 7, miembro m2a.

BALANCE HIDRICO DE SUELOS

Gunther Schosinsky

Zona de Estudio: **ZONA 7**

Fecha:

Textura de Suelo:

Simbología

fc: Capacidad de Infiltración.

I: Infiltración.

CC: Capacidad de Campo.

PM: Punto de Marchitez.

PR: Profundidad de Raíces.

(CC-PM): Rango de Agua Disponible.

DS: Densidad de Suelo.

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

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

Kp: Factor por pendiente (ver léame)

Kv: Factor por vegetación (ver léame)

Kfc: Factor estimado con base a la prueba de infiltración

P: Precipitación Media Mensual.

Pi: Precipitación que infiltra.

ESC: Escorrentía Superficial

ETP: Evapotranspiración Potencial.

ETR: Evapotranspiración Real.

HSi: Humedad de Suelo Inicial.

HD: Humedad Disponible

HSf: Humedad de Suelo Final.

DCC: Déficit de Capacidad de Campo.

Rp: Recarga Potencial

NR: Necesidad de Riego.

Ret: Retención de lluvia

fc [mm/d]

45.00

Kp [0.01%]

0.04

Kv [0.01%]

0.10

Kfc [0.01%]

0.28645

I [0.01%]

0.42645

DS (g/cm³):

1.48

PR (mm)

500.00

HSi (mm)

277.50

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

10

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

0.12

por peso

(%)

(mm)

CC 25.00 185.00

PM 13.06 96.64

(CC-PM) 11.94 88.36

Concepto	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Total
P (mm)	8.00	5.60	22.60	71.70	224.00	490.90	319.70	367.20	417.70	239.80	49.90	8.30	2225.40
Ret [mm]	5.00	5.00	5.00	8.60	26.88	58.91	38.36	44.06	50.12	28.78	5.99	5.00	281.71
Pi (mm)	1.28	0.26	7.51	26.91	84.06	184.22	119.98	137.80	156.75	89.99	18.73	1.41	828.89
ESC (mm)	1.72	0.34	10.09	36.19	113.06	247.77	161.36	185.34	210.82	121.03	25.19	1.89	1114.81
ETP (mm)	125.50	143.60	155.90	150.90	128.00	110.90	126.80	121.70	105.50	107.90	114.60	112.40	1503.70
HSi (mm)	115.27	102.41	97.77	97.66	100.72	120.94	185.00	183.07	185.00	277.50	185.00	146.43	
C1	0.23	0.07	0.10	0.32	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.58	
C2	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.00	0.92	1.00	1.00	1.00	0.00	0.00	
HD (mm)	19.91	6.03	8.63	27.92	88.14	208.52	208.33	224.23	245.11	270.85	107.08	51.19	
ETR (mm)	14.14	4.90	7.62	23.85	63.84	110.90	121.90	121.70	105.50	107.90	57.30	32.56	772.11
HSf (mm)	102.41	97.77	97.66	100.72	120.94	185.00	183.07	185.00	185.00	185.00	146.43	115.27	
DCC (mm)	82.59	87.23	87.34	84.28	64.06	0.00	1.93	0.00	0.00	0.00	38.57	69.73	
Rp (mm)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	9.26	0.00	14.17	51.25	74.59	0.00	0.00	149.28
NR (mm)	193.95	225.93	235.62	211.33	128.22	0.00	6.82	0.00	0.00	0.00	95.87	149.57	1247.31

Anexo 22. Tabla balance hídrico específico zona 8, miembro m2b.
BALANCE HIDRICO DE SUELOS
Gunther Schosinsky

Zona de Estudio: ZONA 8

Fecha:

Textura de Suelo:

Simbología

fc: Capacidad de Infiltración.

I: Infiltración.

CC: Capacidad de Campo.

PM: Punto de Marchitez.

PR: Profundidad de Raíces.

(CC-PM): Rango de Agua Disponible.

DS: Densidad de Suelo.

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

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

Kp: Factor por pendiente (ver léame)

Kv: Factor por vegetación (ver léame)

Kfc: Factor estimado con base a la prueba de infiltración

P: Precipitación Media Mensual.

Pi: Precipitación que infiltra.

ESC: Escorrentía Superficial

ETP: Evapotranspiración Potencial.

ETR: Evapotranspiración Real.

HSi: Humedad de Suelo Inicial.

HD: Humedad Disponible

HSf: Humedad de Suelo Final.

DCC: Déficit de Capacidad de Campo.

Rp: Recarga Potencial

NR: Necesidad de Riego.

