

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD DE CIENCIAS NATURALES Y MATEMÁTICA
ESCUELA DE FÍSICA
LICENCIATURA EN GEOFÍSICA



PROYECTO DE GRADUACIÓN

“Caracterización Hidrogeológica de la Microcuenca del Río Los Amates, Municipio de Suchitoto, Departamento de Cuscatlán, El Salvador”

PRESENTADO POR:

Br. Guillermo Adriel Renderos Mejía

RM10028

ASESORES:

MSc. César Armando Alvarado Batres

MSc. Laura Beatriz Gil Urrutia

Ciudad Universitaria, 23 de marzo de 2019

AUTORIDADES UNIVERSITARIAS

RECTOR:

MAESTRO ROGER ARMANDO ARIAS ALVARADO

SECRETARIO GENERAL:

LIC. CRISTOBAL HERNÁN RÍOS BENÍTEZ

FISCAL GENERAL:

LIC. RAFAEL HUMBERTO PEÑA MARTÍN

FACULTAD DE CIENCIAS NATURALES Y MATEMÁTICA

DECANO

LIC. MAURICIO HERNÁN LOVO

DIRECTOR DE ESCUELA

MSC. CÉSAR ARMANDO ALVARADO BATRES

CIUDAD UNIVERSITARIA, MARZO 2019

AGRADECIMIENTOS

A Dios, todopoderoso, que sin el nada hubiese sido posible.

A mis padres, Gonzalo Renderos y Teodora Mejía, por su dedicación en educar hijos de bien. Siempre preocupados por brindar educación y alimentación por, sobre todo, sabiendo que la mejor herencia para mí y mis hermanos sería tener una formación académica sólida para poder alcanzar nuestros sueños.

A mis asesores:

MSc. César Alvarado Batres, quien ha contribuido grandemente en mi formación estudiantil. Siempre su objetivo ha sido formar estudiantes capaces para desenvolverse en un ambiente laboral. Ha sido un pilar importante en la investigación, siendo el contacto entre la Universidad y las organizaciones comunitarias en Suchitoto. Sus conocimientos y asesorías han enriquecido el documento final.

MSc. Laura Gil, que se mostró interesada desde el momento que solicité su ayuda como asesora. Ha brindado sus conocimientos y ayuda en el desarrollo del trabajo, principalmente como conecte con el Ministerio de Medio Ambiente y proporcionar información necesaria para el desarrollo de la investigación

A MSc. Luis Castillo por su ayuda en la toma de datos de prospección geofísica y el procesamiento de datos. Quien también ha sido un docente motivado por preparar científicos capacitados que hagan frente a problemas reales.

A Arelí Salas, de AguaSuchi, que ha brindado de su valioso tiempo y conocimiento de la zona de estudio. Ha acompañado el proceso de trabajo de campo, permitiendo tener reuniones y conversaciones con dirigentes de las comunidades para acceder a información de la zona.

A las organizaciones comunales, la mesa de agua y medio ambiente de la municipalidad de Suchitoto, a la ONG *Ayuda en Acción*, que se han visto motivadas por el desarrollo de la investigación y han aportado importante información de la zona y han dado acompañamiento durante el trabajo de campo.

Al MSc. Antonio Medina, que ha apoyado en la toma de datos en la zona y también ha aportado sus conocimientos y apoyo en la investigación.

A mis compañeros de carrera, especialmente a los que pertenecen al grupo de Investigación en Hidrogeología, que han ayudado a la toma de datos y al procesamiento de las muestras de suelo. Su aporte ha sido muy valioso en el desarrollo del trabajo de campo.

A Xavier Delgado, mi mejor amigo, quien ha sido un motor de motivación y positivismo durante mi carrera, que en momentos difíciles y problemas su ayuda ha sido la más valiosa.

¡Muchas Gracias a todos!

ÍNDICE

AGRADECIMIENTOS	iii
ÍNDICE	iv
INDICE DE FIGURAS.....	vii
INDICE DE TABLAS	xi
RESUMEN	1
INTRODUCCIÓN	2
OBJETIVOS	3
GENERAL	3
ESPECÍFICOS	3
1. MARCO TEÓRICO	4
1.1 ANTECEDENTES.....	4
1.2 DESCRIPCIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO.....	5
1.2.1 Generalidades.....	7
1.2.2 Uso de Suelo	9
1.3 DATOS METEOROLÓGICOS	11
1.3.1 Clima.....	11
1.3.2 Información Meteorológica	12
1.4 GEOMORFOLOGÍA Y GEOLOGÍA	13
1.4.1 Geomorfología	14
1.4.2 Geología.....	15
1.4.3 Hidrogeología	18
1.5 MODELO HIDROGEOLOGICO.....	20
1.6 PROSPECCIÓN GEOLÉCTRICA	21
1.6.1 Métodos de Resistividades.....	22
1.6.2 Tomografías Eléctricas	24
1.7 ESTIMACIÓN DE LA RECARGA ACUÍFERA	27
1.7.1 Balance Hídrico de Suelos (Schosinsky).....	27
1.7.2 Datos de entrada.....	28
1.7.3 Métodos de cálculo de infiltración del suelo	30
1.7.4 Cálculos del Balance Hídrico.....	36
1.7.5 Recarga potencial.....	37
2 METODOLOGÍA.....	38
2.1 TRABAJO DE GABINETE.....	38

2.1.1	Recolección de información de la zona	38
2.1.2	Elaboración de Mapas de Interés	39
2.1.3	Columnas litológicas.....	39
2.2	TRABAJO DE CAMPO	39
2.2.1	Inventario de puntos de agua	39
2.2.2	Actualización de Mapa de uso de suelos	42
2.2.3	Pruebas de Infiltración	43
2.2.4	Identificación de la textura de suelo	44
2.2.5	Tomografías Eléctricas	45
2.3	PROCESAMIENTO DE DATOS.....	48
2.3.1	Profundidad del nivel piezométrico	48
2.3.2	Textura de suelo y permeabilidad	48
2.3.3	Balance Hídrico	51
2.3.4	Tomografías Eléctricas	57
2.3.5	Columnas litológicas y correlación litológica.....	57
3	ANÁLISIS Y RESULTADOS	68
3.1	USO DE SUELOS EN LA CUENCA	68
3.1.1	Caña de Azúcar	68
3.1.2	Arundo Donax.....	70
3.1.3	Granos básicos y Pastos Naturales.....	70
3.1.4	Bosque.....	71
3.2	FLUJO NATURAL DEL AGUA	71
3.2.1	Acuífero volcánico superficial.....	71
3.2.2	Acuífero poroso superficial (libre).....	74
3.2.3	Acuífero poroso confinado	75
3.2.4	Acuífero volcánico Profundo.....	77
3.3	RECARGA POTENCIAL AL ACUÍFERO SUPERFICIAL.....	77
3.4	CORRELACIÓN LITOLÓGICA	82
3.4.1	Perfil litológico de pozos perforados	82
3.4.2	Tomografías Eléctricas	84
3.4.3	Perfil Oeste - Este	91
3.4.4	Perfil Sur - Norte.....	94
3.5	MODELO HIDROGEOLOGICO CONCEPTUAL	96
3.5.1	Unidad Acuifera: Acuífero volcánico fisurado superficial.....	96
3.5.2	Unidad acuifera: Acuífero poroso libre	96

3.5.3	Unidad Acuífera: Acuífero poroso confinado.....	96
3.5.4	Unidad Acuífera: Acuífero volcánico profundo	98
3.5.5	Rocas no acuíferas	98
CONCLUSIONES		99
RECOMENDACIONES.....		101
REFERENCIAS BIBLIOGRAFÍA		103
ANEXO 01: Información Meteorológica		106
ANEXO 02: Pruebas de Infiltración		109
ANEXO 03: Balance hídrico por polígono.....		115
ANEXO 04: Álbum fotográfico.....		132

INDICE DE FIGURAS

Figura 1.1 Mapa del municipio de Suchitoto y las cuencas hidrográficas que lo conforman. Elaboración propia.	6
Figura 1.2. Mapa de la ubicación de la cuenca del río Los Amates. Elaboración propia, base de datos LabSig-UES.	7
Figura 1.3 Mapa de distribución del recurso hídrico por junta de agua en la microcuenca del río Los Amates, construido a partir de información proporcionada por las organizaciones comunales.	8
Figura 1.4 Características generales de la microcuenca del río Los Amates. Elaboración propia.	8
Figura 1.5 Mapa de uso de suelos para la cuenca del río Los Amates, según (CNR, 1996). ...	9
Figura 1.6 Mapa de uso de suelos para la cuenca del río Los Amates, según (MAG-UES, 2010).	11
Figura 1.7 Mapa de zonas Climáticas de El Salvador, elaborado por SNET según Köppen, Sapper, Lauer.	12
Figura 1.8 Gráfico de pluviosidad mensual promedio para la estación C8-San Francisco en el periodo 1980 – 2017. Elaborado a partir de datos proporcionados por el MARN.	13
Figura 1.9 Gráfico de la temperatura promedio mensual (°C) para la estación C8-San Francisco para el periodo 1969 -2000. Construido a partir de datos presentados por Hradecky, y otros (2004).	13
Figura 1.10 Mapa geológico de la cuenca del río Los Amates. Tomado del mapa geológico de escala 1:50,000 (Hradecky, y otros, 2004).	14
Figura 1.11 Gravas en matriz arcillosa de cono aluvial al oeste de Suchitoto evidencia la deposición caótica del material. PdeR295 tomado de Hradecky, P. & otros (2004).	18
Figura 1.12 Sección de interés del perfil geológico A-A' con rumbo N45°W presentado por Hradecky, P. & otros (2004) en el mapa geológico escala 1:50,000. Para esta imagen la escala vertical ha sido exagerada.	18
Figura 1.13 Mapa Hidrogeológico de la cuenca del río Los Amates, obtenido del mapa hidrogeológico de El Salvador de escala 1:100,000 (ANDA, 2011).	19
Figura 1.14 Esquema general de la implementación de los diferentes modelos hidrogeológicos. (Custodio & Llamas, 2001).	21
Figura 1.15 Esquema general del equipo de medición para métodos eléctricos de resistividad. (Telford, 1990).	22
Figura 1.16 Esquema de cilindro con resistencia al paso de corriente R, longitud L y área transversal A. (Kearey, Michael, & Hill, 2002).	23
Figura 1.17 Rango aproximado de valores de resistividades para diferentes tipos de rocas. (Kearey, Michael, & Hill, 2002).	23
Figura 1.18 Esquema básico de protocolo para realizar una pseudosección. (ABEM Instrument, 2009).	26
Figura 1.19 Esquema de cobertura de datos y generación del modelo de resistividad para el protocolo WENNER_L con un espaciamiento de electrodos de 1 m. (ABEM Instrument, 2009)	26
Figura 1.20 Diagrama de bloques generalizado de la metodología propuesta por Schosinsky. Elaboración propia.	28
Figura 1.21 Infiltrómetro de doble anillo (Gabriels, Lobo, & Pulido, 2014).	31

Figura 1.22 Evolución de la tasa de infiltración con respecto al tiempo. (Gabriels, Lobo, & Pulido, 2014).....	31
Figura 1.23 Esquema método de Porchet. (Gabriels, Lobo, & Pulido, 2014)	32
Figura 1.24 Permeámetro de Guelph. (Gabriels, Lobo, & Pulido, 2014).....	33
Figura 1.25 Escala del factor C en función de h/a. Gabriels, Lobo & Pulido (2014) según Reynolds y Elric (1987).	34
Figura 1.26 Relación entre el tipo de textura y el contenido de agua, mostrando las curvas de capacidad de campo (Field capacity) y punto de marchitez (Wilting Point) permanente. (Fetter, 2001).....	35
Figura 1.27 Esquema del cálculo de la recarga potencial mensual a partir de un balance hídrico de suelos, metodología Schosinsky. Elaboración propia.....	36
Figura 2.1 Diagrama de bloques para el desarrollo de la metodología a seguir por el estudio.	38
Figura 2.2 Mapa de ubicación de las estaciones meteorológicas propiedad del MARN cercanas a la zona de estudio y que cuentan con información meteorológica. Elaboración propia.	38
Figura 2.3 Mapa de inventario de puntos de agua, en totalidad han sido identificado 30 puntos de agua para la investigación.	40
Figura 2.4 Imagen de satélite de la zona alta de la cuenca del río Los Amates, tomada de Google Earth.	43
Figura 2.5 Mapa de usos de suelos actualizado a julio de 2018, modificado de MAG-UES (2010) a partir de observaciones en campo y uso de imágenes de satélite.	43
Figura 2.6 Toma de datos de prueba de infiltración en punto Pinf15-AS realizada en mayo de 2018.....	44
Figura 2.7 Mapa de ubicación de pruebas de infiltración y toma de muestras de suelo en la cuenca del río Los Amates.	45
Figura 2.8 Ubicación de las diferentes tomografías realizadas en la zona de estudio del río Los Amates. Todas las tomografías tienen un espaciamiento A-B de 400 m de longitud.	47
Figura 2.9 Colocación de electrodos y cables para la toma de datos con el equipo ABEM Terrameter SAS 1000. Tomografía 1 “TOMO 1: EL LIBANO 1”.	47
Figura 2.10 Tratamiento de muestras de suelo tomadas en campo para construcción de curva granulométrica.	49
Figura 2.11 Curva granulométrica de la muestra de suelo tomada en PInf8-LL. Tipo de textura: Franco arcillosa.....	50
Figura 2.12 Curva granulométrica de la muestra de suelo tomada en PInf2-EL2. Tipo de textura: Franco arenoso.....	50
Figura 2.13 Calculo de la permeabilidad del punto PInf1-EL1 por medio de la hoja de cálculo de SOILMOISTURE. Para este punto se desarrolló la prueba con carga de 5cm y 10 cm, asignando el valor de permeabilidad como el promedio de ambos resultados.	51
Figura 2.14 Clasificación de suelo por textura de la zona de estudio, según análisis granulométrico de muestras tomadas en campo.	52
Figura 2.15 Gráfico de valores mensuales de precipitación (azul) y evapotranspiración (rojo) utilizados en el cálculo del balance de suelos en la zona. Construido a partir de información del MARN.....	53
Figura 2.16 Esquema de asignación de parámetros a polígonos siguiendo la metodología para el cálculo del balance hídrico de suelos, propuesto por Schosinsky (2006).	54

Figura 2.17 Esquema del inicio del cálculo del balance hídrico de suelos, donde el mes de inicio es octubre. Elaboración propia.....	55
Figura 2.18 Cálculo del Balance Hídrico de suelos para el polígono PInf-EL2(El Líbano2). Hoja de cálculo elaborada por Schosinsky (2006).....	56
Figura 2.19 Mapa de ubicación de pozos que se encuentra dentro de la cuenca del río Los Amates. Elaboración propia.....	58
Figura 2.20 Columna litoestratigráfica del pozo PP3-SM3, ubicado en la hacienda Santa Marta, municipio de Suchitoto. Fuente: Elaborado a partir de Informe final de Pozo, IRRIPOZOS (2014).	64
Figura 2.21 Columna litoestratigráfica del pozo PP4-SM2, ubicado en la hacienda Santa Marta, municipio de Suchitoto. Fuente: Elaborado a partir de Columna de perforación de pozo, DAHO (2014).	65
Figura 2.22 Columna litoestratigráfica del pozo PP1-ARAS, ubicado en el caserío El Líbano, municipio de Suchitoto. Fuente: Elaborado a partir de Informe final de Pozo, La Casa Castro, S.A. de C.V. (2002).	66
Figura 2.23 Columna litoestratigráfica del pozo PP2-BV, ubicado en el cantón Buena Vista, municipio de Suchitoto. Fuente: Elaborado a partir de Informe final de Pozo, IRRIPOZOS (2013).....	67
Figura 3.1 Imagen satelital de la zona de estudio vista en ángulo desde el extremo norte. Fuente: Google Earth.	68
Figura 3.2 Gráficos comparativos de las variaciones del uso de suelo en la cuenca del río Los Amates, para los años 1996, 2010 y 2018. Elaboración propia.	69
Figura 3.3 Mapa de nivel piezométrico y dirección preferencial del flujo natural del acuífero superficial para la cuenca del río Los Amates, Suchitoto.	72
Figura 3.4 Modelo 3D del flujo subsuperficial del agua en la cuenca del río Los Amates. Exageración vertical 1:10	73
Figura 3.5 Manantiales y pozos excavados inventariados en la cuenca del río Los Amates sobre mapa geológico (Hradecky, y otros, 2004).	74
Figura 3.6 Mapa de nivel piezométrico y dirección preferencial del flujo natural del acuífero confinado para la cuenca del río Los Amates, Suchitoto.....	77
Figura 3.7 Resultados del cálculo de la recarga potencial anual (mm) por polígono y por textura de suelo para la Cuenca del río Los Amates, Suchitoto.....	79
Figura 3.8 Porcentajes de recarga potencial anual por textura de suelo para la cuenca del río Los Amates, municipio de Suchitoto.	81
Figura 3.9 Perfil litológico construido a partir de las columnas litoestratigráficas de los pozos: SM3, SM2, ARAS Y BUENAVISTA	83
Figura 3.10 Sección transversal construida a partir del procesamiento y análisis de resultado de la tomografía eléctrica realizada el día 24/11/2017, denominado como TOMO 1: EL LIBANO 1. Ubicación: comunidad El Líbano, municipio de Suchitoto, Cuscatlán. La línea punteada negra representa un posible contacto de capas resistivas.	86
Figura 3.11 Sección transversal construida a partir del procesamiento y análisis de resultado de la tomografía eléctrica realizada el día 24/11/2017, denominado como TOMO 2: EL LIBANO 2. Ubicación: comunidad El Líbano, municipio de Suchitoto, Cuscatlán. La línea punteada negra representa un posible contacto de capas resistivas.	87
Figura 3.12 Sección transversal construida a partir del procesamiento y análisis de resultado de la tomografía eléctrica realizada el día 04/12/2017, denominado como TOMO 3: LAS	

GUARAS 1. Ubicación: Localidad Las Guaras, municipio de Suchitoto, Cuscatlán. La línea punteada negra representa un posible contacto de capas resistivas.	88
Figura 3.13 Sección transversal construida a partir del procesamiento y análisis de resultado de la tomografía eléctrica realizada el día 16/03/2018, denominado como TOMO 5: SAN FRANCISCO 1. Ubicación: comunidad San Francisco, municipio de Suchitoto, Cuscatlán. La línea punteada negra representa un posible contacto de capas resistivas	89
Figura 3.14 Sección transversal construida a partir del procesamiento y análisis de resultado de la tomografía eléctrica realizada el día 16/03/2018, denominado como TOMO 6: SAN FRANCISCO 2. Ubicación: comunidad San Francisco, municipio de Suchitoto, Cuscatlán. La línea punteada negra representa un posible contacto de capas resistiva.....	92
Figura 3.15 Perfil litológico Oeste-Este, construido con la información de los pozos SANTA MARTA 2, ARAS Y BUENAVISTA, además de incluir las tomografías eléctricas TOMO 1, TOMO2, TOMO 5 Y TOMO6.	93
Figura 3.16 Perfil litológico Sur-Norte, construido con la información de los pozos SM3, SM2, además de incluir las tomografías eléctricas TOMO 5 Y TOMO6.	95
Figura 3.17 Esquema del modelo hidrogeológico de la cuenca del río Los Amates, municipio de Suchitoto, departamento de Cuscatlán.	97

INDICE DE TABLAS

Tabla 1.1 Cuadro comparativo de las clasificaciones de depósitos geológicos descritos en los mapas geológicos de escala 1:50,000 y 1:100,000.	15
Tabla 1.2 Arreglos electródicos de métodos de resistividad. Se muestran sus principales características. Elaborado a partir de Telford (1990), Milsom (2003) y Kearey, Michael, & Hill, (2002).	25
Tabla 1.3 Valores para los coeficientes de pendiente y cobertura vegetal. Tomado de Schosinsky & Losilla (2000).	29
Tabla 1.4 Categorías de medios porosos usados para la estimación de α . Gabriels, Lobo & Pulido (2014) según Elric (1989)	33
Tabla 1.5 Valores de puno de marchitez permanente y capacidad de campo según la textura del suelo. Schosinsky, (2006)	35
Tabla 1.6 Profundidad de raíces de diferentes cultivos (Schosinsky, 2006).	36
Tabla 2.1 Inventario de puntos de agua, datos recolectados de pozos perforados identificados dentro de la zona de estudio.	40
Tabla 2.2 Inventario de puntos de agua, datos recolectados de pozos excavados y manantiales identificados dentro de la zona de estudio.	41
Tabla 2.3 Ubicación de puntos de pruebas de infiltración realizadas en campo, según uso de suelo.	46
Tabla 2.4 Información general de las tomografías eléctricas realizadas en la cuenca del río Los Amates.	46
Tabla 2.5 Tamaños de tamices utilizados para el análisis granulométrico.	49
Tabla 2.6 Categoría del medio poroso para la hoja de cálculo de permeabilidad SOILMOISTURE.	51
Tabla 2.7 Valores promedio de precipitación (mm) por mes para la zona de estudio. Fuente: MARN.	53
Tabla 2.8 Valores de Evapotranspiración (ETP) por mes para la zona de estudio, obtenido a partir del promedio de las estaciones G03 (SF Dos Cerros), G12 (Concepción Quezaltepeque) y B10(Cerrón Grande).	53
Tabla 2.9 Formato de ingreso de datos de resistividad aparente al software RES2DINV.	57
Tabla 2.10 Pozos perforados para explotación del recurso hídrico ubicados en la cuenca del río Los Amates.	60
Tabla 2.11 Descripciones de los diferentes estratos identificados como similares entre las diferentes columnas. La simplificación se ha realizado utilizando los informes finales de perforación de cada pozo y la geología definida por Hradecy, P. & otros (2004).	61
Tabla 3.1 Parámetros físicos obtenidos de pruebas de bombeo realizadas a los pozos excavados. Fuente: DAHO (2014), IRRIPOZOS (2013), SAGRISA (2013) y Castro (2002).	75
Tabla 3.2 Tabla de parámetros asignados a cada polígono según las características de suelo, vegetación y pendiente. para el cálculo del balance hídrico de suelos.	78
Tabla 3.3 Resultados obtenidos por polígono de infiltración, para el modelo de 1m ² por profundidad de raíz y en m ³ /año (areal)	80
Tabla 3.4 Valores de recarga potencial a acuífero superficiales de la cuenca del río Los Amates.	81

RESUMEN

La microcuenca del río Los Amates está ubicada en la zona central del territorio salvadoreño, específicamente en el límite noroeste del municipio de Suchitoto, del departamento de Cuscatlán. Está limitada físicamente por el parte aguas que definen la unidad hidrográfica, teniendo como río principal el río Los Amates y secundario el río Tasajera. El área total de estudio abarca aproximadamente 41 km^2 , limitada al sur por el estratovolcán Guazapa y al norte por el valle de Aguilares-Colima.

El principal uso del recurso hídrico en la zona es para el abastecimiento a los habitantes de las comunidades que se encuentran al oeste del municipio de Suchitoto, así como también, para uso agrícola, principalmente riegos de cultivo.

Se ha recolectado información bibliográfica y estudios científicos desarrollados en la zona para construir un marco teórico de investigación. Se ha realizado un inventario de puntos de agua, entre manantiales, pozos perforados y excavados en la zona. Así mismo se ha actualizado el mapa de usos de suelo y el cálculo de la permeabilidad de estos. Se ha desarrollado una campaña de prospección geoelectrica para la identificación de estratos subsuperficiales en la zona. Una correlación litológica entre pozos y tomografías eléctricas permiten una delimitación física de los estratos geológicos que componen la zona de estudio.

Se identifican 4 unidades acuíferas: Acuífero volcánico fisurado superficial, Acuífero poroso libre, Acuífero poroso confinado y acuífero volcánico profundo. Para algunas de estas unidades ha sido posible la identificación de parámetros físicos que los describen, entre ellos: transmisividad, espesor, nivel piezométrico, dirección de flujo, etc.

Un balance hídrico de suelos, siguiendo la metodología propuesta por Schosinsky (2006), identifica que la recarga potencial al acuífero poroso superficial es de $4.47 \text{ Mm}^3/\text{año}$, y de $0.88 \text{ Mm}^3/\text{año}$ en el acuífero volcánico fisurado.

INTRODUCCIÓN

El aprovechamiento del recurso hídrico con diferentes fines, muchas veces sin identificar el potencial o las repercusiones sobre los sistemas hídricos, es usualmente realizado. Sin embargo, el manejo y gestión del recurso hídrico es cada vez de mayor interés en todos los sectores sociales, y toma una mayor relevancia por la incidencia de problemas como el cambio climático y fenómenos de sequías.

El presente trabajo de investigación ha sido posible por medio de la cooperación entre diferentes sectores sociales, entre ellos la Universidad de El Salvador a través del grupo de investigación en Hidrogeología, comunidades organizadas de la municipalidad de Suchitoto (Juntas de agua como ARAS, AGUASUCHI, la mesa de medioambiente de la Alcaldía municipal, Ayuda en Acción, entre otros) y El Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales (MARN).

La zona de estudio abarca 41 km^2 aproximadamente, perteneciendo en su totalidad al Municipio de Suchitoto. Está delimitada físicamente por la microcuenca del río Los Amates. El estudio realizado presenta un modelo hidrogeológico conceptual (físico) de la zona estudiada, caracterizando principalmente unidades acuíferas. La disposición de información técnico científica para la toma de decisiones es importante para una gestión sostenible, y otorga a los tomadores de decisiones criterios sólidos para un mejor manejo de los recursos naturales.

Es por ello que la presente información servirá a los sectores interesados de la sociedad para tomar decisiones en la zona de estudio, obteniendo información del potencial del recurso hídrico.

OBJETIVOS

GENERAL

Proponer un modelo hidrogeológico conceptual del acuífero presente en la microcuenca del río Los Amates, a través de correlación de información geofísica y litológica que permitan mejoras en la gestión del recurso hídrico.

ESPECÍFICOS

1. Delimitar las unidades hidrogeológicas presentes en la microcuenca del río Los Amates, por medio de correlación litológica de pozos y prospección Geoeléctrica.
2. Obtener el valor de recarga potencial del acuífero a través de un balance hídrico de suelos utilizando el método de Schosinsky.

1. MARCO TEÓRICO

El presente capítulo proporciona información general de la zona de estudio, así como la base teórica de cada uno de los aspectos y procedimientos en los cuales se basa la metodología de investigación. Se encuentra distribuido de la siguiente manera: 1.1 Antecedentes, 1.2 Descripción del área de estudio, 1.3 Datos Meteorológicos, 1.4 Geología y Geomorfología, 1.5 Modelo hidrogeológico, 1.6 Prospección Geoeléctrica, 1.7 Estimación de la recarga acuífera.

1.1 ANTECEDENTES

La zona norte del departamento de Cuscatlán y alrededores ha sido estudiada recientemente por diversos autores desde diferentes campos de las Ciencias Naturales y Ciencias Sociales. Entre las investigaciones científicas que destacan para el presente trabajo se presentan a continuación:

“Estudio de los peligros Geológicos en los departamentos La Libertad, San Salvador y Cuscatlán, El Salvador”. W., Hradecky, Baratoux, L., Guevara, M., Havlíček, P., Hernandez, P., Kopacková, V., Vorel, T., (2004), Ministerio de Ambiente, Praha.

El área de extensión de aproximadamente 700 km^2 fue cubierta por el mapeo geológico en escala de 1:50,000 en base de estudio del campo y unos 66 puntos de referencia. Dicho mapa comprende los bloques geológicos Cinotepeque y Guazapa. El patrón geológico es controlado por las unidades litoestratigráficas, nuevamente definidas por aspectos de composición, posición relativa, origen volcanológico y datos petrológicos. Se ha estudiado con detalle las manifestaciones de la actividad volcánica reciente, es decir, la relación de formas volcánicas jóvenes a las fallas y cámaras magmáticas. Depósitos más recientes del “Cuaternario Neovolcánico” rellenan las depresiones en la parte central, Este y Norte de la zona de estudio. Horizontes asociados de paleosuelos documentan los períodos de calma de procesos geológicos. Se realizaron análisis de composición química de rocas, datos radiométricos de ^{14}C comprobaron la edad de madera carbonizada debajo de tobas TBJ. Se realizaron análisis paleobotánicos. Los hallazgos de plantas fósiles en tobas de tres localidades indican que la edad corresponde al Mioceno, es decir, las tobas probablemente son de la Formación Chalatenango. Se realizó análisis químico de 10 muestras de agua. Los tipos de riesgos naturales condicionados directamente por composición Geológica son: deslizamientos, derrumbes de rocas, inestabilidad de laderas vecinas de fallas y zonas hidrotermales, existencia de sistemas tectónicos jóvenes.

“Aplicación de Biomonitores para evaluar la contaminación por Metales Pesados en el Lago de Suchitlán”. Cuadra, C., (2006), Universidad de El Salvador.

Para el muestro realizado en el lago de Suchitlán, los valores de Plomo y Mercurio por Kg de pescado sobrepasan los valores límites de estos metales en carnes de pescados establecidos por la Norma Salvadoreña Obligatoria. La población más afectada son las familias de bajos recursos económicos que deben recurrir a una dieta más alta en productos de la pesca. La mayor actividad industrial se presenta en la Zona metropolitana de San Salvador, convirtiendo al Río Acelhuate en la mayor fuente de contaminación de metales pesados al embalse cerrón Grande. Debido a los altos costos económicos requeridos para realiza tratamiento de gua directamente en el Lago de Suchitlán, se recomienda la disminución de la contaminación en los afluentes, mejorando la operación de las industrias enfocando la producción en el ambiente.

“Estudio Hidrogeológico de la zona norte de La Libertad, San Salvador y Cuscatlán, departamentos de El Salvador: Estudio regional e integrado”. Nováková, D., (2007), Czech Geological Survey, Czech Republic.

En 2004 el servicio Geológico Checo llevo a cabo un mapeo Geológico de escala 1:50,000 en varias áreas de El Salvador y Nicaragua, en las que se incluyen 750 km² en la zona norte del departamento de La Libertad, San Salvador y Cuscatlán. A partir de la información de pozos, muestras de agua subterránea y siguiendo la metodología Struckmeier & Margat para información hidrogeológica y mapeo de vulnerabilidad, se llevó a cabo la elaboración de un mapa hidrogeológico de escala 1:50,000. Basado en la composición de los materiales, el grado de meteorización, posición morfológica y similitudes hidrogeológicas se dividió las rocas en 9 grupos diferentes. Los sedimentos poligenéticos de la depresión plana o valle de Aguilares tiene las mejores condiciones de infiltración y acumulación de agua subterránea. Esta se muestra en la región alrededor de Guazapa, Aguilares y Colima. Estos sedimentos están compuestos por mezclas de arenas, gravas, pómez, sedimentos lacustres y diatomitas. Esto crea favorables condiciones de acumulación de agua subterránea y la formación del acuífero. A dichos sedimentos poligenéticos se les asocia una alta permeabilidad intergranular en las capas superiores (Excepto por depósitos irregulares de TBJ) y puede ser fácilmente contaminado. El espesor de la zona saturada puede alcanzar hasta los 50m en las ciudades de El Paisnal, Aguilares y Colima donde el nivel piezométrico se encuentra entre 1 m y 12 m de profundidad.

“Análisis de la Sostenibilidad de los Operadores de Sistemas de Agua Potable y Saneamiento en el municipio de Suchitoto, departamento de Cuscatlán”. Hernández, E., (2013), Universidad de El Salvador.

Tomando una muestra de 14 sistemas de agua y saneamiento evaluados dentro del municipio de Suchitoto de 30 que existían para entonces, 8 poseen pozos como fuente de abastecimiento de recurso hídrico y 6 se abastecen por medio de manantial. De dichos sistemas, 11 se clasifican como categoría A, es decir que el sistema se encuentra en buenas condiciones y cubre las necesidades de la población actual futura y el sistema tiene una buena organización que garantiza la sostenibilidad. En categoría B, sistemas que requieren mantenimiento preventivo pero que cubren actualmente las necesidades, dichos sistemas tienen una regular organización y mantienen sostenibilidad, se encuentran 3 sistemas. De estos últimos ADESCOSANDI se encuentra con mala organización y se clasifica como no sostenible. Algunas de las cuencas están siendo deforestadas y las fuentes de agua no están siendo protegidas, las comunidades no están activamente reforestando la cuenca. No se cuenta con un ente regulador de los sistemas de Agua Potable y Saneamiento rural, que condicione mecanismos de control sobre la prestación del servicio y facilite procesos de mejora continua de los mismos. Algunos sistemas están trabajando en acciones sobre la conservación de las fuentes de agua y de las microcuencas, sin embargo, falta un mecanismo que garantice el cumplimiento de instrumentos de ley que conserve los recursos naturales.

1.2 DESCRIPCIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO

El término *Cuenca* se define como la unidad hidrológica más comúnmente utilizada. Corresponde a aquella área de terreno en la cual el agua que precipita fluye hacia un cauce o río, el cual puede a su vez desembocar en otro río o en el mar, y está delimitadas por los

parteaguas (Davie, 2008). Si una cuenca es afluente a otra se denomina subcuenca, y una, afluente a una subcuenca se denomina microcuenca.

En el municipio de Suchitoto, escurren varios ríos, los cuales son afluentes directa o indirectamente a la cuenca del río Lempa. Tal caso es el del río los Limones, que es afluente al río Acelhuate. Entre los ríos ubicados en la municipalidad se encuentran: Río Los Limones (conformado por el río Los Amates y el río Chalchigue), el Río Las Señoras y Sinacapa, río Palancapa, río Quezalapa y río Sucio.

El mapa de la figura 1.1 muestra las microcuencas hidrográficas que conforman el municipio de Suchitoto, en total son 6 cuencas que se encuentran dentro del municipio. Muchas de las quebradas, principalmente las que drenan desde el volcán Guazapa, son estacionales y su caudal depende de la estación lluviosa. En la presente investigación el termino cuenca se utilizará para referirse al área de estudio, definida únicamente como la unidad hidrológica con límite definido.

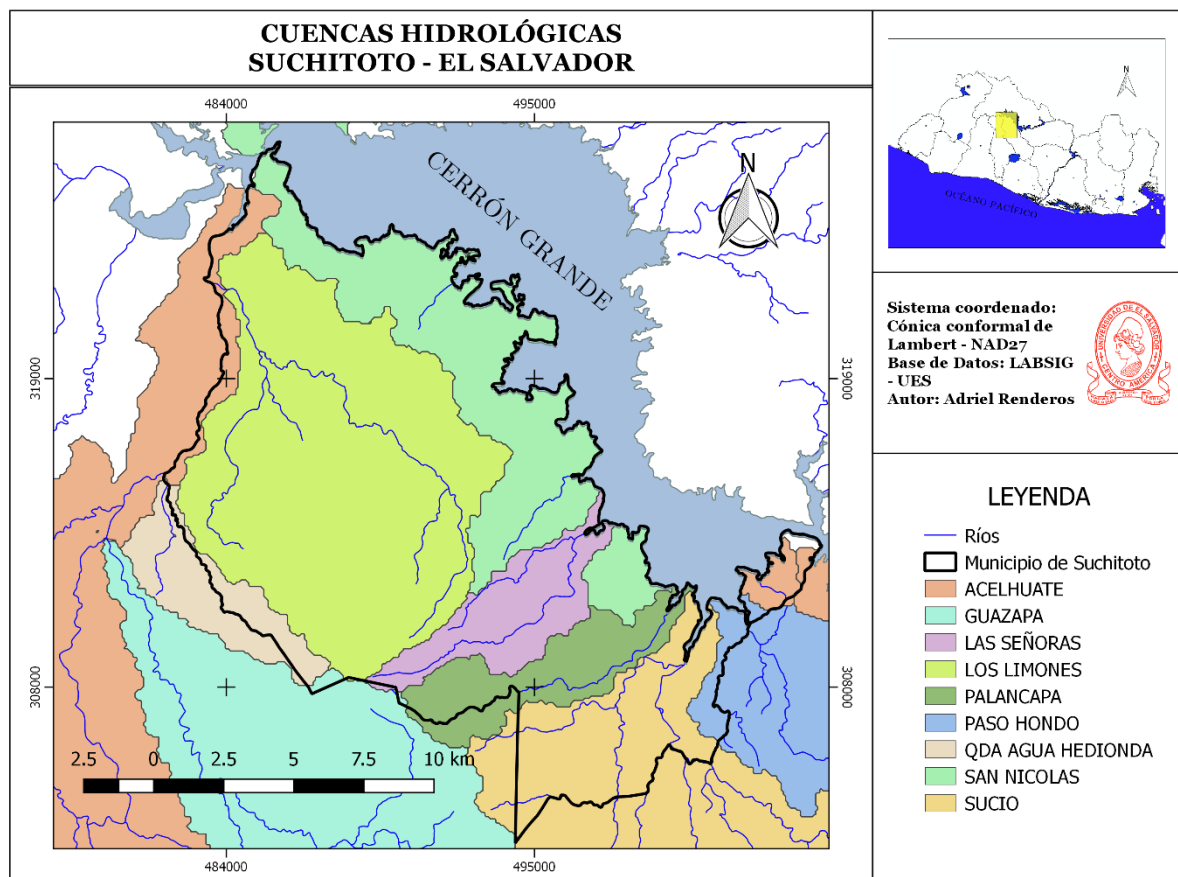


Figura 1.1 Mapa del municipio de Suchitoto y las cuencas hidrográficas que lo conforman. Elaboración propia, base de datos LabSig-UES.

La cuenca del río Los Limones es la única que se encuentra en su totalidad dentro del municipio de Suchitoto. El área total de la cuenca es de 110 km² aproximadamente. Para el

estudio se ha tomado únicamente una porción de dicha cuenca denominada *cuenca del río Los Amates*.

1.2.1 Generalidades

La cuenca del Río Los Amates ubicada al este del municipio de Suchitoto del departamento de Cuscatlán, comprende un área de 41.07km^2 aproximadamente (ver figura 1.2). Está compuesta por un cauce principal, río Los Amates, y un secundario llamado río Tasajera, los cuales son afluentes al río Los Limones, que desemboca en el río Acelhuate. La subcuenca del río Acelhuate es afluente al río Lempa, de mayor extensión e importancia en el país.

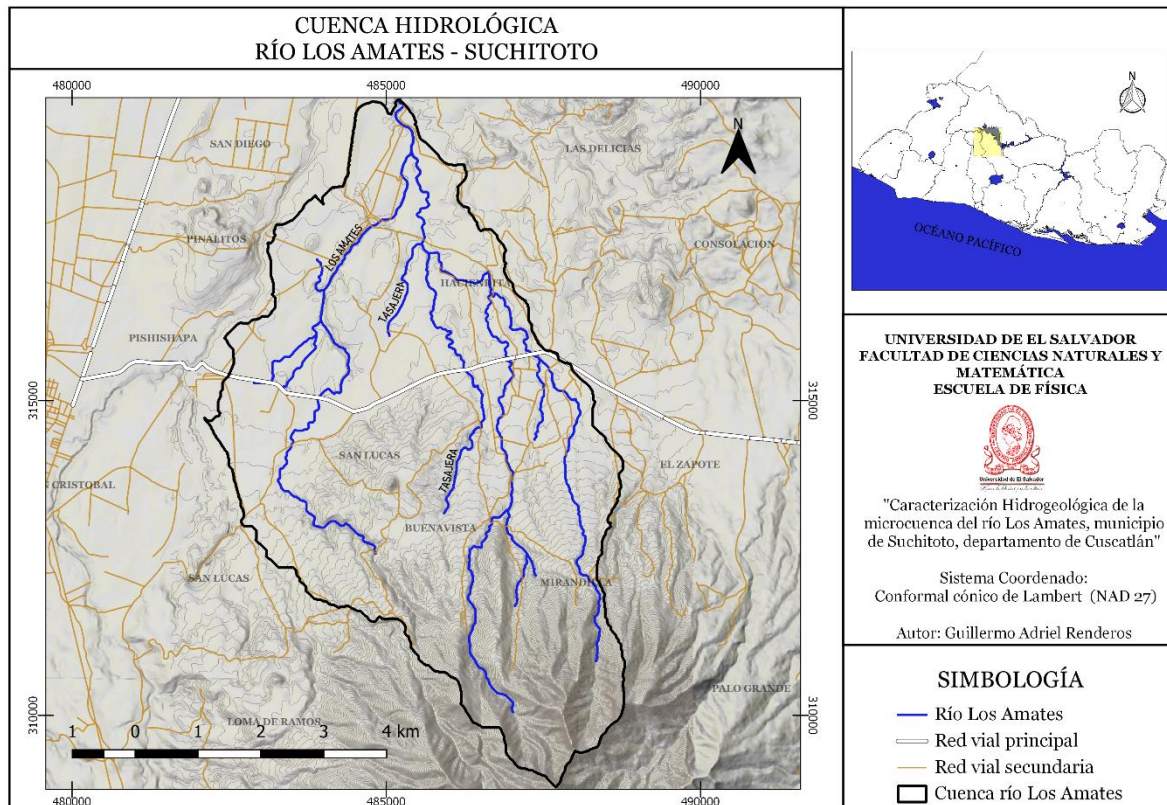


Figura 1.2. Mapa de la ubicación de la cuenca del río Los Amates. Elaboración propia, base de datos LabSig-UES.

La zona de interés en esta investigación abarca parte de los cantones Buena Vista, Haciendita, Mirandilla, San Lucas y El Zapote, todos ellos pertenecientes al municipio de Suchitoto. El acceso vial a la zona de estudio se hace por la carretera Troncal del Norte, en el km 33 ½, se toma la carretera a Suchitoto, encontrándose entre la comunidad San Francisco y el caserío La Asunción.

El recurso hídrico en la cuenca es manejado por las Asociaciones de Agua: ARAS, Buena Vista y Haciendita (ver figura 1.3), los cuales se abastecen principalmente a través de pozos perforados; los pozos excavados y manantiales son únicamente para riego y para ganado. La topografía de la zona varía entre los 252 msnm y los 1380 msnm, encontrando su mayor altitud en el volcán Guazapa al sur y su menor altitud al norte hacia la planicie de Colima. La curva hipsométrica y las características generales de la microcuenca se muestran en la figura 1.4, en ella puede observarse que los valles son bastante planos y las pendientes abruptas.

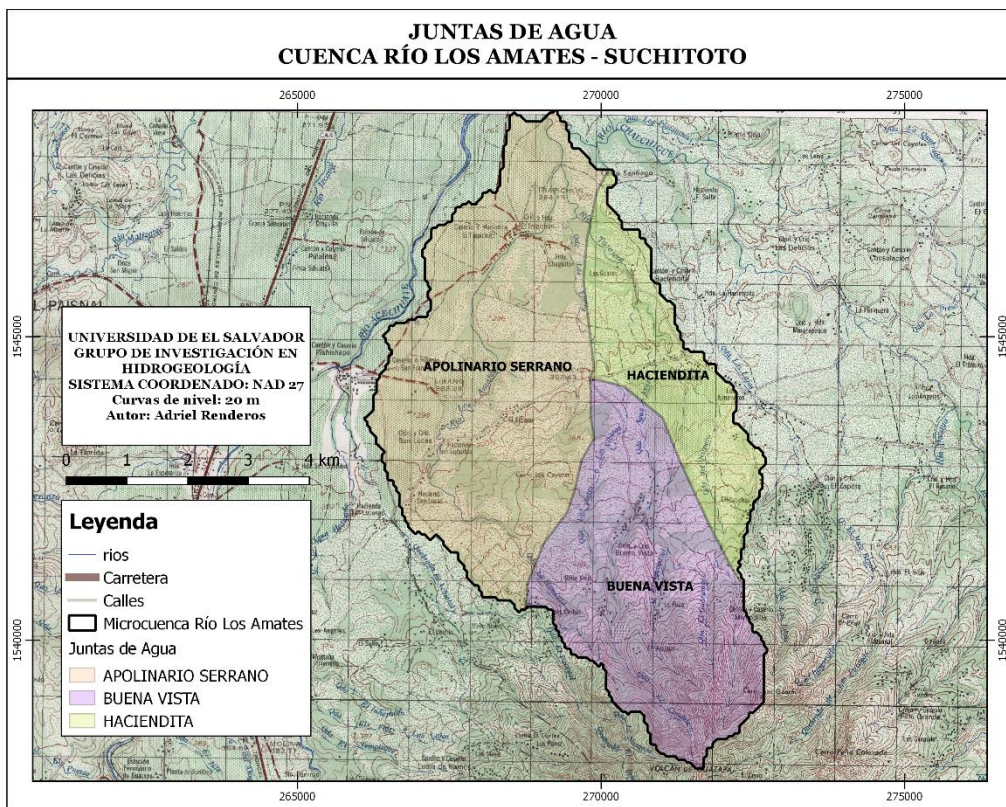


Figura 1.3 Mapa de distribución del recurso hídrico por junta de agua en la microcuenca del río Los Amates, construido a partir de información proporcionada por las organizaciones comunales.

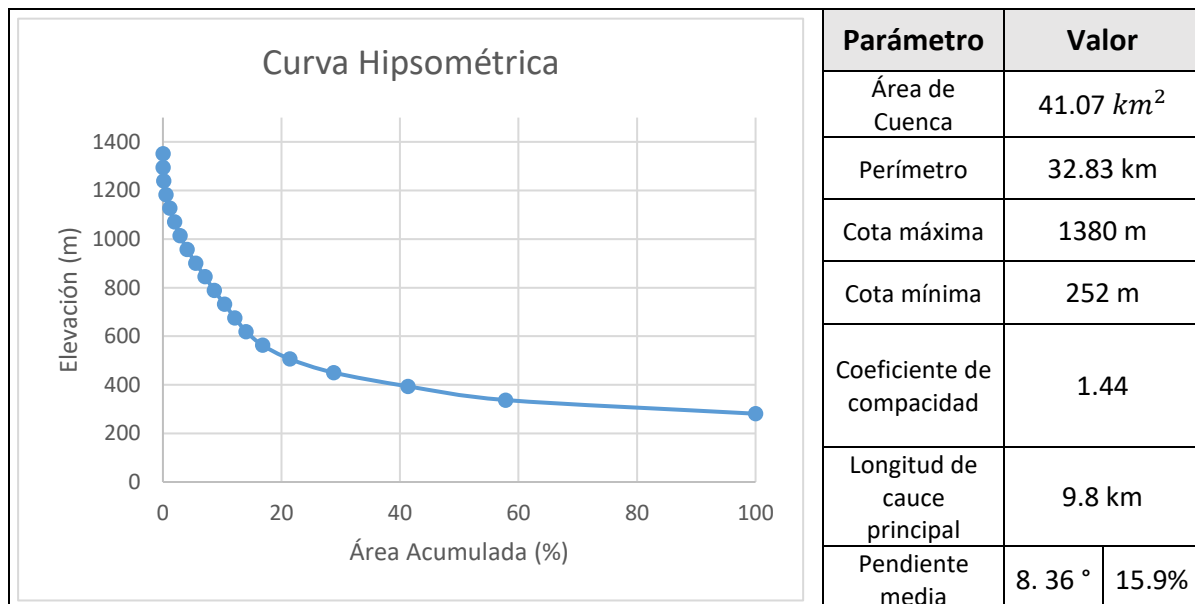


Figura 1.4 Características generales de la microcuenca del río Los Amates. Elaboración propia.

1.2.2 Uso de Suelo

Se ha utilizado la información proporcionada por los mapas de uso de suelo de 1996, 2010. Ambos mapas elaborados en escala 1:100,000, serán útiles para el análisis del cambio en el uso de suelo en la cuenca. A continuación, se describen:

- **Mapa CNR (Centro Nacional de Registro) 1996**

El uso de suelos en la zona para 1996 (ver figura 1.5), se dividía en tres diferentes usos:

- (1) Bosques naturales, que cubren principalmente las faldas y cima del volcán Guazapa (34.1 % del área total)
- (2) Pastos y Granos básicos que cubren parte de la planicie o valle de la microcuenca (48.5% del área total)
- (3) Caña de azúcar cultivada en la zona baja de la microcuenca, más cercano al río Acelhuate. (17.4% del área total)

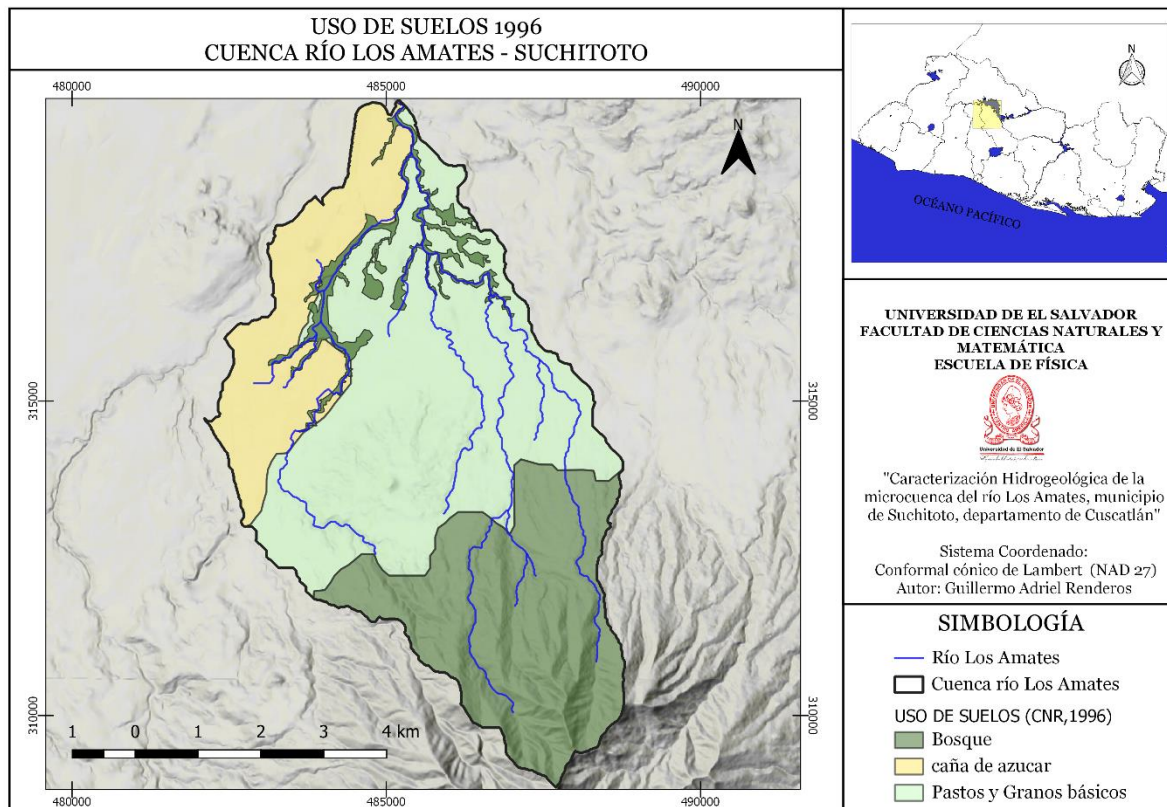


Figura 1.5 Mapa de uso de suelos para la cuenca del río Los Amates, según (CNR, 1996).

- **MAG-UES¹ 2010**

El mapa realizado por la facultad de agronomía de la Universidad de El Salvador, en conjunto con el Ministerio de Agronomía (MAG) para el 2010 propone una clasificación más amplia (figura 1.6), se describe a continuación:

- (1) Bosques naturales, que cubren principalmente las faldas y cima del volcán Guazapa. A este tipo de suelo se le adiciona el denominado como “Lavas volcánicas” y está asociado a afloramientos de rocas volcánicas en la cima del volcán (23.8% del área total).
- (2) Pastos Naturales, de muy poca extensión, se localizan principalmente en las faldas del volcán (9% del área total).
- (3) Caña de azúcar, encontrado en la planicie de la microcuenca y comienza a extenderse en las faldas del volcán (35.5% del área total).
- (4) Mosaico de Cultivos y Pastos, donde la distinción entre ambos se dificulta, se concentran cercano a la comunidad el Chagüitón.
- (5) Sistemas Agroforestales, se cultivan en los alrededores del cerro Los Coyotes (16% del área total).
- (6) Granos Básicos, principalmente maíz, se cultiva en los alrededores del cerro Los Coyotes al sur de la carretera que conduce hacia Suchitoto, en las laderas del volcán Guazapa (15% del área total).
- (7) Tejido Urbano discontinuo que representa las comunidades La Asunción y San Francisco. Estas comunidades se caracterizan por poseer poca cobertura de material impermeable (cemento), las comunidades Buena Vista y El Chagüitón no son representativas con respecto al uso de suelo alrededor (0.6% del área total).