Ret: Retención de Lluvia

fc [mm/d]

45.00

Kp [0.01%]

0.04

Kv [0.01%]

0.10

Kfc [0.01%]

0.28645

I [0.01%]

0.42645

DS (g/cm³):

1.48

PR (mm)

500.00

HSi (mm)

277.50

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

10

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

0.12

por peso

(%)

(mm)

CC 25.00 185.00

PM 13.06 96.64

(CC-PM) 11.94 88.36

Concepto	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Total
P (mm)	8.00	5.60	22.60	71.70	224.00	490.90	319.70	367.20	417.70	239.80	49.90	8.30	2225.40
Ret [mm]	5.00	5.00	5.00	8.60	26.88	58.91	38.36	44.06	50.12	28.78	5.99	5.00	281.71
Pi (mm)	1.28	0.26	7.51	26.91	84.06	184.22	119.98	137.80	156.75	89.99	18.73	1.41	828.89
ESC (mm)	1.72	0.34	10.09	36.19	113.06	247.77	161.36	185.34	210.82	121.03	25.19	1.89	1114.81
ETP (mm)	125.50	143.60	155.90	150.90	128.00	110.90	126.80	121.70	105.50	107.90	114.60	112.40	1503.70
HSi (mm)	115.27	102.41	97.77	97.66	100.72	120.94	185.00	183.07	185.00	277.50	185.00	146.43	
C1	0.23	0.07	0.10	0.32	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.58	
C2	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.00	0.92	1.00	1.00	1.00	0.00	0.00	
HD (mm)	19.91	6.03	8.63	27.92	88.14	208.52	208.33	224.23	245.11	270.85	107.08	51.19	
ETR (mm)	14.14	4.90	7.62	23.85	63.84	110.90	121.90	121.70	105.50	107.90	57.30	32.56	772.11
HSf (mm)	102.41	97.77	97.66	100.72	120.94	185.00	183.07	185.00	185.00	185.00	146.43	115.27	
DCC (mm)	82.59	87.23	87.34	84.28	64.06	0.00	1.93	0.00	0.00	0.00	38.57	69.73	
Rp (mm)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	9.26	0.00	14.17	51.25	74.59	0.00	0.00	149.28
NR (mm)	193.95	225.93	235.62	211.33	128.22	0.00	6.82	0.00	0.00	0.00	95.87	149.57	1247.31

Anexo 23. Tabla balance hídrico específico zona 9, miembro va. BALANCE HIDRICO DE SUELOS Gunther Schosinsky

Zona de Estudio: **ZONA 9**

Fecha:

Textura de Suelo:

Simbología

fc: Capacidad de Infiltración.

I: Infiltración.

CC: Capacidad de Campo.

PM: Punto de Marchitez.

PR: Profundidad de Raíces.

(CC-PM): Rango de Agua Disponible.

DS: Densidad de Suelo.

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

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

Kp: Factor por pendiente (ver léame)

Kv: Factor por vegetación (ver léame)

Kfc: Factor estimado con base a la prueba de infiltración

P: Precipitación Media Mensual.

Pi: Precipitación que infiltra.

ESC: Escorrentía Superficial

ETP: Evapotranspiración Potencial.

ETR: Evapotranspiración Real.

HSi: Humedad de Suelo Inicial.

HD: Humedad Disponible

HSF: Humedad de Suelo Final.

DCC: Déficit de Capacidad de Campo.

Rp: Recarga Potencial

NR: Necesidad de Riego.

Ret: Retención de Lluvia

fc [mm/d]

45.00

Kp [0.01%]

0.04

Kv [0.01%]

0.20

Kfc [0.01%]

0.28645

I [0.01%]

0.52645

DS (g/cm³):

1.48

PR (mm)

750.00

HSi (mm)

277.50

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

10

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

0.12

por peso

(%)

(mm)