¹ Colaboración entre Ministerio de Agricultura y Ganadería y La Facultad de Agronomía de la Universidad de El Salvador

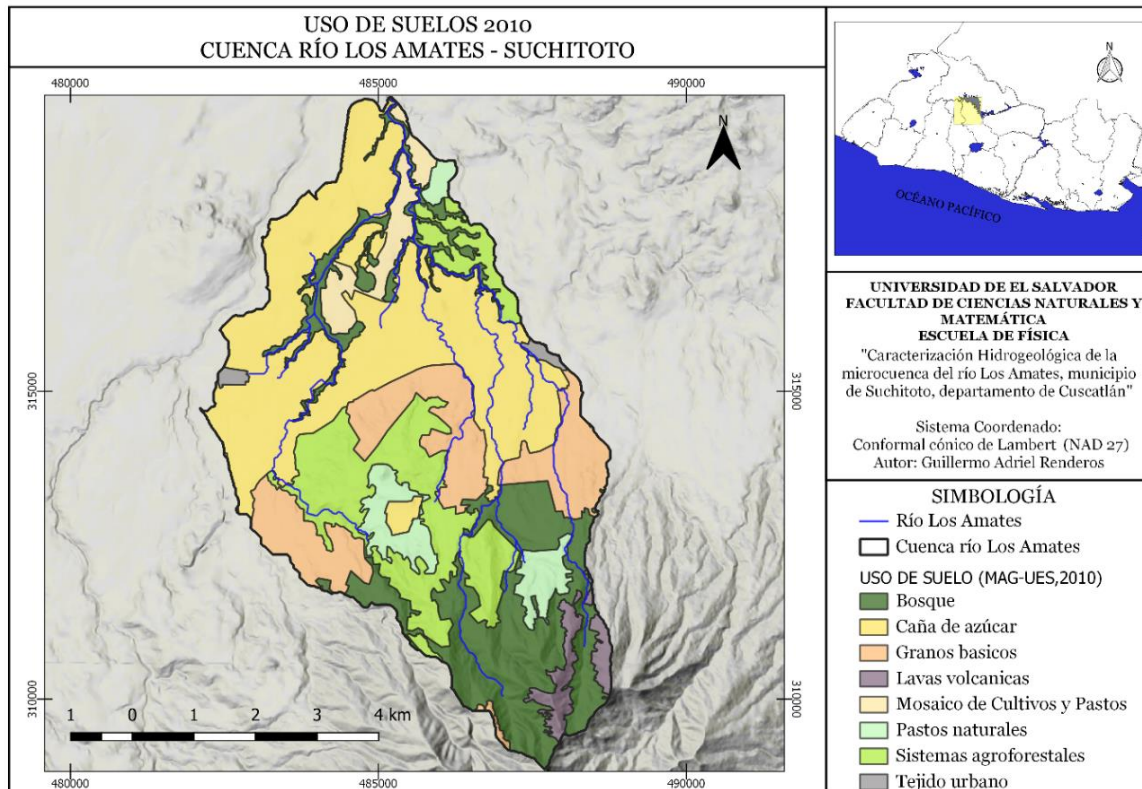


Figura 1.6 Mapa de uso de suelos para la cuenca del río Los Amates, según (MAG-UES, 2010).

1.3 DATOS METEOROLÓGICOS

Se resume la información de clima y datos meteorológicos de la zona de estudio:

1.3.1 Clima

La zona de estudio está clasificada como “*Sabanas Tropicales caliente- Planicies internas de 200-800 m.s.n.m.*” casi en su totalidad. Únicamente la cima del volcán Guazapa se encuentra clasificada como “*Sabanas Tropicales calurosas- Planicies altas y faldas de montaña de 800-1200 m.s.n.m.*” según SNET² basado en la clasificación Köppen, Sapper, Lauer (ver figura 1.7). Se presentan en la zona de estudio únicamente dos estaciones, lluviosa (mayo-septiembre) y seca (noviembre a marzo), siendo los meses de abril y octubre los meses de transición.

² Servicio Nacional de Estudios Territoriales de El Salvador

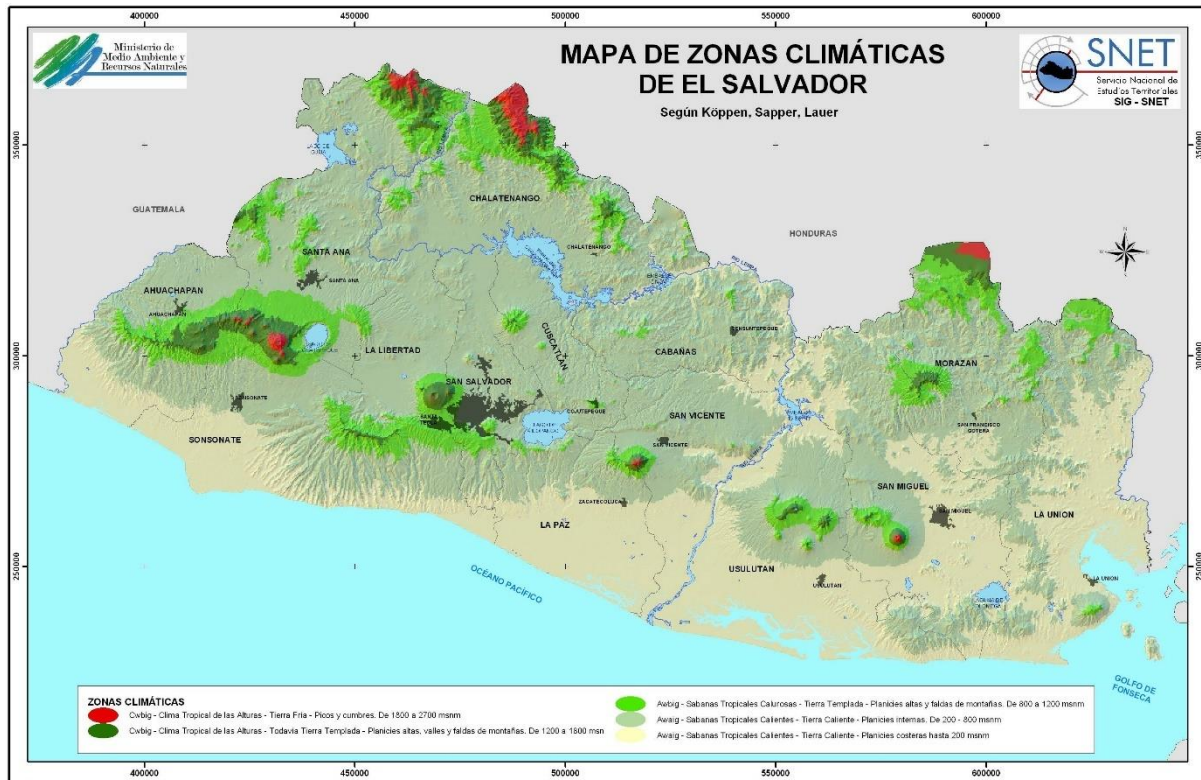


Figura 1.7 Mapa de zonas Climáticas de El Salvador, elaborado por SNET según Köppen, Sapper, Lauer.

1.3.2 Información Meteorológica

La información Meteorológica se ha obtenido a partir de datos proporcionados por el Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales (MARN), específicamente datos de pluviosidad. Los datos de temperatura son tomados de Hradecky, y otros (2004). A continuación, se describen los parámetros:

- **Pluviosidad**

En la zona de estudio, se identifica un acumulado de 1891.4 mm de lluvia promedio anual, según los datos de la estación C8- *San Francisco*, ubicada en el ingenio San Francisco, cantón San Lucas, Suchitoto. Los datos proporcionados por el MARN comprenden la pluviosidad mensual de 1980 a 2017 (ver anexo 2), los resultados se muestran en la figura 1.8. El mes más lluvioso es agosto, con un promedio de 342.6 mm, seguido por septiembre, con 326.2 mm de lluvia acumulada promedio. En el mes de enero, únicamente precipita un promedio de 2.7 mm.

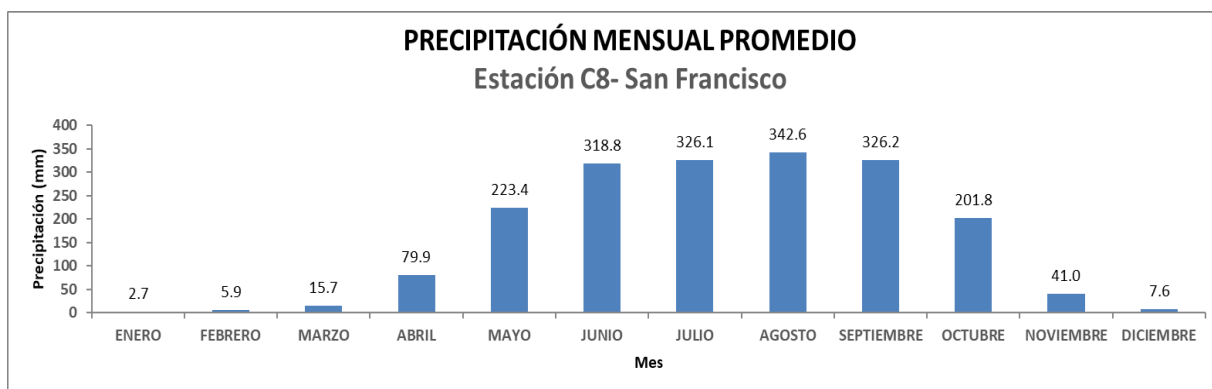


Figura 1.8 Gráfico de pluviosidad mensual promedio para la estación C8-San Francisco en el periodo 1980 – 2017. Elaborado a partir de datos proporcionados por el MARN.

- Temperatura

Los datos de temperatura de la estación C8- San Francisco han sido obtenidos por Hradecky, y otros (2004), para el periodo 1969-2000. La temperatura varía entre los 25.1°C y los 30°C durante todo el año. El mes mas frío es diciembre y el mes más caluroso abril.

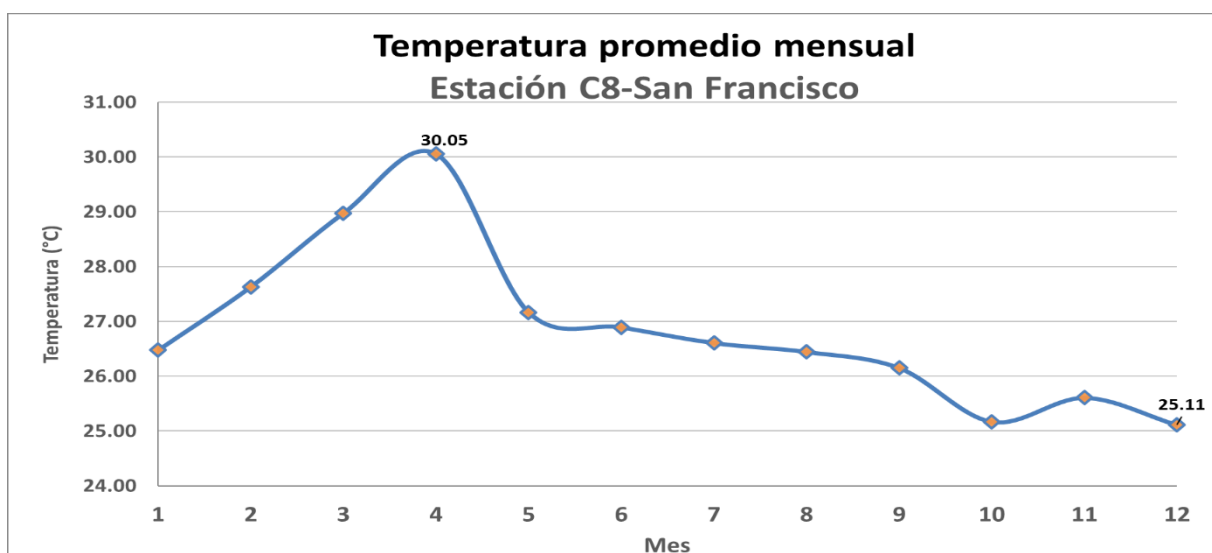


Figura 1.9 Gráfico de la temperatura promedio mensual (°C) para la estación C8-San Francisco para el periodo 1969 -2000. Construido a partir de datos presentados por Hradecky, y otros (2004).

1.4 GEOMORFOLOGÍA Y GEOLOGÍA

El área de estudio de la cuenca del río Los Amates, ubicada en la zona central del país, geológicamente está descrita tanto en el mapa geológico de El Salvador (2002) con escala 1:100,000, así como por Hradecky, P. & otros (2004) en el “Estudio de los peligros geológicos en el departamento de San Salvador, La Libertad y Cuscatlán”. En dicho estudio, se incluye un mapa geológico escala 1: 50,000, con mayor descripción de depósitos que afloran en

superficie. Es con base en lo anterior que será utilizado la descripción geológica de escala 1:50,000 para este trabajo (ver figura 1.10). La tabla de 1.1 presenta una comparación entre las definiciones de depósitos geológicos en clasificaciones para el mapa 1:100,000 y 1:50,000.

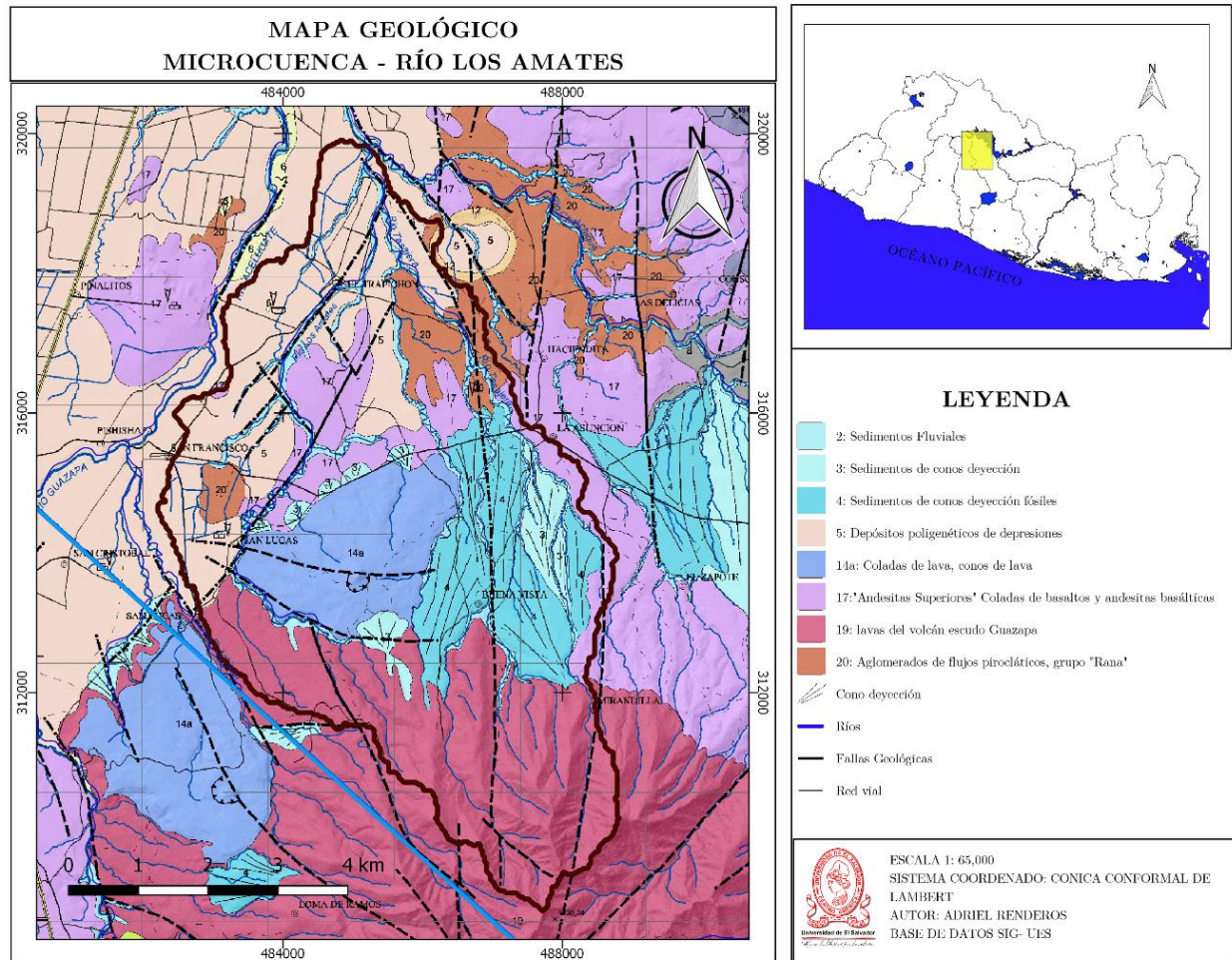


Figura 1.10 Mapa geológico de la cuenca del río Los Amates. Tomado del mapa geológico de escala 1:50,000 (Hradecky, y otros, 2004).

1.4.1 Geomorfología

Se observa sistemas de fallas principales con rumbos N-S, consideradas como el sistema de fallas más antiguo del país; así mismo, sistemas de fallas más recientes NNE-SSO descritas como fallas normales y, un sistema de fallas transversales de rumbo ONO-ESE a O-E descritas como transcurrentes. La identificación de fallas hecha fue realizada a través del uso de imágenes aéreas y posterior identificación en campo. Aquellas que no fueron comprobadas en campo son asignadas como *fallas inferidas*. Fuerte tectonismo y vulcanismo ha generado la geomorfología de la zona, que producido un estratovolcán deformado y varios volcanes monogenéticos asociados a sistemas de fallas.

Tabla 1.1 Cuadro comparativo de las clasificaciones de depósitos geológicos descritos en los mapas geológicos de escala 1:50,000 y 1:100,000.

Hradecy, P., & otros (2004)			Mapa Geológico de El Salvador (2002)		
División	Subdivisión	Edad	Formación	Miembro	Edad
Evolución del estratovolcán Guazapa	Formación Chalatenango	Mioceno	Chalatenango	Ch1	Mioceno
	Depósitos Lacustres antiguos	Mioceno-Plioceno	Cuscatlán	Cl	Plioceno – Pleistoceno
	Depósitos de flujo aglomerático tipo “Rana”.	Plioceno – Pleistoceno	-	-	
	Ilopango viejo		-	-	
	Corrientes de escombros y lahares.	Pleistoceno - Holoceno	-	-	
	Andesitas Superiores		Cuscatlán	C3	
	Tobas de caída TB				
Depósitos del Cuaternario	Sedimentos fluviales recientes	Pleistoceno - Holoceno	Cuscatlán, San Salvador	Cl (antiguos), Ql (recientes)	Pleistoceno – Holoceno
	Conos de deyección fósiles		San Salvador	Qd	
	Depósitos Poligenéticos de depresiones.		San Salvador	Q’f	

1.4.2 Geología

Hradecy, P. & otros (2004) menciona que el patrón geológico es controlado por las unidades litoestratigráficas, nuevamente definidas por aspectos de composición, posición relativa, de origen vulcanológico y datos petrológicos. Estas unidades principales se definen como:

- I. Evolución del Cinotepeque (vulcanismo más antiguo) al oeste.
- II. Evolución del estratovolcán Guazapa (vulcanismo más reciente) al este.
- III. Depósitos del cuaternario, principalmente sobre la zona central.

El límite entre ambas actividades volcánicas principales está dado por una falla de rumbo N-S a NO-SE identificada desde Apopa hasta el oeste de Colima. La cuenca del río Los Amates se encuentra ubicada al este del río Acelhuate y dentro de la zona oriental anteriormente descrita. La geología en la zona al oriente del río Acelhuate está descrita por materiales

volcánicos antiguos, definidos como **la evolución del estratovolcán Guazapa**, y depósitos más recientes denominados **depósitos del cuaternario**.

- Evolución del estratovolcán Guazapa

Se describen (de los más antiguos a los más recientes) como:

Formación Chalatenango: representa los estratos más antiguos, encontrados únicamente a las orillas del embalse cerrón Grande. Esta se describe como ignimbritas de color blanco a amarillo, composición riolítica y dacítica con meteorización profunda.

Depósitos tipo “Rana”: eventos de redeposición y cementación, los cuales se describen como aglomerados gruesos y bien soldados de tipo “block and ash”, composición andesítica basáltica, vesicular y redondeada en matriz color café. Debido a la meteorización que ocurre principalmente sobre la matriz arcillosa y en menor grado sobre los clastos de andesita, da la apariencia de verrugas de rana, de ahí el nombre dado a los depósitos. Estos depósitos están fuertemente soldados y son más resistentes ante procesos de deformación y erosión.

Ilopango Viejo: sobreyacen a depósitos tipo “Rana”. Se describen como depósitos de flujos piroclásticos con contenidos de cenizas y pómez; son identificados como productos piroclásticos antiguos de la caldera Ilopango. El reconocimiento de las divisiones TB4, TB3 Y TB2 no es posible en campo.

Andesitas inferiores y Andesitas superiores: se refiere estratos de coladas lávicas predominante al norte del volcán Guazapa, con textura porfídica, son rocas finas de grano medio, de matriz vítrea con cristales de plagioclasas que poseen facies vesiculares en superficies. Predomina composición basáltica a andesita basáltica color gris oscuro. El volcán Guazapa se formó en varias etapas de actividad efusiva y está situado en el cruce de los sistemas tectónicos importantes: N-S, NW-SE y NE-SW. Las coladas individuales son por lo general masivas en el centro, con facies vesiculares en superficie y los contactos de flujos son brechosos. La composición varía entre basalto y andesitas basálticas (gris-verde cuando están meteorizadas). El cerro Los Coyotes es un cono parasítico del volcán Guazapa que se formó sobre una falla NW-SE; el flujo es de composición basáltica. La distinción entre lavas inferiores y superiores es difícil debido a su similar composición y únicamente puede realizarse identificando el depósito tipo “Rana”, que sobreyace las lavas inferiores y subyace las lavas superiores.

Análisis químicos desarrollados por Hradecy, P. & otros (2004) confirman la composición andesítica de los flujos piroclásticos tipo “rana” y lavas del volcán Guazapa. La composición de las lavas del volcán Guazapa principalmente se describen como andesitas basálticas y basaltos, al igual que los conos monogenéticos encontrados principalmente al norte del volcán. Las lavas del volcán están fuertemente afectadas por deformación rígida, se encuentran fracturadas por el proceso de desplazamiento y enfriamiento y otras posteriormente por actividad tectónica. En afloramientos, material arcilloso rellena algunos planos de fallas, desarrolladas principalmente por alteración hidrotermal, actividad efusiva y circulación de fluidos.

Una descripción química con mayor detalle incluye el análisis de muestras para caracterizar las lavas como VF (volcanic Front) y BVF (Behind Volcanic Front), en el que se encontró que las muestras corresponden a ambos tipos de vulcanismo.

Lahares y corrientes de escombros: Afloran principalmente en los alrededores del volcán Guazapa, activados a través del transcurso de la evolución volcánica y tectónica, se caracterizan por poseer matriz marrón.

Depósitos de Tobas de caída “Tierra Blanca Joven”: Depósitos piroclásticos del volcán Ilopango. En las depresiones las cenizas forman parte integral de los “rellenos sedimentarios poligenéticos”. Puede alcanzar al sur y oeste del estrato volcán entre 6-8 metros.

Depósitos lacustres: Afloran en paredes de canteras abandonadas situadas en costas del embalse cerrón grande y se describen como secuencias de gravas fluviales y cenizas volcánicas laminadas.

- Depósitos del cuaternario

Se definen como varios tipos de depósitos recientes. El origen de todo el material presente en la zona era volcánico, posteriormente ha sido retrabajado y redepositado nuevamente. Un corte en el río Chalchigue (figura 1.11) muestra un afloramiento en la base gravas fluviales, arriba, lodos arcillosos aluviales con bloques rocosos. Esto último comprueba evolución compuesta de fases de erosión y acumulación. Los materiales se describen a continuación:

Sedimentos fluviales: (aluviales y terrazas de ríos), sedimentos de conos aluviales, fósiles y recientes, coluviales y depósitos poligenéticos que se han acumulado en las depresiones y zonas llanas. Las áreas de denudación carecen de estos depósitos, estas zonas con gradiente de altura mayor, representan la fuente del material erosionado y transportado hacia los valles.

Conos de deyección fósiles: Se denomina principalmente a materiales depósitos en las laderas (al Norte) del volcán. Dichos conos establecen los cauces y canales de ríos tributarios menores. Litológicamente se componen de gravas gruesas o gravas y arenas finas. Presentan mayor compactación que los conos más recientes y el color rojizo indica meteorización.

Depósitos poligenéticos de depresiones: cubren áreas llanas, compuestos de arenas, gravas fluviales, pómez redepositada, sedimentos epiclásticos, lacustrinos, con coloración de tonos claros, poseen espesores de más de 10 metros. Se denomina así, por las diferentes intercalaciones de material depositado; lo que documenta la actividad deposicional y erosiva de flujos de detritos de zonas con mayor gradiente topográfico y destrucción tectónica.

Al norte del volcán Guazapa se han distinguido dos tipos de coluviales: **inferior**, se componen de sedimentos compactos, arcillosos, multicolores, con bloques descompuestos y fragmentos de andesita. **superior**, contacto abrupto con cementación débil, fragmentos de granos tamaño gravas de rocas lávicas poco meteorizadas.



Figura 1.11 Gravas en matriz arcillosa de cono aluvial al oeste de Suchitoto evidencia la deposición caótica del material. PdeR295 tomado de Hradecy, P. & otros (2004).

La figura 1.12 presenta el perfil A-A' del mapa geológico de la figura 1.10 tomado de Hradecy, P. & otros (2004). Materiales volcánicos más antiguos subyacen materiales volcánicos más jóvenes, mientras que, en las planicies y valles, materiales de redeposición pueden alcanzar espesores significativos. Sistemas de fallas y conos aluviales modifican la dirección de los cauces, principalmente los más jóvenes al norte del volcán.

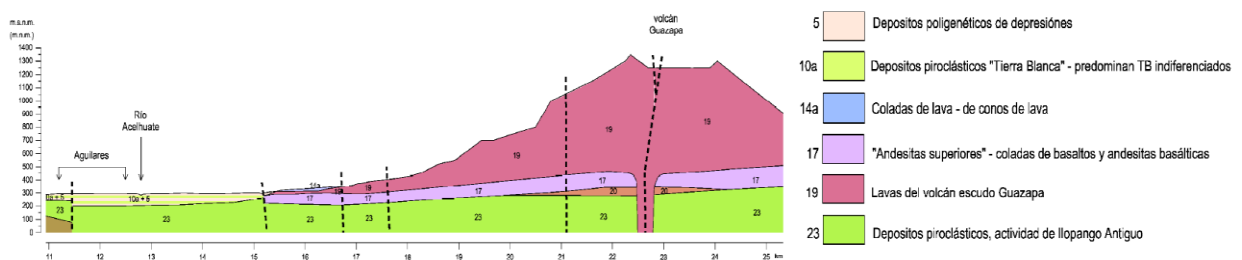


Figura 1.12 Sección de interés del perfil geológico A-A' con rumbo N45°W presentado por Hradecy, P. & otros (2004) en el mapa geológico escala 1:50,000. Para esta imagen la escala vertical ha sido exagerada.

1.4.3 Hidrogeología

El mapa de la figura 1.13 muestra la hidrogeología propuesta por ANDA³ (2011) en el mapa hidrogeológico de El Salvador. Para la cuenca del río Los Amates se describe como:

³ Administración Nacional de Acueductos y Alcantarillados

Unidad Acuífero Volcánico Fisurado de Gran extensión y Posiblemente Alta Producción: para la cuenca, se describe como acuífero poroso, constituido principalmente de rocas de carácter andesítico y basáltico, con ciertas intercalaciones de materiales piroclásticos. Entre las rocas volcánicas se pueden distinguir flujos y coladas de lavas que provienen de los centros de erupción volcánica. Dichos materiales pueden presentar conductividades hidráulicas de medianas a altas, como consecuencia de su porosidad secundaria.

Unidad Acuífero Poroso de Gran Extensión y Productividad Media: los materiales de esta unidad consisten principalmente en materiales piroclásticos aglomerados y retrabajados (pómez, lapilli, tobas), teniendo una distribución granulométrica que varía de fina a gruesa. Las conductividades hidráulicas pueden variar de medianas a bajas, como consecuencia al grado de cementación o compactación que pueden tener los granos de los materiales que la constituyen. Esta unidad puede tener más de 50 m de espesor.

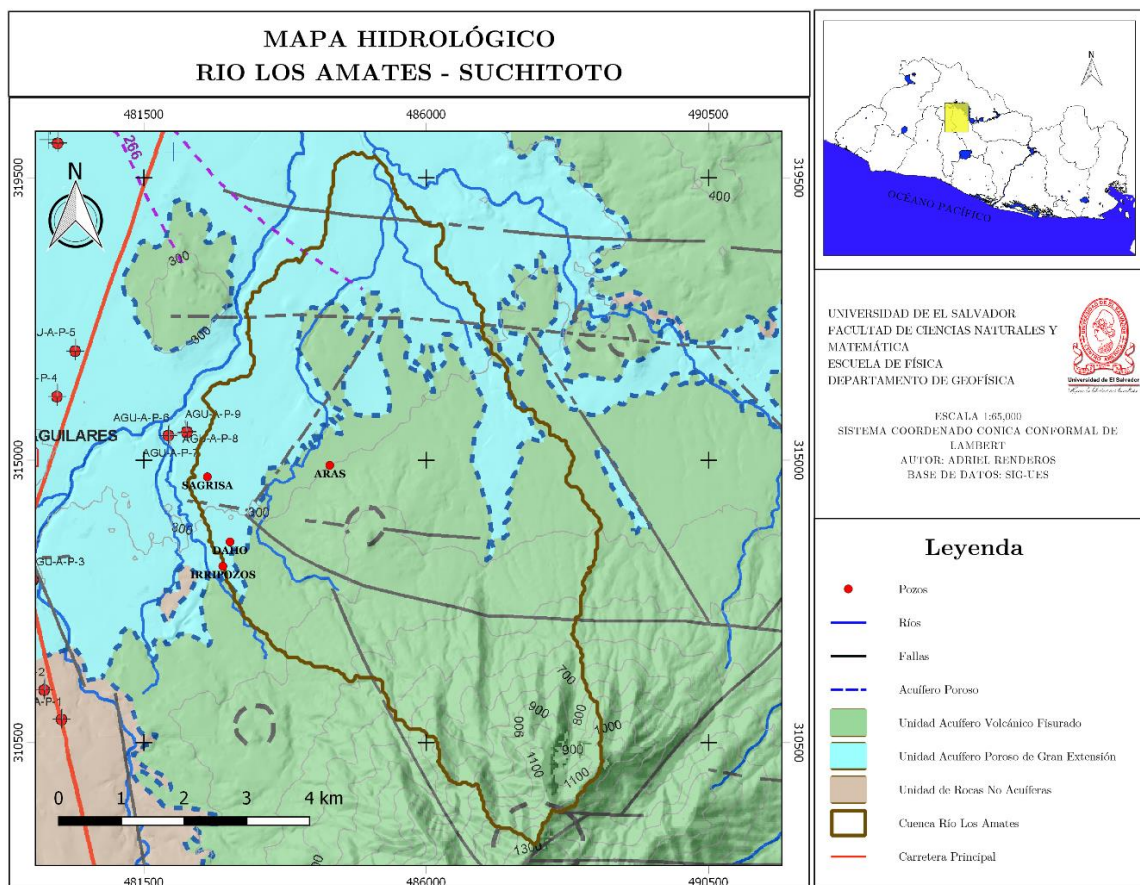


Figura 1.13 Mapa Hidrogeológico de la cuenca del río Los Amates, obtenido del mapa hidrogeológico de El Salvador de escala 1:100,000 (ANDA, 2011)

Por su parte Nováková (2007) establece que, hidrogeológicamente y de manera general, el medio rocoso que comprende la zona Guazapa-Aguilares-Colima puede dividirse en:

- I. Rocas duras con permeabilidad fisural (montañoso)
- II. Rellenos sedimentarios de valles con porosidad intergranular.

Los sedimentos poligenéticos compuestos por mezclas de depósitos de arenas, gravas, pómez, sedimentos lacustrinos y diatomitas son altamente permeables y facilitan la infiltración y la acumulación de agua subterránea. Debido a que no poseen un estrato superior (excepto algunos casos con TBJ) son altamente susceptibles a ser contaminados.

El acuífero identificado como poroso, se encuentra ubicado entre las ciudades de Aguilares, El Paisnal y hacienda La Cabaña, alcanzando en el ingenio San Francisco 50 metros de espesor. Para este estrato el valor de Transmisividad es de $T = 174m^2 \cdot dia^{-1}$ (Nováková, 2007).

1.5 MODELO HIDROGEOLÓGICO

Para proveer respuestas a preguntas que requieran información hidrogeológica específica, así como también conocimientos hidrogeológicos generales y un análisis elaborado por un profesional con experiencia en el campo, es necesario valores de los parámetros que controlan un acuífero tales como la razón de recarga e información parámetros de bombeo, etc. Un modelo de agua subterránea provee un marco de referencia cuantitativo de la información de campo sintetizada y la posibilidad de la computarización de los procesos hidrogeológicos (Anderson & Woessener, 2015).

La aplicación de un modelo conceptual es un ejercicio para comprender como un sistema funciona. Por esta razón los modelos conceptuales deberían ser desarrollados al inicio de todo estudio hidrogeológico, de forma que responda preguntas no triviales. Anderson y Woessener (2015) mencionan que, si bien no todos los problemas hidrogeológicos requieren de un modelo, si todos estos problemas se beneficiarían por la existencia de uno, de tal forma que se presente la información de campo de manera organizada. Por lo que definen un modelo como:

“Un modelo es una representación simplificada de un mundo natural más complejo” (p.9).

Y definen modelo conceptual como:

“Un modelo conceptual de un sistema de agua subterránea simplifica y presenta de forma resumida lo que se conoce a cerca de la hidrogeología, en forma escrita mostrando gráficos de flujos, secciones transversales, diagramas de bloques y tablas. Un modelo conceptual es una expresión del pasado y presente estado del sistema, basado en información de campo del sitio y conocimiento disponible de sitios similares” (p.9).

Custodio y Llamas (2001) definen un modelo de un acuífero como el procedimiento, analítico, matemático o analógico, que permita realizar la simulación de su comportamiento. Un modelo es más representativo cuando es capaz de reproducir más fielmente su comportamiento, las acciones sobre él y las leyes que los relacionan.

Un modelo de agua subterránea más completo es uno que represente cuantitativamente en tiempo y espacio condiciones hidrogeológicas más complejas de la sub-superficie en una representación simplificada. Generalmente los modelos hidrogeológicos pueden dividirse en modelos físicos (Laboratorio) y modelos matemáticos (Anderson & Woessener, 2015). Sin embargo, en esta investigación solo se tratará el modelo hidrogeológico conceptual (ver

figura 1.14). Los modelos hidrogeológicos son una potente herramienta de trabajo que permite manejar eficazmente situaciones complejas, pero introduciendo simplificaciones.

Un sistema acuífero está definido en todo momento por una serie de parámetros y variables que pueden describir sus componentes geométricos (límites, forma, etc.) o sus componentes físicos (Transmisividad, coeficiente de almacenamiento, etc.). Las variables conocidas como *variables de estado* describen la situación del sistema en un momento específico y pueden ser: Las alturas piezométricas, composición química, componentes del vector velocidad, etc.

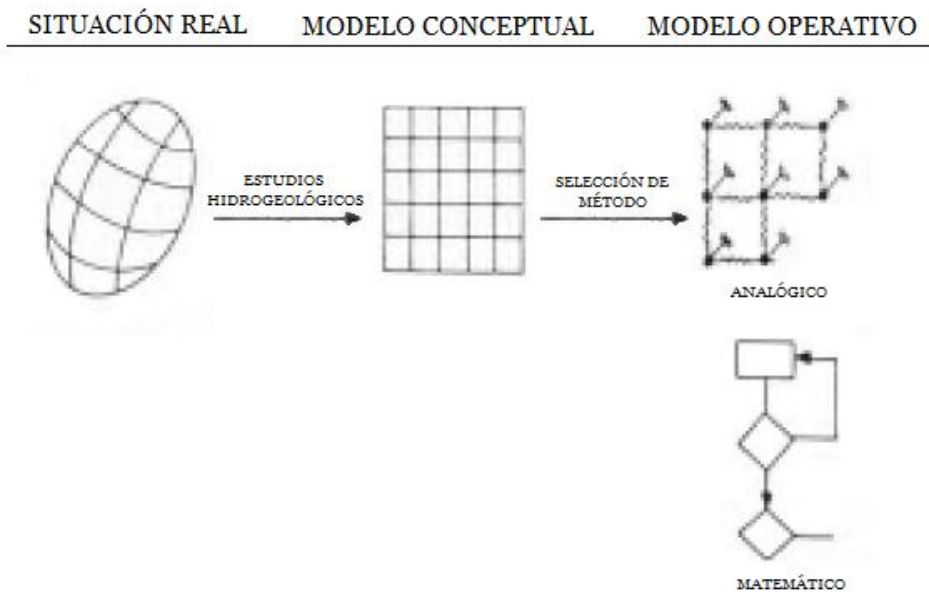


Figura 1.14 Esquema general de la implementación de los diferentes modelos hidrogeológicos. (Custodio & Llamas, 2001)

1.6 PROSPECCIÓN GEOLÉCTRICA

Los métodos geofísicos pueden ser aplicados a un amplio rango de investigaciones y estudios en todo el mundo y con diferentes propósitos. La prospección geofísica provee de información de la distribución geológica subsuperficial relativamente rápido y de bajo costo, que exploración por excavaciones que provee información espacialmente limitada (Kearey, Michael, & Hill, 2002). Pueden ser clasificados según las propiedades físicas que estudian o principios físicos en los que se basan, entre ellos se encuentran: Gravimétricos, Eléctricos, Magnéticos, Electromagnéticos, Sísmicos entre otros.

Astier (1975) establece que los métodos de prospección eléctrica pueden dividirse en dos grupos según el tipo de corriente que utilizan:

- I. Métodos que utilizan corrientes Naturales. Ejemplos: Método de polarización espontánea, Método Telúrico.
- II. Métodos que utilizan corrientes artificiales. Ejemplos: Métodos de equipotenciales, Métodos de resistividades, Métodos de polarización inducida, método de caída de potencial.

Los métodos que utilizan corrientes naturales o también llamados métodos *pasivos* estudian las interacciones de los materiales del subsuelo con campos potenciales naturales. En cambio, los métodos llamados *activos* requieren el uso de una fuente que genere un campo ya sea eléctrico o electromagnético controlado, y estudiar sus efectos en las rocas de la subsuperficie.

1.6.1 Métodos de Resistividades

Los métodos eléctricos utilizan corrientes artificiales que pueden ser directas o corrientes alternas de baja frecuencia para estudiar las propiedades eléctricas de la subsuperficie.

Entre todos los métodos, los de resistividades es el más empleado en hidrogeología. Estos, son utilizados para estudiar las discontinuidades en las propiedades eléctricas de la tierra tanto horizontal como vertical. También son usados en la detección de cuerpos en tres dimensiones con conductividad eléctrica anómalas (Kearey, Michael, & Hill, 2002). Se emplean como métodos de reconocimiento y de detalle, sobre todo en prospección de aguas subterráneas. Los mapas de isoresistividad permiten definir los límites del acuífero, el nivel del agua en los acuíferos, la presencia de agua salada y permite la cartografía de las unidades litológicas.

Los métodos de resistividad eléctrica inyectan corriente eléctrica en la superficie (figura 1.15), posteriormente se mide la diferencia de potencial entre dos puntos. Las variaciones de la resistencia al flujo de corriente a diferentes profundidades producen variaciones en las diferencias de potencial medido. Las medidas de diferencias de potencial en superficie tienen como objetivo determinar la distribución de resistividades del subsuelo y luego interpretar sus valores relacionándolos con materiales terrestres. A partir de estas mediciones pueden estimarse las resistividades verdaderas del subsuelo. Estos métodos utilizan las variaciones de las propiedades eléctricas, de las rocas y minerales, especialmente su resistividad. (Burger, Anne, & Craig, 2006)

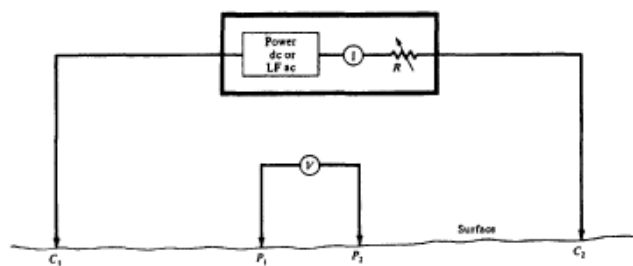


Figura 1.15 Esquema general del equipo de medición para métodos eléctricos de resistividad. (Telford, 1990)

- Propiedades eléctricas de las rocas

Varias propiedades de las rocas y minerales son de significancia en la prospección eléctrica. Ellas son: potencial eléctrico natural, conductividad eléctrica (inverso de resistividad eléctrica) y la constante dieléctrica. De estos, la resistividad es la más importante (Telford, 1990).

Astier (1975) define a la conductividad eléctrica como la propiedad de conducir la corriente eléctrica, la cual varía grandemente en diferentes tipos de rocas. El parámetro que representa esta propiedad se conoce como *conductividad* o su inversa la resistividad.

La resistividad (ρ) es la resistencia de un cilindro (ver figura 1.16) de longitud (L), Área transversal al paso de corriente (A) y resistencia (R) está dada por:

$$\rho = R \frac{A}{L} \text{ (ec. 1)}$$

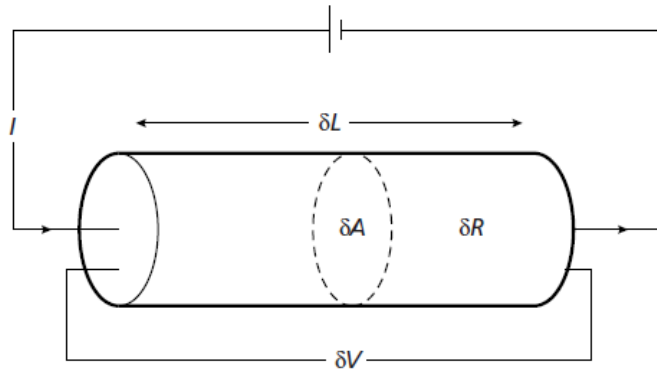


Figura 1.16 Esquema de cilindro con resistencia al paso de corriente R , longitud L y área transversal A . (Kearey, Michael, & Hill, 2002)

Las unidades en el Sistema internacional (SI) son los Ohmios-metros ($Ohm \cdot m$), y la conductividad en Siemens - metro ($S \cdot m^{-1}$). La resistividad es una de las propiedades físicas más variables (figura 1.17). La mayoría de las rocas se comportan como aislantes. El agua contenida en los poros (porosidad) es uno de los factores que mayormente influyen en la conducción de la corriente eléctrica en la roca (Kearey, Michael, & Hill, 2002). Sin embargo, aún rocas muy compactas y con escasa o nula porosidad intergranular conducen a través de fracturas y fisuras.

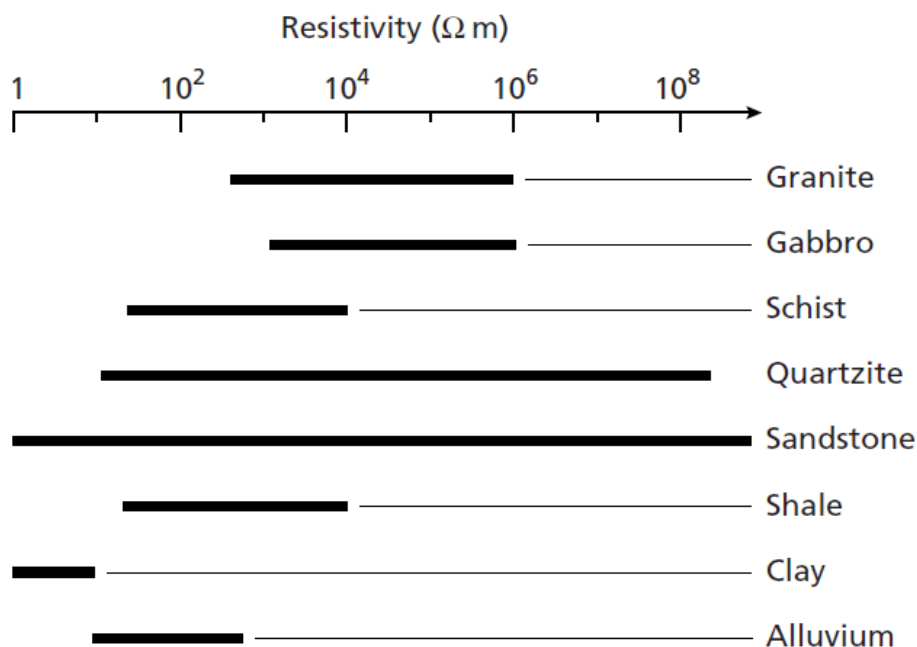


Figura 1.17 Rango aproximado de valores de resistividades para diferentes tipos de rocas. (Kearey, Michael, & Hill, 2002)

En una clasificación simplificada, las rocas y minerales pueden ser considerados como:

- (1) **Buenos conductores:** minerales con resistividades en el rango $10^{-8} \Omega \cdot m < \rho \leq 1 \Omega \cdot m$
- (2) **Conductores intermedios:** minerales y rocas con resistividades en el rango $1 \Omega \cdot m < \rho \leq 10^7 \Omega \cdot m$
- (3) **Malos conductores:** minerales y rocas con resistividades $\rho \geq 10^7 \Omega \cdot m$

1.6.2 Tomografías Eléctricas

Las tomografías eléctricas son métodos de resistividades ampliamente utilizados en la hidrogeología, y populares para la identificación de estructuras horizontales y verticales, además, son capaces de identificar zonas de fracturas (dirección y buzamiento) Ronning, Ganerod, Dalsegg, & Reiser, (2013). Las tomografías eléctricas son protocolos o secuencias de Sondeos Eléctricos Verticales realizados en orden y con arreglos específicos.

- Sondeo Eléctrico Vertical (SEV)

Se conoce como sondeo eléctrico vertical (SEV) a una serie de determinaciones de resistividad aparente, efectuadas con el mismo tipo de dispositivos y separación entre los electrodos de emisión y recepción de corriente. En las configuraciones de adquisición, dos electrodos son usados para energizar el suelo y dos electrodos son usados para medir la diferencia de potencial como se mostró en la figura 1.15. La correlación entre la corriente inyectada, la diferencia de potencial medida y un coeficiente geométrico relativo a la disposición de los 4 electrodos determina el valor de la resistividad aparente en el sitio. El valor de resistividad aparente corresponde a una cierta profundidad, función de la separación entre los electrodos (y configuración usada) y de la secuencia electro estratigráfica investigada. Los datos de resistividad aparente obtenidos en cada SEV se representan mediante una curva bi-logarítmica, en distribución vertical de resistividad bajo el punto sondeado.

- Resistividad Aparente

Utilizando el esquema de la figura 1.15, Si A y B son dos electrodos de corriente, positivo y negativo respectivamente, puestos sobre la superficie del suelo, y M y N son electrodos de medición de potencial. Si V_{MN} es la diferencia de potencial entre M Y N a partir de la ec. 11, despejando ρ :

$$\rho_a = 2\pi \frac{V_{MN}}{IK} \quad (ec. 1)$$

Dónde:

$$K = \frac{1}{AM} - \frac{1}{BM} - \frac{1}{AN} + \frac{1}{BN} \quad (ec. 2)$$

Estas ecuaciones son utilizadas para el modelo de una tierra homogénea. El valor de ρ varía si alteramos el arreglo geométrico de los cuatro electrodos. El valor de ρ obtenido sustituyendo V_{MN}/I y una K apropiada en la ec. 1 es llamada *resistividad aparente* (ρ_a) y puede ser calculada para arreglos de electrodos dados.

- Arreglos de electrodos

Los arreglos más utilizados y descritos por Telford (1990) son:

- (1) Arreglo Wenner
- (2) Arreglo Schlumberger
- (3) Arreglo polo – dipolo
- (4) Arreglo dipolo – dipolo

Las diferencias entre estos 4 arreglos son básicamente la distribución y geometría del arreglo. La tabla 1.2 compara la diferencia básica entre los arreglos.

Tabla 1.2 Arreglos electródicos de métodos de resistividad. Se muestran sus principales características. Elaborado a partir de Telford (1990), Milsom (2003) y Kearey, Michael, & Hill, (2002).

Arreglos Electródicos	Distribución espacial	ρ_a aparente	Descripción
Wenner		$\rho_a = 2\pi a \frac{\Delta V}{I}$ <p>Ec. 3</p>	Los electrodos se encuentran uniformemente espaciados y alineados. La geometría es sencilla, esto hace del arreglo uno de los más populares. Presenta inconvenientes debido al espaciamiento incrementado en cada medida, por lo que se ve afectado por anomalías laterales
Schlumberger		$\rho_a = \frac{\pi L^2}{2l} \left(\frac{\Delta V}{I} \right)$ <p>Ec. 4</p>	Los electrodos de corriente están ubicados a una distancia mayor que los electrodos de voltaje. Para cada medida, la distancia entre los electrodos de corriente se distancia más con respecto al centro del arreglo. Solo para L grande, l se expande. Esto mejora en tiempo por medición.
Dipolo - dipolo		$\rho_a = 4\pi n^3 l \frac{\Delta V}{I}$ <p>Ec. 5</p>	Los electrodos de corriente y de voltaje se encuentran cercanos entre sí, mientras que la distancia que separa a ambos grupos de electrodos es mayor. Requieren mayor intensidad de corrientes y son utilizados para investigaciones geoelectricas profundas dando como resultado información en 2D.

La figura 1.18 ejemplifica una secuencia de toma de datos, cambiando los electrodos de inyección de corriente y lectura de potencial a través de un arreglo electródico dispuesto en superficie. Los resultados de la pseudosección son valores de resistividad aparente, que son convertidos a modelos de resistividades a través de softwares de procesamiento de datos. Para el presente trabajo se utilizará el software RES2DINV (figura 1.19).

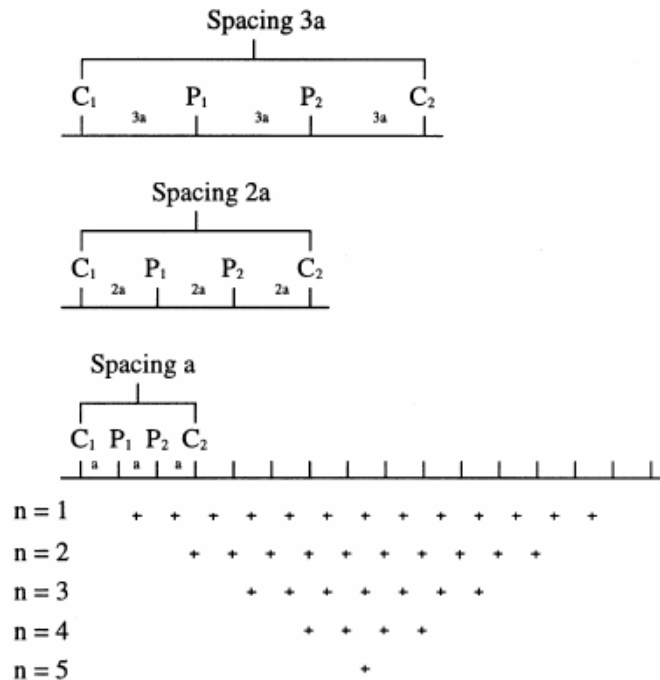


Figura 1.18 Esquema básico de protocolo para realizar una pseudosección. (ABEM Instrument, 2009)

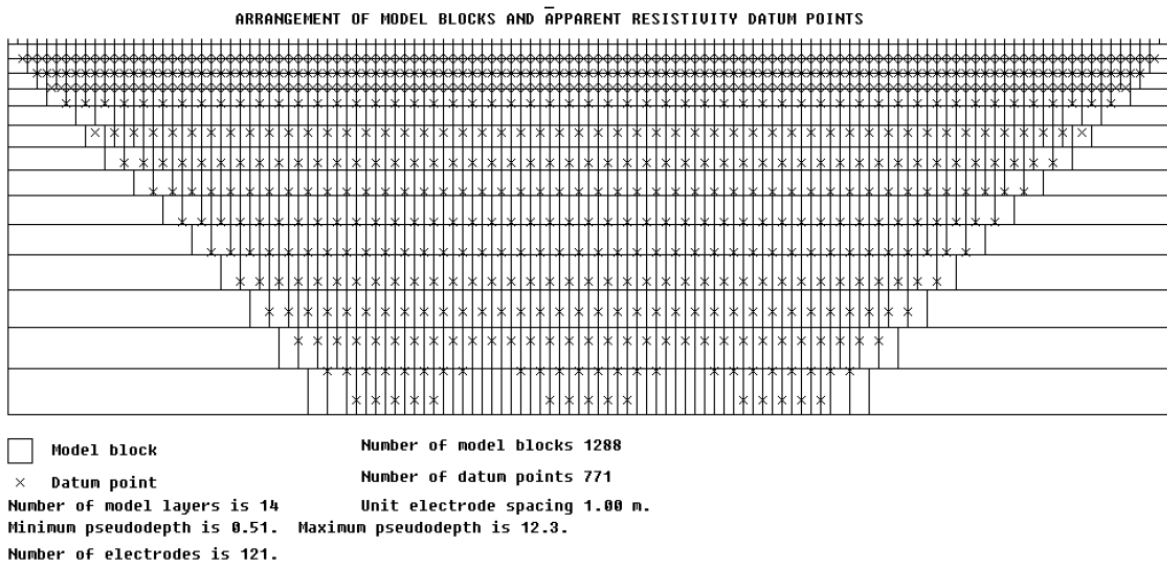


Figura 1.19 Esquema de cobertura de datos y generación del modelo de resistividad para el protocolo WENNER_L con un espaciamento de electrodos de 1 m. (ABEM Instrument, 2009)

Ronning, Ganerod, Dalsegg, & Reiser, (2013) mencionan que a través de diferentes pruebas realizadas, han identificado que la configuración Wenner es preferible utilizar si el objetivo de la investigación es identificar estructuras (sub) horizontales. Para estructuras (sub) verticales, se recomienda el uso de la configuración dipolo-dipolo o la configuración gradiente.

Con base en lo anterior, para esta investigación se utilizará el protocolo Wenner Largo, del equipo ABEM Terrameter SAS 1000, propiedad de la Facultad de Ciencias Naturales y Matemáticas de la Universidad de El Salvador.

1.7 ESTIMACIÓN DE LA RECARGA ACUÍFERA

La implementación de metodologías que permitan estimar la recarga de acuíferos se ha desarrollado a partir de la necesidad de conocer el potencial del agua subterránea para la explotación mediante pozos

Un balance hídrico es la aplicación de la misma ecuación de la continuidad, expresada como:

$$\text{Entradas} = \text{Salidas} \pm \text{Variación de almacenamiento} \quad (\text{Ec. 6})$$

Esta ecuación es aplicable a una unidad o región cualquiera y en un tiempo cualquiera. Sin embargo, cuando la unidad de tiempo es grande, se considera que las variaciones en volumen almacenado son despreciables, y en este caso, las entradas son igual a las salidas (Custodio & Llamas, 2001). Por lo tanto, un balance hídrico para una cuenca específica requerirá el cálculo de cada una de sus entradas y salidas del sistema en estudio.

1.7.1 Balance Hídrico de Suelos (Schosinsky)

Schosinsky (2006) propone una metodología para determinar la recarga potencial al acuífero mediante un balance hídrico de suelos.

La recarga natural es el volumen de agua que entra en un acuífero durante un período de tiempo a causa de la infiltración de las precipitaciones o un curso de agua. También es llamada como lluvia eficaz o infiltración eficaz (Custodio & Llamas, 2001). Cuando ocurre la precipitación el agua que infiltra se acumula en los poros del suelo hasta que alcanza el punto de capacidad de campo, que es la máxima acumulación de agua que puede tener un suelo no saturado. Posterior al evento de precipitación, se lleva a cabo la evapotranspiración, las raíces toman agua que se encuentra en los poros del suelo. Si la infiltración es suficiente como para llevar al suelo a capacidad de campo, y llenar la necesidad de la evapotranspiración, el sobrante de agua percola para recargar el acuífero.

Dicho potencial de agua subterránea representa la máxima cantidad de agua que puede sustraerse del acuífero sin ser sobreexplotado. Una de las ventajas de esta metodología es que considera variables que influyen en la recarga de los acuíferos tales como: La precipitación mensual, la retención pluvial, la capacidad de infiltración y sus características. Por experiencias en el uso del método se ha demostrado que el error en el valor de la recarga es menor al ochenta por ciento, ya que se ha podido comprobar de forma confiable los valores de dicha recarga.

Schosinsky (2006) define Balance Hídrico de Suelos como:

“Es el estudio basado en el principio de conservación de la materia. O sea, el agua que entra en el suelo es igual al agua que se almacena en el suelo, más el agua que sale de él. Las entradas son debidas a la infiltración del agua hacia el suelo, y las salidas se deben a la evapotranspiración de las plantas, más la descarga de los acuíferos” (p. 1)

El diagrama de bloques de la figura 1.20 presenta de forma general la metodología a seguir para obtener el valor de la recarga potencial de un acuífero, propuesta por Schosinsky (2006).

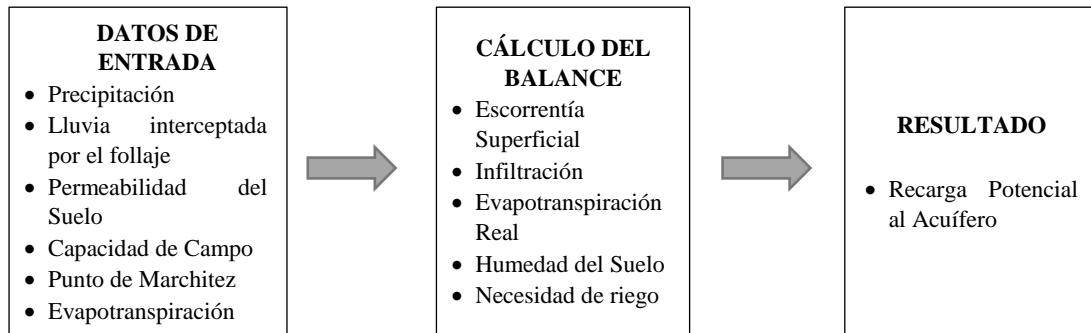


Figura 1.20 Diagrama de bloques generalizado de la metodología propuesta por Schosinsky. Elaboración propia.

El valor de la infiltración de agua lluvia que penetra en el suelo de la zona de estudio es el punto de partida para el balance de suelos. Una vez obtenido el valor de la infiltración, el balance hídrico implementado permite estimar el agua libre que recarga el acuífero que se encuentra debajo del suelo analizado.:

1.7.2 Datos de entrada

El Balance hídrico requiere información de campo de la zona de estudio, entre ellas se requiere: Precipitación mensual, Evapotranspiración mensual, Coeficientes de infiltración (por textura, por pendiente, por cobertura vegetal), capacidad de campo, punto de marchitez permanente, etc. A continuación, se definen:

- Fracción de lluvia interceptada por el follaje

Schosinsky & Losilla (2000) mencionan que lluvias menores a 5 mm mensuales, no generan infiltración alguna ya que se considera que, en un mes con lluvia, al menos 5 mm son retenidos por el follaje sin llegar al suelo debido a que el 12% (20% para bosques densos) de la lluvia total es retenida por el follaje. La retención por el follaje (Ret) está dada por:

$$\text{Si } P \leq 5 \text{ mm/mes, Ret} = P$$

$$\text{Si } P \cdot Cfo \geq 5 \text{ mm/mes, Ret} = P \cdot Cfo \quad (\text{Ec. 7})$$

$$\text{Si } P \geq 5 \text{ mm/mes pero } P \cdot Cfo \leq 5 \text{ entonces Ret} = 5$$

Donde P es la precipitación mensual (mm/mes), Ret es la retención del follaje al mes (mm/mes) y Cfo es el coeficiente de retención (adimensional).

- Infiltración

Custodio & Llamas (2001) define infiltración como:

“Volumen de agua que procedente de las precipitaciones (a veces también de ríos o recarga artificial), en un determinado tiempo, atraviesa la superficie del terreno y ocupa total o parcialmente los poros del suelo o de las formaciones geológicas subyacentes” (p. 273)

Se establece que para evaluar la infiltración de lluvia que penetra al suelo en una zona, se determinan:

- (1) La precipitación mensual de la zona
- (2) Los diferentes valores de infiltración básica de los suelos
- (3) La cobertura vegetal del suelo
- (4) Pendiente del terreno

Schosinsky & Losilla (2000) según el “Manual de Instrucciones de Estudios Hidrológicos” realizado por las Naciones Unidas proponen para el cálculo del coeficiente de infiltración (C_i) la siguiente ecuación:

$$C_i = (K_p + K_v + K_{fc}) \quad (Ec. 8)$$

Donde C_i representa el coeficiente de infiltración (adimensional), K_p es la fracción que infiltra por efecto de la pendiente (adimensional), K_v es la fracción que infiltra por la cobertura vegetal (adimensional) y K_{fc} es la fracción que infiltra por la textura del suelo.

El coeficiente de infiltración es el factor por el cual se debe multiplicar la precipitación mensual para obtener el agua que se infiltra mensualmente hacia el suelo.

La tabla 5.2 muestra valores para los diferentes coeficientes presentados por Schosinsky & Losilla (2000) basado en (Chow, Maldment, & Mays, 1988) y el Manual presentado por la ONU.

Tabla 1.3 Valores para los coeficientes de pendiente y cobertura vegetal. Tomado de Schosinsky & Losilla (2000).

Por pendiente:	Pendiente	Kp
Muy Plana	0.02% - 0.06%	0.30
Plana	0.3% - 0.4%	0.20
Algo Plana	1% - 2%	0.15
Promedio	2% - 7%	0.10
Fuerte	Mayor de 7	0.06
Por Cobertura Vegetal:		Kv
Cobertura con zacate menos del 50%		0.09
Terrenos Cultivados		0.10
Cobertura con Pastizal		0.18
Bosques		0.20
Cobertura con zacate más del 75%		0,21

El coeficiente de infiltración por textura de suelo (K_{fc}) es uno de los factores que más influye en la cantidad de agua que infiltra en el suelo. Está dado por:

$$K_{fc} = 0.267 \ln(fc) - 0.000154 \cdot fc - 0.723 \quad (\text{Ec. 9})$$

Donde fc es la infiltración básica del suelo (mm/día). El desarrollo de la ecuación 9 es obtenida a partir de métodos empíricos (Schosinsky & Losilla, 2000).

Para la aplicación de esta ecuación, el rango de fc debe encontrarse entre los 16 mm/día y los 1568 mm/día. Por lo que el valor de K_{fc} está condicionado por:

$$\text{Si } 16 \text{ mm/día} \leq fc \leq 1568 \text{ mm/día}; K_{fc} = 0.267 \ln(fc) - 0.000154 \cdot fc - 0.723$$

$$\text{Si } fc \leq 16 \text{ mm/día}; K_{fc} = 0.0148 \cdot fc/16 \quad (\text{Ec. 10})$$

$$\text{Si } fc \geq 1568 \text{ mm/día}; K_{fc} = 1$$

El valor de fc corresponde a la permeabilidad del suelo saturado en los primeros 30 cm de profundidad, esto en consideración a que es el espesor que está en contacto directo con el agua de lluvia.

El valor de C_i , en ningún caso podrá ser mayor a 1, si así fuese, se le asigna el valor de 1.

1.7.3 Métodos de cálculo de infiltración del suelo

El valor de fc se obtiene a través de mediciones en campo por medio de pruebas o métodos de infiltración.

En suelos no saturados el movimiento del agua es complejo. En este régimen el transporte de agua se ve influenciado por la pérdida de continuidad de poros con agua, la conductividad hidráulica (K) no es constante y depende del potencial mátrico.

Para una predicción del movimiento de agua en el suelo se requiere una medición cuidadosa de los parámetros hidráulicos del suelo. Para ello se han desarrollado una serie de métodos tanto de campo como de laboratorio para la determinación de la infiltración, entre ellos se mencionan:

- Método de doble anillo

El método consiste en dos anillos separados, los cuales son utilizados para obtener la tasa de infiltración, la infiltración acumulada y la conductividad hidráulica saturada. Se entierran parcialmente dos anillos concéntricos en el suelo. Se coloca una lámina de agua de inundación constante o variable dentro de ellos. Se mide cuánta agua penetra en el suelo por unidad de área y tiempo. Los cilindros exteriores son instalados con el propósito de reducir el flujo lateral en el cilindro interno. Por lo que la tasa de infiltración del cilindro interno se asume que es una indicación del flujo vertical (Gabriels, Lobo, & Pulido, 2014)

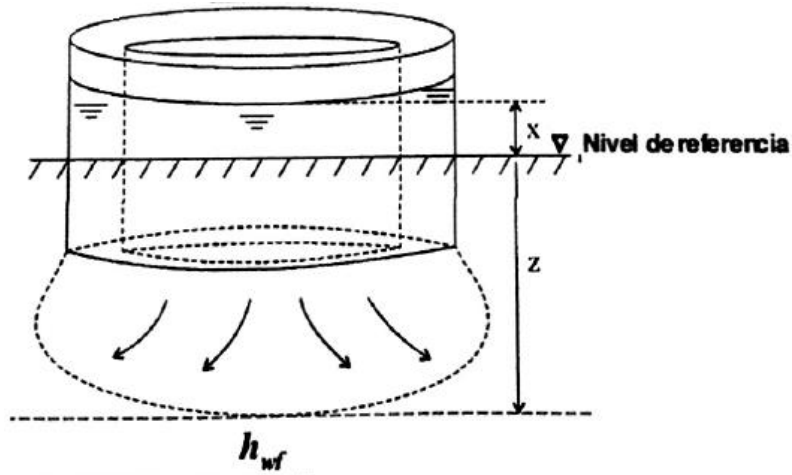


Figura 1.21 Infiltrómetro de doble anillo (Gabriels, Lobo, & Pulido, 2014).

La tasa de infiltración final, usando la ley de Darcy es:

$$q = K_T \frac{h_{wf} + z + x}{z} \quad (Ec. 11)$$

Donde q es la tasa de infiltración (m/s), K_T es la conductividad hidráulica de la zona de transmisión (m/s), h_{wf} es el valor absoluto de la carga de presión en el frente de humedecimiento (m), z es el espesor de la zona de transmisión (m) y es la carga de agua en el anillo interior del infiltrómetro (m). En texturas no demasiado gruesas, la conductividad hidráulica de la zona de transmisión es aproximadamente igual a la de la zona saturada.

$$q \approx K_T \approx K_S \quad (Ec. 12)$$

Donde q es la tasa de infiltración, K_T es la conductividad hidráulica de la zona de transmisión y K_S es la conductividad hidráulica saturada. El tiempo que transcurra hasta alcanzar las condiciones finales de saturación dependerá de la humedad previa, la textura y estructura del suelo, el espesor del horizonte por el que discurre el agua y la altura del agua en el anillo interior (ver figura 1.22).

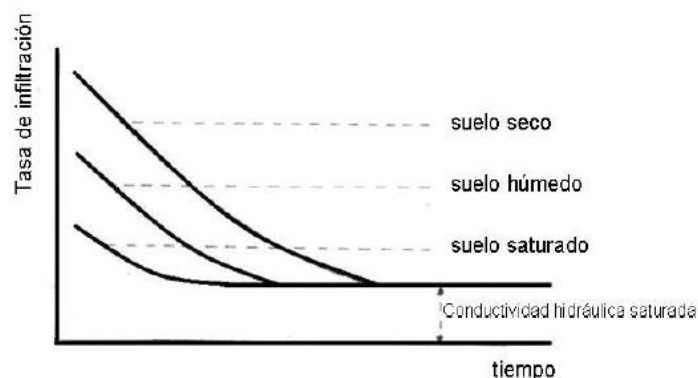


Figura 1.22 Evolución de la tasa de infiltración con respecto al tiempo. (Gabriels, Lobo, & Pulido, 2014)

- Método de Porchet

El método de Porchet relaciona la intensidad de precipitación y depende de las características físicas del suelo, tales como la textura, estructura, compactación etc., y del contenido de humedad, pues al aumentar éste la cantidad de agua infiltrada disminuye.

Para la estimación de la tasa de infiltración en terreno utilizando este método, el cual consiste en excavar un cilindro de radio R y se llenarlo con agua hasta una altura h (ver Figura 1.23).

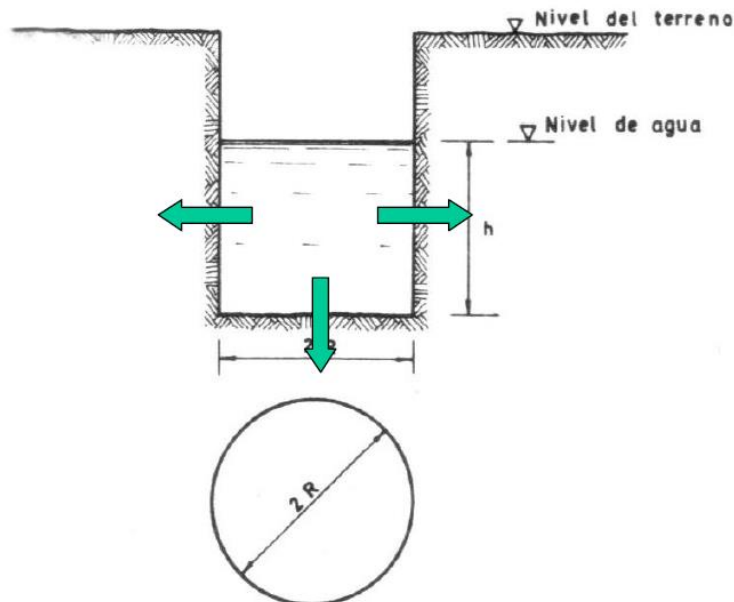


Figura 1.23 Esquema método de Porchet. (Gabriels, Lobo, & Pulido, 2014)

$$K = \frac{R}{2(t_2 - t_1)} \cdot \ln \left(\frac{2h_1 + R}{2h_2 + R} \right) \quad (\text{Ec. 13})$$

Donde K es la capacidad de infiltración, R el radio del cilindro, h_1 y h_2 es la altura de la columna de agua a un tiempo t_1 y t_2 respectivamente. Así pues, para determinar K, basta con medir pares de valores (h_1, t_1) y (h_2, t_2) de forma que t_2 y t_1 no difieran demasiado.

- Permeámetro de Guelph

El permeámetro de Guelph se utiliza para la medida de la conductividad hidráulica saturada en campo, aunque, también permite medir la infiltración acumulada y la tasa de infiltración. La figura 5.20 muestra un diagrama del permeámetro de Guelph y los parámetros de interés.

La conductividad hidráulica puede calcularse resolviendo la ecuación de Richards:

$$K_{fs} = \frac{CQ}{2\pi H^2} + 2\pi\alpha^2 + 2\pi \frac{H}{\alpha^*} \quad (\text{Ec. 14})$$

Donde C es el factor de forma, adimensional y obtenido de h/a . A es el área de la sección transversal del reservorio del permeámetro (m^2), Q es el estado estable de la caída del nivel de agua en el reservorio del permeámetro (m/s). h es la profundidad de agua en el pozo (m). a es el radio del pozo y α^* parámetro de textura (1/m)

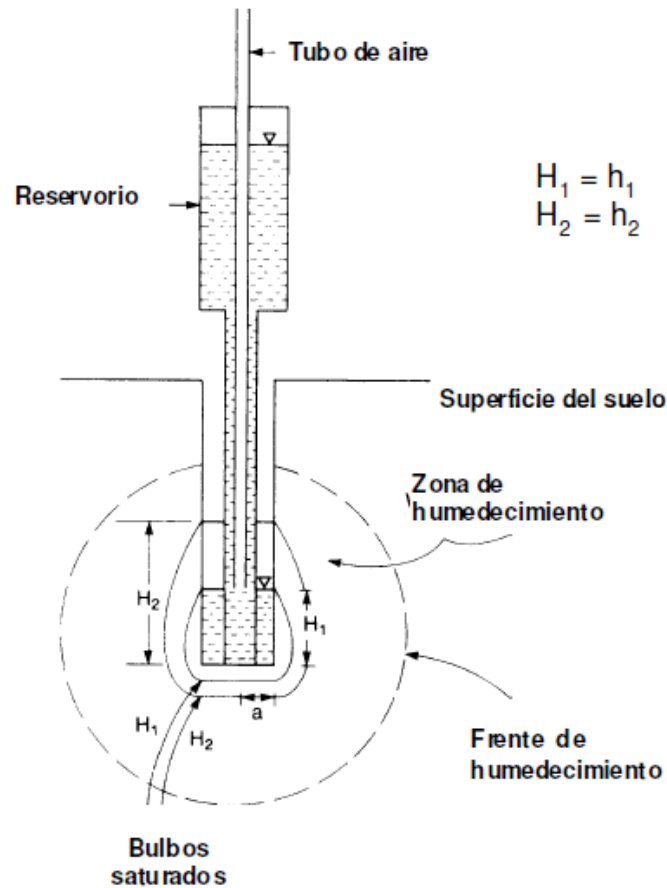


Figura 1.24 Permeámetro de Guelph. (Gabriels, Lobo, & Pulido, 2014)

El valor de α puede obtenerse a partir de la tabla 1.4 obtenida de Gabriels, Lobo & Pulido (2014) según Elric (1989). El valor de C en cambio puede encontrarse utilizando la gráfica de la figura 1.25 denominada *escala del factor C*, obtenida de Gabriels, Lobo & Pulido (2014) según Reynolds y Elric (1987).

Tabla 1.4 Categorías de medios porosos usados para la estimación de α . Gabriels, Lobo & Pulido (2014) según Elric (1989)

Categoría del medio poroso	Valor de α (1/m)
Materiales compactados, arcillosos o limosos poco estructurados, tales como sedimentos marinos o lacustrinos, materiales de relleno, etc.	1
Suelos que tienen textura fina y sin estructura	4
La mayor parte de los suelos estructurados des arcillas, pasando por francos, además incluyendo arenas finas y gruesas desestructurados. Categoría más frecuentemente aplicada a suelos agrícola	12
Suelos pedregosos y arenas gruesas, pueden además incluir algunos suelos con buena estructura con grandes grietas y macroporos.	36

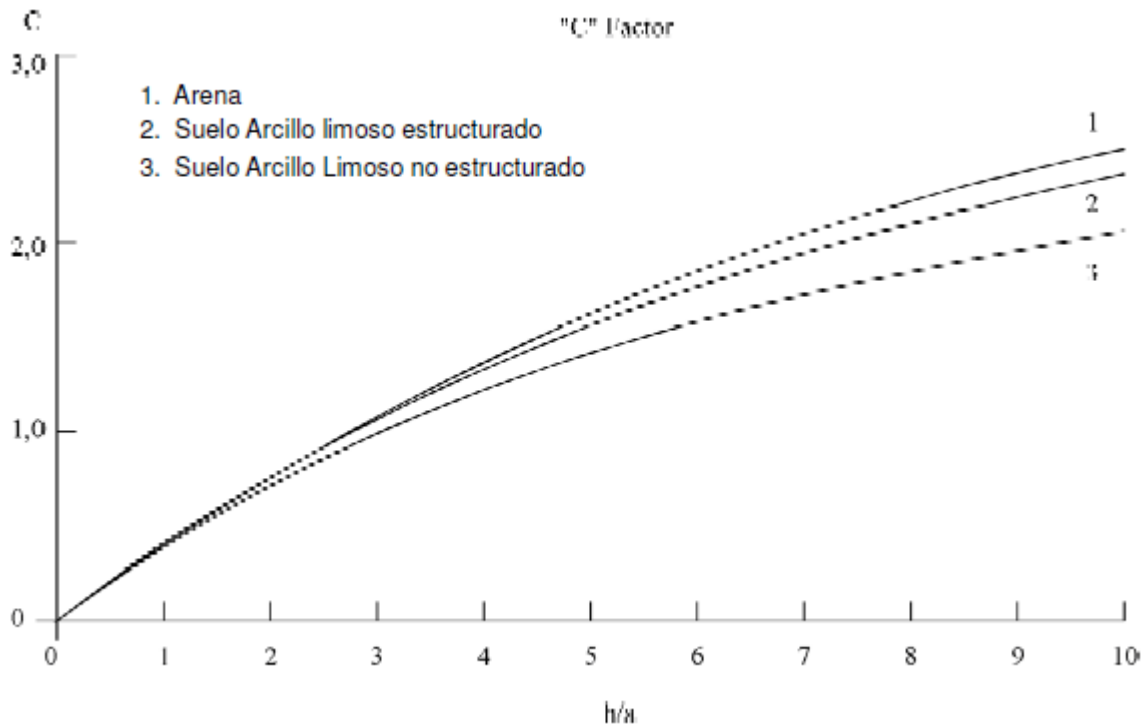


Figura 1.25 Escala del factor C en función de h/a . Gabriels, Lobo & Pulido (2014) según Reynolds y Elric (1987).

- Capacidad de campo y punto de marchitez

Fetter (2001) define *capacidad de campo* como el valor de la humedad del suelo en el cual se alcanza el punto en el que la fuerza gravitacional que actúa en el agua alcanza el equilibrio con la tensión superficial. En este punto la infiltración cesa.

Schosinsky (2006) define la capacidad de campo como:

“Es la máxima humedad que puede tener un suelo que no se encuentra saturado”
(p.18)

Si el valor de la humedad del suelo desciende, de tal forma que solo exista el remanente de humedad fuertemente adherida a las partículas de forma que las plantas no puedan utilizarla, dicho contenido de humedad recibe el nombre de *Punto de marchitez*. Es en este nivel de humedad del suelo en el que las plantas mueren. El contenido de humedad en el suelo está relacionado con la textura de este (ver figura 5.22)

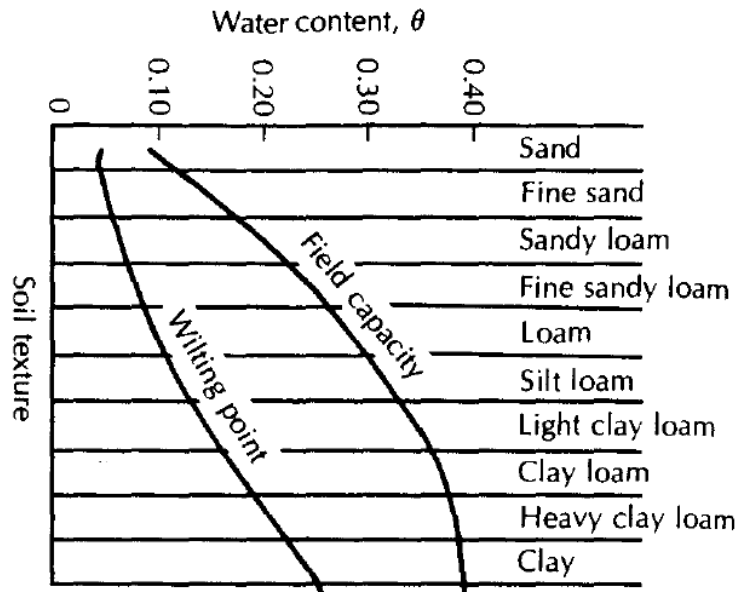


Figura 1.26 Relación entre el tipo de textura y el contenido de agua, mostrando las curvas de capacidad de campo (Field capacity) y punto de marchitez (Wilting Point) permanente. (Fetter, 2001)

Los valores de la capacidad de campo y el punto de marchitez se obtienen directamente de laboratorios de suelos. Schosinsky (2006) presenta un cuadro de dichos valores según la textura del suelo (ver tabla 5.3)

Tabla 1.5 Valores de punto de marchitez permanente y capacidad de campo según la textura del suelo. Schosinsky, (2006)

TEXTURA DEL SUELO	Porcentaje por peso de suelo seco		
	PMP%	CC%	Densidad aparente (g/cm^3)
Arenoso	2-6	6-12	1.55-1.80
Franco arenoso	4-8	10-18	1.40-1.60
Franco	8-12	18-26	1.35-1.50
Franco Arcilloso	11-15	23-31	1.30-1.40
Arcillo-arenoso	13-17	27-31	1.25-1.35
Arcilloso	15-19	31-39	1.20-1.30

Para futuras ecuaciones, será necesario presentar los valores de CC y PM en unidades de milímetros (mm) se utilizará la conversión de porcentaje por peso suelo seco a porcentaje por volumen mediante la siguiente ecuación:

$$\% \text{ por volumen} = (\% \text{ por peso de suelo seco})(\text{densidad aparente}) \quad (\text{Ec. 15})$$

De lo mencionado anteriormente se deduce que, en un suelo no saturado a profundidades mayores que la profundidad de las raíces, se encuentra a capacidad de campo. Por lo que también es necesario conocer la profundidad aproximada de las raíces extractoras de agua de la zona donde se ha de realizar el balance hídrico de suelos. La tabla 5.4 presenta la profundidad promedio de raíces para algunos cultivos.

Tabla 1.6 Profundidad de raíces de diferentes cultivos (Schosinsky, 2006).

PROFUNDIDAD DE RAÍCES		
Cultivos	Metros	
Alfalfa (pastos)	1-2	
Algodón	1.0-1.7	
Banano	0.5-0.8	
Caña de Azúcar	1.2-2.0	
Frijol	0.5-0.7	
Cebolla	0.3-0.5	
Cítricos	1.2-2.0	
Zacate	0.3-0.5	
Bosques	2-3	

- Evapotranspiración

Chow, Maldment & Mays (1988) definen evapotranspiración como la combinación de la evaporación de la superficie del suelo y la transpiración de las plantas. Los mismos factores que gobiernan la evaporación de cuerpos de agua también gobiernan la evapotranspiración, entre ellos el transporte de vapor y el suplemento de energía. Para el caso de estudio, se usan datos de ETP de estacione meteorológicas del MARN.

1.7.4 Cálculos del Balance Hídrico

Una vez definidos los valores de entrada, se procede a realizar cálculos para para obtener los factores que intervienen en el modelo de cubo sobre el cual se realiza el balance (ver figura 1.27).

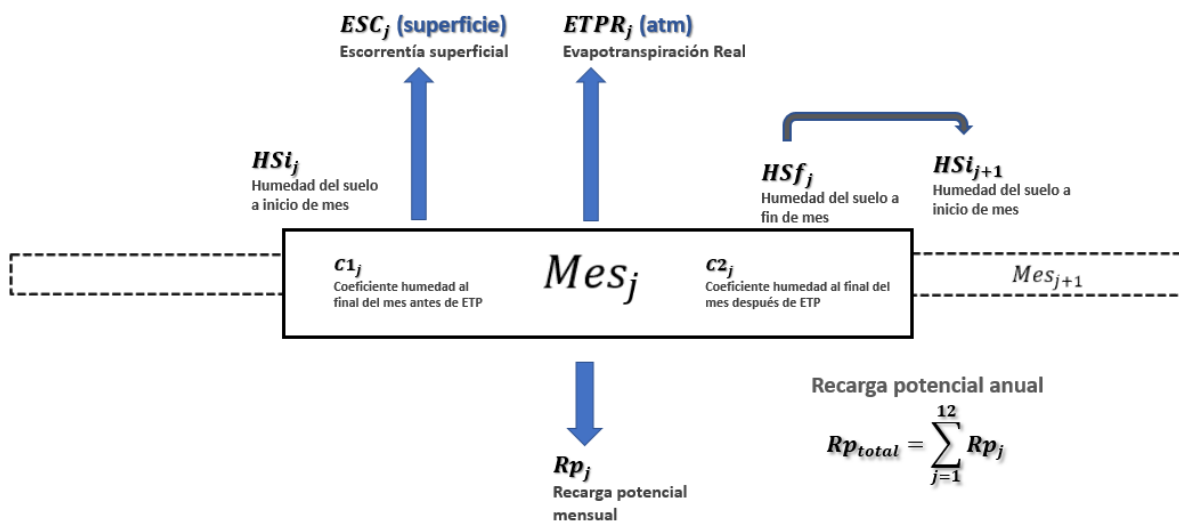


Figura 1.27 Esquema del cálculo de la recarga potencial mensual a partir de un balance hídrico de suelos, metodología Schosinsky. Elaboración propia.

El cálculo de los parámetros: ESC (escorrentía), P_i (precipitación que infiltra al suelo), ETPR (Evapotranspiración potencial real), HS (humedad del suelo inicial y final) y C (coeficiente

de humedad) son realizados para cada mes, para obtener el valor de la recarga potencial al acuífero.

1.7.5 Recarga potencial

Como se definió con anterioridad, la recarga al acuífero se lleva a cabo si la cantidad de agua que infiltra es suficiente para llevar al suelo a capacidad de campo y, además satisfacer la evapotranspiración de las plantas en la zona. Por lo que el agua sobrante es la recarga al acuífero, y está dada por:

$$Rp = Pi + HSi - HSf - ETR \quad (Ec. 44)$$

Donde R_p es la recarga potencial mensual (mm/mes). P_i es la precipitación que infiltra (mm/mes), HS_f es la humedad del suelo al final del mes (mm/mes) y ETR es la evapotranspiración real (mm/mes).

Para calcular la recarga potencial anual será necesario realizar los cálculos utilizando las ecuaciones anteriores para cada uno de los meses.

2 METODOLOGÍA

Para el desarrollo del presente trabajo, se distinguen 3 procesos metodológicos según la etapa de la construcción y desarrollo del estudio tal como lo muestra el diagrama de bloques de la figura 2.1.

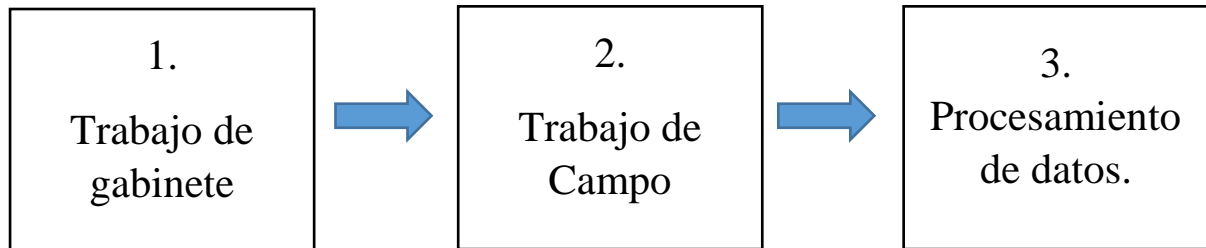


Figura 2.1 Diagrama de bloques para el desarrollo de la metodología a seguir por el estudio.

2.1 TRABAJO DE GABINETE

El trabajo de gabinete está relacionado principalmente con las actividades de recolección de información para la construcción de un marco teórico concreto, que incluye tanto la base teórica como información clave de la zona de estudio.

2.1.1 Recolección de información de la zona

Iniciando con revisión de información de estudios científicos llevados a cabo en la zona, de manera que presenten la base teórica para el estudio. De dicha información se ha extraído: la geología (escala 1:50,000), datos climáticos como la precipitación acumulada y temperatura mensual (Estación C8- San Francisco) así como valores de ETP de estaciones cercanas (ver figura 2.2). La información de pozos principalmente los perforados han sido proporcionados principalmente por las asociaciones de agua del municipio de Suchitoto. Así mismo, el marco teórico construido a partir de una bibliografía que permite identificar una metodología clara de investigación.

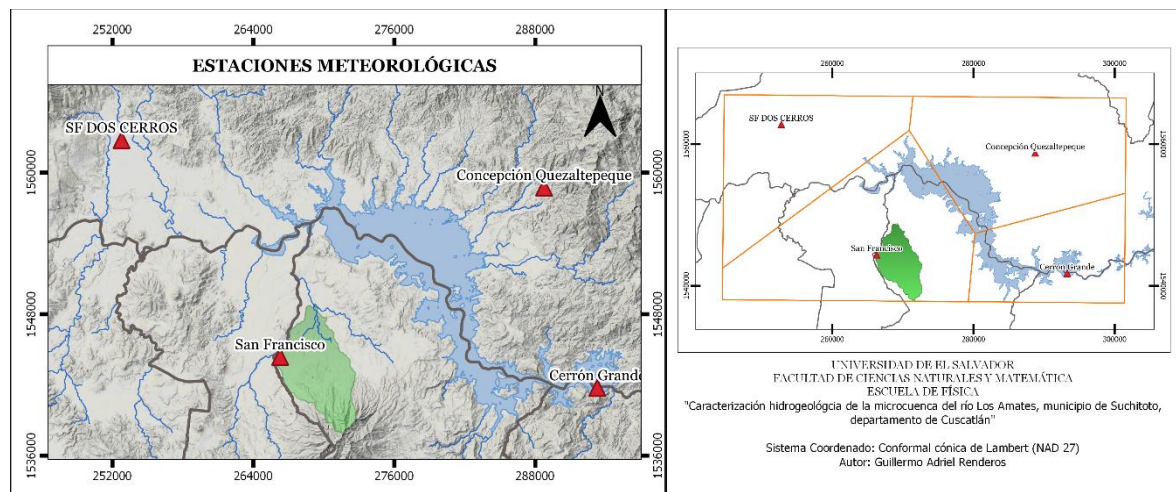


Figura 2.2 Mapa de ubicación de las estaciones meteorológicas propiedad del MARN cercanas a la zona de estudio y que cuentan con información meteorológica. Elaboración propia.

2.1.2 Elaboración de Mapas de Interés

Utilizando softwares para el manejo de información geográfica se han construido mapas temáticos correspondientes al estudio, presentando gráficamente la información obtenida, entre ellos: delimitación de área de estudio, geológico, uso de suelo, hidrogeológico, textura de suelo, puntos de agua, nivel piezométrico, etc. Se incluyen los análisis estadísticos como la obtención de la curva hipsométrica y la obtención de parámetros geométricos de la zona de estudio como área, longitud del cauce, etc.

2.1.3 Columnas litológicas

A partir del levantamiento de inventario de puntos de agua, se ha identificado un total de 7 pozos, de los cuales únicamente se ha podido obtener información de 4 de ellos. Esta información obtenida corresponde a informes finales de pozos, a columnas de muestras tomadas al momento de la perforación, pruebas de bombeo, etc. El acceso a la información ha sido principalmente través de las juntas de Agua en la zona e informes del MARN. A partir de esta información se han construido columnas litológicas para posterior análisis.

2.2 TRABAJO DE CAMPO

Con el fin de obtener parámetros necesarios para desarrollar la metodología propuesta fueron programadas visitas de campo con el fin de obtener la información siguiente:

- (1) Levantar un inventario de la mayor cantidad de puntos de agua en la zona. Esto incluye manantiales, pozos perforados y pozos excavado.
- (2) Observaciones en campo para actualizar el mapa de uso de suelos en la cuenca.
- (3) Pruebas de infiltración para determinar la permeabilidad del suelo a 30 cm de profundidad.
- (4) Toma de muestras de suelo para análisis textural.
- (5) Tomografía eléctrica como método de prospección.

El trabajo de campo se realizó entre julio de 2017 y julio 2018. Recibiendo apoyo de las organizaciones comunales municipales (ARAS y mesa ambiental municipal), ONG *Ayuda en Acción*, personal de la gerencia de Hidrología de la Dirección General del Observatorio Ambiental (DGOA), Docentes de la Escuela de Física de la Universidad de El Salvador en conjunto con estudiantes pertenecientes al Grupo de Investigación en Hidrogeología.

2.2.1 Inventario de puntos de agua

Se realizó el levantamiento de inventario de la mayor cantidad de puntos de agua posibles, en los que incluyen manantiales, pozos perforados y excavados dentro de la cuenca Los Amates y cuencas aledañas. Con esta información se podrá describir el comportamiento del flujo del agua en superficie. Para todos los puntos, se han tomado las coordenadas utilizando un GPS. Para los pozos perforados y excavados, se ha medido la profundidad del nivel piezométrico (si ha sido posible) y el brocal utilizando una sonda de nivel. Los valores de altura son asignados a través del Modelo de Elevación Digital (DEM) de 10 m para el país. Todos estos puntos son presentados en la figura 2.3, en su totalidad son 30 puntos de agua. La tabla 2.1 presenta los puntos de agua definidos como *pozos perforados* (7) de los cuales únicamente se tiene información de profundidad de nivel de 5 de ellos. La tabla 2.2 presenta los puntos de agua definidos como *Manantiales y pozo excavados*.

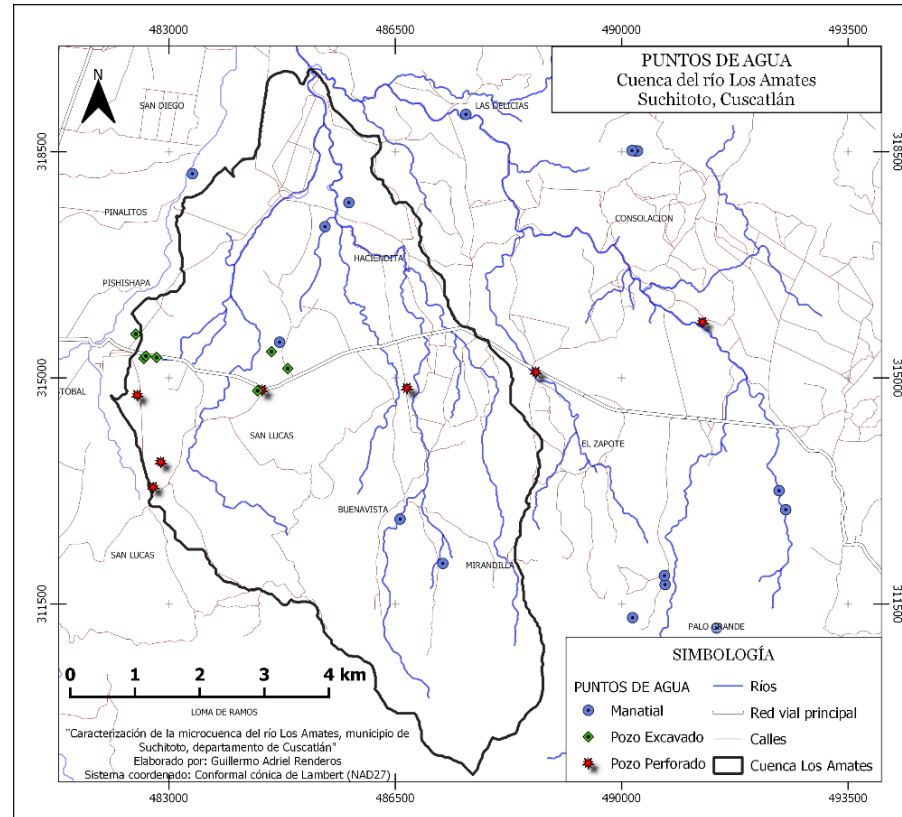


Figura 2.3 Mapa de inventario de puntos de agua, en totalidad han sido identificado 30 puntos de agua para la investigación.

Tabla 2.1 Inventario de puntos de agua, datos recolectados de pozos perforados identificados dentro de la zona de estudio.

ID	Código	Nombre	Tipo	X	Y	Z	Nivel Piezométrico	Profundidad Total	Profundidad de Nivel
1	AMA-PP1-ARAS	ARAS	PERFORADO	484463.85	315018.42	291	280.58	96	10.93
2	AMA-PP2-BVI	BUENA VISTA	PERFORADO	486679.96	314939.12	342	289.8	133	52.2
3	AMA-PP3-SM3	SANTA MARTA 3	PERFORADO	482756.62	313311.08	319	283.83	153	35.17
4	AMA-PP4-SM2	SANTA MARTA 2	PERFORADO	482871.63	313698.43	310	285.25	152	24.75
5	AMA-PP5-SAGRISA	SANTA MARTA 1	PERFORADO	482510.23	314734.71	291	280.07	-	10.93
6	AMA-PP6-HACI	HACIENDITA	PERFORADO	488682.09	315222.93	352	-	-	-
7	AMA-PP7-NR	NUEVO RENACER	PERFORADO	491251.15	315859.46	337	-	-	-

Tabla 2.2 Inventario de puntos de agua, datos recolectados de pozos excavados y manantiales identificados dentro de la zona de estudio.

ID	Código	Nombre	Tipo	X	Y	Z	Nivel Piezométrico	Profundidad total	Profundidad de nivel
1	AMA-PE1-CSF	COMUNIDAD SAN FRANCISCO	EXCAVADO	482730.07	315520.66	283	278.99	5.5	4.35
2	AMA-PE2-AS	APOLINARIO SERRANO	EXCAVADO	484420.87	315017.05	294	287.79	-	6.94
3	AMA-MAN1-BRLA	BORBOLLON RIO LOS AMATES	MANANTIAL	484714.43	315653.37	282	282.21		
4	AMA-MAN2-LD	LAS DELICIAS	MANANTIAL	490216.16	318610.11	361	361.48		
5	AMA-MAN3-QPITA1	QDA. LA PITA	MANANTIAL	490247.15	318610.38	361	360.94		
6	AMA-MAN4-QPITA2	QDA. LA PITA 2	MANANTIAL	490162.11	318616.66	361	360.71		
7	AMA-MAN5-SA	SAN ANTONIO	MANANTIAL	491466.93	311129.31	640	640.02		
8	AMA-MAN6-EI	EL IZCANAL	MANANTIAL	490168.88	311289.36	704	703.94		
9	AMA-MAN7-CYA	CACERES Y ACOSTA	MANANTIAL	490671.45	311802.47	577	577.44		
10	AMA-MAN8-PITAL	EL PITAL	MANANTIAL	490661.29	311940.35	562	561.53		
11	AMA-MAN9-QPERI	QDA LA PERIQUERA	MANANTIAL	485415.17	317439.83	268	268.21		
12	AMA-MAN10-QML	QDA MANO DE LEÓN	MANANTIAL	486578.09	312909.76	426	425.64		
13	AMA-MAN11-QSEZ1	SITIO EL ZAPOTAL 1	MANANTIAL	492536.29	312960.91	405	404.84		
14	AMA-MAN12-QSEZ2	SITIO EL ZAPOTAL 2	MANANTIAL	492433.84	313254.98	380	379.99		
15	AMA-MAN13-CLM	COPERATIVA LOS MANGOS	MANANTIAL	483362.6	318161.31	263	263.45		
16	AMA-MAN14-GUARAS	LAS GUARAS	MANANTIAL	485781.94	317811.84	270	270.00		
17	AMA-MAN15-PAVAS	LAS PAVAS	MANANTIAL	487234.69	312225.45	462	461.52		
18	AMA-PE3-NH	NATIVIDAD HERNANDEZ	EXCAVADO	484835.81	315249.49	284	280.38	13.44	3.7
19	AMA-PE4-RC	ROGELIO CASTANEDA	EXCAVADO	484590.72	315504.36	296	287.08	13.76	9.36
20	AMA-PE5-JP	JUANA PORTILLO	EXCAVADO	482747.87	315543.8	294	291.12	5.78	3.26
21	AMA-PE6-JMG	JOSÉ MEDARDO GARCÍA	EXCAVADO	482876.16	315504.9	282	280.34	5.3	2
22	AMA-PE7-T6	TOMO6	EXCAVADO	482489.53	315775.05	282	275.84	7.3	6.74
23	AMA-MAN16-CSM	CASERIO SANTA MARIA	MANANTIAL	487600.78	319116.82	271	271.12		

2.2.2 Actualización de Mapa de uso de suelos

A partir de visitas a campo, ha sido posible el reconocimiento de usos de suelos principales en la cuenca de estudio. Se ha utilizado como base el mapa de uso de suelos MAG-UES (2010), con una clasificación similar con el mapa de uso de suelos de 1996, que permita hacer un posterior análisis. Únicamente se han reconocido en campo los siguientes tipos de uso de suelo:

- (1) Caña de azúcar, cubre gran porcentaje de la cuenca. La caña de azúcar, como cultivo, gana terreno principalmente en las faldas del volcán Guazapa, que en comparación a 1996 era utilizado para granos básicos y pastos naturales.
- (2) Arundo Donax. Cultivado únicamente en la hacienda Santa Marta en el cantón San Lucas. Este uso de suelo es representativo ya que en estación seca se utiliza un sistema de riego que humedece el suelo con una capa de 4 a 5 mm al día. La zona de riego es de 128.11 Ha. (MARN, 2016)
- (3) Granos básicos, principalmente cercanos al cantón Buena vista y al sur del caserío San Luquitas. El cultivo de mayor siembra es el maíz.
- (4) Pastos Naturales, únicamente fueron observados en las faldas del volcán Guazapa, y cubre el área entre la zona de cultivos de granos básicos y el inicio de la zona boscosa. El ganado en la zona de estudio es casi nulo, por lo que también este uso de suelo se ha cambiado por cultivos.
- (5) Bosque, en las orillas del río Los Amates y Tasajera y en la cima de volcán Guazapa. No existe acceso vial a la zona. La delimitación de la zona se ha realizado a través del uso de imágenes de satélite de Google Earth (ver figura 2.4) donde se observa una zona boscosa poco densa. Así mismo se observa zonas desnudas de vegetación, donde afloran lavas volcánicas.

El mapa de la figura 2.5 presenta el mapa de uso de suelos actualizado para el 2018 en la cuenca del río Los Amates.



Figura 2.4 Imagen de satélite de la zona alta de la cuenca del río Los Amates, tomada de Google Earth.

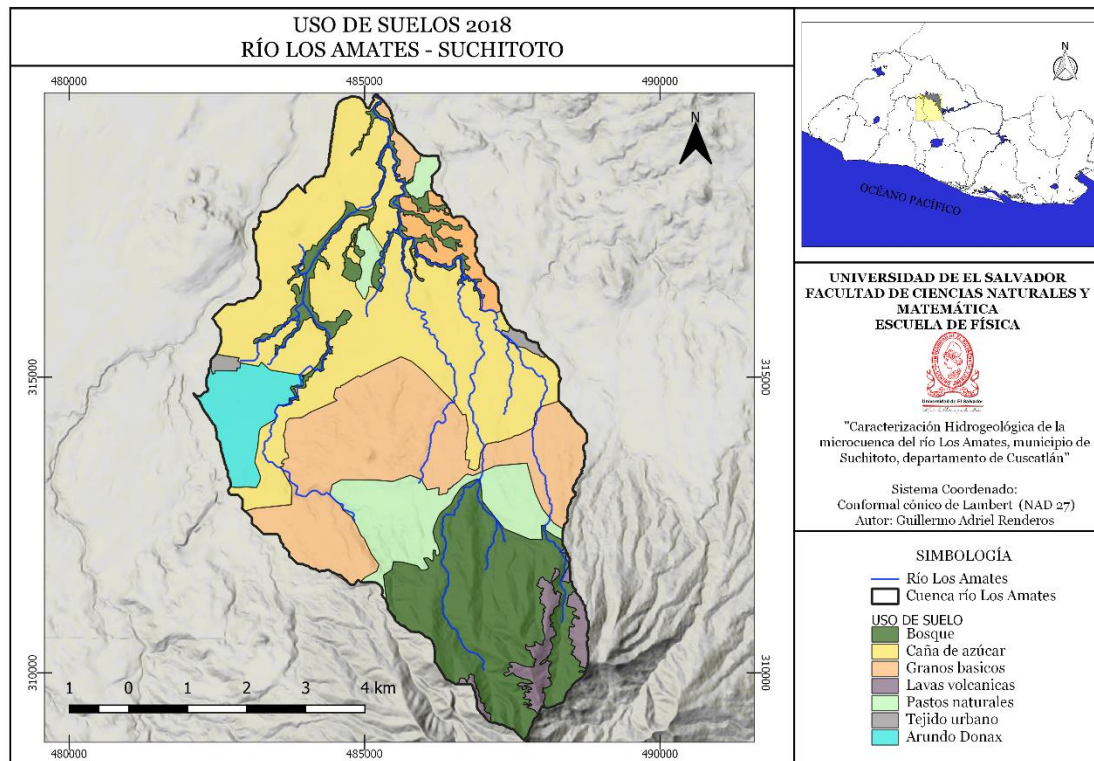


Figura 2.5 Mapa de usos de suelos actualizado a julio de 2018, modificado de MAG-UES (2010) a partir de observaciones en campo y uso de imágenes de satélite.