CC 25.00 277.50

PM 13.06 144.97

(CC-PM) 11.94 132.53

Concepto	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Total
P (mm)	8.00	5.60	22.60	71.70	224.00	490.90	319.70	367.20	417.70	239.80	49.90	8.30	2225.40
Ret [mm]	5.00	5.00	5.00	8.60	26.88	58.91	38.36	44.06	50.12	28.78	5.99	5.00	281.71
Pi (mm)	1.58	0.32	9.27	33.22	103.77	227.42	148.11	170.11	193.51	111.09	23.12	1.74	1023.25
ESC (mm)	1.42	0.28	8.33	29.88	93.35	204.57	133.23	153.02	174.07	99.93	20.79	1.56	920.44
ETP (mm)	125.50	143.60	155.90	150.90	128.00	110.90	126.80	121.70	105.50	107.90	114.60	112.40	1503.70
HSi (mm)	187.09	166.88	155.15	152.98	162.72	205.80	277.50	277.50	277.50	277.50	277.50	225.57	
C1	0.33	0.17	0.15	0.31	0.92	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.62	
C2	0.02	0.00	0.00	0.00	0.03	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.31	0.09	
HD (mm)	43.70	22.23	19.45	41.23	121.53	288.26	280.64	302.65	326.04	243.63	155.65	82.34	
ETR (mm)	21.79	12.04	11.44	23.47	60.69	110.90	126.80	121.70	105.50	107.90	75.05	40.22	817.50
HSF (mm)	166.88	155.15	152.98	162.72	205.80	277.50	277.50	277.50	277.50	277.50	225.57	187.09	
DCC (mm)	110.62	122.35	124.52	114.78	71.70	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	51.93	90.41	
Rp (mm)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	44.82	21.31	48.41	88.01	3.19	0.00	0.00	205.75
NR (mm)	214.33	253.91	268.98	242.21	139.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	91.48	162.59	1372.51

Anexo 24. Tabla balance hídrico específico zona 10, miembro yo. BALANCE HIDRICO DE SUELOS Gunther Schosinsky

Zona de Estudio: **ZONA 10**

Fecha:

Textura de Suelo:

Simbología

fc: Capacidad de Infiltración.

I: Infiltración.

CC: Capacidad de Campo.

PM: Punto de Marchitez.

PR: Profundidad de Raíces.

(CC-PM): Rango de Agua Disponible.

DS: Densidad de Suelo.

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

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

Kp: Factor por pendiente (ver léame)

Kv: Factor por vegetación (ver léame)

Kfc: Factor estimado con base a la prueba de infiltración

P: Precipitación Media Mensual.

Pi: Precipitación que infiltra.

ESC: Escorrentía Superficial

ETP: Evapotranspiración Potencial.

ETR: Evapotranspiración Real.

HSi: Humedad de Suelo Inicial.

HD: Humedad Disponible

HSf: Humedad de Suelo Final.

DCC: Déficit de Capacidad de Campo.

Rp: Recarga Potencial

NR: Necesidad de Riego.

Ret: Retención de Lluvia

fc [mm/d]

45.00

Kp [0.01%]

0.04

Kv [0.01%]

0.20

Kfc [0.01%]

0.28645

I [0.01%]

0.52645

DS (g/cm³):

1.48

PR (mm)

750.00

HSi (mm)

277.50

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

10

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

0.12

por peso

(%)

(mm)

CC 25.00 277.50

PM 13.06 144.97

(CC-PM) 11.94 132.53

Concepto	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Total
P (mm)	8.00	5.60	22.60	71.70	224.00	490.90	319.70	367.20	417.70	239.80	49.90	8.30	2225.40
Ret [mm]	5.00	5.00	5.00	8.60	26.88	58.91	38.36	44.06	50.12	28.78	5.99	5.00	281.71
Pi (mm)	1.58	0.32	9.27	33.22	103.77	227.42	148.11	170.11	193.51	111.09	23.12	1.74	1023.25
ESC (mm)	1.42	0.28	8.33	29.88	93.35	204.57	133.23	153.02	174.07	99.93	20.79	1.56	920.44
ETP (mm)	125.50	143.60	155.90	150.90	128.00	110.90	126.80	121.70	105.50	107.90	114.60	112.40	1503.70
HSi (mm)	187.09	166.88	155.15	152.98	162.72	205.80	277.50	277.50	277.50	277.50	277.50	225.57	
C1	0.33	0.17	0.15	0.31	0.92	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.62	
C2	0.02	0.00	0.00	0.00	0.03	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.31	0.09	
HD (mm)	43.70	22.23	19.45	41.23	121.53	288.26	280.64	302.65	326.04	243.63	155.65	82.34	817.50
ETR (mm)	21.79	12.04	11.44	23.47	60.69	110.90	126.80	121.70	105.50	107.90	75.05	40.22	
HSf (mm)	166.88	155.15	152.98	162.72	205.80	277.50	277.50	277.50	277.50	277.50	225.57	187.09	
DCC (mm)	110.62	122.35	124.52	114.78	71.70	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	51.93	90.41	
Rp (mm)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	44.82	21.31	48.41	88.01	3.19	0.00	0.00	205.75
NR (mm)	214.33	253.91	268.98	242.21	139.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	91.48	162.59	1372.51