2.2.3 Pruebas de Infiltración

Un total de 15 pruebas de infiltración han sido realizadas durante las visitas a campo, entre los meses de noviembre y mayo (estación seca e inicios de estación lluviosa). El equipo y método usado para el cálculo de la permeabilidad del suelo es el Permeámetro de Guelph. Equipo prestado por la dirección de la Escuela de Agronomía de La Universidad de El Salvador, así como también el equipo de la Gerencia de Hidrología del DGOA – MARN. La toma de datos fue la siguiente:

- (1) Abrir un agujero en el suelo de 30 cm de profundidad utilizando un barreno.
- (2) Colocar el permeámetro de Guelph, asegurándose que el terreno seleccionado sea lo más horizontal posible.
- (3) Todas las pruebas se han de realizar con carga de 5cm y de 10cm.
- (4) Tomar el cambio de altura en la columna de agua del tubo exterior, en intervalos de tiempo continuo (Ver Anexo 2 y 3).
- (5) La prueba finaliza al obtener al menos 3 valores iguales de Δ de altura / Δ de tiempo iguales.

La selección del punto para realizar la prueba está condicionada a la accesibilidad a la zona. Las 15 pruebas realizadas se distribuyeron de la siguiente forma (ver tabla 2.2):

- 7 fueron realizadas en caña de azúcar
- 4 en granos básicos (maíz)
- 2 en pastos
- 1 en bosque
- 1 en caña Arundo Donax



Figura 2.6 Toma de datos de prueba de infiltración en punto *Pinf15-AS* realizada en mayo de 2018.

En los puntos 5, 12 y 15 de la tabla 2.3 las pruebas de infiltración no pudieron ser realizadas debido a la saturación del suelo con alto contenido en arcillas, estas pruebas fueron llevadas a cabo en el periodo de transición a estación seca a lluviosa. En el punto *Pinf12-BLP* el barreno no pudo ser utilizado ya que el material se adhería a las paredes. La prueba *Pinf5-BV1* se intentó llevar a cabo en dos ocasiones, a finales del mes de noviembre y a mediados del mes de abril, en ambas ocasiones la saturación del suelo impidió el cálculo de la velocidad de infiltración. Para dichos puntos se darán valores estimados según otros puntos dentro de la cuenca con la misma clasificación textural del suelo. Los puntos 16 y 17 se darán a partir de tomas de muestra de suelo. La figura 2.7 muestra la ubicación de las pruebas realizadas.

2.2.4 Identificación de la textura de suelo

Para cada prueba de infiltración de la tabla 2.3 se tomó una muestra de suelo de la zona para un posterior análisis de textura utilizando tamices. De acuerdo a las observaciones en campo y debido a las condiciones de saturación de suelo se identifica que en las laderas del volcán Guazapa principalmente al sur de la carretera que conduce de Aguilares a Suchitoto los suelos son arcillosos. El suelo se mantiene saturados meses después de las últimas tormentas. Estos suelos arcillosos se forman por la meteorización de lavas volcánicas que afloran en superficie. La perforación del suelo utilizando el barreno del permeámetro se dificultó

principalmente porque matriz arcillosa grandes bloques de lava volcánica afloran en la zona. En las muestras tomadas entre el material fino se agregaban granos de mayor tamaño (grava o superior). En la planicie de la cuenca, la textura del suelo cambia, teniendo una composición más suelta con algunos granos gruesos (tamaño grava).

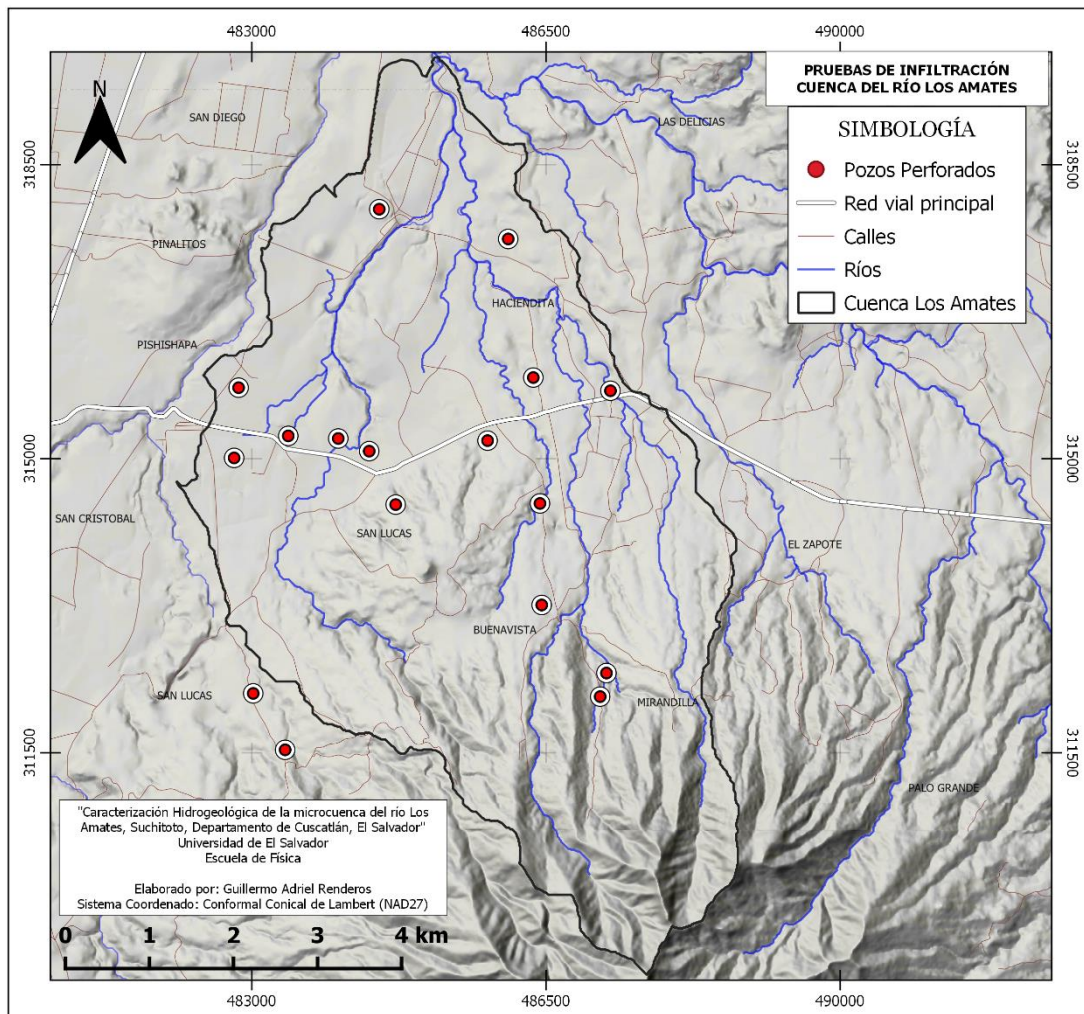


Figura 2.7 Mapa de ubicación de pruebas de infiltración y toma de muestras de suelo en la cuenca del río Los Amates.

2.2.5 Tomografías Eléctricas

Se han realizado un total de 6 tomografías eléctricas durante el trabajo de campo (ver Figura 2.8). En la tabla 2.4 se resume información sobre las campañas geofísicas realizadas. El equipo utilizado para la prospección geoelectrica es ABEM Terrameter SAS 1000, propiedad de la Escuela de Física de la Universidad de El Salvador. El arreglo y protocolo aplicado para todos fue el denominado como "Wenner Largo" con una longitud de 400 metros. Todas las tomografías fueron realizadas en la planicie de la cuenca, donde la pendiente del perfil fuese baja, así mismo están condicionadas a la accesibilidad a la zona.

Tabla 2.3 Ubicación de puntos de pruebas de infiltración realizadas en campo, según uso de suelo.

ID	Código	Nombre	Uso de Suelo	X	Y	$\Delta h/\Delta t$ (5) (cm/s)	$\Delta h/\Delta t$ (10) (cm/s)
1	AMA-Pinf1-EL1	EL LIBANO 1	Caña de azúcar	484397.27	315088.84	1	2.2
2	AMA-Pinf2-EL2	EL LIBANO 2	Caña de azúcar	484029.1	315239.69	0.2	0.3
3	AMA-Pinf3-TAS	TANQUE APOLINARIO SERRANO	Pasto	484712.56	314452.66	0.6	-
4	AMA-Pinf4-LG	LAS GUARAS	Caña de azúcar	486051.53	317615.16	0.2	0.3
5	AMA-Pinf5-BV1*	BUENA VISTA1	Pasto	486450.19	313257.6	0.1	-
6	AMA-Pinf6-CLM	CORPORATIVA LOS MANGO	Caña de azúcar	484516.93	317969.11	1	1
7	AMA-Pinf7-SF	SAN FRANCISCO	Caña de azúcar	482843.3	315844.53	0.8	0.1
8	AMA-Pinf8-LL	LA LICHA	Caña de azúcar	483433.99	315270.66	0.175	0.23
9	AMA-Pinf9-LA1	LA ASUNCION 1	Maíz	487268.5	315807.87	0.4	0.3
10	AMA-Pinf10-LA2	LA ASUNCION 2	Caña de azúcar	486350.39	315965.09	0.1	0.3
11	AMA-Pinf11-LP	LAS PAVAS	Maíz	487220.82	312447.28	0.1	-
12	AMA-Pinf12-BLP*	BOSQUE LAS PAVAS	Bosque	487146.2	312166.72	0.1	-
13	AMA-Pinf13-BV2	BUENA VISTA 2	Maíz	486429.77	314466.35	0.2	0.2
14	AMA-Pinf14-HSM	HDA SANTA MARTA	Aundo Donax	482789.94	315008.37	0.4	0.73
15	AMA-Pinf15-AS*	APOLINARIO SERRANO	Maíz	485806.2	315214.3	0.1	-
16	AMA-Pinf16-ZMM2*	ZONA MEDIA-M2	Maíz	483017	312204.88	0.1	-
17	AMA-Pinf17-ZMM3*	ZONA MEDIA-M3	Pasto	483396.96	311533.11	0.1	-

*Pruebas que debido a la saturación del suelo no pudieron ser realizadas, el valor de velocidad de infiltración fue dado según la comparación de texturas de muestras similares en la cuenca.

Tabla 2.4 Información general de las tomografías eléctricas realizadas en la cuenca del río Los Amates.

ID	Nombre	Centro			Longitud	Método	Fecha
		X	Y	Z			
1	TOMO 1	485895.4	315617.3	295	400 m	Wenner largo	24/11/2017
2	TOMO 2	485126.4	315291.9	296	400 m	Wenner largo	24/11/2017
3	TOMO 3	486259.4	317496.9	282	400 m	Wenner largo	04/12/2017
4	TOMO 4	486900.2	317146.4	301	400 m	Wenner largo	01/02/2018
5	TOMO 5	483604.8	315285.1	283	400 m	Wenner largo	16/03/2018
6	TOMO 6	482593.6	315932.4	289	400 m	Wenner largo	16/03/2018

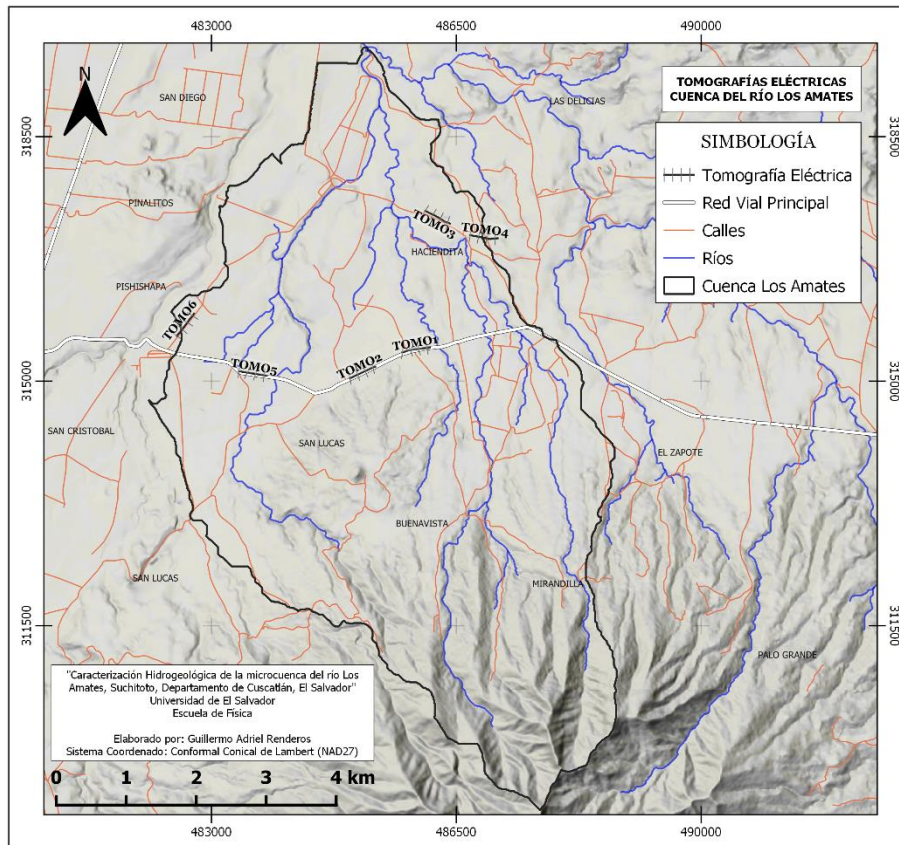


Figura 2.8 Ubicación de las diferentes tomografías realizadas en la zona de estudio del río Los Amates. Todas las tomografías tienen un espaciamiento A-B de 400 m de longitud.



Figura 2.9 Colocación de electrodos y cables para la toma de datos con el equipo ABEM Terrameter SAS 1000. Tomografía 1 “TOMO 1: EL LIBANO 1”.

2.3 PROCESAMIENTO DE DATOS

Este apartado resume los procesos de tratamiento de información y datos obtenidos tanto en el trabajo de gabinete como en el trabajo de campo. De esta manera se recolecta información según sus características y se convierte en productos que permitirán describir la zona de estudio.

2.3.1 Profundidad del nivel piezométrico

A partir de los datos de las tablas 2.1 y 2.2 se construye en el mapa de profundidad del nivel piezométrico utilizando el software SURFER. Se ha distinguido, según la información recolectada, dos niveles piezométricos:

- Nivel superficial: Niveles de pozos excavados y manantiales son considerados para dicho mapa de profundidad de nivel. Los niveles piezométricos de dichos puntos de agua representan el límite de saturación del nivel freático.
- Nivel profundo: Niveles de pozos perforados de los cuales se tiene información. Según el análisis de los informes finales de pozo, extraen el recurso de un acuífero más profundo.

La asignación de altura sobre el nivel del mar ha sido dada según el Modelo de Elevación Digital (DEM) de El Salvador con una resolución de 1 metro.

2.3.2 Textura de suelo y permeabilidad

Todas las muestras de suelo tomadas en campo, en total 17, han sido procesadas en laboratorio para poder construir curvas granulométricas que permitan identificar la textura. Inicialmente el equipo utilizado fue dispuesto por el laboratorio por el laboratorio de física de la Escuela de Física. Sin embargo, por falta disponibilidad para todas las pruebas, se ha utilizado el equipo del Instituto de Ciencias del Mar y Limnología (ICMARES) de la Universidad de El Salvador. El procesamiento de las muestras es el siguiente:

- Hornear la muestra de suelo a 500°C por 24 horas, esto para reducir el contenido de agua en la muestra.
- Remover bloques solidos grandes.
- Pesar la muestra.
- Pasar la muestra por tamices (tabla 2.5) por aproximadamente 15 minutos.
- Pesar cada fracción retenida en cada tamiz.
- Construir curva granulométrica y asignar textura.

A través del análisis granulométrico se ha identificado dos texturas de suelo:

- (1) Textura Franco Arcillosa: Presente en las faldas del volcán Guazapa, se han formado por la meteorización de la roca madre, coladas de lava basalto andesita. La matriz arcillosa contiene limo y clastos de rocas de mayor tamaño (bloques o piedras). La figura 2.11 presenta la curva granulométrica identificada para el punto Ping8-LL (La Licha). En dicha figura se observa que cerca del 50% pasante es material tamaño limos y arcillas, el resto es material arenoso e incluso granos de tamaño grava.
- (2) Textura Franco Arenosa: Presente en las planicies de la cuenca, donde los procesos de transporte de material son debido principalmente (coluviales) a caída de materia o

depósitos fluviales. El material es más suelto y con tamaños de grano mejor seleccionados.

Debido a la saturación del suelo al momento de la toma de las muestras y posteriormente al horneado de las mismas, se formaron grumos de material arcilloso que se consolidaron como rocas. Por lo que las observaciones en campo ayudaron a seleccionar la textura de suelo.

Tabla 2.5 Tamaños de tamices utilizados para el análisis granulométrico.

Micras	milímetros	Disponibilidad
11.2 mm	11.2	ICMARES, LAB FÍSICA
4 mm	4	LAB FÍSICA
2 mm	2	LAB FÍSICA
1.4 mm	1.4	LAB FÍSICA
1 m	1	ICMARES, LAB FÍSICA
710 μ	0.71	ICMARES, LAB FÍSICA
500 μ	0.5	ICMARES, LAB FÍSICA
350 μ	0.35	LAB FÍSICA
250 μ	0.25	ICMARES, LAB FÍSICA
150 μ	0.15	ICMARES,
125 μ	0.125	LAB FÍSICA
106 μ	0.106	ICMARES,
63 μ	0.063	ICMARES,
53 μ	0.053	LAB FÍSICA
45 μ	0.045	ICMARES,
30 μ	0.03	ICMARES,



Figura 2.10 Tratamiento de muestras de suelo tomadas en campo para construcción de curva granulométrica.

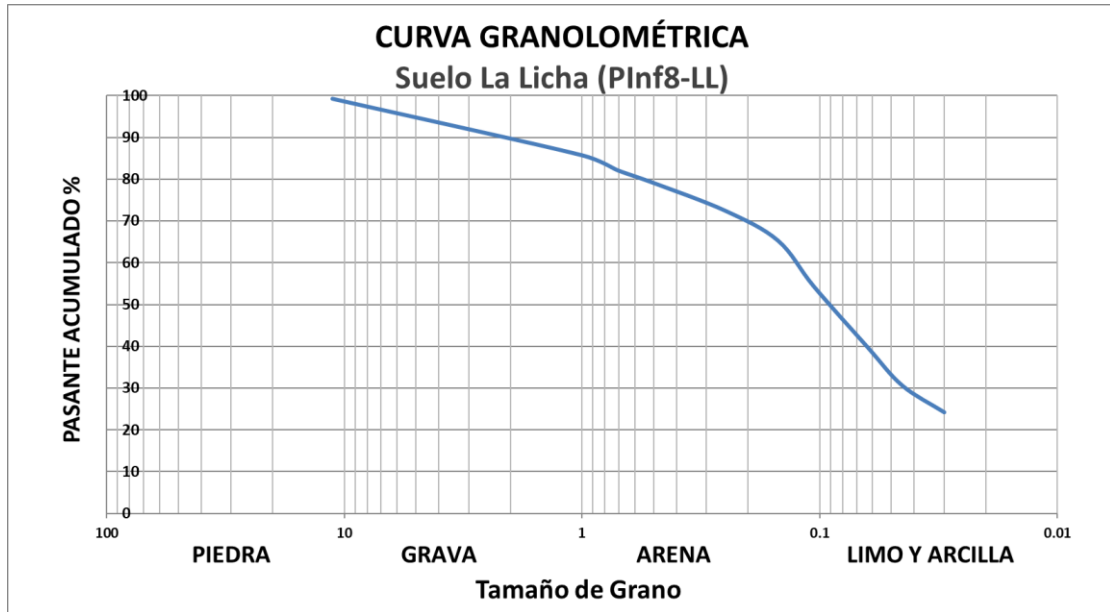


Figura 2.11 Curva granulométrica de la muestra de suelo tomada en PInf8-LL. Tipo de textura: Franco arcillosa.

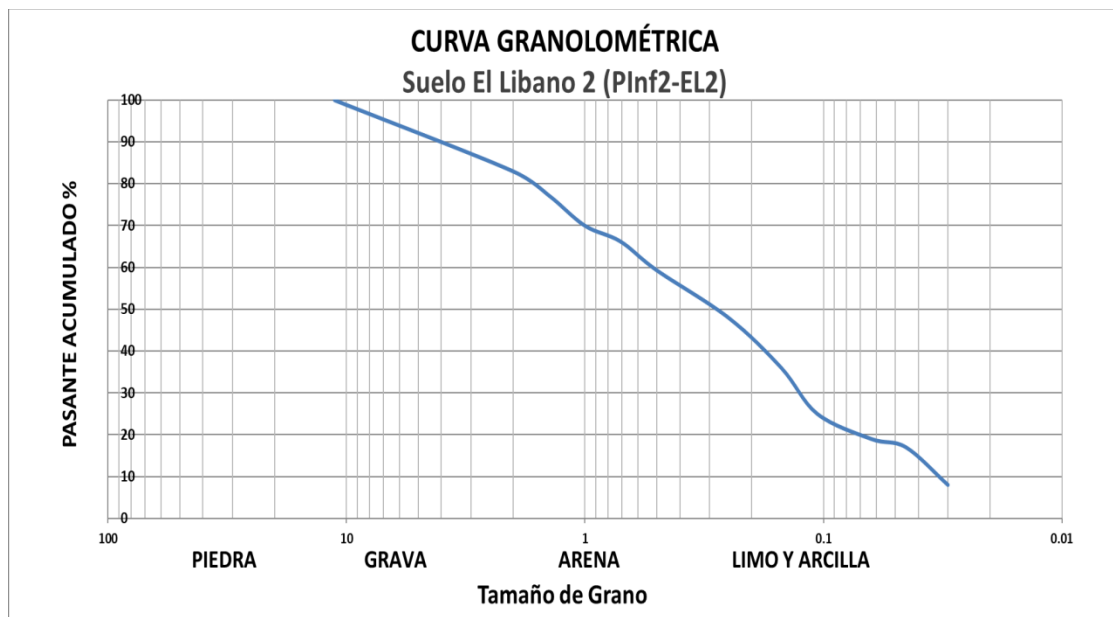


Figura 2.12 Curva granulométrica de la muestra de suelo tomada en PInf2-EL2. Tipo de textura: Franco arenoso.

Para los datos de velocidad de infiltración y cálculo de permeabilidad, se ha utilizado la hoja de cálculo del permeámetro de Guelph de la empresa SOILMOISTURE (ver figura 2.13). La hoja de cálculo obtiene valores de permeabilidad según los datos obtenidos en campo. Se requiere ingresar el tipo de textura del punto donde fue realizada la prueba según la tabla 2.6. Para el estudio se asignó el valor de 2 para pruebas en suelos arcillosos y 3 para pruebas en suelos arenosos. Para las pruebas en las que fue posible el uso de dos cargas se utiliza el promedio de ambas permeabilidades. Los valores de permeabilidad se presentan en la tabla 2.7. La figura 2.14 muestra los puntos de infiltración según la textura del suelo.



Calculos para el Permeámetro de Guelph

Entradas
Resultados

Carga #1

Tipo de Reservorio [entre "1" para combinados y "2" para reservorio interior]: **1**
 Entre la altura de carga de agua ["H" in cm]: **5**
 Entre el radio del pozo ["a" en cm]: **3**

Entre la categoría de textura-estructura del suelo: **3**
 (uno de los siguientes numeros)

Categoría del Medio Poroso	
1	Materiales arcillosos, compactos, poco estructurados
2	Suelos que tienen estructura fina y desestructurada
3	Suelos estructurados, desde arcillas pasando por francos. Incluye arenas desestructuradas
4	Arenas gruesas y gravas. Se incluyen algunos suelos con gran estructura como grandes fisuras y macroporos

Tasa de cambio de estado estable del nivel de agua ["R" en cm / min]: **1.000**

Res Type: 35.22
 H: 5
 a: 3
 H/a: 1.667
 a*: 0.12
 C0.01: 0.809
 C0.04: 0.842
 C0.12: 0.803
 C0.36: 0.803
 C: 0.803
 R: 1.000
 Q: 35.22
 pi: 3.142

$\alpha^h = 0.12 \text{ (cm}^{-1}\text{)}$
 $Q = 0.80315 \text{ (cm}^3\text{/min)}$
 $K_{fs} = 6.41E-02 \text{ cm/min}$
 $1.07E-03 \text{ cm/sec}$
 $2.52E-02 \text{ inch/min}$
 $4.20E-04 \text{ inch/sec}$
 $\Phi_m = 5.34E-01 \text{ (cm}^2\text{/min)}$

Carga #2

Tipo de Reservorio [entre "1" para combinados y "2" para reservorio interior]: **1**
 Entre la altura de carga de agua ["H" in cm]: **10**
 Entre el radio del pozo ["a" en cm]: **3**

Entre la categoría de textura-estructura del suelo: **3**
 (uno de los siguientes numeros)

Categoría del Medio Poroso	
1	Materiales arcillosos, compactos, poco estructurados
2	Suelos que tienen estructura fina y desestructurada
3	Suelos estructurados, desde arcillas pasando por francos. Incluye arenas desestructuradas
4	Arenas gruesas y gravas. Se incluyen algunos suelos con gran estructura como grandes fisuras y macroporos

Tasa de cambio de estado estable del nivel de agua ["R" en cm / min]: **2.200**

Res Type: 35.22
 H: 10
 a: 3
 H/a: 3.333
 a*: 0.12
 C0.01: 1.218
 C0.04: 1.29
 C0.12: 1.288
 C0.36: 1.288
 C: 1.288
 R: 2.200
 Q: 77.48
 pi: 3.142

$\alpha^h = 0.36 \text{ (cm}^{-1}\text{)}$
 $Q = 1.2875428 \text{ (cm}^3\text{/min)}$
 $K_{fs} = 8.40E-02 \text{ cm/min}$
 $1.40E-03 \text{ cm/sec}$
 $3.31E-02 \text{ inch/min}$
 $5.51E-04 \text{ inch/sec}$
 $\Phi_m = 7.00E-01 \text{ (cm}^2\text{/min)}$

Promedio

$K_{fs} = 7.40E-02 \text{ cm/min}$
 $1.23E-03 \text{ cm/sec}$
 $2.91E-02 \text{ inch/min}$
 $4.86E-04 \text{ inch/sec}$
 $\Phi_m = 6.17E-01 \text{ (cm}^2\text{/min)}$

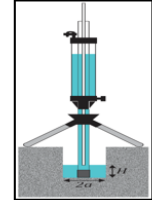


Figura 2.13 Calculo de la permeabilidad del punto PInfl-EL1 por medio de la hoja de cálculo de SOILMOISTURE. Para este punto se desarrolló la prueba con carga de 5cm y 10 cm, asignando el valor de permeabilidad como el promedio de ambos resultados.

Tabla 2.6 Categoría del medio poroso para la hoja de cálculo de permeabilidad SOILMOISTURE.

IDENTIFICADOR DE TEXTURA	CATEGORÍA DEL MEDIO POROSO
1	Material arcilloso, compactos, poco estructurados
2	Suelos que tienen estructura fina y desestructurada
3	Suelos estructurados, arenas desestructuradas pasando por francos
4	Arenas gruesas y gravas. Se incluyen algunos suelos con gran estructura como fisuras y macroporos

2.3.3 Balance Hídrico

El cálculo del balance hídrico de suelos se ha realizado siguiendo la metodología de Schosinsky. Es necesario definir parámetros meteorológicos de la zona de estudio.

- Precipitación promedio mensual

Los datos de precipitación mensual promedio para la zona de estudio han sido obtenidos de la estación C8- San Francisco, propiedad del Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales (MARN) y son presentados en la tabla 2.7. Los datos han sido obtenidos de valores mensuales de 1980 al 2017 (Ver anexo 6).

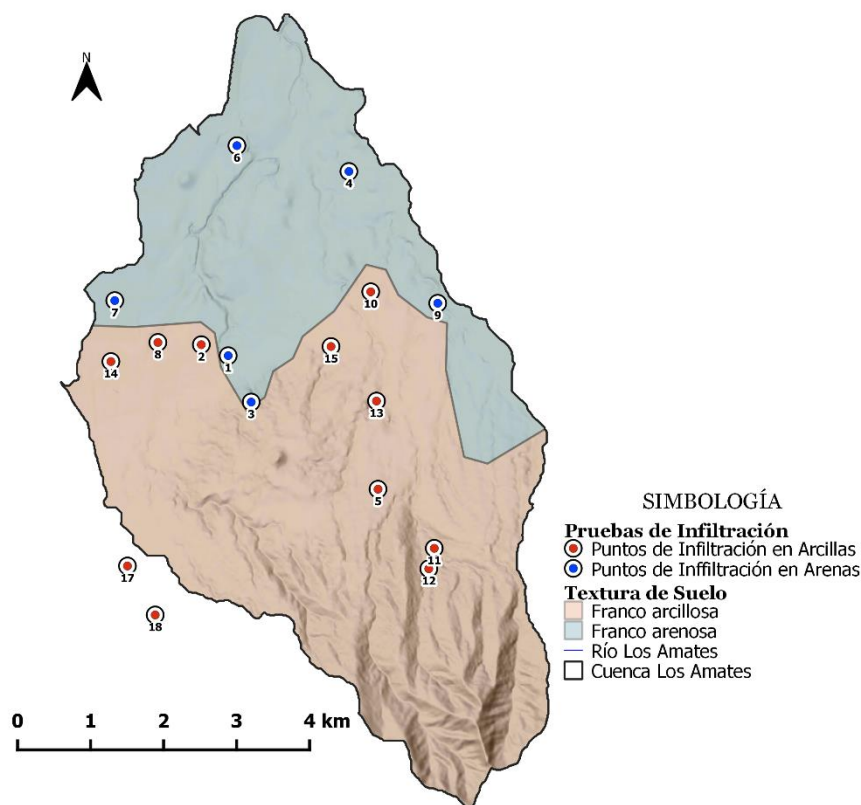


Figura 2.14 Clasificación de suelo por textura de la zona de estudio, según análisis granulométrico de muestras tomadas en campo.

- **Evapotranspiración**

Los valores de evapotranspiración para la cuenca han sido obtenidos a partir de los datos de las estaciones G03 (SF Dos Cerros), G12 (Concepción Quezaltepeque) y B10(Cerrón Grande) y son presentados en la tabla 2.8. Ya que las 3 estaciones meteorológicas están ubicadas en la misma clasificación climatológica, según el apartado 1.3.2, es posible obtener el valor para la zona como el promedio de los valores de las 3 estaciones.

- **Asignación de parámetros cobertura vegetal, pendiente e infiltración.**

Schosinsky (2006) propone dividir la zona de estudio siguiendo las indicaciones siguientes:

- (1) Dividir en polígonos por usos de suelo o geología, condicionantes de las propiedades de infiltración de suelos.
- (2) Dividir los polígonos anteriores en polígonos de Thiessen por cada prueba de infiltración.
- (3) Dividir los polígonos anteriores en polígonos de Thiessen por estación meteorológica. (Para el estudio solo se utilizará la estación C8)

A cada polígono creado se le asignará parámetros necesarios para el cálculo del balance según las características de estos. La figura 2.16 esquematiza la asignación de parámetros a cada polígono siguiendo la metodología de Schosinsky.

Tabla 2.7 Valores promedio de precipitación (mm) por mes para la zona de estudio. Fuente: MARN

	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPTIEMBRE	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DICIEMBRE	TOTAL
PROMEDIO	2.72	5.90	15.70	79.86	223.38	318.78	326.12	342.56	326.16	201.77	40.98	7.56	1891.50

Tabla 2.8 Valores de Evapotranspiración (ETP) por mes para la zona de estudio, obtenido a partir del promedio de las estaciones G03 (SF Dos Cerros), G12 (Concepción Quezaltepeque) y B10(Cerrón Grande).

CÓDIGO	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPTIEMBRE	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DICIEMBRE	TOTAL
G03	150.85	142.15	142.49	151.10	156.97	195.80	199.71	190.63	160.48	167.72	166.03	149.69	1973.61
G12	144.66	138.03	140.48	150.38	157.15	194.64	197.04	183.69	156.33	159.29	157.93	143.87	1923.49
B10	152.31	141.01	140.01	147.27	155.37	195.43	199.43	191.28	169.36	175.06	171.41	152.71	1990.64
PROMEDIO	149.27	140.40	140.99	149.58	156.50	195.29	198.73	188.53	162.05	167.36	165.12	148.76	1962.58

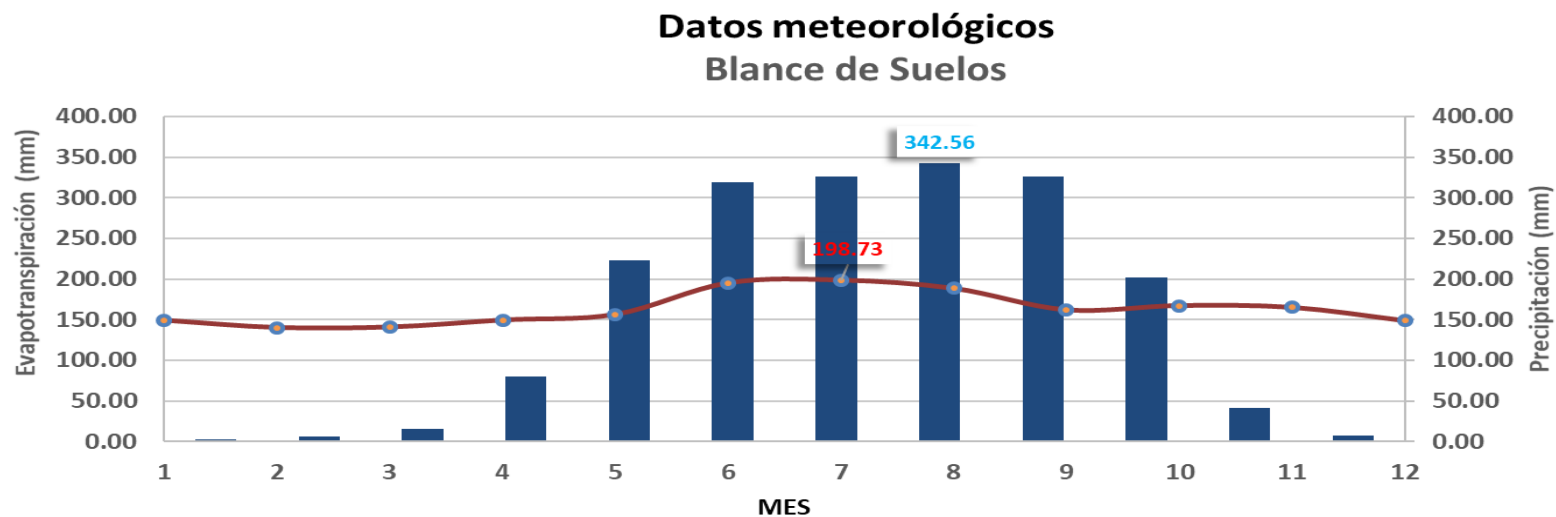


Figura 2.15 Gráfico de valores mensuales de precipitación (azul) y evapotranspiración (rojo) utilizados en el cálculo del balance de suelos en la zona. Construido a partir de información del MARN.

BALANCE DE SUELOS

Schosinsky, G. (2006)

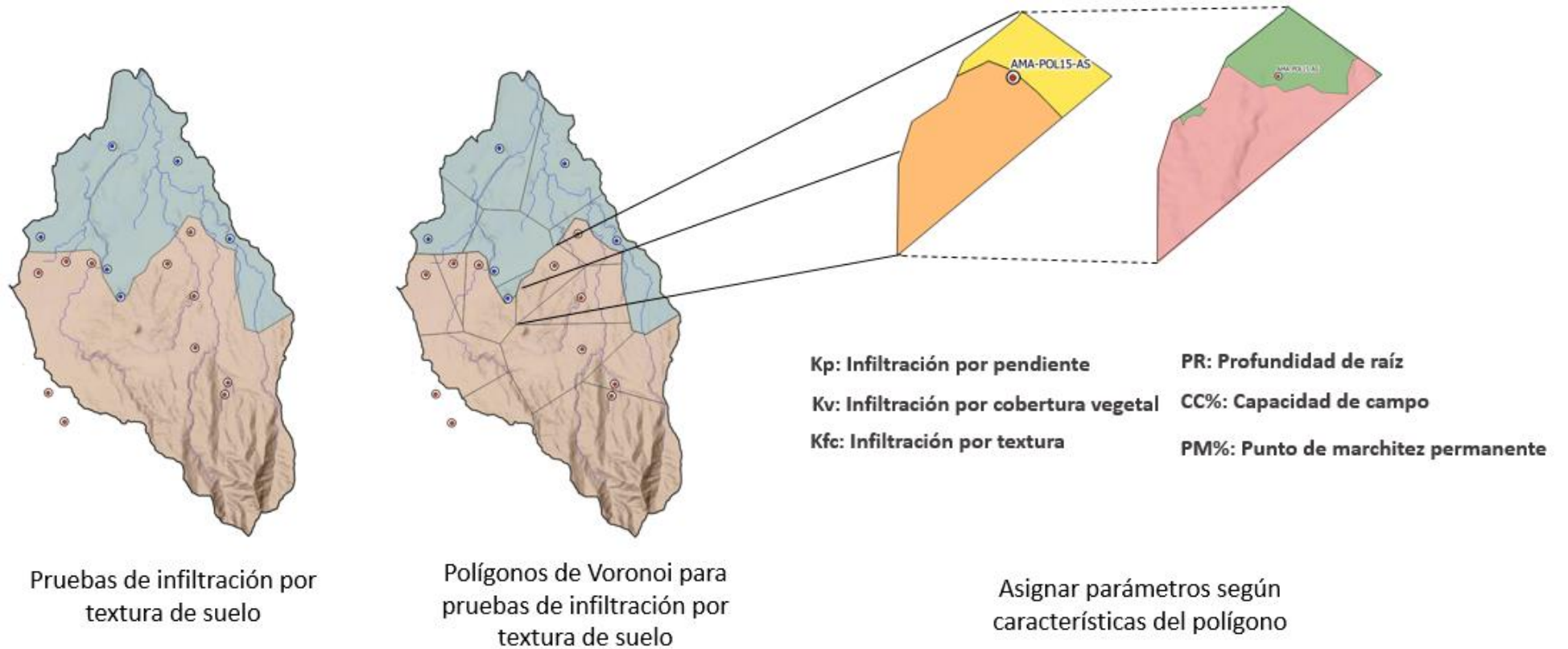


Figura 2.16 Esquema de asignación de parámetros a polígonos siguiendo la metodología para el cálculo del balance hídrico de suelos, propuesto por Schosinsky (2006).

Los parámetros asignados por polígono son: Coeficiente de retención, Coeficiente de infiltración (por textura, pendiente y cobertura vegetal), Punto de Marchitez Permanente, Capacidad de Campo y densidad aparente.

El mes de inicio para el cálculo será octubre (10), considerando que el suelo se encuentra saturado totalmente, alcanzando la capacidad de campo (CC). Los meses con mayor pluviosidad son julio, agosto y septiembre. Se ha considerado que para el mes de octubre el suelo se encuentra totalmente saturado hasta la profundidad del cálculo, que es igual a la profundidad de las raíces extractoras de agua (PR). Por lo que el valor de HS_i (Humedad del suelo al inicio del mes). La figura 2.17 es una adaptación de la figura 1.27 que representa los parámetros involucrados en el cálculo del balance hídrico. Para el cálculo por polígono se ha utilizado la hoja de cálculo en Excel que obtiene el valor de la recarga potencial en mm. La figura 2.18 muestra los cálculos hechos para el polígono *Pinf2-EL2 (El Líbano2)*.

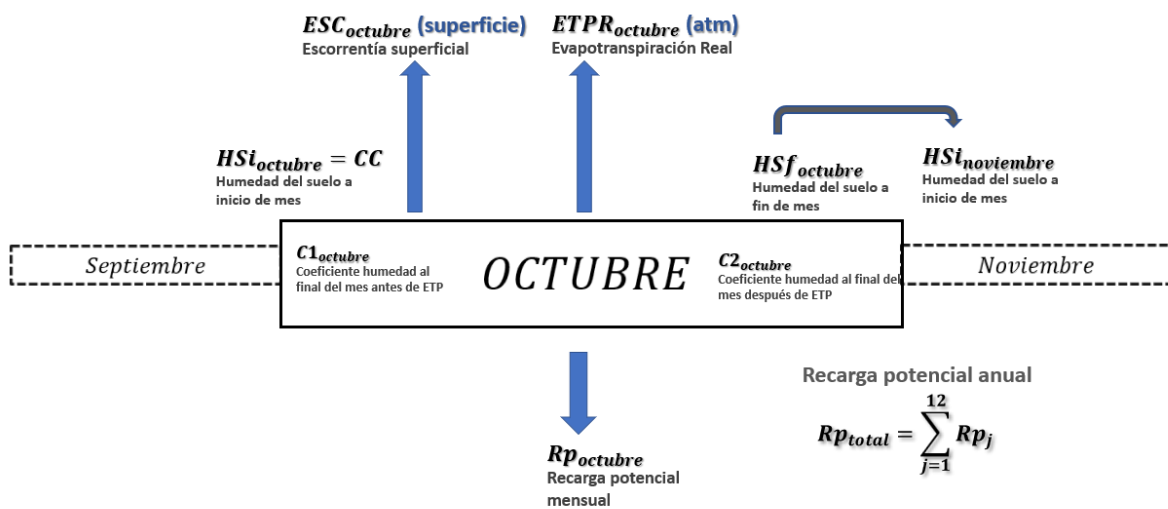


Figura 2.17 Esquema del inicio del cálculo del balance hídrico de suelos, donde el mes de inicio es octubre. Elaboración propia.

BALANCE HIDRICO DE SUELOS
Gunther Schosinsky

Zona de Estudio: **AMA-POL2-EL2**
Fecha:

Textura de Suelo: **Franco Arcilloso**

Simbología

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

fc [mm/d]	88.10
Kp [0.01%]	0.11
Kv [0.01%]	0.10
Kfc [0.01%]	0.4592
I [0.01%]	0.6692
DS (g/cm ³):	1.35
PR (mm)	450.00
HSi (mm)	164.03
Nº de mes con que inicia HSi;1,2,3...12?	10
Lluvia retenida [0.01%] : Bosques=0.2, otros=	0.12

	por peso	
	(%)	(mm)
CC	27.00	164.03
PM	13.00	78.98
(CC-PM)	14.00	85.05

Concepto	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Total
P (mm)	2.72	5.90	15.70	79.86	223.38	318.78	326.12	342.56	326.16	201.77	40.98	7.56	1891.49
Ret (mm)	2.72	5.00	5.00	9.58	26.81	38.25	39.13	41.11	39.14	24.21	5.00	5.00	240.96
Pi (mm)	0.00	0.60	7.16	47.03	131.55	187.73	192.05	201.73	192.07	118.82	24.08	1.71	1104.53
ESC (mm)	0.00	0.30	3.54	23.25	65.03	92.80	94.94	99.72	94.95	58.74	11.90	0.85	546.00
ETP (mm)	149.27	140.40	140.99	149.58	156.50	195.29	198.73	188.53	162.05	167.36	165.12	148.76	1962.58
HSi (mm)	82.42	79.40	79.15	80.23	84.80	138.10	164.03	164.03	164.03	164.03	163.24	104.76	
C1	0.04	0.01	0.09	0.57	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.32	
C2	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.61	0.92	1.00	1.00	0.43	0.00	0.00	
HD (mm)	3.45	1.02	7.34	48.29	137.37	246.85	277.10	286.78	277.12	203.87	108.35	27.50	
ETR (mm)	3.03	0.85	6.08	42.46	78.25	156.84	190.93	188.53	162.05	119.60	82.56	24.05	1055.23
HSf (mm)	79.40	79.15	80.23	84.80	138.10	164.03	164.03	164.03	164.03	163.24	104.76	82.42	
DCC (mm)	84.63	84.87	83.79	79.23	25.93	0.00	0.00	0.00	0.00	0.78	59.26	81.60	
Rp (mm)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	4.96	1.12	13.20	30.02	0.00	0.00	0.00	49.31
NR (mm)	230.87	224.43	218.70	186.34	104.18	38.45	7.80	0.00	0.00	48.54	141.82	206.31	1407.45

final de mes
final de mes
final de mes
final de mes
final de mes
inicio de mes
final de mes antes de ETR
final de mes despues de ETR
final de mes antes de ETR
final de mes
final de mes
final de mes
final de mes

Figura 2.18 Cálculo del Balance Hídrico de suelos para el polígono PInf-EL2(El Líbano2). Hoja de cálculo elaborada por Schosinsky (2006).

2.3.4 Tomografías Eléctricas

El programa para el procesamiento de datos de resistividad usado es el RES2DINV. El programa, realiza una inversión de datos de resistividad aparente, devolviendo un modelo de resistividades en 2D. Ronning, Ganerod, Dalsegg, & Reiser (2013) cita a Loke y Barker(1996) explicando que los métodos de resistividades, miden resistividad aparente (Ωm) en superficie, los cuales son promedios(pesos) de valores de resistividades que tienen influencia en el volumen por el cual circula la corriente eléctrica. Para obtener “el valor verdadero” de resistividad se debe hacer un modelo conceptual de celdas de valores de resistividad y apartir de una inversión, se genera un perfil de resistividades. El software está diseñado para interpolar e interpretar datos de campo de prospección geofísica, específicamente de resistividad eléctrica y polarización inducida. Para la inversión de resistividad el software utiliza el método de mínimos cuadrados incluyendo métodos de elementos finitos y diferencia de elementos finitos.

El programa RES2DINV requiere el ingreso de datos en un formato específico (tabla 2.9).

Tabla 2.9 Formato de ingreso de datos de resistividad aparente al software RES2DINV.

Nº Línea	Descripción
Línea 1	Ubicación del archivo .sk4
Línea 2	Espaciamiento mínimo entre electodos
Línea 3	Identificador de arreglo. (1) Wenner, (2) PoloPolo, (3) Dipolo-Dipolo, (6) Schlumberger, etc.
Línea 4	Número total de puntos
Línea 5	Identificador de punto. (0) Para electrodo inicial, (1) para electrodo del centro.
Línea 6	Identificador de datos de resistividad (0)
Línea 7	Inicia la serie de datos distribuidos en 3 columnas. Columna 1: Posición, Columna 2: Abertura del arreglo, Columna 3: Valor de resistividad aparente.

2.3.5 Columnas litológicas y correlación litológica

Para poder crear perfiles de correlación litológica que presenten la distribución de los estratos que conforman la zona de estudio, se han creado columnas litológicas por pozo, simplificando y agrupando las descripciones según sus características. La figura 2.19 presenta la ubicación de los pozos perforados ubicados dentro de la cuenca del río Los Amates. Todos estos pozos se encuentran alineados en dirección oeste-este; 3 de ellos pertenecen a la empresa TEXTUFIL y son utilizados principalmente para el regadío de plantaciones de Arundo Donax y el mantenimiento de la hacienda Santa Marta. Los otros 3 son utilizados para el abastecimiento de agua a las comunidades.

De los 6 pozos identificados, únicamente se cuenta con información litológica de 4 de ellos, específicamente con informes finales de perforación, descripciones litológicas o columnas litológicas. Debido a que los pozos perforados para abastecimiento pertenecen a diferentes juntas de agua (ver tabla 2.10), la obtención de la información litológica se ha dificultado. Así mismo, las descripciones litológicas han sido realizadas por diferentes autores, estos no proporcionan descripciones iguales para los estratos geológicos identificados. Sin embargo,

similitudes entre descripciones pueden ser identificadas, además del uso del mapa geológico para la simplificación de estas.

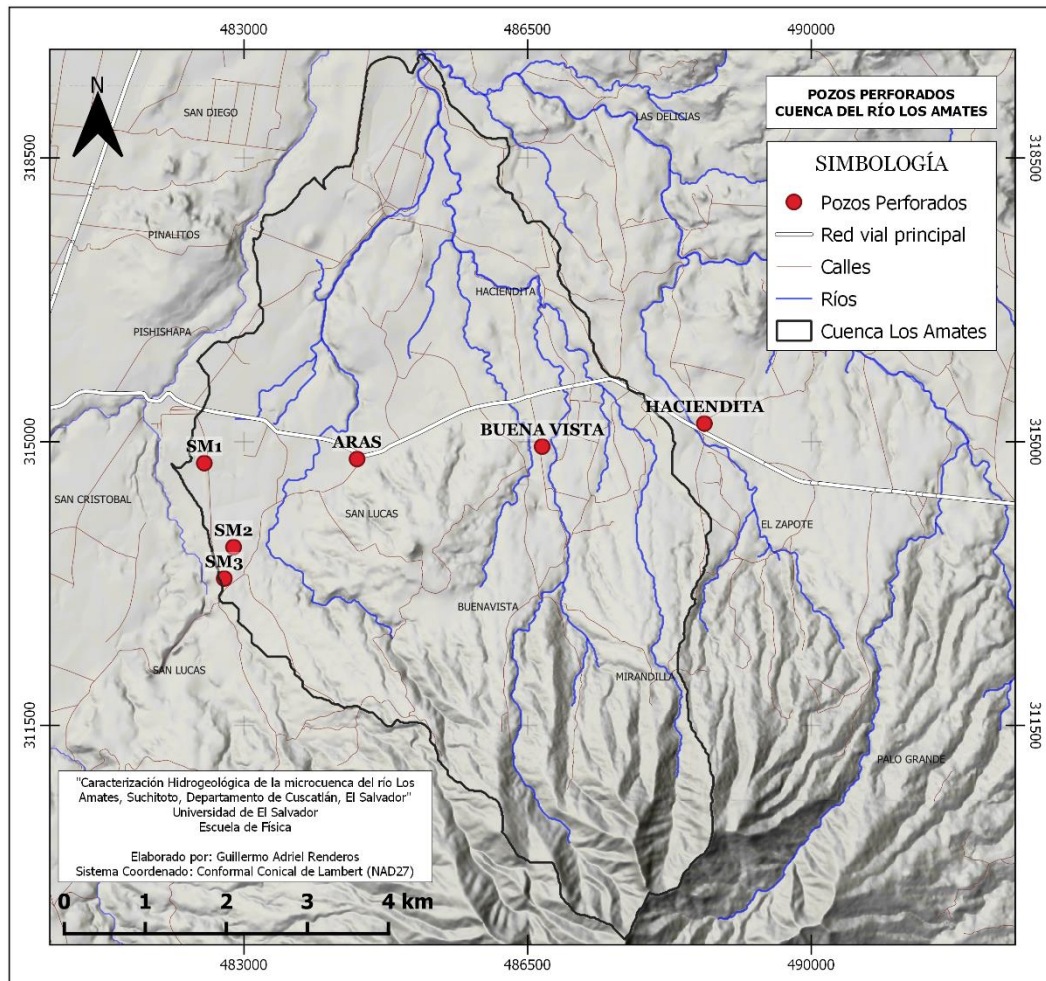


Figura 2.19 Mapa de ubicación de pozos que se encuentra dentro de la cuenca del río Los Amates. Elaboración propia.

La tabla 2.11 muestra la descripción general para los estratos identificados en las diferentes columnas litológicas. Se observa, a través de las columnas litoestratigráficas, que eventos de deposición de material han ocurrido en la zona. Deposición fluvial y de coladas de lavas han sucedido en varias ocasiones, interrumpidos por colapsos, lahares y avalanchas del volcán Guazapa, que han depositado material de mayor tamaño y de forma más caótica. Estos depósitos de conos aluviales corresponden con la actividad tectónica que ha deformado el cono volcánico, el cual ahora no posee un cráter definido. Tal como lo describe Hradecy, P. & otros (2004), todo el material es de origen volcánico, principalmente proveniente de la actividad asociada a Guazapa. Los estratos de rocas redepositados y retrabajados poseen la misma composición química que las rocas volcánicas, sin embargo, es evidente procesos de meteorización y arrastre de dichos materiales. Las arcillas corresponden a depósitos en los cuales la roca madre, principalmente coladas masivas de composición andesita basáltica, sufrieron procesos de intemperismo y meteorización.

A partir de la simplificación de las descripciones litológicas, se han realizado las columnas litoestratigráficas para cada pozo. En dichas columnas incluye la profundidad de las rejillas,

el nivel piezométrico, así como también la identificación de las divisiones geológicas descritas por Hradecy, P. & otros (2004). A continuación se describen generalidades de cada pozo ordenados según posición, de oeste a este:

- SANTA MARTA 3

Es el pozo perforado de mayor profundidad en la zona, encontrándose en el límite oeste de la cuenca. Fue perforado en 2014 por la empresa IRRIPOZOS (nombre asignado en la investigación) en la hacienda Santa Marta (donde se conoce como pozo N°3), propiedad de la empresa TEXTUFIL. El uso principal del recurso extraído es para el regadío de plantaciones de la especie de caña *Arundo Donax*, que se utiliza como materia para generación de electricidad por biomasa, además del mantenimiento mismo de la hacienda.

El nivel piezométrico se encuentra a 35.17 m de profundidad y cuenta con un total de 5 rejillas en todo el conducto (ver figura 2.20). Atraviesa un total de 7 estratos diferentes, los cuales han sido identificados a partir del informe final del pozo. El estrato más profundo está descrito como una secuencia de depósitos volcánicos y coladas de lava, muy probablemente depósitos del estratovolcán Guazapa. Sobreyacen depósitos de caída (aluviales) y depósitos fluviales característicos de una zona de pie de montaña, y donde quebradas afluentes al río Acelhuate transitan. Se considera que el río Acelhuate es de mayor antigüedad que los ríos y quebradas que drenan principalmente de la zona norte del volcán Guazapa, donde se evidencia que la dirección de sus cauces está influenciada por el tectonismo que ha deformado el cono volcánico. Debido a que esta zona se encuentra en el valle del río Acelhuate, ha permitido la deposición de material más fino, tamaño arcilla. El espesor del estrato arcilloso funciona como capa semiconfinante de un acuífero. En la columna litológica, más someros se encuentra un estrato descrito como “depósitos poligenéticos de depresiones”. Este depósito representa material de diferentes tamaños (arena a grava y bloques) con alguna presencia de meteorización. Estos depósitos han sido retrabajados y redepositados en zonas de pie de montaña y valles por diferentes procesos. Aflorante en superficie, se encuentra un estrato arcilloso de coloración café a rojizo.

Tabla 2.10 Pozos perforados para explotación del recurso hídrico ubicados en la cuenca del río Los Amates.

N	Nombre	Año de perforación	Ubicación			Profundidad Total	Nivel Piezométrico	N° de Rejillas	Uso	Información litológica disponible	Propietario
			X	Y	Referencia						
1	SANTA MARTA 3	2014	482510.2	314734.71	Hacienda Santa Marta	153 m	35.17	5	Regadío	SI	TEXTUFIL
2	SANTA MARTA 2	2014	482871.63	313698.43	Hacienda Santa Marta	152 m	24.75	4	Regadío	SI	TEXTUFIL
3	SANTA MARTA 1	2013	482510.23	314734.71	Hacienda Santa Marta	-	10.24	-	Sin uso actual	NO	TEXTUFIL
4	ARAS	2002	484463.85	315018.42	Cantón El Líbano	96	10.93	1	Abastecimiento	SI	ARAS
5	BUENA VISTA	2013	486679.96	314939.12	Caserío Buena Vista	132	52.2	2	Abastecimiento	SI	BUNA VISTA
6	HACIENDITA	-	488682.09	315222.93	Caserío Haciendita	-	-	-	Abastecimiento	NO	HACIENDITA

Tabla 2.11 Descripciones de los diferentes estratos identificados como similares entre las diferentes columnas. La simplificación se ha realizado utilizando los informes finales de perforación de cada pozo y la geología definida por Hradecy, P. & otros (2004).

Litología	Descripción
Sedimentos Aluviales - Eluviales	Bloques rocosos sub angulosos a sub redondeados, tamaño variable de grava gruesa muy gruesa y bloques. Parcialmente meteorizados, color café a gris oscuro, baja plasticidad, textura granular o textura clástica.
Piroclastos retrabajados	Arenas, gravas y bloques rocosos de andesitas a basálticas, de grano medio a fino, color gris, presenta polvo volcánico y ceniza fina color café. Textura granular.
Colada de Lava	Colada de lava basalto andesita, color gris claro a oscuro. Textura masiva y escorácea, presencia de fracturas y oxidación parcial.
Sedimentos Aluviales y Fluviales	Estratos de arenas y gravas de composición andesíticas - basálticas, gruesas a medias, con algunas finas e incluso limo. Presencia de color rojizo y textura granular.
Sedimentos Fluviales	Estratos de arenas medias a finas con intercalaciones de estratos de limo. Color gris, composición andesítica - basáltica.
Arcilla limosa	Piroclastos finos de tamaño limo a arcilla color negro de mediana plasticidad, textura esponjosa.
Arcillas	Color café a gris. Estructura masuda y arcillosa. Consiste en una zona de descomposición (por meteorización en medio húmedo) a material arcilloso del estrato subyacente. La muestra de perforación es una entre mezcla de arcilla plástica con arena muy fina y limo.
Toba arcillosa arenosa	Estrato tobaceo, estructura semicompacta compuesto de una matriz de polvo volcánico fino de tamaño variable entre arcilla con arena fina a media.
Aglomerado y piroclastos	Secuencia de estratos semicompactos, color de gris oscuro a gris verdoso y algunas tonalidades de morado. Consiste en bloques, fragmentos de piedras pequeñas, cenizas de andesita y basalto, englobados en una matriz de polvo volcánico. La muestra de perforación está representada por granos angulosos, subangulosos y subredondeados, de superficies recientes y antiguas con tamaños que corresponden a: grava fina a muy fina con alguna arena gruesa.

- SANTA MARTA 2

Pozo perforado por la empresa DAHO (denominado así en la investigación) en 2014, se encuentra ubicado dentro de la hacienda Santa Marta. Posee una profundidad total de 152 metros, con un nivel piezométrico de 24.75 metros. El uso principal del recurso extraído es para el regadío de plantaciones de la especie de caña de azúcar, *Arundo Donax*, que se utiliza como materia para generación de electricidad por biomasa, además del mantenimiento mismo de la hacienda. Cuenta con 4 rejillas ubicadas a diferentes profundidades para la obtención del recurso. Se distingue en la columna litológica de la figura 2.21 secuencias de estratos depositados por actividad volcánica en diferentes periodos temporales y estratos depositados por mecanismos de arrastre y caída. El estrato más antiguo está descrito como materiales volcánicos, colada de lava, con fracturas y textura vesicular y meteorización presente. Por la profundidad y la relación con el pozo *PP3-SM3* se asocian a la actividad volcánica de Guazapa. Sobreyace un estrato arcilloso, formado principalmente por la descomposición de la roca inferior. Se identifican secuencias de estratos depositados por conos de deyección en el pie del volcán y depósitos fluviales de quebradas que drenan hacia el río Acelhuate. Intercalados, se distinguen depósitos de productos volcánicos (coladas, tobas y depósitos de ceniza), asociados principalmente al cono monogenéticos “Los Coyotes”, el cual forma parte de la actividad más reciente del volcán Guazapa. Sobreyace un depósito arcilloso arenoso, que al igual que en *PP3-SM3* confinan un acuífero más profundo. Superficialmente afloran un estrato de material aluvial-coluvial, definido como textura suelta con granos de tamaño de arenas gruesas, gravas y bloques de tamaño mayor, de redondeados a sub angulosos evidencia que la deposición no tiene una gradación preferencial.

- ARAS

Pozo perforado en el año 2002, es el pozo más antiguo en la zona. Pertenece a la Asociación Rural de Agua y Saneamiento “Apolinario Serrano” (ARAS), y es utilizado para el abastecimiento del recurso hídrico en la comunidad. La Asociación ARAS abastece mayoritariamente a la población dentro de la cuenca en estudio. Entre las comunidades abastecidas se encuentra San Francisco, San Lucas, El Trapichon, El Chagüiton y El Líbano. El nivel piezométrico se encuentra a 10.24 metros de profundidad. El pozo cuenta únicamente con una rejilla según el informe final del pozo, presentado por La Casa Castro S.A. de C.V. (2002). La figura 2.22 muestra la columna litológica del pozo, se identifican un total de 7 estratos según la descripción de muestras tomadas al momento de la perforación. El estrato más profundo corresponde a arcillas limosas compactas. Sobreyacen secuencias de estratos de deposición y arrastre, principalmente estratos fluviales y aluviales, estos se identifican principalmente por el tamaño descrito en las muestras de perforación, ya que la composición corresponde a roca volcánica andesítica. Sobre estos estratos sobreyace una colada de lava consolidada, fracturada y meteorizada. Por la locación del pozo, se asocia este depósito a actividad del volcán monogenético “Los Coyotes”. Superficialmente se describen estratos denominados “Piroclastos retrabajados” y depósitos aluviales.

- BUENA VISTA

Perforado en el 2013, el pozo pertenece a la asociación rural Buena Vista, y abastece del recurso hídrico principalmente al caserío Buena Vista. Es el pozo ubicado a mayor elevación en la zona. La profundidad total es de 132 metros, con el nivel piezométrico más profundo, a 52 metros bajo la superficie. Cuenta con dos rejillas para la entrada del agua al conducto. La descripción de las muestras de perforación en el informe final del pozo presenta menor detalle. La figura 2.23 muestra la columna litológica creada a partir de dicha descripción, identificando 5 estratos de diferentes espesores, los cuales son similares con los estratos descritos en los pozos anteriores. Se encuentran subyacentes secuencias de depósitos fluviales y de caída (aluviales), únicamente interrumpidos por un estrato de roca volcánica compacta, de composición andesita basáltica, textura vesicular y fracturada. Este depósito se asocia, por su ubicación y profundidad, al volcán monogenético “Los Coyotes”. Superficialmente afloran depósitos de caída y “depósitos retrabajados” que concuerdan con la zona de laderas de montaña en la que se encuentra.

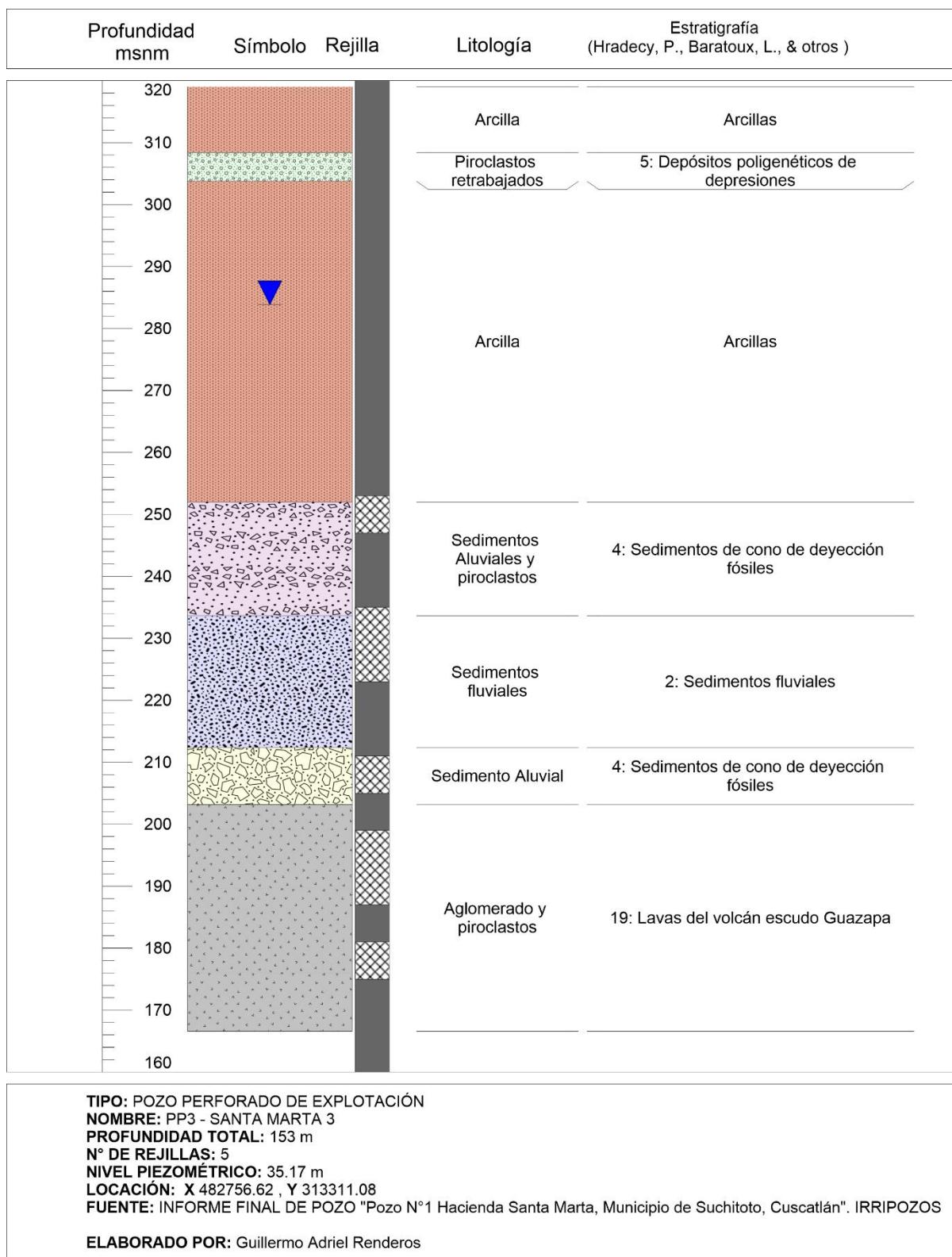


Figura 2.20 Columna litoestratigráfica del pozo PP3-SM3, ubicado en la hacienda Santa Marta, municipio de Suchitoto. Fuente: Elaborado a partir de Informe final de Pozo, IRRIPOZOS (2014).

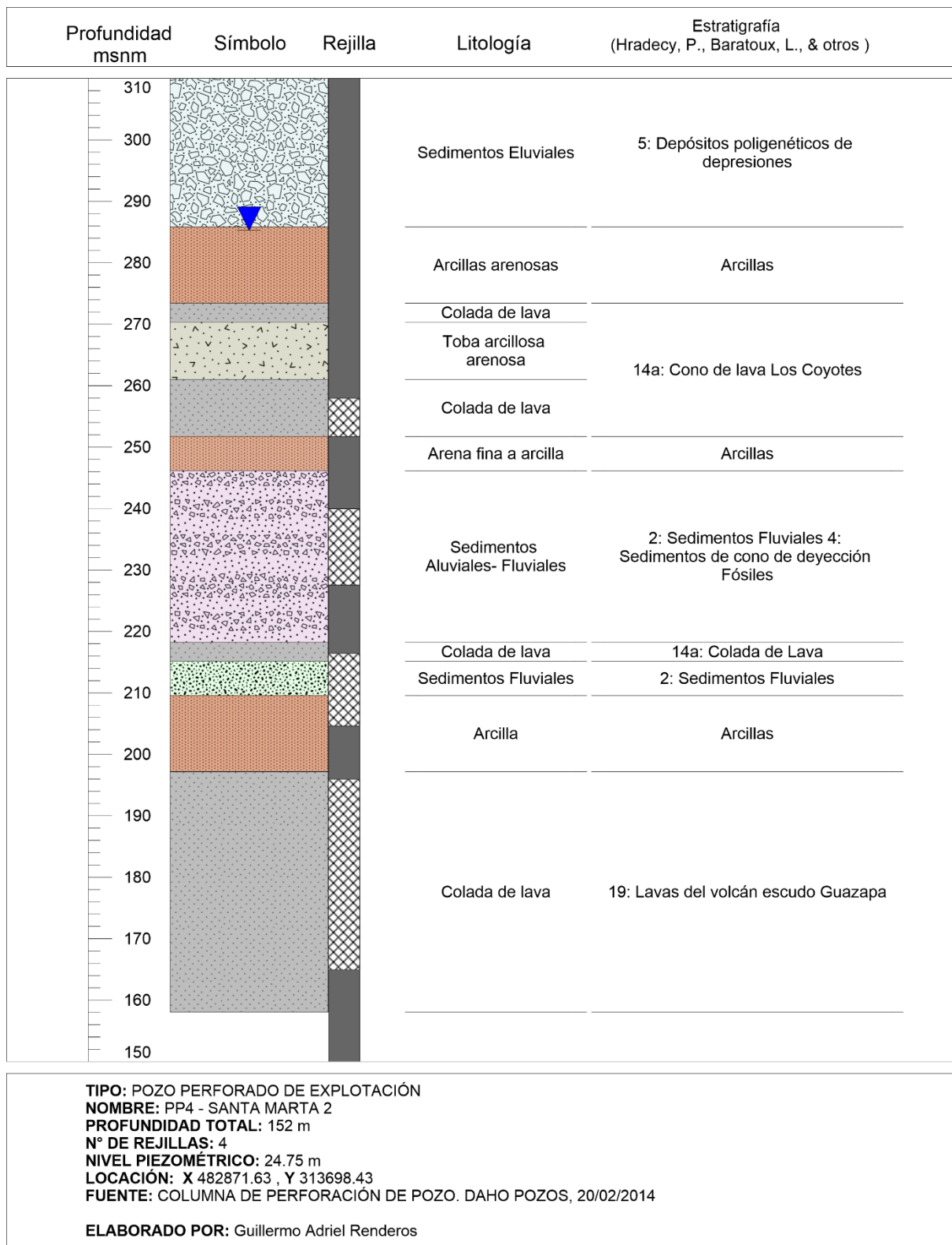


Figura 2.21 Columna litoestratigráfica del pozo PP4-SM2, ubicado en la hacienda Santa Marta, municipio de Suchitoto. Fuente: Elaborado a partir de Columna de perforación de pozo, DAHO (2014).

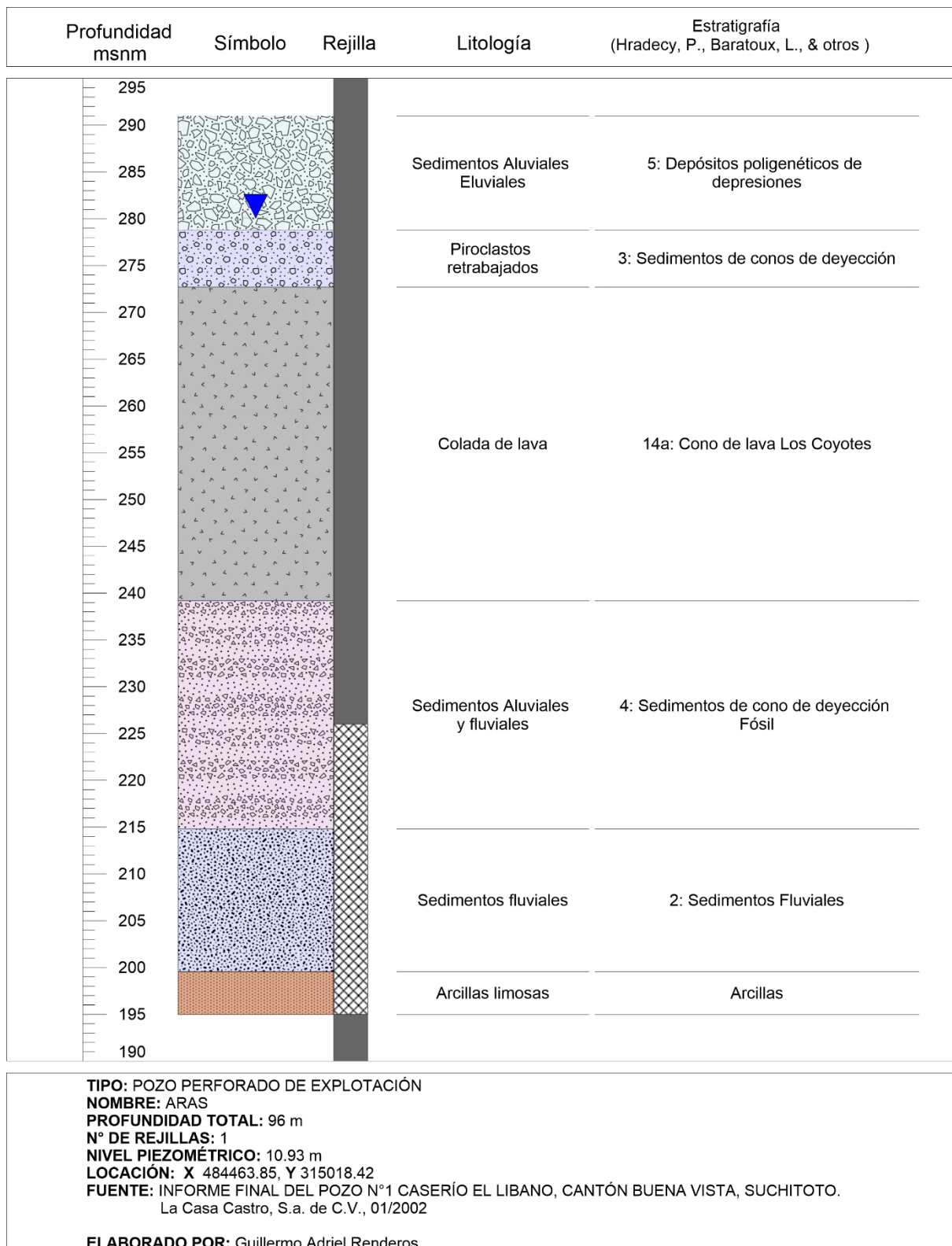


Figura 2.22 Columna litoestratigráfica del pozo PPI-ARAS, ubicado en el caserío El Líbano, municipio de Suchitoto. Fuente: Elaborado a partir de Informe final de Pozo, La Casa Castro, S.A. de C.V. (2002).

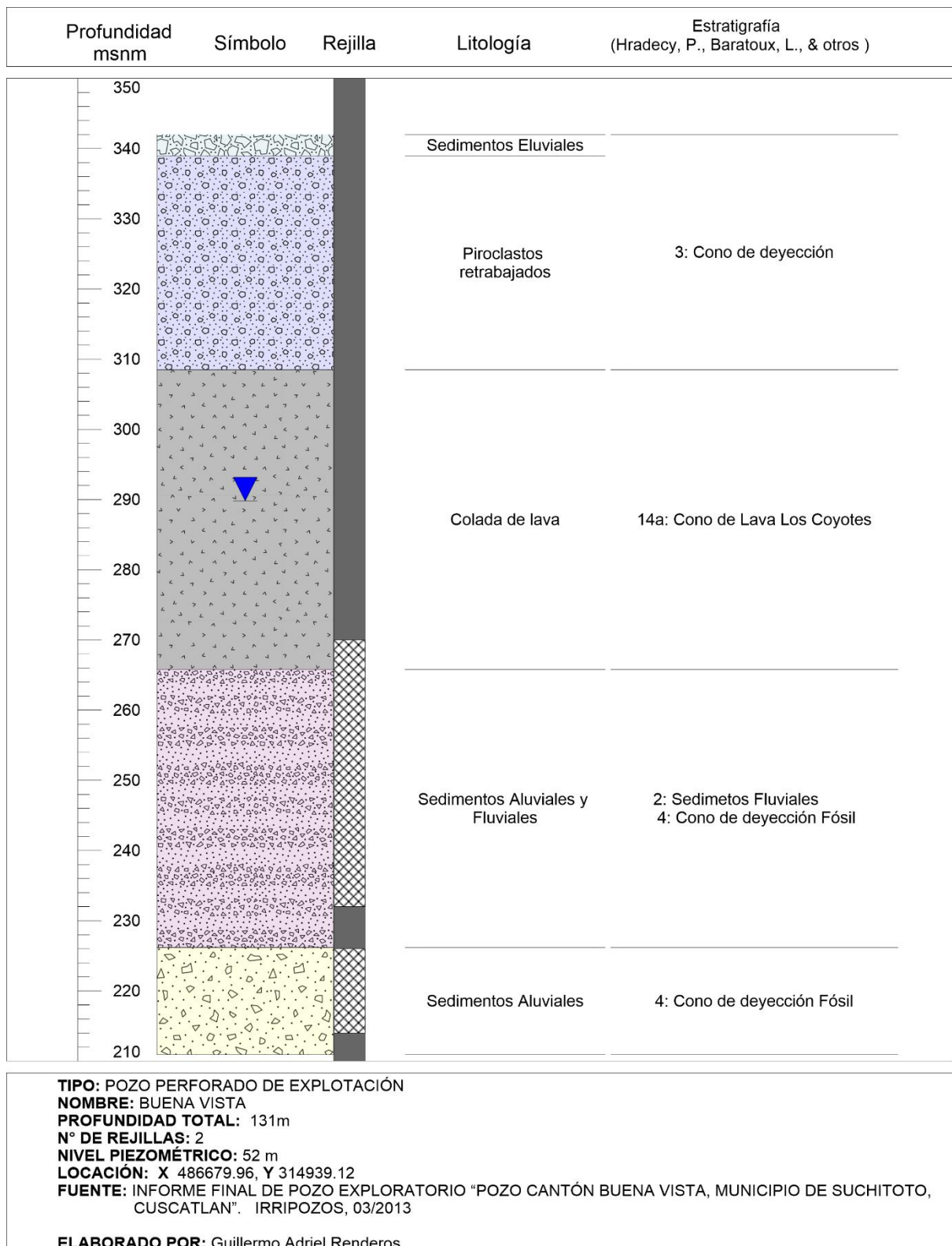


Figura 2.23 Columna litoestratigráfica del pozo PP2-BV, ubicado en el cantón Buena Vista, municipio de Suchitoto. Fuente: Elaborado a partir de Informe final de Pozo, IRRIPOZOS (2013).

3 ANÁLISIS Y RESULTADOS

El presente capítulo muestra los resultados obtenidos de la adquisición y procesamiento de datos para ser analizados. El capítulo se divide en 5 secciones, las cuales son: 3.1 Análisis de usos de suelo en la cuenca, 3.2 Flujo natural del agua en la cuenca, 3.3 Recarga potencial, 3.4 Correlación litológica y 3.5 Modelo hidrogeológico conceptual. El diseño del capítulo y sus apartados está orientado a dar respuesta a los objetivos planteados al inicio de la investigación, de forma que puedan ser útiles para el mapeo y la toma de decisiones con respecto al recurso en la zona de estudio.

3.1 USO DE SUELOS EN LA CUENCA

Se ha actualizado el mapa de uso de suelos para el 2018 por medio de observaciones en campo (ver figura 2.5) y el uso de imágenes de satélite por medio de Google Earth (ver figura 3.1). A partir de la información recopilada se han obtenido para la zona, mapas de uso de suelo escala 1:100,000 para los años 1996, 2010 y 2018. El análisis de las variaciones en el uso de suelo se presenta en la figura 3.2 y se describen a continuación:

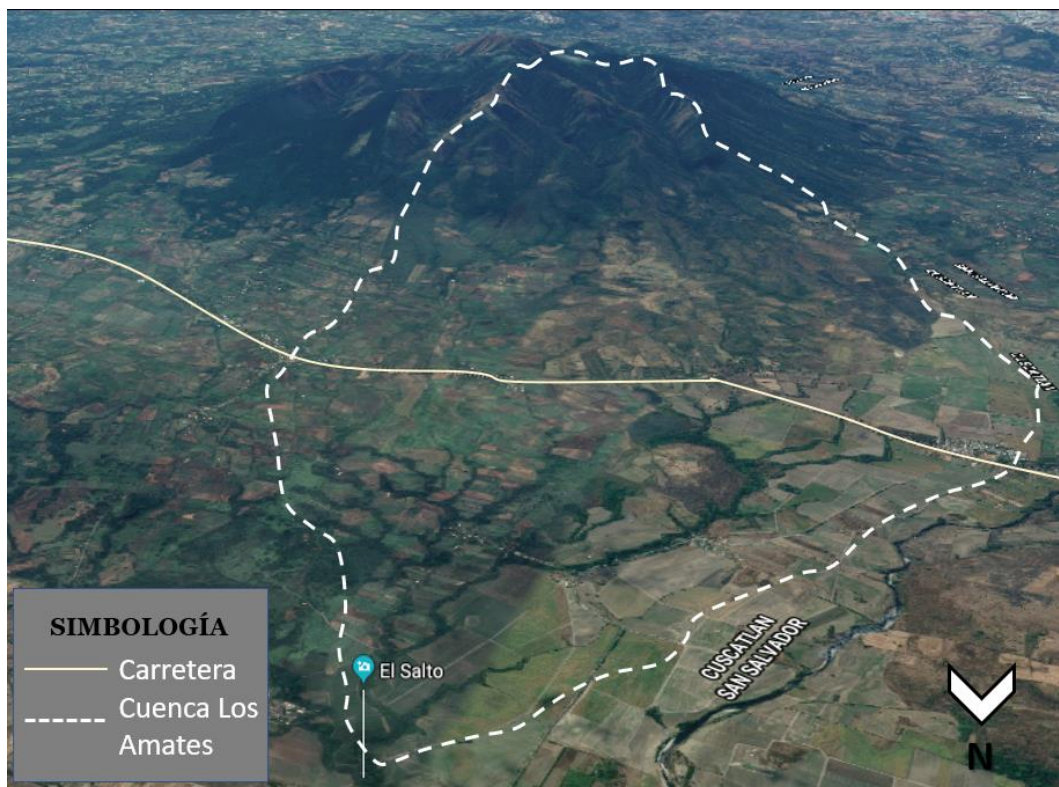
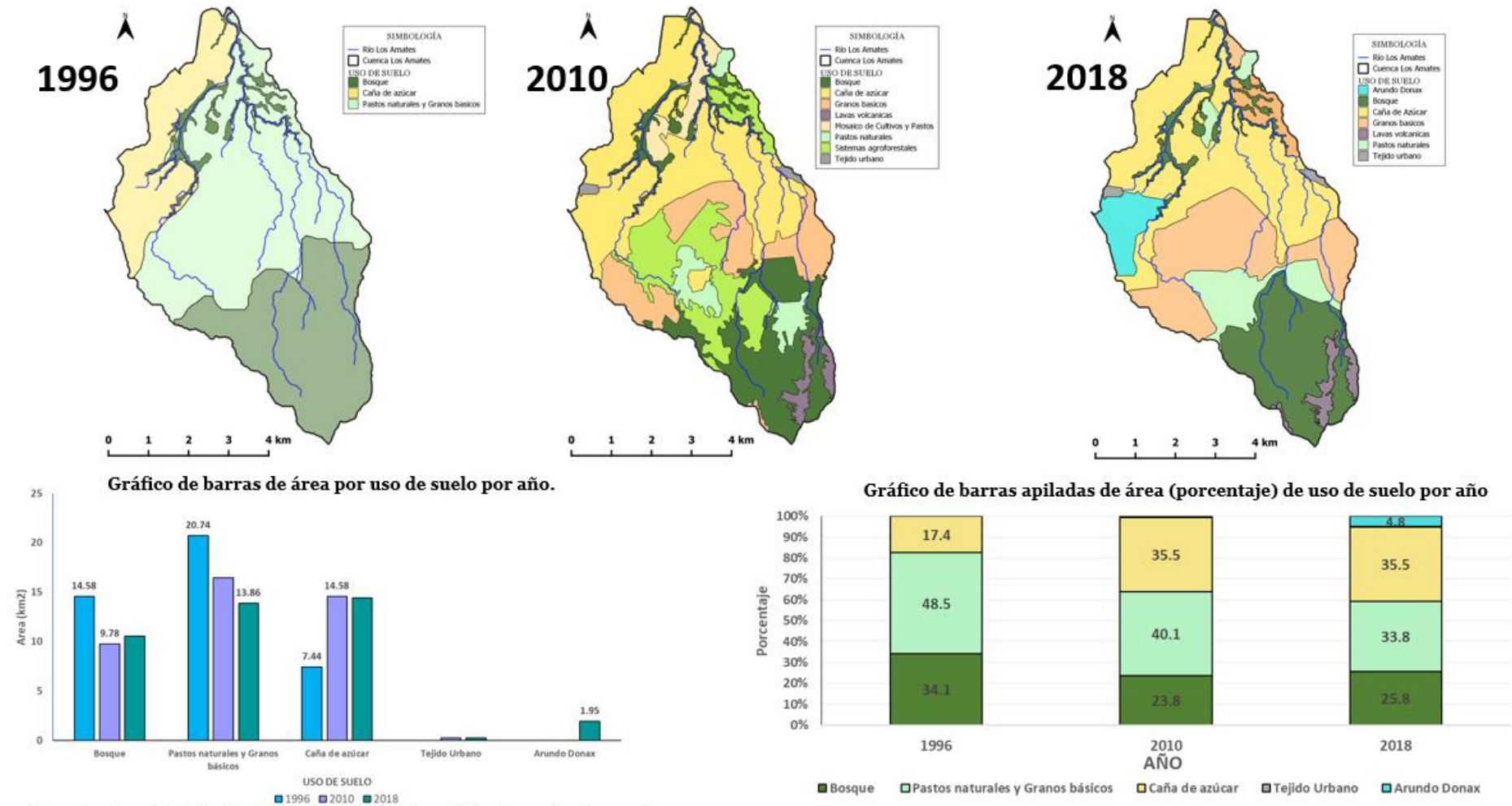


Figura 3.1 Imagen satelital de la zona de estudio vista en ángulo desde el extremo norte.
Fuente: Google Earth.

3.1.1 Caña de Azúcar

Actualmente, el uso de suelo *Caña de azúcar* abarca un 35.5 % del total de la cuenca (15 km^2 aproximadamente) y ha tenido un crecimiento en área desde 1996 hasta la fecha. Extendiéndose en la planicie de la cuenca, ha cambiado el uso de suelo principalmente de granos básicos y pastos naturales. Ha pasado de abarcar un 17%, y para el 2010 ya abarcaba el 35.5% del área total, manteniendo la ocupación hasta el 2018.

USO DE SUELO CUENCA RÍO LOS AMATES



Fuente: Base de datos LABSIG –UES, MAG-UES (2010), modificado según observaciones en campo.

Figura 3.2 Gráficos comparativos de las variaciones del uso de suelo en la cuenca del río Los Amates, para los años 1996, 2010 y 2018. Elaboración propia.

Durante las visitas a campo se pudo observar que es más comúnmente el cambio de cultivos de granos básicos por caña de azúcar en las faldas del volcán Guazapa, donde la limitante principal es el acceso de rastras y camiones a zonas de alta pendiente. Digonzelli & Romero (2014) menciona que los requerimientos de agua de la caña de azúcar son elevados, para alcanzar los máximos rendimientos. Para la construcción de un gramo de materia seca de tallo molible se requiere aproximadamente 0.5L de agua, y esa misma cantidad de agua es necesaria para generar entre 0.25 y 0.40 g de sacarosa.

El mejoramiento del acceso vial a Aguilares, Guazapa, el Paisnal y otros municipios ha permitido que esta zona se convierta en grandes plantaciones de caña de azúcar, lo que está asociado a la disminución de otros tipos de cultivo. La quema de dichos cultivos también representa un factor de erosión de suelos y un detonante de incendios en la zona.

3.1.2 Arundo Donax

Comúnmente conocida como cañizo, pertenece a las gramíneas más grandes del mundo. Las hojas pueden mantenerse verdes todo el año. La raíz alcanza entre 1.10 y 1.2 m de profundidad desde el rizoma. El rizoma es el órgano más perenne de la caña y es el responsable de la producción de nuevos tallos, se encuentra entre los 5 y los 15 cm de profundidad. La caña *A. Donax* aumenta la evapotranspiración en la zona de cultivo ya que incrementa la pérdida de agua por evapotranspiración como resultado del elevado consumo de agua de la especie (Deltoro, Vilán, Ruíz, & Jesús, 2012).

Por su parte, Villanueva (2016) menciona que la planta, después del primer año se vuelve tolerante a la sequía lo que la hace altamente viable para la producción de biocombustible, pudiendo sostener cultivos hasta por 15 años. Los cultivos de *A. Donax* poseen alto rendimiento energético, por lo que represent a una opción viable incluso en déficit hídrico. Sin embargo, la diferencia podría ser del 30 % entre materia seca en cultivos sin riego comparados con cultivos de riego.

El uso de suelo en la cuenca del río Los Amates ha comenzado a utilizarse posterior al 2010, por la empresa TEXTUFIL, para la generación de energía eléctrica por biomasa. Utilizan sistemas de riego para mantener una capa de 5 mm de espesor en toda el área de cultivo durante los meses de estación seca, que para la cuenca representa 2km^2 aproximadamente (4.8%). Aunque sea una especie de caña que no se utiliza para producir azúcar, el consumo del recurso hídrico es alto, al igual que los cultivos de caña de azúcar (caña abarca el 41% de la cuenca).

3.1.3 Granos básicos y Pastos Naturales

Principalmente como granos básicos se siembra maíz en la zona. Aunque MAG-UES (2010) hace una diferencia entre sistemas agroforestales, cultivos de granos básicos y a lo que denomina “mosaicos de pastos y cultivos”, en campo no se verificó si las zonas representaban sistemas agroforestales. Por lo que se agrupará todo dentro de granos básicos. Se extienden principalmente al sur de la carretera que conduce hacia Suchitoto, en las laderas del volcán.

Los pastos naturales han sido muy poco visualizados al norte en las cercanías de la unión del río Tasajera y el río Los Amates. Principalmente se encuentran entre la finalización de zonas de cultivo de granos básicos y el inicio de la zona boscosa, en las laderas de alta pendiente del volcán.

En totalidad, granos básicos y pastos naturales ha perdido aproximadamente un 15% del área que cubría en 1996 (8 km^2). Usualmente en zonas rurales, los pastos naturales son utilizados para la alimentación de ganado. Sin embargo, muy poco ganado fue visto en el área de estudio.

3.1.4 Bosque

Este tipo de cultivo es el menos accesible en toda el área de estudio. No existe camino rural que acceda a él. La única forma de llegar es caminando desde el cantón Buena Vista. Anterior a tiempos de guerra civil en El Salvador, existían caseríos en cotas más altas que Buena Vista, sin embargo, luego de la guerra civil desaparecieron. Algunos antiguos sistemas de recolección de agua de nacimientos son visibles, aunque, sin un caudal significativo. La zona alta de la cuenca (2.4) muestra alto grado de deforestación y erosión. En estación seca es usual incendios de gran magnitud en esta región. Debido a su difícil acceso el control de los incendios se dificulta. Este tipo de uso de suelo ha perdido el 10% del área que cubría para 1996 (5 km^2), cubriendo actualmente aproximadamente 10 km^2 (25.8% del área total).

3.2 FLUJO NATURAL DEL AGUA

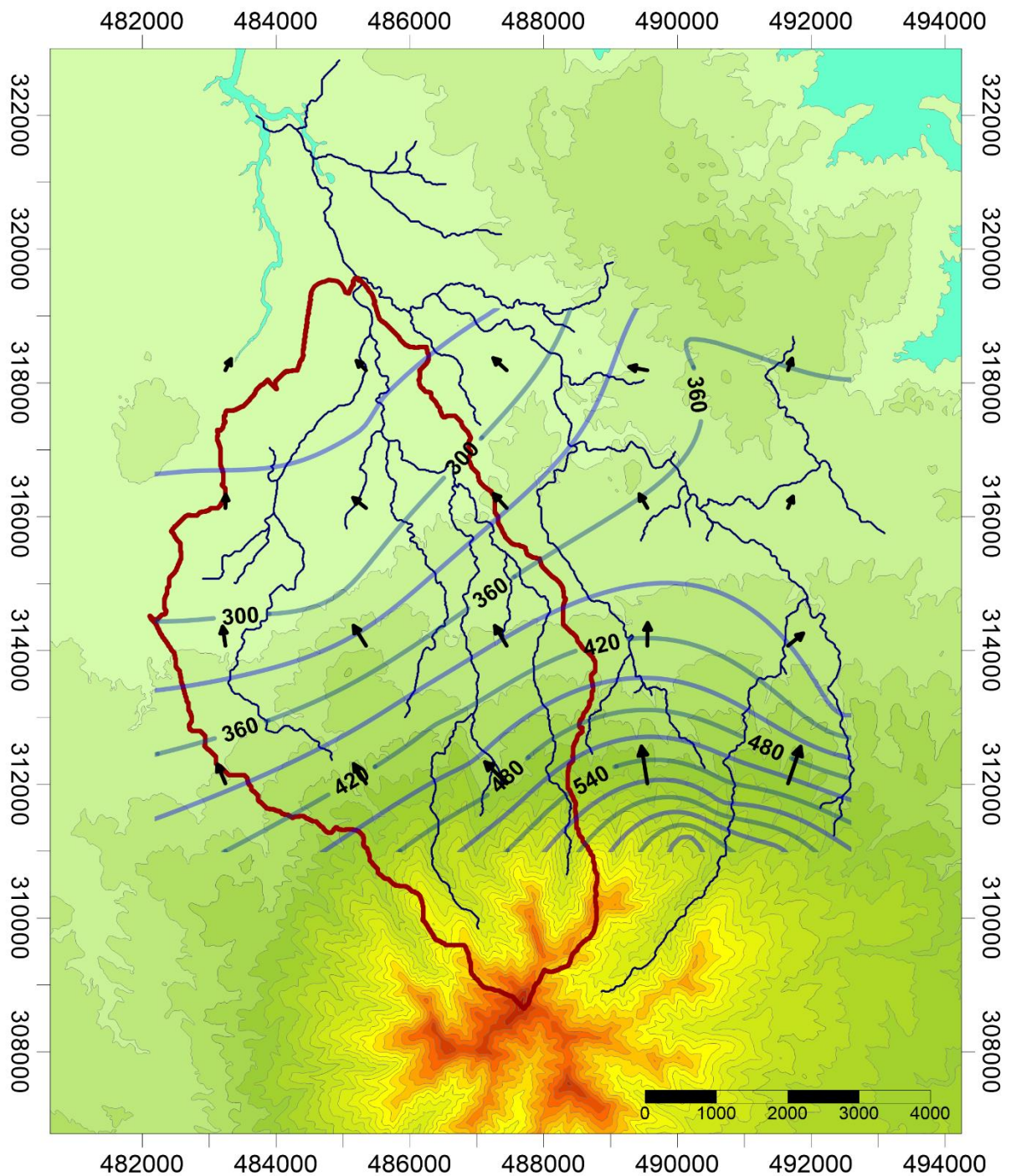
La superficie freática es la que define el límite de saturación de un acuífero libre (tomando de referencia el nivel medio del mar), que coincide con la superficie piezométrica de los puntos situados en el límite de saturación. Custodio & Llamas (2001) define la superficie piezométrica como el lugar geométrico de los puntos que señalan la altura piezométrica de cada una de las porciones de un acuífero referidas a una determinada profundidad. A las curvas equipotenciales de igual altura piezométrica se le conoce como *isopiezas*. El estudio del movimiento del agua en cualquier acuífero precisa del conocimiento de la superficie piezométrica. Los manantiales son considerados rebosaderos naturales y señalan niveles de base si son permanentes.

La figura 3.3 y 3.4 muestran el mapa de curvas piezométricas en la zona de estudio y el modelo en 3D del flujo del agua en el acuífero superficial. La dirección preferencial del flujo de agua en el acuífero superficial es hacia el noroeste. En la zona se han identificado diferentes puntos de agua, entre ellos: Pozos perforados, excavados y manantiales. A partir de dicha información recolectada, se asume que existen en la zona 3 tipos de acuíferos según los niveles piezométricos asociados al estrato saturado que representa.

3.2.1 Acuífero volcánico superficial

Los manantiales que afloran sobre las laderas del volcán Guazapa, superior a cota 550 m.s.n.m, representan la evidencia de dicho acuífero. Los afloramientos están definidos principalmente por la presencia de fallas y evidencian a su vez el límite del depósito geológico denominado “Lavas del volcán Escudo Guazapa” (ver figura 3.5), estrato al que está asociado el acuífero. Los manantiales *MAN10-QML* y *MAN15-PAVAS* tienen un menor caudal que los manantiales al este, como *MAN7-CYA*, *MAN5-SA* y *MAN8-PITAL* (usados para el abastecimiento de habitantes de la zona), ya que la estructura que recolecta el recurso en estación seca permanece seca y en estación lluviosa no se utiliza el recurso almacenado. Es posible que el acuífero tenga una mayor extensión hacia el costado noreste del volcán, la

dirección del flujo es radial con centro en el cono volcánico. Mediciones de caudal no pudieron realizarse ya que todos poseen estructuras de captación y es necesario solicitar permisos a las diferentes asociaciones de agua que manejan el recurso hídrico.

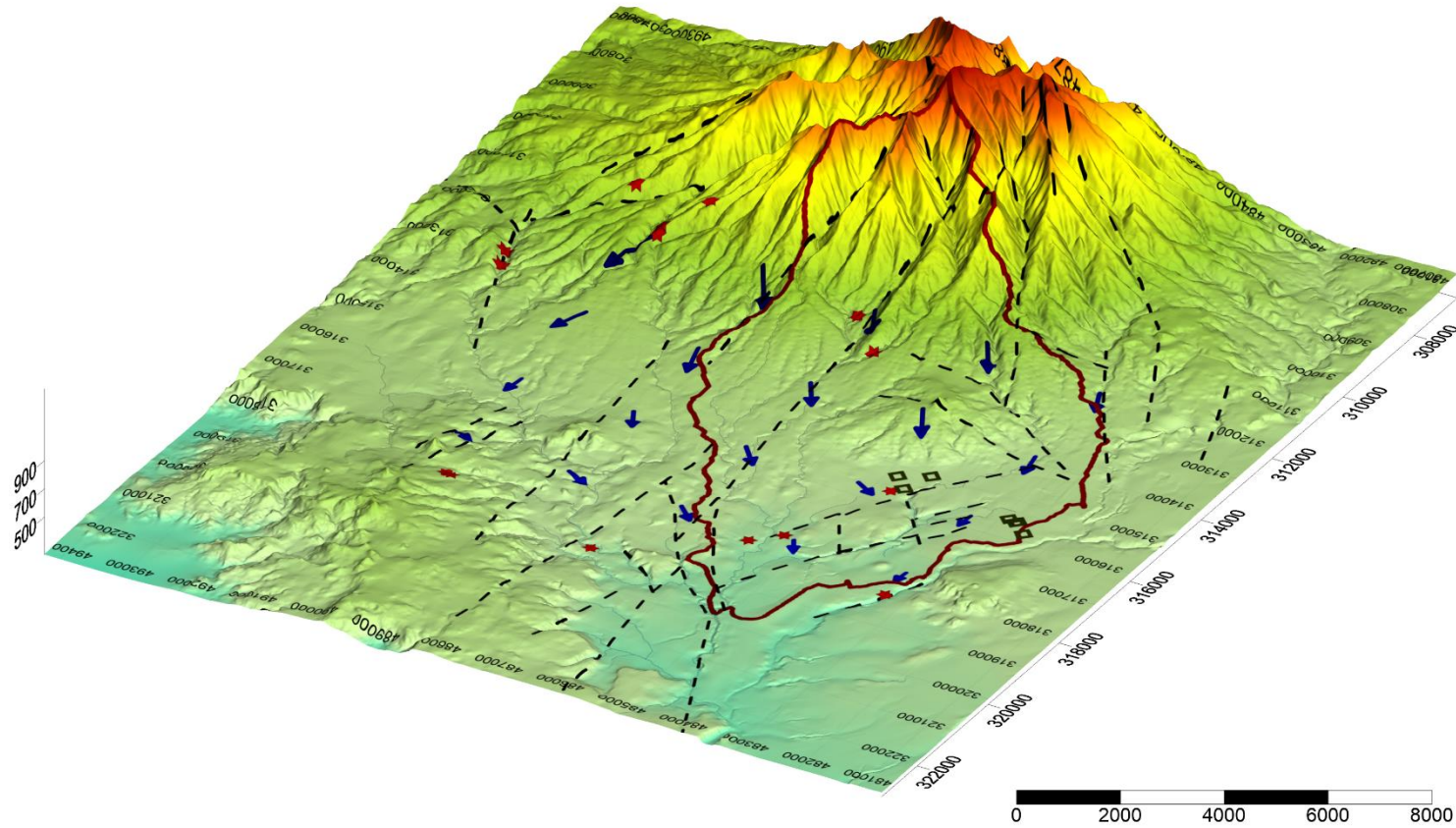


	UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR FACULTAD DE CIENCIAS NATURALES Y MATEMÁTICA ESCUELA DE FÍSICA	SIMBOLOGÍA → Dirección de flujo — Isopieza (30 m) — Ríos y quebradas □ Cuenca Los Amates
	"Caracterización Hidrogeológica de la microcuenca del río Los Amates, municipio de Suchitoto, departamento de Cuscatlán"	
	MAPA FLUJO SUPERICIAL DE AGUA	
	Sistema coorenado: Conformal cónica de Lambert Autor: Guillermo Adriel Renderos Mejía	

Figura 3.3 Mapa de nivel piezométrico y dirección preferencial del flujo natural del acuífero superficial para la cuenca del río Los Amates, Suchitoto.

MAPA DE FLUJO SUPERFICIAL DE AGUA

Cuenca Los Amates, Suchitoto



UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD DE CIENCIAS NATURALES Y MATEMÁTICA
ESCUELA DE FÍSICA
 "Caracterización hidrogeológica de la microcuenca del río
 Los Amates, municipio de Suchitoto, departamento de Cuscatlán"
 Autor: Guillermo Adriel Renderos

SIMBOLOGÍA

- ★ Manantiales
- ◇ Pozos excavados
- Dirección de flujo
- Ríos y quebradas
- - - Fallas Geológicas
- Cuenca Los Amates

Figura 3.4 Modelo 3D del flujo subsuperficial del agua en la cuenca del río Los Amates. Exageración vertical 1:10

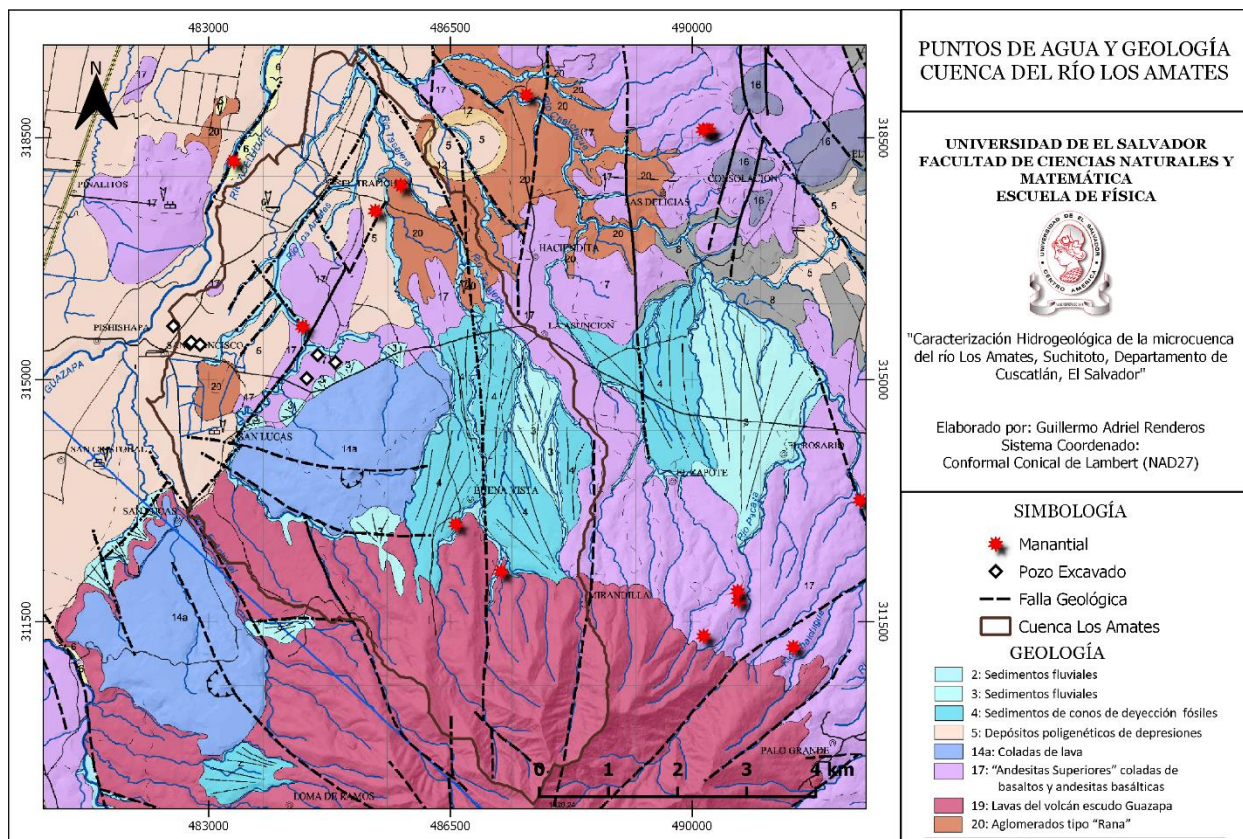


Figura 3.5 Manantiales y pozos excavados inventariados en la cuenca del río Los Amates sobre mapa geológico (Hradecky, y otros, 2004).

3.2.2 Acuífero poroso superficial (libre)

El acuífero se evidencia en superficie a partir de las cotas topográficas 290 a 300 aproximadamente que corresponde con el manantial *MANI-BRLA*. A partir de esta altura el río Los Amates mantiene un caudal durante todo el año (en estación seca el caudal disminuye). El Manantial *MANI6-CSM* se sitúa sobre una falla con dirección Suroeste-Noreste, con un caudal significativo en la zona, el recurso hídrico es poco explotado, utilizado únicamente para abastecer a los habitantes del caserío (el agua no recibe ningún tratamiento de desinfección), así como para ganado y cultivos. En la zona del manantial se evidencia actividad hidrotermal (3° C superior a temperatura promedio del agua del río Tasajera, con 27°C). La falla en la zona no es inferida por Hradecky, y otros (2004), sin embargo, concuerda con una falla más al sur que posee la misma dirección. Los pozos excavados inventariados muestran que la profundidad a la que se encuentra el nivel freático es poco profunda, variando entre los 2 m en la comunidad San Francisco (*PE6-JMG*) y los 9 m en la comunidad El Líbano (*PE4-RC*). Este último pozo excavado se encuentra muy cercano al manantial *MANI-BRLA*, que según habitantes de la comunidad, hace ya varios años el nacimiento era surgente y que de ahí se le conoce como "EL BORBOLLON". Una explicación posible a la disminución de la altura del nivel piezométrico es un descenso de la profundidad de saturación asociado a disminución de infiltración al acuífero.

Tomografías eléctricas realizadas comprueban que el nivel de saturación del acuífero superficial es poco profundo, y que en algunas localidades, productos volcánicos

consolidados (Andesitas superiores y aglomerados tipo “Rana”) semiconfinan muy localmente, como en la finca *cooperativa Los Mangos*. Uno de los manantiales con mayor caudal observado se encuentra en dicha finca, *MAN 13-CLM*. El recurso de este manantial no tiene ningún uso, y drena hacia el río Acelhuate. Este punto sirve como comprobación de la dirección del flujo del acuífero superficial presentado en la figura 3.3. El acuífero superficial está asociado a estratos geológicos con textura clástica, denominados por Hradecky, y otros (2004) como “Depósitos poligenéticos de depresiones” y “Conos de deyección” (sedimentos aluviales).

No se han realizado pruebas de bombeos sobre ningún pozo excavado o hasta la redacción del presente se tiene conocimiento de ellas. Debido a lo anterior, no se ha realizado cálculos de valores de Transmisividad y coeficiente de almacenamiento al estrato acuífero. Nováková (2007) asigna al pozo San Francisco de $174 \text{ m}^2/\text{día}$, teniendo el menor valor de transmisividades dadas para el acuífero “*Guzapa-Aguilares-Colima*”.

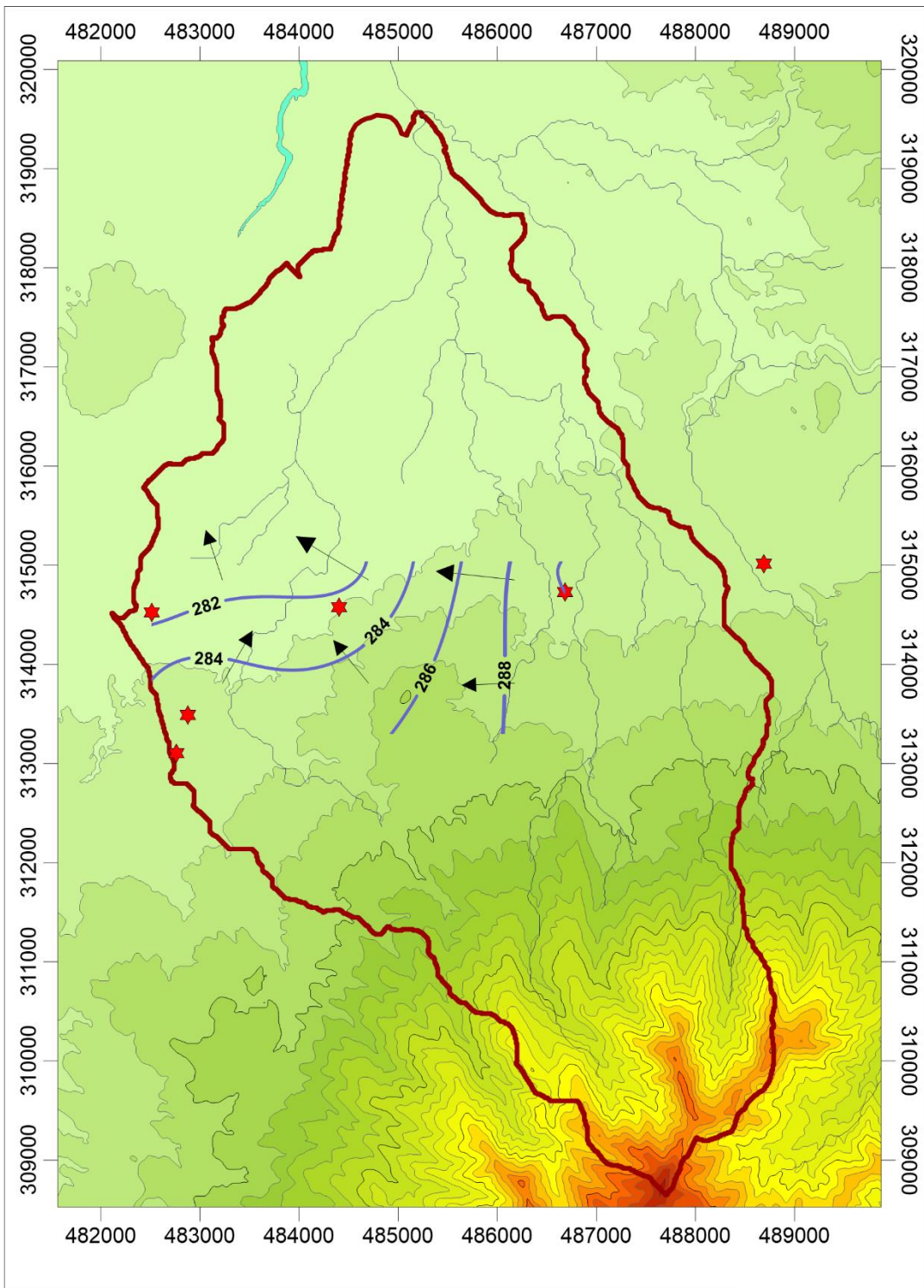
3.2.3 Acuífero poroso confinado

Únicamente evidenciado en las columnas litológicas de los pozos perforados. La figura 3.6 muestra el mapa de nivel piezométrico y los vectores de dirección del flujo únicamente para la zona de la cual se tiene información de nivel. La dirección del agua varía, y tiene una dirección preferencial hacia el oeste y desde la comunidad San Francisco hacia el norte. El acuífero está conformado por sedimentos fluviales y aluviales, con espesor aproximado de 30 a 50 m. Se encuentra confinado en la zona oeste (hacienda Santa Marta) por un estrato de espesor considerable de arcillas, y en las cercanías del cerro los coyotes por un estrato rocoso proveniente de la actividad del cono “Cerro Los Coyotes” (basalto andesitas). El nivel piezométrico entre las cotas topográficas 290 -350, se encuentra a aproximadamente 280 m.s.n.m. La tabla 3.1 muestra parámetros de los pozos obtenidos a partir de los informes de explotación y pruebas de bombeo. Estos asignan al acuífero un coeficiente de almacenamiento entre 0.1 (*PPI-ARAS*) a 1×10^{-9} (*PP3-SM3*). El informe final de perforación de Castro (2002) indica que el pozo *PPI-ARAS* tiene una rejilla abierta a 65 m de profundidad, sin embargo, el valor del coeficiente de almacenamiento corresponde al valor de un acuífero libre. Custodio & Llamas (2001) mencionan que para acuíferos libres el valor de S puede variar entre 0.05 a 0.3 (aproximadamente), en unidades de las centésimas o menores, corresponden a condiciones artesianas y cautivas. Debido al análisis de las columnas el valor de S o está asociado a una sola unidad acuífera, ya que las rejillas abiertas se encuentran ubicadas en más de una.

Tabla 3.1 Parámetros físicos obtenidos de pruebas de bombeo realizadas a los pozos perforados. Fuente: DAHO (2014), IRRIPOZOS (2013), SAGRISA (2013) y Castro (2002).

Código	Nombre	T ($\text{m}^2/\text{día}$)	S (ad)
AMA-PP1-ARAS	ARAS	4.47×10^7	0.1
AMA-PP3-SM3	SANTA MARTA 3	6.75×10^7	1×10^{-9}
AMA-PP4-SM2	SANTA MARTA 2	7.42×10^8	6.01×10^{-7}
AMA-PP5-SM1	SANTA MARTA 1	?	4.5×10^{-3}

*Los valores de T han sido convertidos de unidades GDP/d



UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD DE CIENCIAS NATURALES Y MATEMÁTICA
ESCUELA DE FÍSICA

"Caracterización Hidrogeológica de la microcuenca del río
 Los Amates, municipio de Suchitoto, departamento de Cuscatlán"

MAPA FLUJO ACUIFERO SEMICONFINADO

Sistema coorenado: Conformal cónica de Lambert
 Autor: Guillermo Adriel Renderos Mejía

SIMBOLOGÍA

- ★ Pozo Excavado
- Dirección de flujo
- Isopieza (2 m)
- Ríos y quebradas
- ▭ Cuenca Los Amates

Figura 3.6 Mapa de nivel piezométrico y dirección preferencial del flujo natural del acuífero confinado para la cuenca del río Los Amates, Suchitoto.

A partir de la información obtenida no es posible identificar una recarga directa al acuífero. Posiblemente fracturas en el techo del acuífero, roca volcánica basalto andesita, permita con cierto grado la recarga al acuífero. También es posible que la recarga a este acuífero sea a través del acuífero volcánico fisurado que compone el acuífero colgado, sin embargo en esta investigación no es posible determinarlo. Análisis químicos de muestras de agua podrían ayudar a determinar una zona posible de recarga, entre ellos análisis de isótopos de hidrógeno y oxígeno así como caracterización química de las aguas.

3.2.4 Acuífero volcánico Profundo

Esta unidad acuífera es identificable únicamente a través de las columnas litológicas de los pozos *PP3-SM3* y *PP4-SM2*. Según el diseño de perforación, los pozos poseen rejillas abiertas en estratos correspondientes a materiales volcánicos, posiblemente antiguos eventos eruptivos del volcán Guazapa. Este estrato rocoso tiene un techo aproximadamente a 200 m.s.n.m.

3.3 RECARGA POTENCIAL AL ACUÍFERO SUPERFICIAL

El cálculo de la recarga potencial al acuífero fue realizado siguiendo la metodología de Schosinsky (2006). A partir de la división del área de estudio en polígonos (17 en total), según las características asignadas a cada uno de ellos se ha hecho el procesamiento del balance para obtener el valor de la recarga potencia al acuífero superficial. Los parámetros de suelo y vegetación asignados a cada uno de ellos se presentan en la tabla 3.2. Los valores obtenidos del coeficiente de infiltración C_i son variables, teniendo valores máximos de 1.0 para algunos polígonos situados en suelos franco-arenosos, y para los suelos arcillosos valores mínimos de 0.44. El factor que más influye en el valor de C_i es el coeficiente de infiltración por la textura del suelo, que a su vez depende de la permeabilidad calculada. La determinación de la textura del suelo es crítica para obtener valores más cercanos a la realidad, ya que de ello depende no solo el parámetro C_i , sino también la asignación de los porcentajes de capacidad de campo, punto de marchitez permanente y la densidad aparente de un suelo en específico.

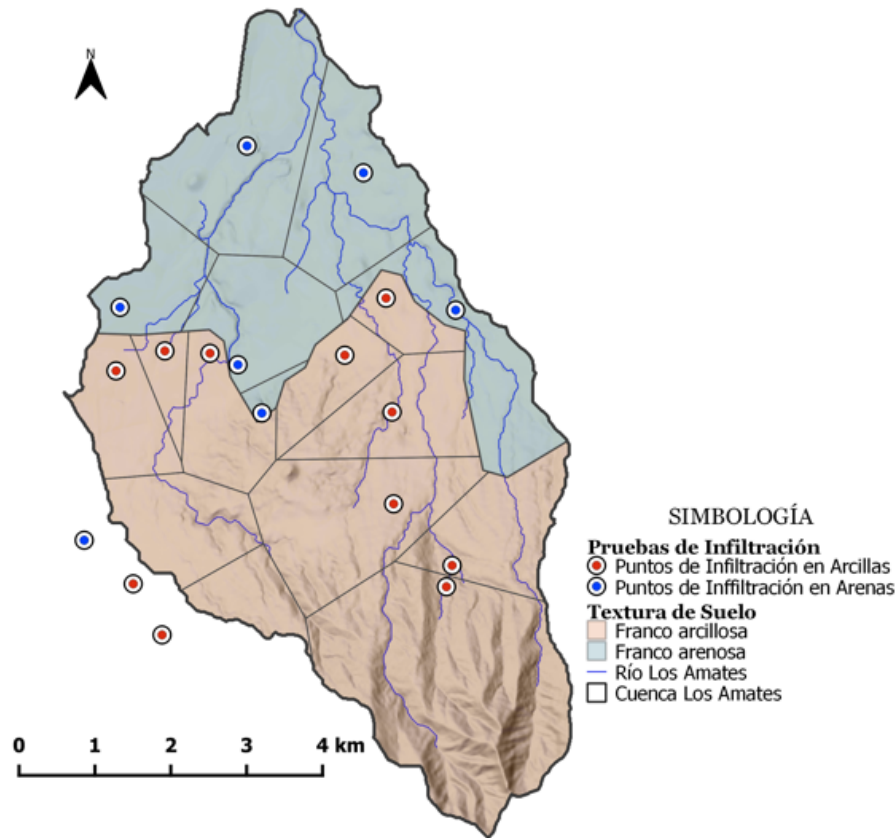
El segundo factor de mayor influencia es la asignación de la profundidad de raíz, y por lo tanto el tipo de cultivo o uso de suelo, que representa la profundidad a la cual se estima el balance de suelos. El valor de PR es utilizado para la conversión de porcentajes de CC y PM a milímetros. El valor de capacidad de campo aumenta al aumentar la profundidad de raíz. Para suelos con vegetación de raíz poco profunda, los valores de CC rondan los 200 mm, pero para el polígono *POL12-BLP* el valor de CC es de aproximadamente 911 mm y el valor de PM de 438. Lo anterior aumenta el valor del agua disponible en el suelo y por lo tanto la precipitación necesaria para que ocurra la infiltración eficaz.

La figura 3.7 muestra los resultados obtenidos por polígonos en unidades de $m^3/año$. Por lo que se identifica que la mayor infiltración superficial ocurre en suelos arenosos y planos, y menores en suelos arcillosos que se encuentran en zonas de laderas de fuerte pendiente. La escorrentía tiene un comportamiento contrario, cero escurrimientos en zonas planas.

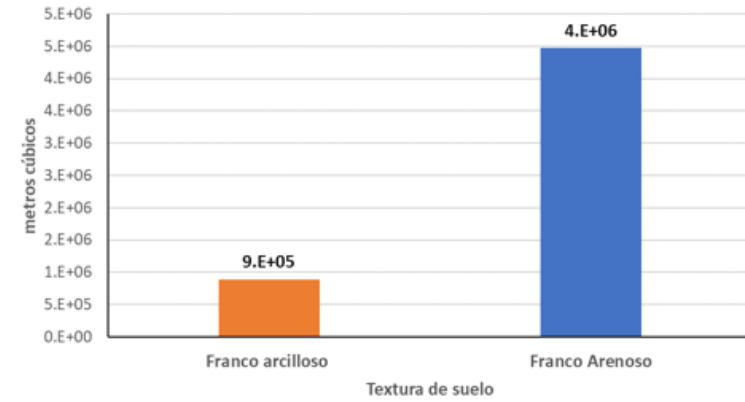
Tabla 3.2 Tabla de parámetros asignados a cada polígono según las características de suelo, vegetación y pendiente. para el cálculo del balance hídrico de suelos.

CODIGO	TEXTURA	NOMBRE	AREA (m2)	PR (m)	Cfo	fc(mm/día)	Kfc	Kp	Kv	Ci	CC%	PM%	DS(g/cm3)
AMA-POL1-EL1	Franco arenoso	EL LIBANO 1	2351016.99	1.50	0.12	1065.71	0.97	0.10	0.10	1.00	14.00	6.00	1.50
AMA-POL2-EL2	Franco Arcilloso	EL LIBANO 2	1747360.17	0.45	0.12	88.10	0.46	0.11	0.10	0.67	27.00	13.00	1.35
AMA-POL3-TAS	Franco arenoso	TANQUE APOLINARIO SERRANO	228538.27	0.45	0.12	553.47	0.88	0.06	0.10	1.00	14.00	6.00	1.50
AMA-POL4-LG	Franco arenoso	LAS GUARAS	3312695.80	1.50	0.12	174.68	0.63	0.10	0.10	0.83	14.00	6.00	1.50
AMA-POL5-BV1	Franco Arcilloso	BUENA VISTA 1	3944054.34	0.30	0.12	44.20	0.28	0.06	0.18	0.52	27.00	13.00	1.35
AMA-POL6-CLM	Franco arenoso	CORPORATIVA LOS MANGO	4586627.25	1.50	0.12	735.99	0.93	0.15	0.10	1.00	14.00	6.00	1.50
AMA-POL7-SF	Franco arenoso	SAN FRANCISCO	1600567.80	1.50	0.12	396.46	0.81	0.15	0.10	1.00	14.00	6.00	1.50
AMA-POL8-LL	Franco Arcilloso	LA LICHA	662008.38	1.50	0.12	72.33	0.41	0.15	0.10	0.66	27.00	13.00	1.35
AMA-POL9-LA1	Franco arenoso	LA ASUNCION 1	2722378.21	1.50	0.12	266.92	0.73	0.10	0.10	0.93	14.00	6.00	1.50
AMA-POL10-LA2	Franco Arcilloso	LA ASUNCIÓN 2	883721.72	1.50	0.12	66.01	0.39	0.10	0.10	0.59	27.00	13.00	1.35
AMA-POL11-LP	Franco Arcilloso	LAS PAVAS	2348523.27	0.45	0.12	44.20	0.28	0.06	0.18	0.52	27.00	13.00	1.35
AMA-POL12-BLP	Franco Arcilloso	BOSQUE LAS PAVAS	7967813.33	2.50	0.20	44.20	0.28	0.06	0.20	0.54	27.00	13.00	1.35
AMA-POL13-BV2	Franco Arcilloso	BUENA VISTA 2	2343722.61	1.50	0.12	73.47	0.41	0.10	0.10	0.61	27.00	13.00	1.35
AMA-POL14-HSM	Franco Arcilloso	HDA SANTA MARTA	1761611.16	1.20	0.12	195.24	0.66	0.15	0.10	0.91	27.00	13.00	1.35
AMA-POL15-AS	Franco arcilloso	APOLINARIO SERRANO	1361245.99	0.45	0.12	44.20	0.28	0.06	0.10	0.44	27.00	13.00	1.35
AMA-POL16-ZMM2	Franco Arcilloso	ZM-M2	2115934.81	0.45	0.12	44.20	0.28	0.06	0.10	0.44	27.00	13.00	1.35
AMA-POL17-ZMM3	Franco Arcilloso	ZM-M3	1128282.85	0.45	0.12	44.20	0.28	0.06	0.10	0.44	27.00	13.00	1.35

RECARGA POTENCIAL CUENCA DEL RÍO LOS AMATES, SUCHITOTO



Recarga Potencial (m³/año) al cuífero por textura de suelo
Cuenca de río Los Amates



Recarga Potencial (m³/año) al acuífero
Cuenca del río Los Amates

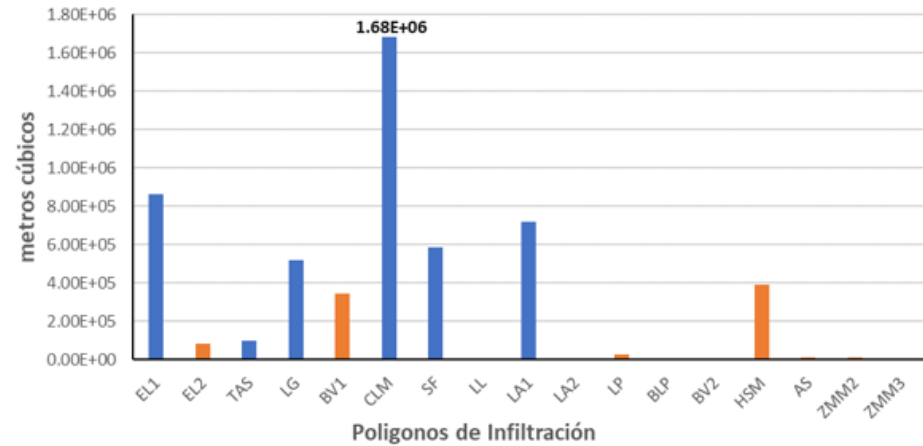


Figura 3.7. Resultados del cálculo de la recarga potencial anual (mm) por polígono y por textura de suelo para la Cuenca del río Los Amates, Suchitoto

Tabla 3.3 Resultados obtenidos por polígono de infiltración, para el modelo de $1m^2$ por profundidad de raíz y en $m^3/año$ (areal)

CODIGO	TEXTURA	NOMBRE	AREA (m2)	Rp(mm)	Rp(m3/año)
POL1-EL1	Franco arenoso	EL LIBANO 1	2351016.99	367.00	862819.94
POL2-EL2	Franco Arcilloso	EL LIBANO 2	1747360.17	49.31	86160.90
POL3-TAS	Franco arenoso	TANQUE APOLINARIO SERRANO	228538.27	427.84	97777.09
POL4-LG	Franco arenoso	LAS GUARAS	3312695.80	157.58	522015.52
POL5-BV1	Franco Arcilloso	BUENA VISTA 1	3944054.34	88.14	347629.38
POL6-CLM	Franco arenoso	CORPORATIVA LOS MANGO	4586627.25	367.00	1683285.77
POL7-SF	Franco arenoso	SAN FRANCISCO	1600567.80	367.00	587406.14
POL8-LL	Franco Arcilloso	LA LICHA	662008.38	0.00	0.00
POL9-LA1	Franco arenoso	LA ASUNCION 1	2722378.21	263.42	717140.57
POL10-LA2	Franco Arcilloso	LA ASUNCIÓN 2	883721.72	0.00	0.00
POL11-LP	Franco Arcilloso	LAS PAVAS	2348523.27	12.89	30263.49
POL12-BLP	Franco Arcilloso	BOSQUE LAS PAVAS	7967813.33	0.00	0.00
POL13-BV2	Franco Arcilloso	BUENA VISTA 2	2343722.61	0.00	0.00
POL14-HSM	Franco Arcilloso	HDA SANTA MARTA	1761611.16	222.23	391486.70
POL15-AS	Franco arcilloso	APOLINARIO SERRANO	1361245.99	8.05	10954.20
POL16-ZMM2	Franco Arcilloso	ZM-M2	2115934.81	5.72	12101.72
POL17-ZMM3	Franco Arcilloso	ZM-M3	1128282.85	8.05	9079.51
TOTAL			41066102.95	2344.22	5358120.92

La recarga total para la cuenca del río Los Amates es de $5.38Mm^3/año$. Teniendo la mayor infiltración en los meses de septiembre y octubre, y casi nula o ninguna infiltración en estación seca en algunas zonas. De la recarga total a la cuenca, El 83.4% ocurre en suelos arenosos, $4.47Mm^3/año$, y un 16.6% en suelos arcillosos con $0.88Mm^3/año$ (ver figura 3.8).

Debido al análisis del flujo natural del agua, se asocia según las características del suelo y terreno, que el valor de recarga potencial correspondiente a suelos arcillosos recarga el acuífero volcánico fisurado, posiblemente colgado. La recarga potencial asociada a suelos arenosos corresponde al volumen de agua que recarga al acuífero superficial poroso, identificado como depósitos poligenéticos de depresiones y sedimentos aluviales. Por lo tanto, se asocia que al año, $0.88 Mm^3/año$ recargan el acuífero volcánico fisurado, compuesto por lavas del volcán Guazapa y $4.4 Mm^3/año$ recargan el acuífero poroso superficial compuesto por depósitos poligenéticos de depresiones.

Tabla 3.4 Valores de recarga potencial a acuífero superficiales de la cuenca del río Los Amates.

Textura	Área	Rp(mm)	Rp(m ³ /año)	Porcentaje (%)
Acuífero Volcánico Fisurado	26264278.63	394.3813573	887675.8964	16.56692541
Acuífero Poroso superficial	14801824.32	1949.837194	4470445.025	83.43307459
TOTAL	41066102.95	2344.218551	5358120.921	100

La metodología de Schosinsky (2006) únicamente permite el cálculo del volumen de agua que infiltra en los estratos superficiales, no es posible asociar este valor de recarga a acuíferos más profundo. Para poder determinar los valores de recarga en acuíferos más profundos se requieren investigaciones más extensas que recabe más información, principalmente de pozos perforados, así como la identificación de la zona de descarga, y aplicar otras metodologías.

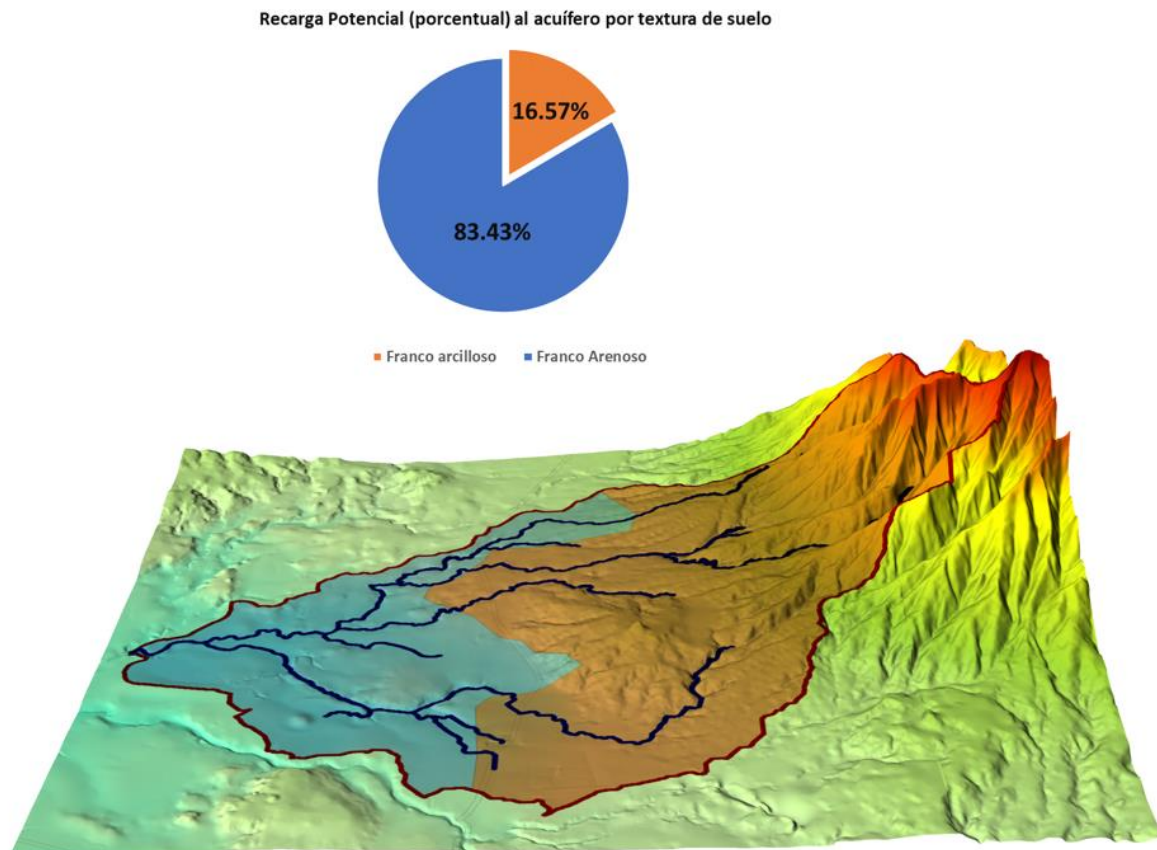


Figura 3.8 Porcentajes de recarga potencial anual por textura de suelo para la cuenca del río Los Amates, municipio de Suchitoto.

3.4 CORRELACIÓN LITOLÓGICA

A partir de las columnas litológicas de los pozos perforados (apartado 2.3.5), se ha construido el perfil litológico de la figura 3.9. El perfil litológico de pozos permite identificar los estratos encontrados en la zona de estudio y sus espesores.

Los estratos en los perfiles se muestran de forma horizontal, sin embargo, esta figura es una representación basada en la información del pozo. La discontinuidad entre estratos y vértices representan falta de información.

3.4.1 Perfil litológico de pozos perforados

A partir del análisis de las columnas litológicas y el perfil litológico de pozos, se identifica:

- El estrato más superficial, de textura clástica, con tamaño variable (arenas y gravas, algunas piedras). En la zona donde están ubicados los pozos, estos tienen un espesor que alcanza hasta los 24m (*PP4-SM2*) en las zonas de menor pendiente.
- Es evidente la ocurrencia de caída de material desde el volcán Guazapa (depósitos aluviales) en la zona aluvial, donde el cambio de topografía es abrupto. Depositando materiales de tamaño grueso (arenas, gravas y piedras). La ocurrencia de estos conos de deyección y avalanchas están asociados principalmente la evolución tectónica de la zona.
- Al oeste, en las riberas del río Acelhuate, más antiguo que los ríos que drenan desde el volcán Guazapa, se ha depositado (o formado) material arcilloso de espesor considerable de hasta 50 m de espesor (*PP3-SM3*). Este estrato semiconfina el acuífero subyacente.
- La colada de lava del cono monogenético “Los Coyotes” se extiende principalmente hacia la comunidad El Líbano y la zona central de la cuenca, con espesores que alcanzan los 42 m de espesor (*PP2-BV*).
- En el transcurso de la deformación del estratovolcán, también ha ocurrido arrastre de material por los ríos que drenan desde la parte alta de este, depositando material de textura clástica entre limos y arenas (depósitos fluviales).
- Según la información de las columnas litológicas, se identifican 3 formaciones acuíferas.
- Todos los pozos perforados con los que se ha construido el perfil, según sus informes de perforación, extraen el recurso hídrico del acuífero poroso finado y volcánico profundo.

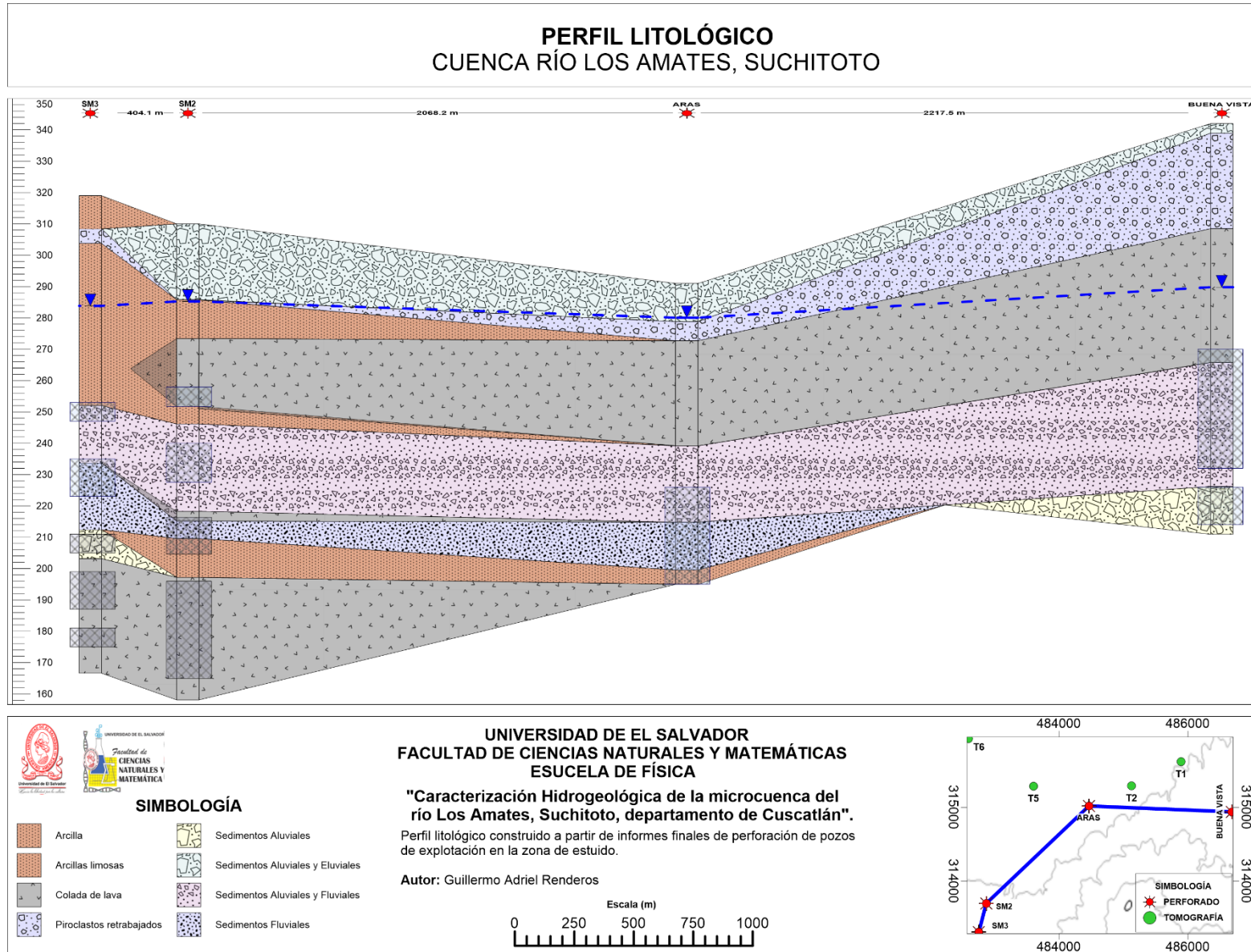


Figura 3.9. Perfil litológico construido a partir de las columnas litoestratigráficas de los pozos: SM3, SM2, ARAS Y BUENAVISTA

3.4.2 Tomografías Eléctricas

Se considera que la profundidad máxima de penetración para las 6 tomografías realizadas (ver figura 2.8) es de 60 metros (1/3 de AB/2). Se ha tomado en cuenta la existencia de materiales resistivos como coladas de lava compactas, por lo que es posible que la profundidad sea menor. Se han analizado los valores de resistividades así mismo las profundidades de capas identificadas. Con base en lo anterior, se propone un modelo de capas a las que se les asigna una descripción litológica según las columnas de los pozos (apartado 2.3.5).

Los valores de resistividades en las tomografías varían entre bajos, cercanos a $1 \Omega\text{m}$, hasta valores muy altos que pueden encontrarse cercanos a los $1000 \Omega\text{m}$. Ronning, Ganerod, Dalsegg, & Reiser (2013) menciona que valores bajos de resistividades es causado por saturación de estratos (agua subterránea), arcillas fracturadas y/o zonas de fallas. Altas resistividades reflejan rocosos masivos poco fisurados o sin fisuras. Por su parte, Demirel, Delphine, James, & Voytek, (2018) menciona que resultados de modelos numéricos recientes sugieren que incluso una sola fractura de escala de milímetros en la superficie, puede producir en algunos casos, una fuerte anomalía en los datos de un perfil de resistividad eléctrica.

A continuación, se describen las tomografías eléctricas en el orden que fueron realizadas:

- TOMO 1 – EL LÍBANO 1

Desarrollada en dirección oeste – este, en la carretera que conduce de Aguilares a Suchitoto, se le asigna el nombre “El Líbano 1” ya que se localiza en dicha comunidad, cercano al desvío que conduce de la carretera al cantón Buena Vista. En la figura 3.10 se distinguen 3 capas definidas por el contraste de resistividades:

I. Resistividades $< 15 \Omega\text{m}$: La capa de menor resistividad y más somera, puede tener en esta sección un espesor máximo de hasta 30 metros y se asocia como un medio saturado debido a los valores de resistividad. Tomando en cuenta la litología descrita en los pozos ARAS y BUENA VISTA, se asocia a depósitos de “Piroclastos retrabajados”.

II. $15 \Omega\text{m} < \text{Resistividad} < 100 \Omega\text{m}$: Estrato de menor espesor (aproximadamente 10 m) que el más superficial, con resistividad variable entre los $15 \Omega\text{m}$ y los $100 \Omega\text{m}$. Se asocia este estrato a sedimentos aluviales.

III. Resistividad $> 100 \Omega\text{m}$: El estrato de mayor resistividad y más profundo puede tener un espesor considerable. Tomando en cuenta que se ha considerado una profundidad de 60 metros de exploración y con una capa base infinita. Se asocia este estrato con depósitos de colada de lava del cerro “Los Coyotes” según la información de los pozos más cercanos.

Material con alta resistividad aflora en superficie hacia el oeste de la tomografía eléctrica, según el mapa geológico en la zona afloran depósitos de “Andesitas superiores”. Sin embargo, esta anomalía podría deberse a material de construcción en superficie.

- TOMO 2 – EL LÍBANO 2

Desarrollada en dirección oeste-este, en la carretera que conduce de Aguilares a Suchitoto, se le asigna el nombre de “El Libano 2” ya que se localiza en dicha comunidad, cercano a las

instalaciones de ARAS. En la figura 3.11 se muestra el perfil de resistividades. Se distinguen 3 capas por sus resistividades:

I. Resistividad baja < 15 Ωm : Estrato superficial que podría alcanzar espesores de 30 m, considerado material saturado. Con base a la litología de pozos ARAS y BUENA VISTA, este estrato se asocia a “Piroclastos retrabajados”. Pozos cercanos confirman la saturación del material y el nivel freático podría encontrarse aproximadamente a 6 metros de profundidad.

II. 15 Ωm < Resistividad < 100 Ωm : Estrato con resistividad relativamente baja que podría asociarse a material poco consolidado o fracturado. De menor espesor que el estrato superficial, se asocia a depósitos de caída o sedimentos Aluviales, con base a las columnas litológicas de los pozos más cercanos.

III. Resistividad > 100 Ωm : Estrato profundo, consolidado y compactado, de espesor considerable que puede alcanzar hasta los 35 m. Se identifica este estrato como colada de lava, de la actividad volcánica del cerro “Los Coyotes”.

Al centro de la tomografía se observa una discontinuidad del material más profundo, esta anomalía podría estar asociada a una zona de fracturamiento o una falla. La localización de dicha anomalía podría estar asociada un sistema de fallas inferidas en el mapa geológico, con dirección SO-NE.

- TOMO 3 Y 4 - LAS GUARAS

Desarrollada en dirección oeste-este, en la calle que conduce de la comunidad El Trapichón hacia la comunidad La Asunción, en el cantón Haciendita, se le asigna el nombre de “Las Guaras” ya que así se le conoce a la localidad. En la figura 3.12 se muestra el perfil de resistividades para la TOMO3. Se distinguen 3 capas por sus resistividades:

I. Resistividad baja < 15 Ωm : Estrato superficial localizado al oeste de la tomografía y está asociada a la saturación del estrato por el uso de piscigranjas en la zona.

II. 15 Ωm < Resistividad < 40 Ωm : Estrato con resistividad relativamente baja que podría asociarse a material poco consolidado, de espesor considerable. Debido a la poca información en la zona (pozos perforados o excavados) no es posible la asignación de una descripción litológica, existe la posibilidad que sea material denominado “Depósitos poligenéticos de depresiones”. Según el mapa geológico en superficie deberían encontrarse “*Aglomerados piroclásticos tipo rana*”, a los cuales se les ha asociado una alta resistividad por ser rocas soldadas.

III. Resistividad > 40 Ωm : Representa anomalías verticales, y una anomalía transversal de forma circular. Debido a la interpretación utilizando la geología de la zona, es posible que sean depósitos rocosos de antiguas erupciones del volcán Guazapa.

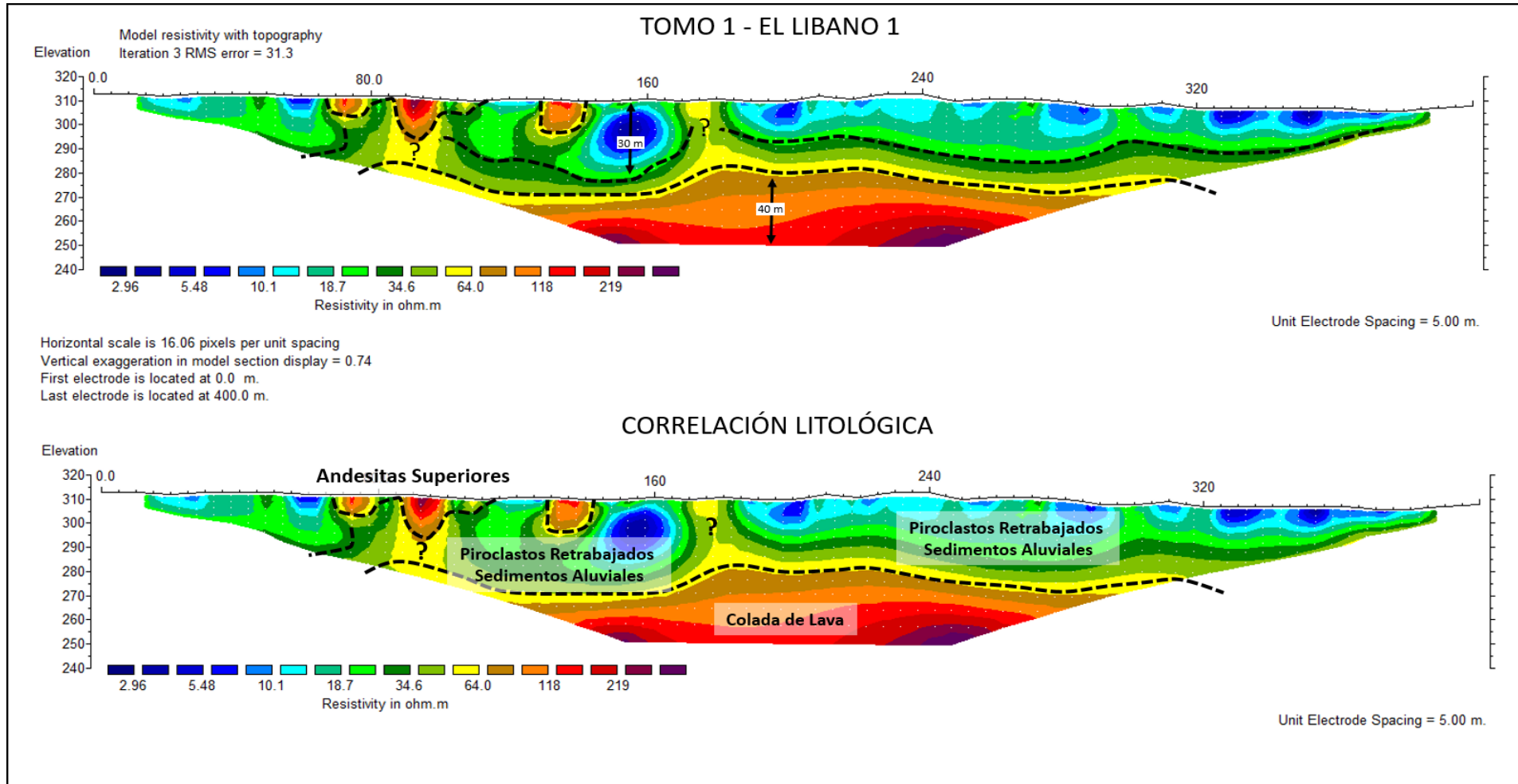


Figura 3.10 Sección transversal construida a partir del procesamiento y análisis de resultado de la tomografía eléctrica realizada el día 24/11/2017, denominado como TOMO 1: EL LIBANO 1. Ubicación: comunidad El Líbano, municipio de Suchitoto, Cuscatlán. La línea punteada negra representa un posible contacto de capas resistivas.

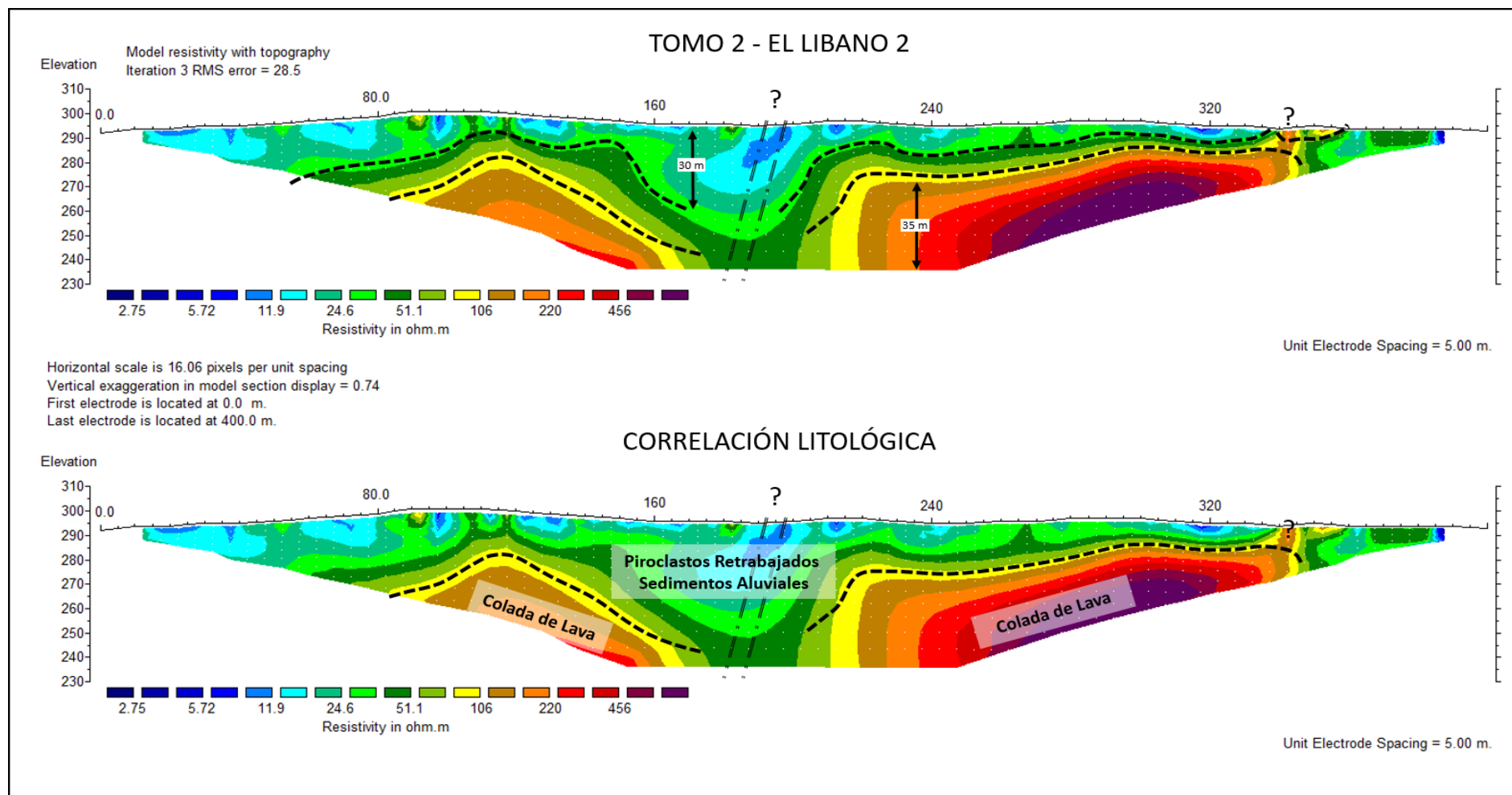


Figura 3.11 Sección transversal construida a partir del procesamiento y análisis de resultado de la tomografía eléctrica realizada el día 24/11/2017, denominada como TOMO 2: EL LIBANO 2. Ubicación: comunidad El Líbano, municipio de Suchitoto, Cuscatlán. La línea punteada negra representa un posible contacto de capas resistivas.

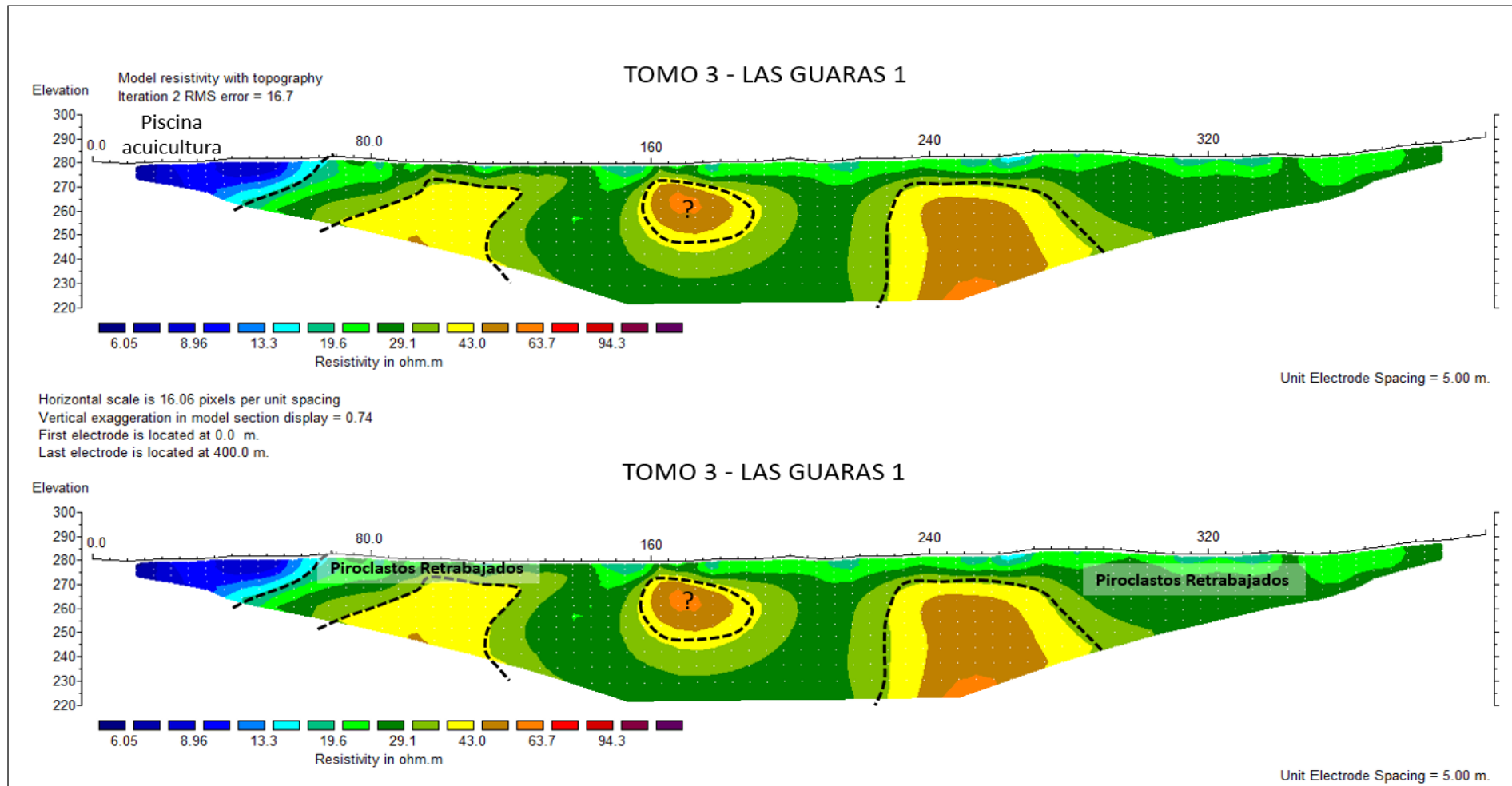


Figura 3.12 Sección transversal construida a partir del procesamiento y análisis de resultado de la tomografía eléctrica realizada el día 04/12/2017, denominada como TOMO 3: LAS GUARAS 1. Ubicación: Localidad Las Guaras, municipio de Suchitoto, Cuscatlán. La línea punteada negra representa un posible contacto de capas resistivas.

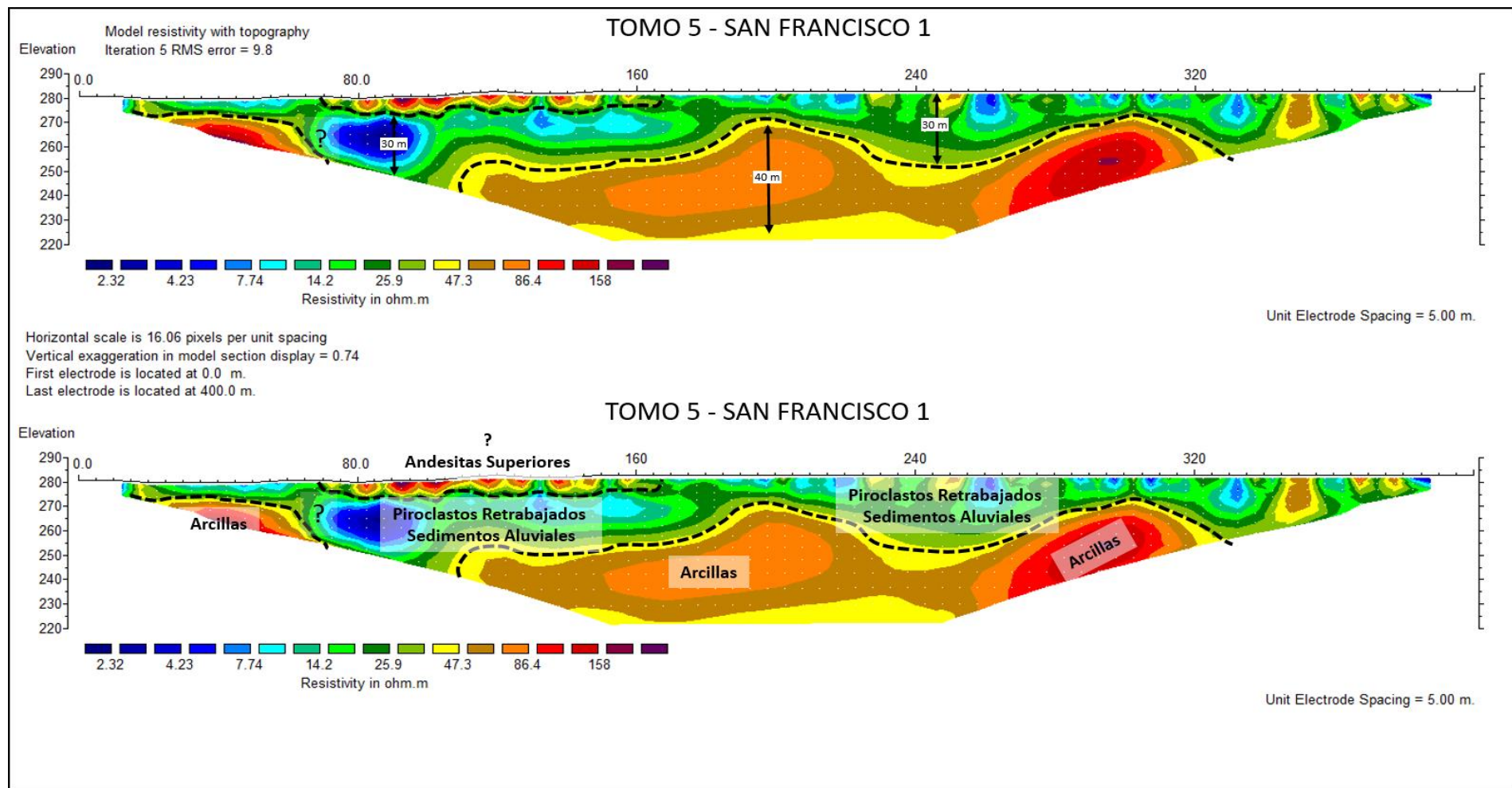


Figura 3.13 Sección transversal construida a partir del procesamiento y análisis de resultado de la tomografía eléctrica realizada el día 16/03/2018, denominada como TOMO 5: SAN FRANCISCO 1. Ubicación: comunidad San Francisco, municipio de Suchitoto, Cuscatlán. La línea punteada negra representa un posible contacto de capas resistivas.

- TOMO 5 – SAN FRANCISCO 1

Desarrollada en dirección oeste-este, en la carretera que conduce de Aguilares a Suchitoto, se le asigna el nombre de “San Francisco 1” ya que se localiza en cercano a la comunidad. En la figura 3.13 se muestra el perfil de resistividades. Se distinguen 2 capas por sus resistividades, que conforman un modelo de tres estratos:

I. Resistividad baja < 40 Ω m: Estrato superficial que podría alcanzar espesores de 30 m, considerado como material saturado. Con base a la litología de pozos ARAS y BUENA VISTA, este estrato se asocia a “Piroclastos retrabajados”. Pozos cercanos confirman la saturación del material y el nivel freático podría encontrarse entre los 2 y 10 metros de profundidad.

II. Resistividad > 40 Ω m: Se consideran dos materiales diferentes con resistividades similares. El estrato superficial, encontrado cercano al límite oeste de la tomografía, es de espesor menor a los 10 m. Considerando la correlación litológica y el mapa geológico, este material podría estar representado por “Andesitas superiores”. El estrato resistivo profundo, se encuentra distribuido sobre todo el perfil. Según la correlación litológica se asocia a material arcilloso, compactado, de espesor considerable que puede alcanzar hasta los 40 metros de espesor.

- TOMO 6 – SAN FRANCISCO 2

Desarrollada en dirección sur-norte, en la calle que conduce de la comunidad San Francisco a la hacienda El Trapichón, se le asigna el nombre de “San Francisco 2” ya que se localiza en cercano a la comunidad. En la figura 3.14 se muestra el perfil de resistividades. Se distinguen 3 capas por sus resistividades:

I. Resistividad baja < 30 Ω m: Estrato parcialmente superficial. De espesor considerable que puede alcanzar espesores mayores a los 30 m. El pozo excavado AMA-PE7-T6 cercano al límite sur, comprueba la saturación del material a una profundidad de 6 m. Este estrato corresponde, según la correlación litológica, a depósitos poligenéticos de depresiones.

II. 30 Ω m < Resistividad < 250 Ω m: Estrato profundo, de espesores cercanos a los 15 m. Con valores de resistividad relativamente altos está asociado según la correlación litológica a un estrato arcilloso. Una discontinuidad se observa al centro de la tomografía, la cual puede estar asociada a un sistema de fallas (inferidas en el mapa geológico) con dirección NO-SE en la zona.

III. Resistividad > 250 Ω m: Material muy resistivo aflora en superficie, del centro hacia el norte del perfil. Según el mapa geológico, correspondería con un depósito de “Andesitas superiores”. Al ser un material volcánico, se encuentra fuertemente soldado y poco fracturado, lo que produce una alta resistividad.

Mendieta, 2017 explica que para sistemas fracturados complejos, inmersos en materiales heterogéneos, inferir direcciones y buzamientos de sistemas de fracturas no es recomendado, principalmente por la anisotropía eléctrica que producen estos sistemas. Recomienda que, para obtener mejores resultados, se utilicen prospecciones eléctricas 3D.

3.4.3 Perfil Oeste - Este

Se ha incluido la información recolectada de las tomografías eléctricas para la construcción de perfiles. Al centro de cada tomografía se le ha asignado valores de profundidad aproximadas y descripción litológica según sus resistividades. La figura 3.15 presenta el perfil construido en dirección Oeste-Este, iniciando con la tomografía 6 “TOMO 6 – San Francisco 2” y finalizando en el pozo Buena Vista. Se identifica los siguiente:

- El estrato de depósito poligenéticos de depresiones, representado por piroclastos retrabajados y sedimentos aluviales, posee un espesor significativo principalmente en la planicie oeste de la zona de estudio. Pudiendo alcanzar espesores de 30m (TOMO 6) o más.
- El nivel freático (acuífero libre) se encuentra somero, evidenciado por pozos excavados cercanos. Según el análisis, los niveles piezométricos del acuífero libre y el acuífero poroso confinado se encuentran muy cercanos. Sin embargo, la información de la ubicación de las rejillas en cada pozo perforado, indican que estos no toman agua del acuífero libre.
- El flujo de lava que emanó del volcán monogenético “Los Coyotes”, aparentemente tuvo una dirección hacia el NE, ya que no se evidencia en la TOMO 5 y TOMO 6.

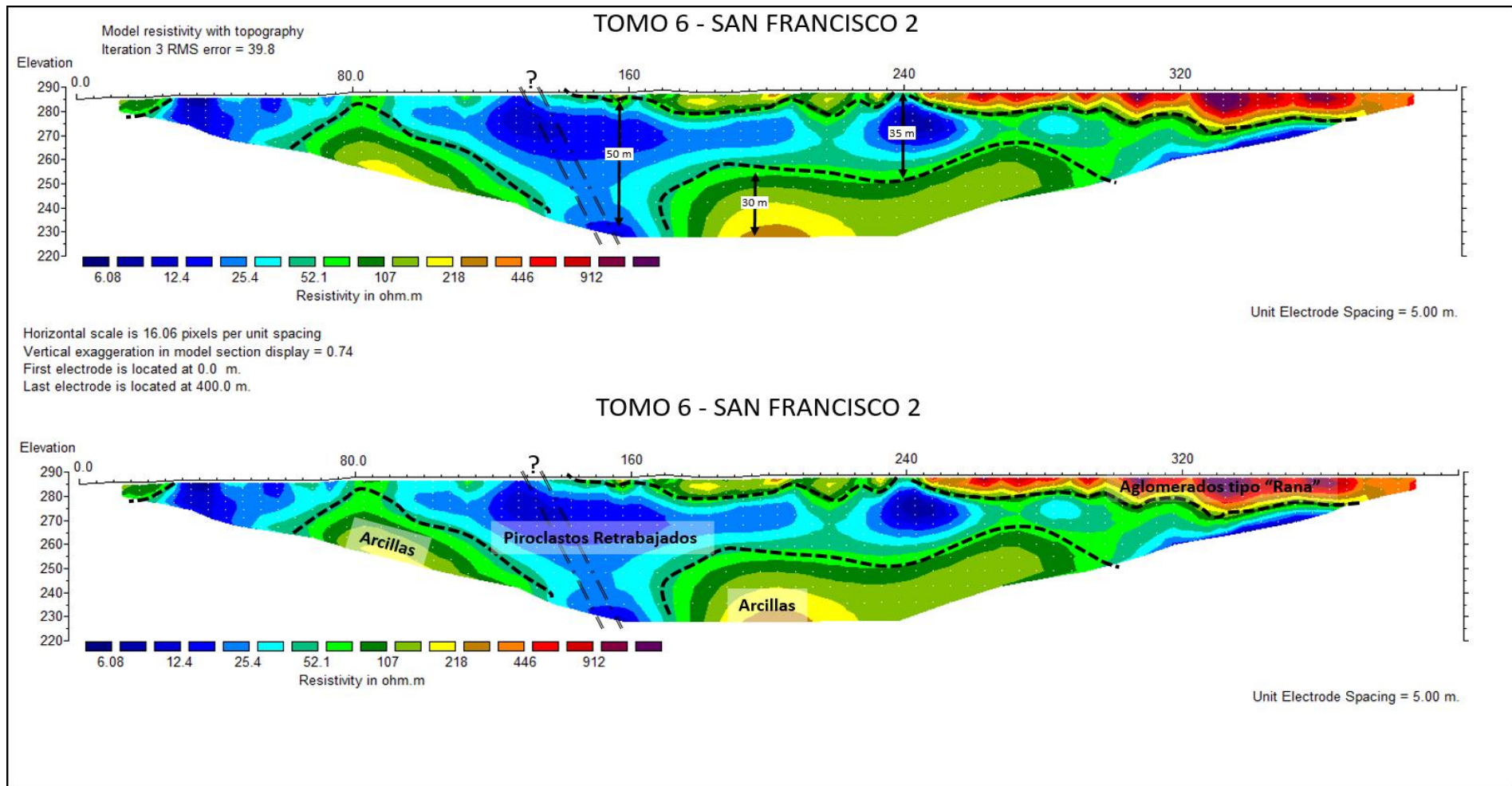


Figura 3.14 Sección transversal construida a partir del procesamiento y análisis de resultado de la tomografía eléctrica realizada el día 16/03/2018, denominado como TOMO 6: SAN FRANCISCO 2. Ubicación: comunidad San Francisco, municipio de Suchitoto, Cuscatlán. La línea punteada negra representa un posible contacto de capas resistiva

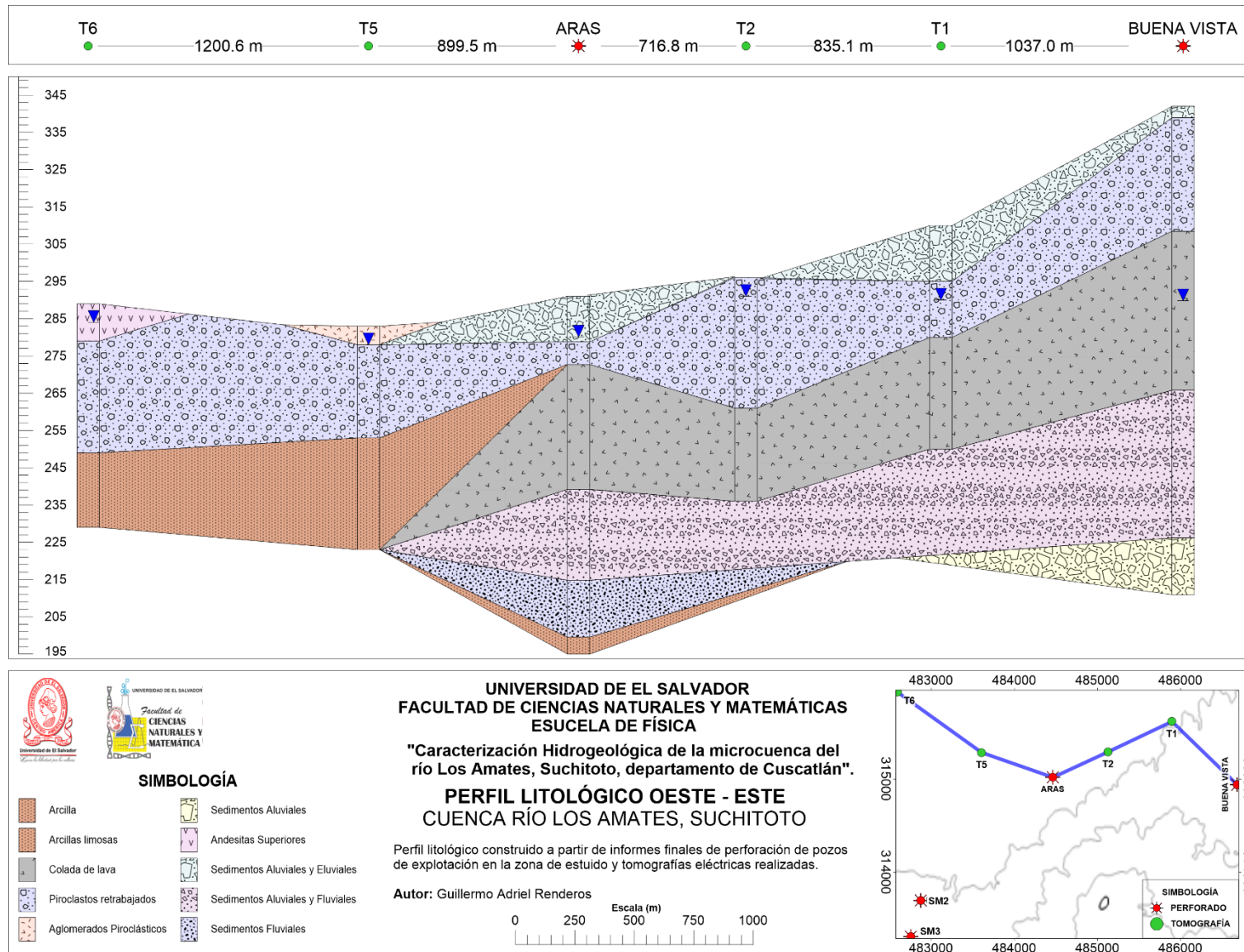


Figura 3.15 Perfil litológico Oeste-Este, construido con la información de los pozos SANTA MARTA 2, ARAS Y BUENAVISTA, además de incluir las tomografías eléctricas TOMO 1, TOMO2, TOMO 5 Y TOMO6.

3.4.4 Perfil Sur - Norte

Al igual que el perfil Oeste-Este, se ha incluido la información recolectada de las tomografías eléctricas para la construcción del perfil. La figura 3.16 presenta el perfil construido en dirección Sur-Norte, iniciando con el pozo SANTA MARTA 3 y finalizando en TOMO 6. Se identifica los siguiente:

- El estrato de depósito poligenéticos de depresiones, representado por piroclastos retrabajados y sedimentos aluviales, posee un espesor significativo principalmente en la planicie oeste de la zona de estudio. Pudiendo alcanzar espesores de 30m (TOMO 6) o más. Este estrato disminuye a medida se acerca a la zona de deposición de aluviales o conos de deyección (SANTA MARTA 3).
- El nivel freático (acuífero libre) se encuentra somero, evidenciado por pozos excavados cercanos. Según el análisis, los niveles piezométricos del acuífero libre y el acuífero poroso confinado se encuentran muy cercanos, lo que podría dar la idea que son el mismo acuífero. Sin embargo, la información de la ubicación de las rejillas en cada pozo perforado, indican que estos no toman agua del acuífero libre.
- El flujo de lava que emanó del volcán monogenético “Los Coyotes”, aparentemente tuvo una dirección hacia el NE, ya que únicamente se observa en el pozo SANTA MARTA 2.
- La formación de arcillas está asociada principalmente la meteorización de lavas del volcán Guazapa y otros depósitos de origen volcánico.
- Un estrato rocoso profundo se evidencia en las columnas de los pozos SM3 Y SM2. Este material volcánico está asociado a eventos eruptivos del estratovolcán Guazapa, y podría encontrarse subyaciendo en la base de todos los estratos.

No se ha podido crear un perfil en dirección hacia las Guaras, donde fueron realizadas las tomografías 3 y 4, ya que los materiales no pueden identificarse únicamente por los valores de resistividad, ya que las anomalías tienden a tener un arreglo sub vertical. Por lo que es considerable realizar más estudios de prospección en la zona entre las localidades de La Asunción y Las Guaras.

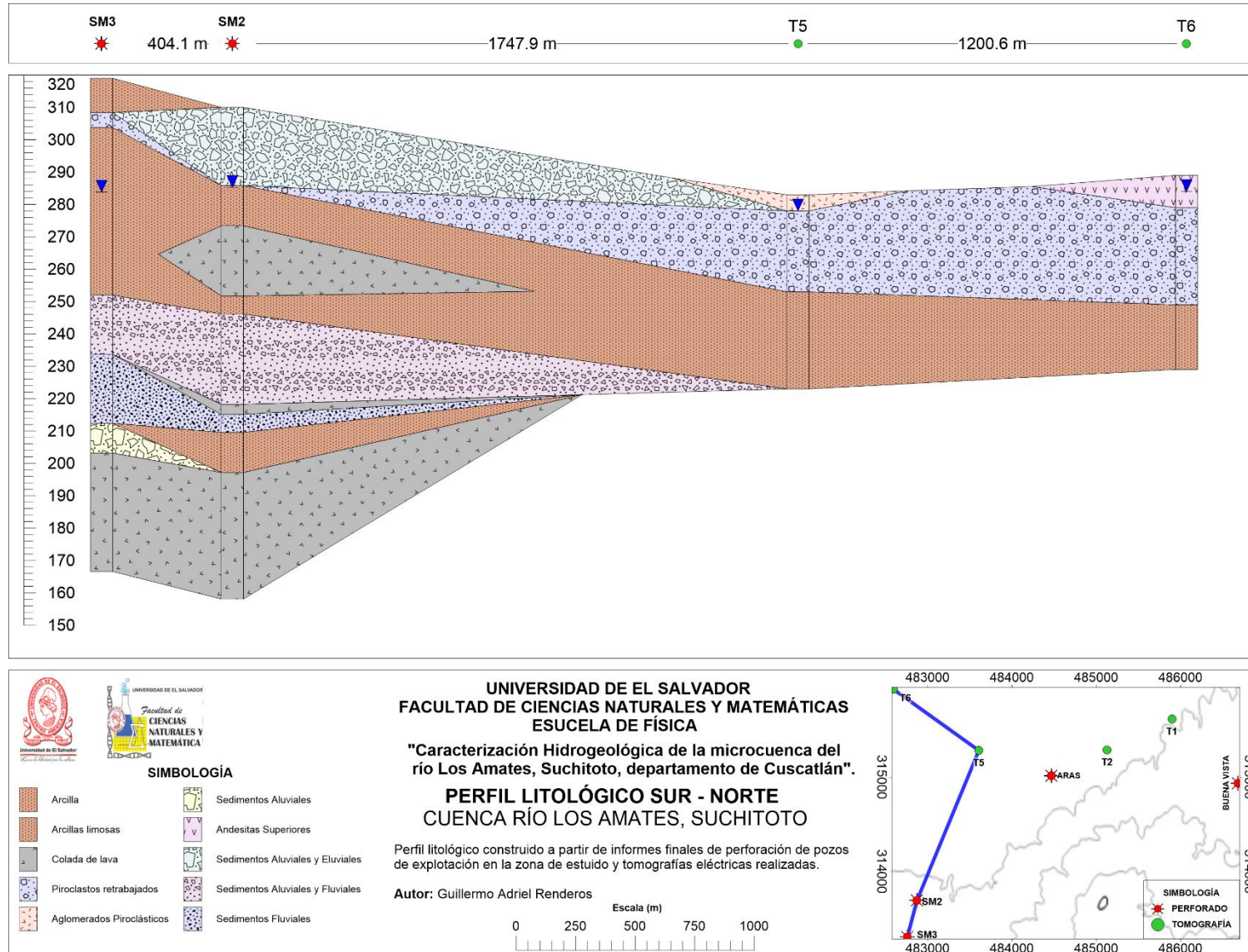


Figura 3.16 Perfil litológico Sur-Norte, construido con la información de los pozos SM3, SM2, además de incluir las tomografías eléctricas TOMO 5 Y TOMO6.

3.5 MODELO HIDROGEOLÓGICO CONCEPTUAL

A partir de la información recopilada en la investigación, el esquema de la figura 3.17 muestra el modelo hidrogeológico generado para la cuenca del río Los Amates. Para la cuenca del río Los Amates se distinguen 4 acuíferos:

3.5.1 Unidad Acuífera: Acuífero volcánico fisurado superficial

Compuesto geológicamente por coladas de lava del estratovolcán Guazapa. Principalmente de porosidad secundaria (fracturas). La dirección de flujo preferencial del acuífero es hacia el noreste y aflora en superficie en sistemas de falla y marca el límite del estrato geológico. Se desconoce el espesor total del acuífero así como valores de transmisividad y coeficiente de almacenamiento. Toma de datos de caudal de los manantiales podría ayudar a estimar propiedades. El área de recarga del acuífero está definida como la zona alta del volcán. Para la cuenca, se estima que la recarga potencial a este acuífero es de $0.88Mm^3/año$. Observaciones en campo en los manantiales ubicados en la cuenca (*MAN10-QML* y *MAN15-PAVAS*) indican que el caudal es bajo y no tienen ningún aprovechamiento, sin embargo, en el cantón El Zapote es utilizado para el abastecimiento de comunidades.

3.5.2 Unidad acuífera: Acuífero poroso libre

Compuesto geológicamente por depósitos poligenéticos de depresiones y sedimentos aluviales recientes (conos de deyección). Todos los pozos excavados obtienen el recurso de esta unidad. Los manantiales evidencian la presencia de sistemas de fallas e incluso actividad hidrotermal (*MAN16-CSM*). La dirección preferencial del flujo es hacia el noroeste, evidenciado por manantiales al noroeste de la zona de estudio (*MAN 13-CLM*). El espesor aproximado de este acuífero es de 30 m, teniendo mayor espesor al noroeste de la cuenca, en las cercanías del río Acelhuate. Nováková (2007) asigna a este acuífero una transmisividad de $174 m^2/día$. Un estudio hidrológico más detallado podría ayudar a obtener otros parámetros físicos del acuífero y su aporte a la red hídrica superficial. La recarga potencial del acuífero es $4.47Mm^3/año$, y la textura del suelo en esta zona permite una mayor infiltración en comparación con suelos arcillosos. Tomografías eléctricas comprueban el nivel piezométrico, el cual varía entre los 2 y 10 m de profundidad.

3.5.3 Unidad Acuífera: Acuífero poroso confinado

Compuesto geológicamente por depósitos fluviales y depósitos aluviales antiguos (conos de deyección fósiles). Los pozos perforados de los cuales se ha obtenido información obtienen el recurso de este acuífero. La dirección preferencial del flujo es hacia el oeste noroeste y el nivel piezométrico muestra poca variación entre los pozos, aproximadamente a 280 m.s.n.m. El acuífero posee un espesor promedio de 30 m. Valores de Transmisividad para este acuífero se encuentran entre los $4.47 \times 10^7 m^2/día$ y los $7.42 \times 10^8 m^2/día$. Los valores del coeficiente de almacenamiento son ambiguos; los valores no están asociados a un solo acuífero, debido a que en el diseño de los pozos hay evidencia de rejillas abiertas en más de un acuífero. El coeficiente de almacenamiento varía entre 0.1 (usualmente calificador de acuíferos libres) hasta valores de 1×10^{-9} (Calificador de un acuífero confinado). No es posible asignar un valor de recarga potencial, ya que el balance de suelos está dado para el estrato más superficial. Es posible que el estrato geológico suprayacente a esta unidad sea un medio que permita una infiltración posiblemente más lenta, lo cual no ha sido comprobado en esta investigación. Metodologías como el cálculo de la recarga por variaciones de nivel en pozos de observación podrían arrojar valores de recarga, sin embargo, hasta la fecha no existe ningún mecanismo de medición autónomo o controlado de alturas de nivel.

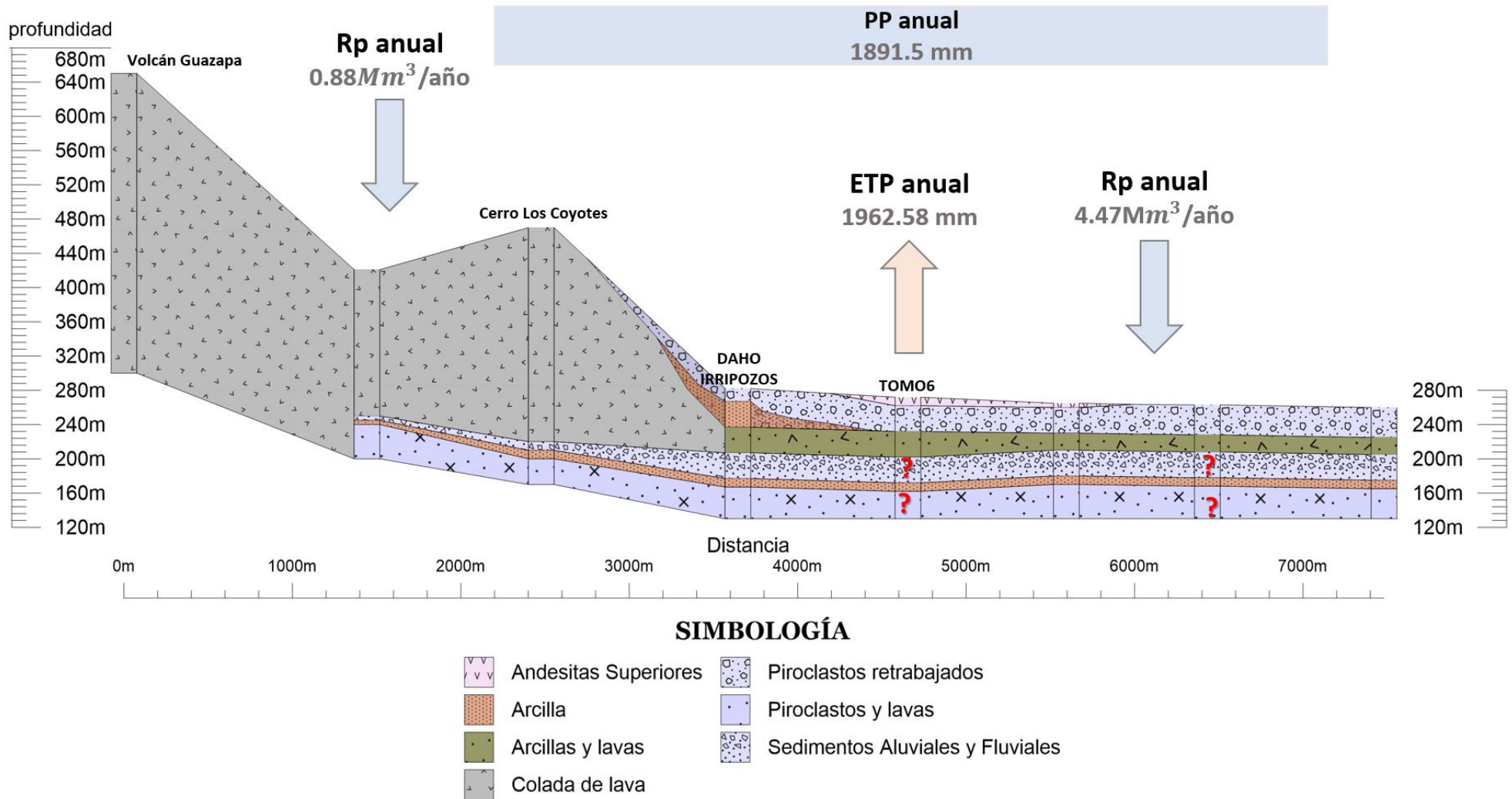


Figura 3.17 Esquema del modelo hidrogeológico de la cuenca del río Los Amates, municipio de Suchitoto, departamento de Cuscatlán.

La zona de recarga superficial de este acuífero no se evidencia en esta investigación. Una posible alternativa para definirla podría ser la caracterización química de muestras de agua (parte de las componentes de un modelo hidrogeológico conceptual). Sin embargo, dicha metodología no se ha llevado a cabo durante el desarrollo de la investigación.

3.5.4 Unidad Acuífera: Acuífero volcánico profundo

Evidenciado en las columnas litológicas de los pozos ubicados en la hacienda Santa Marta. Compuesto geológicamente por productos volcánicos, coladas de lava y material piroclástico proveniente de antiguas erupciones del estratovolcán Guazapa. Parámetros físicos de nivel piezométrico, dirección del flujo, zona de recarga, transmisividad, etc., no se han podido obtener. La profundidad total del acuífero tampoco está definida.

3.5.5 Rocas no acuíferas

Estos estratos geológicos compuestos principalmente por arcillas compactas y coladas de lava basáltica compactas funcionan como techos y pisos de las rocas acuíferas. Sus espesores varían entre los 10 m hasta los 30 m aproximadamente. La identificación de la permeabilidad de dichos estratos podría ayudar a estimar la recarga a los acuíferos subyacentes de los acuíferos superiores.

CONCLUSIONES

La cuenca del río Los Amates, ubicada en el municipio de Suchitoto, departamento de Cuscatlán, está caracterizado por 4 unidades acuíferas, dos de ellas porosas y dos de ellos compuestos por materiales volcánicos. Rocas no acuíferas funcionan como posibles acuitados entre las unidades acuíferas. El acuífero poroso superficial constituido por depósitos poligenéticos de depresiones y sedimentos aluviales se encuentra en la planicie del valle entre el estratovolcán Guazapa y el embalse cerrón grande, con espesores que alcanzan aproximadamente 30m, con un flujo preferencial hacia el noroeste. El nivel piezométrico se localiza aproximadamente a 275 y 390 msnm en el valle de la cuenca. En las laderas del volcán afloran manantiales que evidencian la presencia de un acuífero volcánico fisurado, con un flujo radial, preferencialmente hacia el noreste.

La precipitación promedio anual en la cuenca es de 1891.5 mm al año, y una evapotranspiración de 1962.58 mm al año. El valor de la recarga potencial, calculado para toda la cuenca, es de $5.35 \text{ Mm}^3/\text{año}$. El acuífero superficial poroso recibe un 83.4% de la recarga total, con $4.47 \text{ Mm}^3/\text{año}$ en un área aproximada de 26 km^2 . El acuífero volcánico fisurado superficial aproximadamente recibe un 16.6% de la recarga total anual, con $0.88 \text{ Mm}^3/\text{año}$, en un área ronda los 14 km^2 . Sin embargo, debido a la complejidad de los estratos geológicos y las unidades hidrogeológicas, los valores recarga reales pueden diferir a los calculados.

Se ha clasificado la textura de suelo en dos tipos: suelos franco arenosos y suelos franco arcillosos. Lo anterior, a través de pruebas de infiltración y análisis granulométrico de muestras de suelo. Los factores que decisivos en el cálculo del balance de suelos, y por lo tanto del valor calculado de la recarga potencial, es en primer lugar la textura del suelo asignado seguido por el uso de suelo en la zona.

El uso de suelos en la cuenca ha sido variable entre 1996 y 2018. Teniendo un incremento de áreas con cultivos de caña (especies de caña de azúcar y A. Donax). Sustituyendo cultivos de granos básicos y pastos naturales. Principalmente los cultivos de caña son quemados para su cosecha y rociados con pesticidas, lo que podría ser un factor que indica una vulnerabilidad al acuífero superficial. Las plantaciones de Arundo donax se consideran de relevancia ya que son regados durante gran parte de la estación seca, con 5 mm de espesor en un área aproximada de 2 km^2 (4.8% del área total de la cuenca). A lo anterior se adiciona los altos valores de evapotranspiración de estos cultivos, lo que podría reducir la infiltración al acuífero superficial. Los bosques naturales también se han visto reducidos, y erosión del suelo en la parte alta de la cuenca es evidente. En estación seca es habitual incendios poco controlados debido al difícil acceso a la zona.

Los resultados de las tomografías eléctricas identifican valores promedios de resistividades para los estratos superficiales en la zona de estudio. Valores menores a $30 \Omega\text{m}$ está asociado a material saturado y poroso. Resistividades mayores indican la presencia de materiales más compactos y poco permeables, asociados a arcillas y coladas de lava. Análisis de secciones transversales de resistividad indican la posible presencia de fallas en zonas donde el mapa geológico infiere, sin embargo, se requiere mayor estudio en la zona para detallar posible dirección, abertura y el buzamiento de estas.

La información litológica indica que los pozos perforados toman el recurso hídrico del acuífero poroso confinado y volcánico profundo. La dirección preferencial del flujo en la

zona donde están ubicados es hacia el oeste noroeste y posee un nivel piezométrico aproximado de 280 m.s.n.m. tomografías. Datos bibliográficos arrojan valores muy diferentes de coeficiente de almacenamiento, lo que pone en duda ya sea el diseño del pozo *PPI-ARAS* o del cálculo del coeficiente mismo. Los valores de Transmisividad $4.47 \times 10^7 \text{ m}^2/\text{día}$ y los $7.42 \times 10^8 \text{ m}^2/\text{día}$. No se identifica la zona o mecanismo de recarga a este acuífero. El espesor aproximado entre la comunidad San Francisco y la comunidad El Líbano es de 30 m.

El valor de la recarga potencial representa el límite máximo de extracción de un acuífero superficial. Sin embargo, este valor está asociado a los acuíferos superficiales de la cuenca. No es posible asociarse a extracciones de pozos perforados ya que ninguno de estos tiene rejillas abiertas en dicha unidad acuífera.

RECOMENDACIONES

Basado en el proceso metodológico seguido, en los resultados y en el análisis realizado, se proponen las siguientes recomendaciones:

Para la investigación.

Mejorar los protocolos de análisis granulométricos de muestras de suelo aumenta la certeza de los resultados de recarga potencial, ya que la textura del suelo es uno de los factores que afectan los resultados obtenidos. Entre dichos protocolos incluyen la toma de muestras, el tratamiento previo al análisis y el procesamiento de la muestra por tamizado.

La zona de estudio está caracterizada por un tectonismo fuerte, fallas inferidas en la zona pueden ser estudiadas con métodos geofísicos de resistividades que muestran un potencial para la exploración. Sondeos Eléctricos verticales de mayor espaciamiento (AB) permitirían mejorar la identificación de estratos profundos.

La realización de un estudio hidrológico el agua superficial podría arrojar resultados cuantitativos de la relación entre la escorrentía superficial y el acuífero libre. La toma de datos de caudales de manantiales es importante en este proceso.

Un análisis de la caracterización química de muestras de todos los puntos de agua identificaría las características químicas de las mismas y una mejor asociación a unidades acuíferas, así como la identificación de las zonas de recarga para dichas unidades.

Obtener valores de salida del sistema. Únicamente se han analizado entradas naturales y no se ha incluido valores de extracción del recurso, principalmente de los pozos de explotación. Por lo que para evidenciar si el sistema se encuentra bajo estrés hídrico o no, no ha sido alcanzado en la investigación.

Para trabajos e investigaciones futuras

El cambio climático y su influencia sobre los cuerpos de agua, tanto subterráneos son evidentes en todo el mundo. Crear sistemas y proyectos de monitoreo de ciertas variables físicas ayudarían a obtener mejores estimaciones e incluso modelos numéricos sofisticados. Por lo que se recomienda la inclusión de programas que busquen la toma de datos meteorológicos (temperatura, humedad, etc) así como también la inclusión sistemas de medición del recurso hidrológico e hidrogeológico, como un medido de nivel piezométrico en los pozos perforados lo que propiciaría a obtener datos del valor de la recarga al acuífero poroso confinado.

Mejorar la selección de uso de suelo en la cuenca es importante, un crecimiento cada vez mayor de cultivos con fuertes repercusiones en los suelos ha sido observado. Por lo que mejorar o delimitar en base a información científica zonas para cultivos, pastos y bosques, permitiría un mayor balance en el sistema hídrico.

Incluir estudios de vulnerabilidad y efectos del cambio climático de los acuíferos podría permitir mejorar el manejo y la gestión del recurso, de forma que sea de interés multisectorial de todos los organismos interesados en la zona.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFÍA

- ABEM Instrument, A. (2009). Instruction Manual Terrameter SAS 4000/ SAS 1000. Sweden.
- ANDA. (2011). Mapa Hidrogeológico de El Salvador. San Salvador, El Salvador.
- Anderson, M., & Woessener, W. (2015). *Applied Groundwater Modeling: Simulation of flow and advective transport. 2nd Ed.* Londres: ELSEIVER.
- Astier, J. (1975). *GEOFÍSICA APLICADA A LA HIDROGEOLOGÍA*. Madrid: MASSON.
- Baxter, S. (1984). *Lexico Estratigráfico de El Salvador*. San Salvador: CEL.
- Burger, H. R., Anne, F. S., & Craig, H. J. (2006). *Introduction to applied Geophysics*. New York: Norton.
- Castro, L. C. (2002). *Informe final del pozo 1. Caserio El Libano Cantón Buena Vista, Suchitoto, departamento de Cuscatlán*. San Salvador: La Casa Castro.
- Chow, V. T., Maldment, D., & Mays, L. (1988). *APPLIED HYDROLOGY*. Singapur : McGraw-Hill.
- CNR. (1996). Mapa de Uso de Suelos. San Salvador, El Salvador.
- Cuadra, C., & Romero, D. (2006). *Aplicación de Biomonitores para evaluar la contaminación por metales pesados en el lago de Suchitlán* . San Salvador: Universidad de El Salvador.
- Custodio, E., & Llamas, M. R. (2001). *Hidrología Subterránea. Tomo I & II*. Barcelona: OMEGA S.A.
- DAHO. (Febrero de 2014). COLUMNA LITOLÓGICA DE POZO PERFORADO.
- Davie, T. (2008). *FUNDAMENTALS OF HYDROLOGY, 2nd ed.* New York: Routledge.
- Deltoro, V., Vilán, X. M., Ruíz, J., & Jesús. (2012). BASES PARA EL MANEJO Y CONTROL DE ARUNDO DONAX L. (Caña Común). *COLECCIÓN DE MANUEALES TÉCNICOS BIODIVERSIDAD, UNIÓN EUROPEA*.
- Demirel, S., Delphine, R., James, I., & Voytek, E. (2018). Characterizing Near-Surface Fractured-Rock Aquifers: Insights Provided by th Numerical Analysis of Electrical Resistivity Experiments. *Water*, 20, 2.
- Digonzelli, P., & Romero, E. (2014). La caña de azúcar y la disponibilidad hídrica. *EEAOC*.
- Fetter, C. W. (2001). *Applied Hydrogeology. 4th Ed.* New Jersey: Prentice Hall.
- Gabriels, D., Lobo, D., & Pulido, M. (2014). Métodos para determinar la conductividad hidráulica saturada y no saturada de los suelos. *Venesuelos*, 7-22.
- Hernandez, R., & Ernesto, R. (2013). *Análisis de la Sostenibilidad de los Operadores de Sistemas de Agua Potable y Saneamiento en el municipio de Suchitoto, departamento de Cuscatlán*. San Salvador: Universidad de El Salvador.
- Hradecky, P., Baratoux, L., Havlicek, P., Guevara, M., Hernandez, W., Kopacova, V., . . . Vorel, T. (2004). *Estudio de los Peligros Geológicos en los departamentos de La Libertad, San Salvador y Cuscatlán, El Salvador*. Praga, San Salvador: CGS.
- DAHOPOZOS. (2013). *INFORME FINAL DE POZO EXPLORATORIO "POZO CANTÓN BUENA VISTA, MUNICIPIO DE SUCHITOTO, CUSCATLÁN"*.

- IRRIPOZOS. (2014). *INFORME FINAL DE POZO: "POZO N°1 HACIENDA SANTA MARTA, MUNICIPIO DE SUCHITOTO, CUSCATLÁN"*.
- Kearey, P., Michael, B., & Hill, I. (2002). *An Introduction to Geophysical Exploration, 3rd Ed.* USA: Blacwell Science.
- MAG-UES. (2010). Mapa de Uso de Suelos . San Salvador, El Salvador: Facultad de Agronomía.
- MARN. (Octubre de 2016). INFORME HIDROGEOLOGICO "EVALUACIÓN DEL ACUÍFERO DEL MUNICIPIO DE SUCHITOTO CON INCIDENCIA EN LA HACIENDA SANTA MARTA. El Salvador.
- Mendieta, A. (December de 2017). SEISMIC REFRACTION AND ELECTRICAL RESISTIVITY TESTS FOR FRACTURE INDUCED ANISOTROPY IN MOUNTAIN WATERSHED. Boise State University.
- Milsom, J. (2003). *Field Geophysics. 3rd Ed.* West Sussex: WILEY.
- MINSAL. (2009). *NORMA SALVADOREÑA OBLIGATORIA NSO 13.07.01;08.* El Salvador: Diario Oficial.
- Misión Geológica Alemana. (1978). MAPA GEOLÓGICO DE LA REPUBLICA DE EL SALVADOR. San Salvador, El Salvador.
- Nováková, D. (2007). A hydrogeological study of the northern parts of the La Libertad, San Salvador, and Cuscatlán District in El Salvador: a regional and integrated study. *Enviromental Geology Journal*, 27 - 33.
- QGIS. (01 de 03 de 2017). *QGIS*. Obtenido de <http://www.qgis.org/es/site/>
- Ronning, J. S., Ganerod, G. V., Dalsegg, E., & Reiser, F. (21 de December de 2013). Resistivity mapping as a tool for identification and characterisation of weakness zones in crystalline bedrock: definition and testing of an interpretational model. Norway: Springer.
- SAGRISA. (2013). *REPORTE DE AFORO DEL POZO PARA TEXTUFIL - HACIENDA SANTA MARTA.*
- Sanchez, F. J. (2011). Prespección Geofísica: Sondeos eléctricos verticales. Universidad d Salamanca.
- Sánchez, F. J. (22 de marzo de 2017). *Hidrología e Hidrogeología*. Obtenido de Departamento de Geología, Universidad de Salamanca: <http://hidrologia.usal.es/>
- Schosinsky, G. (2006). CALCULO DE LA RECARGA POTENCIAL DE ACUÍFEROS MEDIANTE UN BALANCE HÍDRICO DE SUELOS. *Revista Geológica de América Central*, 13-30.
- Schosinsky, G., & Losilla, M. (Agosto de 2000). MODELO ANALÍTICO PARA DETERMINAR LA INFILTRACIÓN CON BASE EN LA LLUVIA MENSUAL. 43-55. Costa Rica: Revista Geológica de América Central.
- SNET. (s.f.). Mapa de clasificación de zonas climáticas de El Salvador. San Salvador: SIG-SNET.
- SOILMOISTURE. (s.f.). GUELPGH PERMEAMETER CALCULATIOR SPREADSHEET. Soilmoisture Equipment Corp.

Telford, W. (1990). *APPLIED GEOPHYSICS*. New York: Cambridge University .

Villanueva, G. L. (2016). *Arundo donax L. como gramínea perenne para la producción de biomasa en ambiente Meditteráneo*. Barcelona: Universitat de Barcelona.

ANEXO 01: Información Meteorológica**Precipitación acumulada mensual registrada en la estación C8-San Francisco**

AÑO	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPTIEMBRE	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DICIEMBRE
1980	0	0	0	5	242	348	270	484	273	123	3	0
1981	1	0	31	4	216	311	496	203	440	259	9	9
1982	34	47	16	52	274	531	181	100	331	93	73	37
1983	0	1	4	69	193	187	251	222	248	230	30	32
1984	8	0	0	33	175	286	420	444	241	125	2	0
1985	0	0	6	116	188	223	340	354	226	150	60	3
1986	0	0	1	91		215			281	118	107	0
1987	0	1	66	62	97	442	407	288			7	
1988	0		28	131	167		299	300	188	235	51	0
1989	0	0	0	243	196	334	421	392	347	291	76	0
1990	6	16	2	185	296	417	504	322	357	225	53	0
1991	0	0	0	90	181	394	165	372	359	355	30	52
1992	0	0	7	47	70	437	522	375	449	120	11	2
1993	3	0	3	26	276	262	302	395	330	163	2	0
1994	0	4	19	298	254	161	134	583	105		28	1
1995	0	0	14	107	161	336	344	285	428	130	6	5
1996	0	0	16	118	177	503	453	398	315	127	16	0
1997	39	20	25	31	344	272	216	202	304	42	82	27
1998	0	0	14	0	121	246	394	430	65	329	200	0
1999	0	1	21	47	294	319	399	517	239	249	11	8
2000	0	0	4	78		225	104		286			
2001												
2002										218	73	0
2003	0		35.2	0	294	248.4	318.7	387	890.4	123	25.6	0

AÑO	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPTIEMBRE	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DICIEMBRE
2004	0	0	42.8	110.9	687.8	490.4	421.7	299.7	636.7	334.6	49.1	12.1
2005	0	0	13.8	62.9	255.2	476.9	175.7	192.5	315	235	16	5
2006	3	0	71	227	287	454	461	225	418	166	110	
2007	0	0	23	178	211	140	318	389	372	118	0	0
2008	0	14	7	52	111	408	407	377	272	177	0	0
2009	2	5	2	0								21
2010	0	0	8	72	488	412	424	517	280	6	0	0
2011	2	78	29	32	145	287	528	272	245	485	30	0
2012	0	0	16	16	393	273	220	552	329.3	185.7	0	26.6
2013	0	7.8	0	84.5	169.9	308.2	191.3	323.2	222.6	342.8	47.6	0
2014	0	0	3.1	69.3	268.9	196.8	150.1	364.2	323.5	176.8	43.2	2.9
2015	0	0	4.8	108.9	89.2	104.3	124.5	161.5	375.6	351.6	139.2	0
2016	0	0	4.5	23.6	90.1	271.6	400.1	235.9	271.1	173.2	2.6	6
2017	0	5.8	27.9	5	182.8							

Valores promedio de ETP mensual para la serie de datos 1970 -2001 para las estaciones G03, G12 y B10, propiedad del MARN.

CÓDIGO	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPTIEMBRE	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DICIEMBRE	TOTAL
G03	150.85	142.15	142.49	151.10	156.97	195.80	199.71	190.63	160.48	167.72	166.03	149.69	1973.61
G12	144.66	138.03	140.48	150.38	157.15	194.64	197.04	183.69	156.33	159.29	157.93	143.87	1923.49
B10	152.31	141.01	140.01	147.27	155.37	195.43	199.43	191.28	169.36	175.06	171.41	152.71	1990.64
PROMEDIO	149.27	140.40	140.99	149.58	156.50	195.29	198.73	188.53	162.05	167.36	165.12	148.76	1962.58

Temperatura promedio mensual registrada en la estación C8-San Francisco

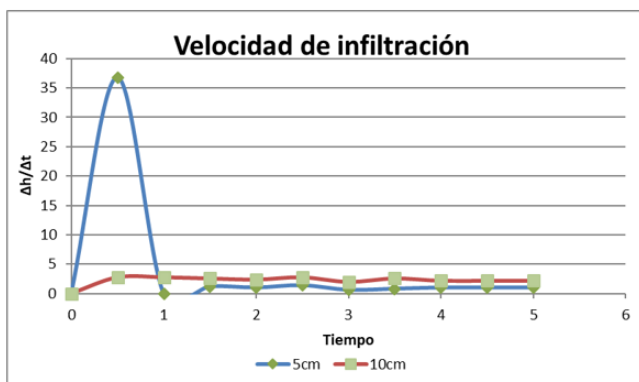
ÑO	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPTIEMBRE	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DICIEMBRE
1969			26.7	27.6	27.2	25.7	25.3	24.7	24.7	25.0	24.5	24.6
1970	23.0	24.6	26.4	28.7	27.0	26.1	25.1	25.0	24.7	25.5	23.5	24.2
1971	24.0	26.0	26.8					24.7	24.5	25.0	23.7	24.0
1972	24.8	24.5	25.4	26.5	26.5	25.6	25.4	24.8	25.2	25.1	24.9	24.3
1973	24.8	25.1	27.3	27.8		25.7	25.0		25.1	24.5	24.6	22.7
1974	25.2	24.5	25.1	27.3	26.6	25.0	24.9	24.9	24.4	23.9	24.2	24.0
1975	25.2	25.2	26.7	28.2	26.9	25.8	25.1	24.6	24.3	24.3	23.7	22.1
1976	22.9	23.9	26.8	27.2	25.8	25.1	25.1	25.3	25.2		24.5	24.3
1977	23.3	26.0	27.2	27.0	26.0	25.1	25.7	25.0	25.4		24.6	24.8
1978	24.2	25.2	27.0	28.0	27.4	23.7	24.8	25.2	24.9	24.6	25.3	25.0
1979	24.3	26.5	27.5	27.6	27.0	25.7	25.7	25.5	24.9	25.4	24.9	24.0
1980	24.7	26.0	27.7	28.1	28.2	26.4	25.6	25.3	25.3	25.7	25.0	24.5
1981	24.4	26.5	27.9	28.4	27.4	25.8	25.8	25.7	26.0	25.5	25.6	25.7
1982	26.3	28.3	28.7	29.1	27.3	25.7	26.2	26.8	25.5	25.5	25.4	26.1
1983												
1984	26.4		28.4	29.3	26.6	26.2	25.4	25.0	25.1	26.4	24.3	25.0
1985	25.0	26.5	28.4	28.4	27.5	26.2	25.7	25.8	25.7	26.1	25.2	25.0
1986						26.4	25.6	26.2	25.7	25.4	25.9	24.9
1987	24.2	26.4	27.6	28.2	27.4	26.5	25.5	26.1			25.6	
1988	24.9		26.4	28.2	28.6		26.2	25.8	25.6	25.3	25.4	24.3
1989	26.3	24.2	26.4	28.4	27.1	26.2	25.6	26.1	25.8	25.1	26.1	24.9
1990	26.5	26.6	28.2	28.4	27.4	26.3	26.2	26.2	25.9	25.7	25.5	24.5
1991	25.8	26.1	27.8	29.2	27.4	27.0	26.8	26.6	26.5	25.1	24.1	23.8
1992	24.7	26.4	27.7	28.2	28.0	26.2	24.9	24.9	24.7	25.3	25.2	24.2
1993	24.5	25.7	25.6	27.7	26.8	25.7	25.4	25.1	24.8	24.8	24.2	23.3
1994	24.4	25.2	26.9	27.6	26.7	26.0	26.0	25.2	25.5		24.9	24.2
1995	24.5	25.6	27.0	27.2	27.0	26.3	27.1	25.4	24.9	25.1	25.4	24.7
1996	23.7	25.0	25.9	25.8	26.2	26.0	25.4	25.0	25.5	25.1	24.4	23.8
1997	24.0	24.4	26.7	27.6	27.6	26.5	27.7	27.1	25.7	25.0	24.0	23.4
1998	25.2	26.0	27.3	29.0	28.5	27.3	26.2	26.5	25.6	25.1	24.2	23.4
1999	24.2	25.3	26.5	28.4	27.3	25.9	25.6	25.9	25.1	24.9	23.8	23.4
2000	23.5	25.1	27.3	28.3								

ANEXO 02: Pruebas de Infiltración

Datos de prueba de infiltración *Pinfl- El Líbano1*, realizada con permeámetro de Guelph.

EL LÍBANO 1

CARGA 5 CM				
Tiempo (min)	Δt (min)	Nivel de agua (cm)	Δh (cm)	$\Delta h/\Delta t$ (cm/min)
0	0	0	0	0
0.5	0.5	18.4	18.4	36.8
1	0.5	18.4	0	0
1.5	0.5	19	0.6	1.2
2	0.5	19.5	0.5	1
2.5	0.5	20.2	0.7	1.4
3	0.5	20.5	0.3	0.6
3.5	0.5	20.9	0.4	0.8
4	0.5	21.4	0.5	1
4.5	0.5	21.9	0.5	1
5	0.5	22.4	0.5	1



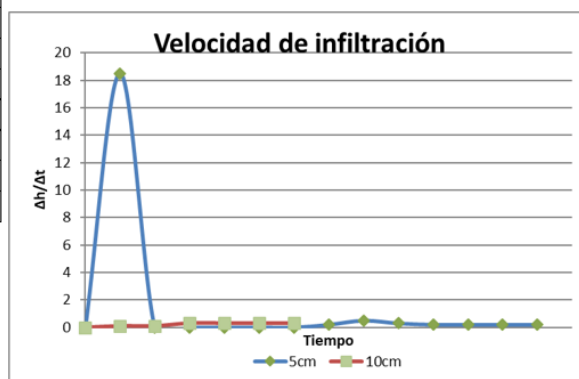
CARGA 10 CM				
Tiempo (min)	Δt (min)	Nivel de agua (cm)	Δh (cm)	$\Delta h/\Delta t$ (cm/min)
0	0	29.7	0	0
0.5	0.5	31.1	1.4	2.8
1	0.5	32.5	1.4	2.8
1.5	0.5	33.8	1.3	2.6
2	0.5	35	1.2	2.4
2.5	0.5	36.4	1.4	2.8
3	0.5	37.4	1	2
3.5	0.5	38.7	1.3	2.6
4	0.5	39.8	1.1	2.2
4.5	0.5	40.9	1.1	2.2
5	0.5	42	1.1	2.2

Datos de prueba de infiltración *Pinfl2- El Líbano2*, realizada con permeámetro de Guelph.

EL LÍBANO 2

CARGA 5 CM				
Tiempo (min)	Δt (min)	Nivel de agua (cm)	Δh (cm)	$\Delta h/\Delta t$ (cm/min)
0	0	0	0	0
1	1	18.5	18.5	18.5
2	1	18.5	0	0
3	1	18.5	0	0
4	1	18.5	0	0
5	1	18.5	0	0
6	1	18.5	0	0
7	1	18.7	0.2	0.2
8	1	19.2	0.5	0.5
9	1	19.5	0.3	0.3
10	1	19.7	0.2	0.2
11	1	19.9	0.2	0.2
12	1	20.1	0.2	0.2
13	1	20.3	0.2	0.2

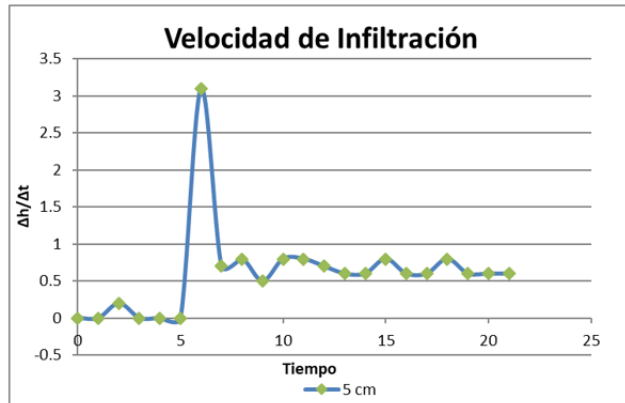
CARGA 10 CM				
Tiempo (min)	Δt (min)	Nivel de agua (cm)	Δh (cm)	$\Delta h/\Delta t$ (cm/min)
0	0	25.7	0	0
1	1	25.8	0.1	0.1
2	1	25.9	0.1	0.1
3	1	26.2	0.3	0.3
4	1	26.5	0.3	0.3
5	1	26.8	0.3	0.3
6	1	27.1	0.3	0.3



Datos de prueba de infiltración *PInf3-Tanque Apolinario Serrano*, realizada con permeámetro de Guelph.

TANQUE APOLINARIO SERRANO

CARGA 5 CM				
Tiempo (min)	Δt (min)	Nivel de agua (cm)	Δh (cm)	$\Delta h/\Delta t$ (cm/min)
0	0	3.2	0	0
1	1	3.2	0	0
2	1	3.4	0.2	0.2
3	1	3.4	0	0
4	1	3.4	0	0
5	1	3.4	0	0
6	1	6.5	3.1	3.1
7	1	7.2	0.7	0.7
8	1	8	0.8	0.8
9	1	8.5	0.5	0.5
10	1	9.3	0.8	0.8
11	1	10.1	0.8	0.8
12	1	10.8	0.7	0.7
13	1	11.4	0.6	0.6
14	1	12	0.6	0.6
15	1	12.8	0.8	0.8
16	1	13.4	0.6	0.6
17	1	14	0.6	0.6
18	1	14.8	0.8	0.8
19	1	15.4	0.6	0.6
20	1	16	0.6	0.6
21	1	16.6	0.6	0.6

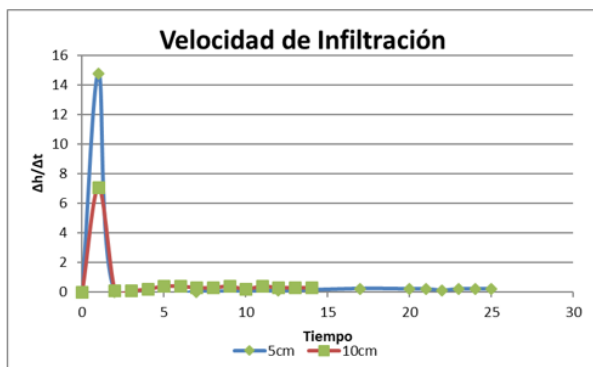


Datos de prueba de infiltración *PInf4-Las Guaras*, realizada con permeámetro de Guelph.

LAS GUARAS

CARGA 5 CM				
Tiempo (min)	Δt (min)	Nivel de agua (cm)	Δh (cm)	$\Delta h/\Delta t$ (cm/min)
0	0	0	0	0
1	1	14.8	14.8	14.8
2	1	14.8	0	0
7	5	14.9	0.1	0.02
12	5	15.3	0.4	0.08
17	5	16.4	1.1	0.22
20	3	17	0.6	0.2
21	1	17.2	0.2	0.2
22	1	17.3	0.1	0.1
23	1	17.5	0.2	0.2
24	1	17.7	0.2	0.2
25	1	17.9	0.2	0.2

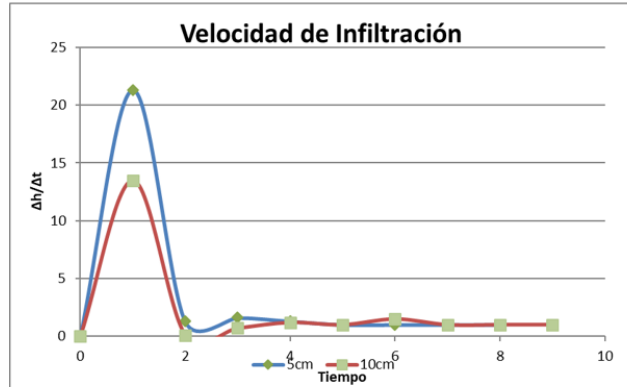
CARGA 10 CM				
Tiempo (min)	Δt (min)	Nivel de agua (cm)	Δh (cm)	$\Delta h/\Delta t$ (cm/min)
0	0	18	0	0
1	1	23.1	7.1	7.1
2	1	23.2	0.1	0.1
3	1	23.3	0.1	0.1
4	1	23.5	0.2	0.2
5	1	23.9	0.4	0.4
6	1	24.3	0.4	0.4
7	1	24.6	0.3	0.3
8	1	24.9	0.3	0.3
9	1	25.3	0.4	0.4
10	1	25.5	0.2	0.2
11	1	25.9	0.4	0.4
12	1	26.2	0.3	0.3
13	1	26.5	0.3	0.3
14	1	26.8	0.3	0.3



Datos de prueba de infiltración *PInf6-Corporativa Los Mangos*, realizada con permeámetro de Guelph.

CORPORATIVA LOS MANGOS

CARGA 5 CM				
Tiempo (min)	Δt (min)	Nivel de agua (cm)	Δh (cm)	$\Delta h/\Delta t$ (cm/min)
0	0	0	0	0
1	1	21.3	21.3	21.30
2	1	22.6	1.3	1.30
3	1	24.2	1.6	1.60
4	1	25.5	1.3	1.30
5	1	26.5	1	1.00
6	1	27.5	1	1.00
7	1	28.5	1	1.00
8	1	29.5	1	1.00



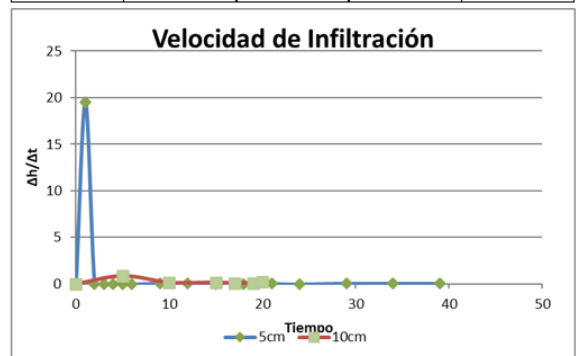
CARGA 10 CM				
Tiempo (min)	Δt (min)	Nivel de agua (cm)	Δh (cm)	$\Delta h/\Delta t$ (cm/min)
0	0	0	0	0
1	1	13.5	13.5	13.50
2	1	13.6	0.1	0.10
3	1	14.3	0.7	0.70
4	1	15.5	1.2	1.20
5	1	16.5	1	1.00
6	1	18	1.5	1.50
7	1	19	1	1.00
8	1	20	1	1.00
9	1	21	1	1.00

Datos de prueba de infiltración *PInf7-San Francisco*, realizada con permeámetro de Guelph.

SAN FRANCISCO

CARGA 5 CM				
Tiempo (min)	Δt (min)	Nivel de agua (cm)	Δh (cm)	$\Delta h/\Delta t$ (cm/min)
0	0	0	0	0
1	1	19.5	19.5	19.50
2	1	19.5	0	0.00
3	1	19.5	0	0.00
4	1	19.5	0	0.00
5	1	19.5	0	0.00
6	1	19.5	0	0.00
9	3	19.7	0.2	0.07
12	3	19.8	0.1	0.03
15	3	19.8	0	0.00
18	3	19.8	0	0.00
21	3	19.9	0.1	0.03
24	3	19.9	0	0.00
29	5	20.3	0.4	0.08
34	5	20.7	0.4	0.08
39	5	21.1	0.4	0.08

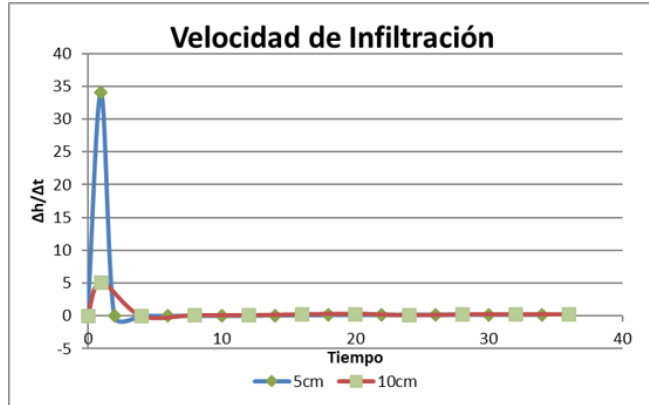
CARGA 10 CM				
Tiempo (min)	Δt (min)	Nivel de agua (cm)	Δh (cm)	$\Delta h/\Delta t$ (cm/min)
0	0	21.1	0	0
5	5	25.4	4.3	0.86
10	5	26.2	0.8	0.16
15	5	27	0.8	0.16
17	2	27.2	0.2	0.10
19	2	27.4	0.2	0.10
20	1	27.6	0.2	0.20



Datos de prueba de infiltración *PInf8-La Licha*, realizada con permeámetro de Guelph.
LA LICHA

CARGA 5 CM				
Tiempo (min)	Δt (min)	Nivel de agua (cm)	Δh (cm)	$\Delta h/\Delta t$ (cm/min)
0	0	0	0	0
1	1	34	34	34.00
2	1	34	0	0.00
4	2	34	0	0.00
6	2	34	0	0.00
10	4	34	0	0.00
14	4	34.3	0.3	0.07
18	4	34.8	0.5	0.13
22	4	35.4	0.6	0.15
26	4	36.1	0.7	0.175
30	4	36.8	0.7	0.175
34	4	37.5	0.7	0.175

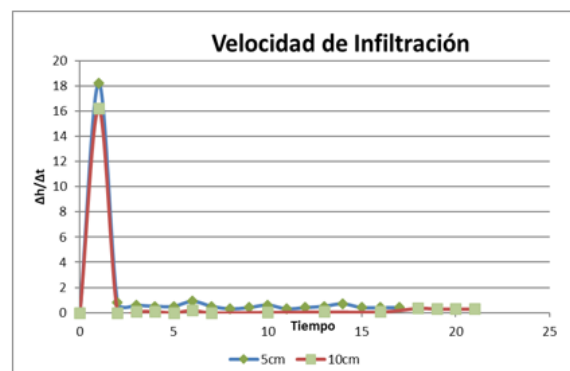
CARGA 10 CM				
Tiempo (min)	Δt (min)	Nivel de agua (cm)	Δh (cm)	$\Delta h/\Delta t$ (cm/min)
0	0	37.5	37.5	0
1	1	42.6	5.1	5.10
4	3	42.6	0	0.00
8	4	43	0.4	0.10
12	4	43.4	0.4	0.10
16	4	44.4	1	0.25
20	4	45.7	1.3	0.33
24	4	46.2	0.5	0.13
28	4	47.1	0.9	0.23
32	4	48	0.9	0.23
36	4	48.9	0.9	0.23



Datos de prueba de infiltración *PInf9-La Asunción1*, realizada con permeámetro de Guelph.
LA ASUNCIÓN 1

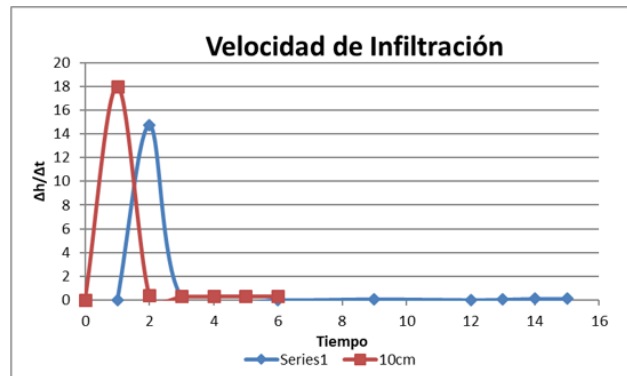
CARGA 5 CM				
Tiempo (min)	Δt (min)	Nivel de agua (cm)	Δh (cm)	$\Delta h/\Delta t$ (cm/min)
0	0	0	0	0
1	1	18.2	18.2	18.20
2	1	19	0.8	0.80
3	1	19.6	0.6	0.60
4	1	20.1	0.5	0.50
5	1	20.6	0.5	0.50
6	1	21.5	0.9	0.90
7	1	22	0.5	0.50
8	1	22.3	0.3	0.30
9	1	22.7	0.4	0.40
10	1	23.3	0.6	0.60
11	1	23.6	0.3	0.30
12	1	24	0.4	0.40
13	1	24.5	0.5	0.50
14	1	25.2	0.7	0.70
15	1	25.6	0.4	0.40
16	1	26	0.4	0.40
17	1	26.4	0.4	0.40

CARGA 10 CM				
Tiempo (min)	Δt (min)	Nivel de agua (cm)	Δh (cm)	$\Delta h/\Delta t$ (cm/min)
0	0	26.4	0	0
1	1	42.6	16.2	16.20
2	1	42.6	0	0.00
3	1	42.7	0.1	0.10
4	1	42.8	0.1	0.10
5	1	42.8	0	0.00
6	1	43	0.2	0.20
7	1	43	0	0.00
10	3	43.1	0.1	0.03
13	3	43.3	0.2	0.07
16	3	43.5	0.2	0.07
18	2	44.2	0.7	0.35
19	1	44.5	0.3	0.30
20	1	44.8	0.3	0.30
21	1	45.1	0.3	0.30



Datos de prueba de infiltración *PInfl10-La Asunción2*, realizada con permeámetro de Guelph.
LA ASUNCIÓN 2

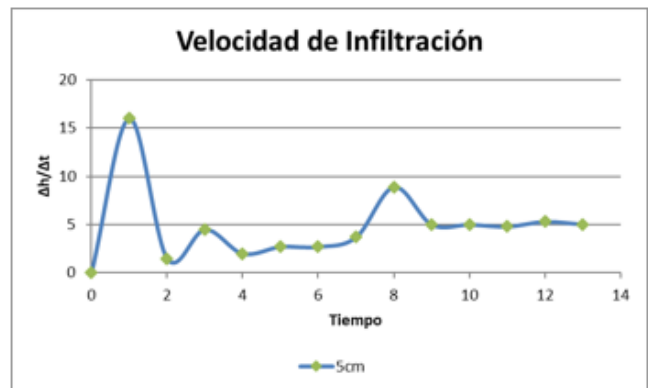
CARGA 5 CM				
Tiempo (min)	Δt (min)	Nivel de agua (cm)	Δh (cm)	$\Delta h/\Delta t$ (cm/min)
0	0	0	0	0
1	1	14.7	14.7	14.70
2	1	15	0.3	0.30
3	1	15	0	0.00
6	3	15.2	0.2	0.07
9	3	15.2	0	0.00
12	3	15.3	0.1	0.03
13	1	15.4	0.1	0.10
14	1	15.5	0.1	0.10
15	1	15.6	0.1	0.10



CARGA 10 CM				
Tiempo (min)	Δt (min)	Nivel de agua (cm)	Δh (cm)	$\Delta h/\Delta t$ (cm/min)
0	0	0	0	0
1	1	18	18	18.00
2	1	18.4	0.4	0.40
3	1	18.7	0.3	0.30
4	1	19	0.3	0.30
5	1	19.3	0.3	0.30
6	1	19.6	0.3	0.30

Datos de prueba de infiltración *PInfl11-Las Pavas*, realizada con permeámetro de Guelph.
LAS PAVAS

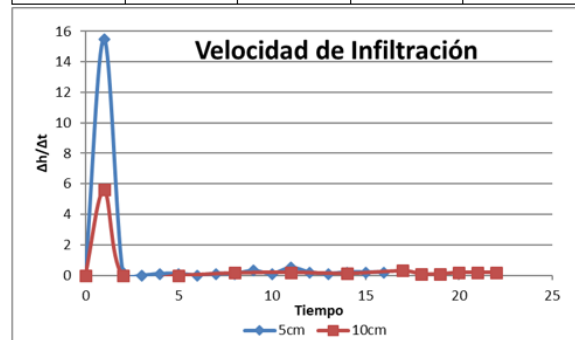
CARGA 5 CM				
Tiempo (min)	Δt (min)	Nivel de agua (cm)	Δh (cm)	$\Delta h/\Delta t$ (cm/min)
0	0	0	0	0
1	1	16	16	16.00
2	1	17.5	1.5	1.50
3	1	22	4.5	4.50
4	1	24	2	2.00
5	1	26.7	2.7	2.70
6	1	29.4	2.7	2.70
7	1	33.1	3.7	3.70
8	1	42	8.9	8.90
9	1	47	5	5.00
10	1	52	5	5.00
11	1	56.8	4.8	4.80
12	1	62.1	5.3	5.30



Datos de prueba de infiltración *PInf13-Buena Vista2*, realizada con permeámetro de Guelph.
BUENA VISTA 2

CARGA 5 CM				
Tiempo (min)	Δt (min)	Nivel de agua (cm)	Δh (cm)	$\Delta h/\Delta t$ (cm/min)
0	0	0	0	0
1	1	15.5	15.5	15.50
2	1	15.7	0.2	0.20
3	1	15.7	0	0.00
4	1	15.8	0.1	0.10
5	1	15.9	0.1	0.10
6	1	15.9	0	0.00
7	1	16	0.1	0.10
8	1	16.1	0.1	0.10
9	1	16.4	0.3	0.30
10	1	16.5	0.1	0.10
11	1	17	0.5	0.50
12	1	17.2	0.2	0.20
13	1	17.3	0.1	0.10
14	1	17.5	0.2	0.20
15	1	17.7	0.2	0.20
16	1	17.9	0.2	0.20

CARGA 10 CM				
Tiempo (min)	Δt (min)	Nivel de agua (cm)	Δh (cm)	$\Delta h/\Delta t$ (cm/min)
0	0	17.9	0	0
1	1	23.5	5.6	5.60
2	1	23.5	0	0.00
5	3	23.5	0	0.00
8	3	24	0.5	0.17
11	3	24.6	0.6	0.20
14	3	25	0.4	0.13
17	3	25.9	0.9	0.30
18	1	26	0.1	0.10
19	1	26.1	0.1	0.10
20	1	26.3	0.2	0.20
21	1	26.5	0.2	0.20
22	1	26.7	0.2	0.20

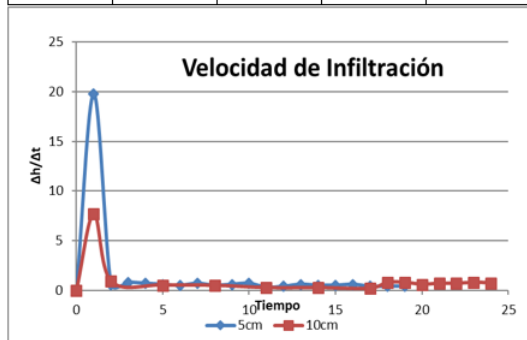


Datos de prueba de infiltración *PInf14-Hacienda Santa Marta*, realizada con permeámetro de Guelph.

HACIENDA SANTA MARTA

CARGA 5 CM				
Tiempo (min)	Δt (min)	Nivel de agua (cm)	Δh (cm)	$\Delta h/\Delta t$ (cm/min)
0	0	0	0	0
1	1	19.8	19.8	19.80
2	1	20.4	0.6	0.60
3	1	21.2	0.8	0.80
4	1	21.9	0.7	0.70
5	1	22.5	0.6	0.60
6	1	23	0.5	0.50
7	1	23.7	0.7	0.70
8	1	24.2	0.5	0.50
9	1	24.8	0.6	0.60
10	1	25.5	0.7	0.70
11	1	25.8	0.3	0.30
12	1	26.2	0.4	0.40
13	1	26.8	0.6	0.60
14	1	27.3	0.5	0.50
15	1	27.8	0.5	0.50
16	1	28.4	0.6	0.60
17	1	28.8	0.4	0.40
18	1	29.2	0.4	0.40
19	1	29.6	0.4	0.40

CARGA 10 CM				
Tiempo (min)	Δt (min)	Nivel de agua (cm)	Δh (cm)	$\Delta h/\Delta t$ (cm/min)
0	0	30.1	0	0
1	1	37.8	7.7	7.70
2	1	38.7	0.9	0.90
5	3	40.3	1.6	0.53
8	3	41.8	1.5	0.50
11	3	42.6	0.8	0.27
14	3	43.4	0.8	0.27
17	3	44	0.6	0.20
18	1	44.8	0.8	0.80
19	1	45.6	0.8	0.80
20	1	46.2	0.6	0.60
21	1	46.9	0.7	0.70
22	1	47.6	0.7	0.70
23	1	48.4	0.8	0.80
24	1	49.13	0.73	0.73



ANEXO 03: Balance hídrico por polígono

Cálculo del balance hídrico para el polígono 1 (El Líbano 1) utilizando la metodología Schosinsky.

BALANCE HIDRICO DE SUELOS

Gunther Schosinsky

Zona de Estudio: AMA-POL1-EL1

Fecha:

Textura de Suelo: Franco Arenoso

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]

1065.71

Kp [0.01%]

0.10

Kv [0.01%]

0.10

Kfc [0.01%]

0.97424

I [0.01%]

1

DS (g/cm³):

1.50

PR (mm)

1500.00

HSi (mm)

315.00

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

10

Lluvia retenida [0.01%] : Bosques=0.2, otros=0.1

0.12

por peso

(%)

(mm)

CC

14.00

315.00

PM

6.00

135.00

(CC-PM)

8.00

180.00

Concepto	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Total
P (mm)	2.72	5.90	15.70	79.86	223.38	318.78	326.12	342.56	326.16	201.77	40.98	7.56	1891.49
Ret [mm]	2.72	5.00	5.00	9.58	26.81	38.25	39.13	41.11	39.14	24.21	5.00	5.00	240.96
Pi (mm)	0.00	0.90	10.70	70.28	196.57	280.53	286.99	301.45	287.02	177.56	35.98	2.56	1650.53
ESC (mm)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
ETP (mm)	149.27	140.40	140.99	149.58	156.50	195.29	198.73	188.53	162.05	167.36	165.12	148.76	1962.58
HSi (mm)	193.02	164.86	151.12	149.04	178.36	260.42	315.00	315.00	315.00	315.00	315.00	245.09	
C1	0.32	0.17	0.15	0.47	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.63	
C2	0.06	0.04	0.03	0.08	0.46	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.28	0.11	
HD (mm)	58.02	30.76	26.82	84.32	239.94	405.94	466.99	481.45	467.02	357.56	215.98	112.65	
ETR (mm)	28.17	14.63	12.78	40.95	114.52	195.29	198.73	188.53	162.05	167.36	105.89	54.63	1283.54
HSf (mm)	164.86	151.12	149.04	178.36	260.42	315.00	315.00	315.00	315.00	315.00	245.09	193.02	
DCC (mm)	150.14	163.88	165.96	136.64	54.58	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	69.91	121.98	
Rp (mm)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	30.65	88.26	112.92	124.97	10.20	0.00	0.00	367.00
NR (mm)	271.25	289.64	294.17	245.26	96.56	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	129.14	216.11	1542.13

final de mes

final de mes

final de mes

final de mes

final de mes

inicio de mes

final de mes antes de ETR

final de mes despues de ETR

final de mes antes de ETR

final de mes

final de mes

final de mes

final de mes

final de mes

Cálculo del balance hídrico para el polígono 2 (El Líbano 2) utilizando la metodología Schosinsky.

BALANCE HIDRICO DE SUELOS
Gunther Schosinsky

Zona de Estudio: **AMA-POL2-EL2**

Fecha:

Textura de Suelo: **Franco Arcilloso**

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]	88.10
Kp [0.01%]	0.11
Kv [0.01%]	0.10
Kfc [0.01%]	0.4592
I [0.01%]	0.6692
DS (g/cm ³):	1.35
PR (mm)	450.00
HSi (mm)	164.03
Nº de mes con que inicia HSi:1,2,3...12?	10
Lluvia retenida [0.01%] : Bosques=0.2, otros=0.1	0.12

	por peso (%)	(mm)
CC	27.00	164.03
PM	13.00	78.98
(CC-PM)	14.00	85.05

Concepto	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Total
P (mm)	2.72	5.90	15.70	79.86	223.38	318.78	326.12	342.56	326.16	201.77	40.98	7.56	1891.49
Ret [mm]	2.72	5.00	5.00	9.58	26.81	38.25	39.13	41.11	39.14	24.21	5.00	5.00	240.96
Pi (mm)	0.00	0.60	7.16	47.03	131.55	187.73	192.05	201.73	192.07	118.82	24.08	1.71	1104.53
ESC (mm)	0.00	0.30	3.54	23.25	65.03	92.80	94.94	99.72	94.95	58.74	11.90	0.85	546.00
ETP (mm)	149.27	140.40	140.99	149.58	156.50	195.29	198.73	188.53	162.05	167.36	165.12	148.76	1962.58
HSi (mm)	82.42	79.40	79.15	80.23	84.80	138.10	164.03	164.03	164.03	164.03	163.24	104.76	
C1	0.04	0.01	0.09	0.57	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.32	
C2	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.61	0.92	1.00	1.00	0.43	0.00	0.00	
HD (mm)	3.45	1.02	7.34	48.29	137.37	246.85	277.10	286.78	277.12	203.87	108.35	27.50	
ETR (mm)	3.03	0.85	6.08	42.46	78.25	156.84	190.93	188.53	162.05	119.60	82.56	24.05	1055.23
HSf (mm)	79.40	79.15	80.23	84.80	138.10	164.03	164.03	164.03	164.03	163.24	104.76	82.42	
DCC (mm)	84.63	84.87	83.79	79.23	25.93	0.00	0.00	0.00	0.00	0.78	59.26	81.60	
Rp (mm)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	4.96	1.12	13.20	30.02	0.00	0.00	0.00	49.31
NR (mm)	230.87	224.43	218.70	186.34	104.18	38.45	7.80	0.00	0.00	48.54	141.82	206.31	1407.45

final de mes
final de mes
final de mes
final de mes
final de mes
inicio de mes
final de mes antes de ETR
final de mes despues de ETR
final de mes antes de ETR
final de mes
final de mes
final de mes
final de mes

Cálculo del balance hídrico para el polígono 3 (Tanque Apolinario Serrano) utilizando la metodología Schosinsky.

BALANCE HIDRICO DE SUELOS
Gunther Schosinsky

Zona de Estudio: **AMA-POL3-TAS**

Fecha:

Textura de Suelo: **Franco Arenoso**

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]	553.47
Kp [0.01%]	0.06
Kv [0.01%]	0.10
Kfc [0.01%]	0.87819
I [0.01%]	1
DS (g/cm ³):	1.50
PR (mm)	450.00
HSi (mm)	94.50
Nº de mes con que inicia HSi:1,2,3...12?	10
Lluvia retenida [0.01%] : Bosques=0.2, otros=0.1	0.12

	por peso (%)	(mm)
CC	14.00	94.50
PM	6.00	40.50
(CC-PM)	8.00	54.00

Concepto	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Total
P (mm)	2.72	5.90	15.70	79.86	223.38	318.78	326.12	342.56	326.16	201.77	40.98	7.56	1891.49
Ret [mm]	2.72	5.00	5.00	9.58	26.81	38.25	39.13	41.11	39.14	24.21	5.00	5.00	240.96
Pi (mm)	0.00	0.90	10.70	70.28	196.57	280.53	286.99	301.45	287.02	177.56	35.98	2.56	1650.53
ESC (mm)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
ETP (mm)	149.27	140.40	140.99	149.58	156.50	195.29	198.73	188.53	162.05	167.36	165.12	148.76	1962.58
HSi (mm)	40.50	40.50	40.50	40.50	40.50	94.50	94.50	94.50	94.50	94.50	94.50	47.92	
C1	0.00	0.02	0.20	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.18	
C2	0.00	0.00	0.00	0.00	0.74	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.00	0.00	
HD (mm)	0.00	0.90	10.70	70.28	196.57	334.53	340.99	355.45	341.02	231.56	89.98	9.98	
ETR (mm)	0.00	0.90	10.70	70.28	136.32	195.29	198.73	188.53	162.05	167.36	82.56	9.98	1222.70
HSf (mm)	40.50	40.50	40.50	40.50	94.50	94.50	94.50	94.50	94.50	94.50	47.92	40.50	
DCC (mm)	54.00	54.00	54.00	54.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	46.58	54.00	
Rp (mm)	0.00	0.00	0.00	0.00	6.25	85.24	88.26	112.92	124.97	10.20	0.00	0.00	427.84
NR (mm)	203.27	193.50	184.29	133.30	20.18	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	129.14	192.78	1056.46

final de mes
final de mes
final de mes
final de mes
final de mes
inicio de mes
final de mes antes de ETR
final de mes despues de ETR
final de mes antes de ETR
final de mes
final de mes
final de mes
final de mes

Cálculo del balance hídrico para el polígono 4 (Las Guaras) utilizando la metodología Schosinsky.

BALANCE HIDRICO DE SUELOS
Gunther Schosinsky

Zona de Estudio: **AMA-POL4-LG**

Fecha:

Textura de Suelo: **Franco Arenoso**

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]

174.68

Kp [0.01%]

0.10

Kv [0.01%]

0.10

Kfc [0.01%]

0.6286

I [0.01%]

0.8286

DS (g/cm³):

1.50

PR (mm)

1500.00

HSi (mm)

315.00

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

10

Lluvia retenida [0.01%] : Bosques=0.2, otros=0.1

0.12

por peso

(%) (mm)

CC 14.00 315.00

PM 6.00 135.00

(CC-PM) 8.00 180.00

Concepto	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Total
P (mm)	2.72	5.90	15.70	79.86	223.38	318.78	326.12	342.56	326.16	201.77	40.98	7.56	1891.49
Ret [mm]	2.72	5.00	5.00	9.58	26.81	38.25	39.13	41.11	39.14	24.21	5.00	5.00	240.96
Pi (mm)	0.00	0.75	8.87	58.23	162.88	232.44	237.80	249.78	237.83	147.12	29.81	2.12	1367.64
ESC (mm)	0.00	0.15	1.83	12.05	33.69	48.08	49.19	51.67	49.19	30.43	6.17	0.44	282.90
ETP (mm)	149.27	140.40	140.99	149.58	156.50	195.29	198.73	188.53	162.05	167.36	165.12	148.76	1962.58
HSi (mm)	188.06	162.30	149.70	147.34	171.29	237.37	296.48	315.00	315.00	315.00	304.17	235.89	
C1	0.29	0.16	0.13	0.39	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.57	
C2	0.05	0.03	0.03	0.07	0.24	0.78	1.00	1.00	1.00	0.89	0.19	0.10	
HD (mm)	53.06	28.05	23.57	70.57	199.17	334.82	399.28	429.78	417.83	327.12	198.98	103.01	
ETR (mm)	25.76	13.35	11.23	34.28	96.80	173.33	198.73	188.53	162.05	157.95	98.09	49.96	1210.06
HSf (mm)	162.30	149.70	147.34	171.29	237.37	296.48	315.00	315.00	315.00	304.17	235.89	188.06	
DCC (mm)	152.70	165.30	167.66	143.71	77.63	18.52	0.00	0.00	0.00	10.83	79.11	126.94	
Rp (mm)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	20.55	61.25	75.78	0.00	0.00	0.00	157.58
NR (mm)	276.21	292.35	297.42	259.01	137.33	40.47	0.00	0.00	0.00	20.24	146.14	225.75	1694.91

final de mes
final de mes
final de mes
final de mes
final de mes
inicio de mes
final de mes antes de ETR
final de mes despues de ETR
final de mes antes de ETR
final de mes
final de mes
final de mes
final de mes

Cálculo del balance hídrico para el polígono 5 (Buena Vista 1) utilizando la metodología Schosinsky.

BALANCE HIDRICO DE SUELOS
Gunther Schosinsky

Zona de Estudio: AMA-POL5-BV1

Fecha:

Textura de Suelo: Franco Arcilloso

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]

44.20

Kp [0.01%]

0.06

Kv [0.01%]

0.18

Kfc [0.01%]

0.28177

I [0.01%]

0.52177

DS (g/cm³):

1.35

PR (mm)

300.00

HSi (mm)

109.35

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

10

Lluvia retenida [0.01%] : Bosques=0.2, otros=0.1

0.12

por peso

(%)

(mm)

CC 27.00 109.35

PM 13.00 52.65

(CC-PM) 14.00 56.70

Concepto	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Total
P (mm)	2.72	5.90	15.70	79.86	223.38	318.78	326.12	342.56	326.16	201.77	40.98	7.56	1891.49
Ret (mm)	2.72	5.00	5.00	9.58	26.81	38.25	39.13	41.11	39.14	24.21	5.00	5.00	240.96
Pi (mm)	0.00	0.47	5.58	36.67	102.57	146.37	149.74	157.29	149.76	92.64	18.77	1.34	861.20
ESC (mm)	0.00	0.43	5.12	33.61	94.01	134.16	137.25	144.16	137.26	84.91	17.21	1.22	789.34
ETP (mm)	149.27	140.40	140.99	149.58	156.50	195.29	198.73	188.53	162.05	167.36	165.12	148.76	1962.58
HSi (mm)	52.65	52.65	52.65	52.65	52.65	76.97	109.35	109.35	109.35	109.35	109.35	52.65	
C1	0.00	0.01	0.10	0.65	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.02	
C2	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.14	0.45	0.78	0.00	0.00	0.00	
HD (mm)	0.00	0.47	5.58	36.67	102.57	170.69	206.44	213.99	206.46	149.34	75.47	1.34	
ETR (mm)	0.00	0.47	5.58	36.67	78.25	97.65	112.88	136.59	144.49	83.68	75.47	1.34	773.06
HSf (mm)	52.65	52.65	52.65	52.65	76.97	109.35	109.35	109.35	109.35	109.35	52.65	52.65	
DCC (mm)	56.70	56.70	56.70	56.70	32.38	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	56.70	56.70	
Rp (mm)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	16.34	36.86	20.70	5.27	8.96	0.00	0.00	88.14
NR (mm)	205.97	196.63	192.11	169.61	110.63	97.65	85.85	51.94	17.56	83.68	146.35	204.12	1562.10

final de mes
final de mes
final de mes
final de mes
final de mes
inicio de mes
final de mes antes de ETR
final de mes despues de ETR
final de mes antes de ETR
final de mes
final de mes
final de mes
final de mes

Cálculo del balance hídrico para el polígono 6 (Corporativa Los Mangos) utilizando la metodología Schosinsky.

BALANCE HIDRICO DE SUELOS Gunther Schosinsky

Zona de Estudio: AMA-POL6-CLM

Fecha:

Textura de Suelo: Franco Arenoso

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]

735.99

Kp [0.01%]

0.15

Kv [0.01%]

0.10

Kfc [0.01%]

0.92618

I [0.01%]

1

DS (g/cm³):

1.50

PR (mm)

1500.00

HSi (mm)

315.00

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

10

Lluvia retenida [0.01%] : Bosques=0.2, otros=0.1

0.12

por peso

(%)

(mm)

CC

14.00

315.00

PM

6.00

135.00

(CC-PM)

8.00

180.00

Concepto	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Total
P (mm)	2.72	5.90	15.70	79.86	223.38	318.78	326.12	342.56	326.16	201.77	40.98	7.56	1891.49
Ret (mm)	2.72	5.00	5.00	9.58	26.81	38.25	39.13	41.11	39.14	24.21	5.00	5.00	240.96
Pi (mm)	0.00	0.90	10.70	70.28	196.57	280.53	286.99	301.45	287.02	177.56	35.98	2.56	1650.53
ESC (mm)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
ETP (mm)	149.27	140.40	140.99	149.58	156.50	195.29	198.73	188.53	162.05	167.36	165.12	148.76	1962.58
HSi (mm)	193.02	164.86	151.12	149.04	178.36	260.42	315.00	315.00	315.00	315.00	315.00	245.09	
C1	0.32	0.17	0.15	0.47	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.63	
C2	0.06	0.04	0.03	0.08	0.46	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.28	0.11	
HD (mm)	58.02	30.76	26.82	84.32	239.94	405.94	466.99	481.45	467.02	357.56	215.98	112.65	
ETR (mm)	28.17	14.63	12.78	40.95	114.52	195.29	198.73	188.53	162.05	167.36	105.89	54.63	1283.54
HSf (mm)	164.86	151.12	149.04	178.36	260.42	315.00	315.00	315.00	315.00	315.00	245.09	193.02	
DCC (mm)	150.14	163.88	165.96	136.64	54.58	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	69.91	121.98	
Rp (mm)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	30.65	88.26	112.92	124.97	10.20	0.00	0.00	367.00
NR (mm)	271.25	289.64	294.17	245.26	96.56	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	129.14	216.11	1542.13

final de mes

final de mes

final de mes

final de mes

final de mes

inicio de mes

final de mes antes de ETR

final de mes despues de ETR

final de mes antes de ETR

final de mes

final de mes

final de mes

final de mes

Cálculo del balance hídrico para el polígono 7 (San Francisco) utilizando la metodología Schosinsky.

BALANCE HIDRICO DE SUELOS
Gunther Schosinsky

Zona de Estudio: **AMA-POL7-SF**

Fecha:

Textura de Suelo: **Franco Arenoso**

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]

396.46

Kp [0.01%]

0.15

Kv [0.01%]

0.10

Kfc [0.01%]

0.81329

I [0.01%]

1

DS (g/cm³):

1.50

PR (mm)

1500.00

HSi (mm)

315.00

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

10

Lluvia retenida [0.01%] : Bosques=0.2, otros=0.1

0.12

por peso

(%)

(mm)

CC

14.00

315.00

PM

6.00

135.00

(CC-PM)

8.00

180.00

Concepto	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Total
P (mm)	2.72	5.90	15.70	79.86	223.38	318.78	326.12	342.56	326.16	201.77	40.98	7.56	1891.49
Ret [mm]	2.72	5.00	5.00	9.58	26.81	38.25	39.13	41.11	39.14	24.21	5.00	5.00	240.96
Pi (mm)	0.00	0.90	10.70	70.28	196.57	280.53	286.99	301.45	287.02	177.56	35.98	2.56	1650.53
ESC (mm)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
ETP (mm)	149.27	140.40	140.99	149.58	156.50	195.29	198.73	188.53	162.05	167.36	165.12	148.76	1962.58
HSi (mm)	193.02	164.86	151.12	149.04	178.36	260.42	315.00	315.00	315.00	315.00	315.00	245.09	
C1	0.32	0.17	0.15	0.47	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.63	
C2	0.06	0.04	0.03	0.08	0.46	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.28	0.11	
HD (mm)	58.02	30.76	26.82	84.32	239.94	405.94	466.99	481.45	467.02	357.56	215.98	112.65	
ETR (mm)	28.17	14.63	12.78	40.95	114.52	195.29	198.73	188.53	162.05	167.36	105.89	54.63	1283.54
HSf (mm)	164.86	151.12	149.04	178.36	260.42	315.00	315.00	315.00	315.00	315.00	245.09	193.02	
DCC (mm)	150.14	163.88	165.96	136.64	54.58	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	69.91	121.98	
Rp (mm)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	30.65	88.26	112.92	124.97	10.20	0.00	0.00	367.00
NR (mm)	271.25	289.64	294.17	245.26	96.56	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	129.14	216.11	1542.13

final de mes
final de mes
final de mes
final de mes
final de mes
inicio de mes
final de mes antes de ETR
final de mes despues de ETR
final de mes antes de ETR
final de mes
final de mes
final de mes
final de mes

Cálculo del balance hídrico para el polígono 8 (La Licha) utilizando la metodología Schosinsky.

BALANCE HIDRICO DE SUELOS
Gunther Schosinsky

Zona de Estudio: **AMA-POL8-LL**

Fecha:

Textura de Suelo: **Franco Arcilloso**

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]	72.33
Kp [0.01%]	0.15
Kv [0.01%]	0.10
Kfc [0.01%]	0.40897
I [0.01%]	0.65897
DS (g/cm ³):	1.35
PR (mm)	1500.00
HSi (mm)	546.75
Nº de mes con que inicia HSi:1,2,3...12?	10
Lluvia retenida [0.01%] : Bosques=0.2, otros=0.1	0.12

	por peso	(%)	(mm)
CC	27.00	546.75	
PM	13.00	263.25	
(CC-PM)	14.00	283.50	

Concepto	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Total
P (mm)	2.72	5.90	15.70	79.86	223.38	318.78	326.12	342.56	326.16	201.77	40.98	7.56	1891.49
Ret [mm]	2.72	5.00	5.00	9.58	26.81	38.25	39.13	41.11	39.14	24.21	5.00	5.00	240.96
Pi (mm)	0.00	0.59	7.05	46.31	129.54	184.86	189.11	198.65	189.14	117.01	23.71	1.69	1087.65
ESC (mm)	0.00	0.31	3.65	23.97	67.04	95.67	97.87	102.80	97.88	60.55	12.27	0.87	562.88
ETP (mm)	149.27	140.40	140.99	149.58	156.50	195.29	198.73	188.53	162.05	167.36	165.12	148.76	1962.58
HSi (mm)	362.08	323.74	301.57	291.67	308.95	368.45	423.02	460.14	495.70	546.75	511.26	422.80	
C1	0.35	0.22	0.16	0.26	0.62	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.96	0.57	
C2	0.17	0.11	0.08	0.12	0.28	0.33	0.53	0.73	0.92	0.82	0.40	0.27	
HD (mm)	98.83	61.08	45.37	74.73	175.24	290.06	348.89	395.54	421.58	400.51	271.72	161.23	
ETR (mm)	38.34	22.76	16.95	29.03	70.04	130.29	151.99	163.10	155.20	152.50	112.17	62.41	1104.77
HSf (mm)	323.74	301.57	291.67	308.95	368.45	423.02	460.14	495.70	529.63	511.26	422.80	362.08	
DCC (mm)	223.01	245.18	255.08	237.80	178.30	123.73	86.61	51.05	17.12	35.49	123.95	184.67	
Rp (mm)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
NR (mm)	333.94	362.82	379.12	358.35	264.76	188.73	133.34	76.49	23.97	50.35	176.90	271.03	2619.79

final de mes
final de mes
final de mes
final de mes
final de mes
inicio de mes
final de mes antes de ETR
final de mes despues de ETR
final de mes antes de ETR
final de mes
final de mes
final de mes
final de mes

Cálculo del balance hídrico para el polígono 9 (La Asunción 1) utilizando la metodología Schosinsky.

BALANCE HIDRICO DE SUELOS Gunther Schosinsky

Zona de Estudio: AMA-POL9-LA1

Fecha:

Textura de Suelo: Franco Arenoso

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]

266.92

Kp [0.01%]

0.10

Kv [0.01%]

0.10

Kfc [0.01%]

0.72761

I [0.01%]

0.92761

DS (g/cm³):

1.50

PR (mm)

1500.00

HSi (mm)

315.00

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

10

Lluvia retenida [0.01%] : Bosques=0.2, otros=0.1

0.12

por peso

(%) (mm)

CC 14.00 315.00

PM 6.00 135.00

(CC-PM) 8.00 180.00

Concepto	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Total
P (mm)	2.72	5.90	15.70	79.86	223.38	318.78	326.12	342.56	326.16	201.77	40.98	7.56	1891.49
Ret [mm]	2.72	5.00	5.00	9.58	26.81	38.25	39.13	41.11	39.14	24.21	5.00	5.00	240.96
Pi (mm)	0.00	0.83	9.93	65.19	182.34	260.22	266.21	279.63	266.24	164.70	33.38	2.37	1531.05
ESC (mm)	0.00	0.07	0.77	5.09	14.23	20.31	20.77	21.82	20.78	12.85	2.60	0.19	119.48
ETP (mm)	149.27	140.40	140.99	149.58	156.50	195.29	198.73	188.53	162.05	167.36	165.12	148.76	1962.58
HSi (mm)	191.80	164.23	150.76	148.45	175.44	250.72	315.00	315.00	315.00	315.00	313.58	242.91	
C1	0.32	0.17	0.14	0.44	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.61	
C2	0.05	0.04	0.03	0.07	0.37	1.00	1.00	1.00	1.00	0.99	0.26	0.11	
HD (mm)	56.80	30.07	25.69	78.64	222.79	375.94	446.21	459.63	446.24	344.70	211.95	110.29	
ETR (mm)	27.57	14.30	12.24	38.19	107.07	195.29	198.73	188.53	162.05	166.13	104.04	53.48	1267.63
HSf (mm)	164.23	150.76	148.45	175.44	250.72	315.00	315.00	315.00	315.00	313.58	242.91	191.80	
DCC (mm)	150.77	164.24	166.55	139.56	64.28	0.00	0.00	0.00	0.00	1.42	72.09	123.20	
Rp (mm)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.65	67.48	91.10	104.19	0.00	0.00	0.00	263.42
NR (mm)	272.47	290.33	295.30	250.94	113.71	0.00	0.00	0.00	0.00	2.66	133.17	218.47	1577.06

final de mes
final de mes
final de mes
final de mes
final de mes
inicio de mes
final de mes antes de ETR
final de mes despues de ETR
final de mes antes de ETR
final de mes
final de mes
final de mes
final de mes

Cálculo del balance hídrico para el polígono 10 (La Asunción 2) utilizando la metodología Schosinsky.

BALANCE HIDRICO DE SUELOS Gunther Schosinsky

Zona de Estudio: AMA-POL10-LA2

Fecha:

Textura de Suelo: Franco Arcilloso

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]

66.01

Kp [0.01%]

0.10

Kv [0.01%]

0.10

Kfc [0.01%]

0.38551

I [0.01%]

0.58551

DS (g/cm³):

1.35

PR (mm)

1500.00

HSi (mm)

546.75

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

10

Lluvia retenida [0.01%] : Bosques=0.2, otros=0.1

0.12

por peso

(%) (mm)

CC 27.00 546.75

PM 13.00 263.25

(CC-PM) 14.00 283.50

Concepto	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Total
P (mm)	2.72	5.90	15.70	79.86	223.38	318.78	326.12	342.56	326.16	201.77	40.98	7.56	1891.49
Ret (mm)	2.72	5.00	5.00	9.58	26.81	38.25	39.13	41.11	39.14	24.21	5.00	5.00	240.96
Pi (mm)	0.00	0.53	6.26	41.15	115.10	164.25	168.03	176.50	168.05	103.96	21.07	1.50	966.41
ESC (mm)	0.00	0.37	4.44	29.13	81.48	116.27	118.95	124.95	118.97	73.60	14.91	1.06	684.13
ETP (mm)	149.27	140.40	140.99	149.58	156.50	195.29	198.73	188.53	162.05	167.36	165.12	148.76	1962.58
HSi (mm)	357.70	321.06	299.85	290.10	304.84	357.31	404.91	434.69	463.92	546.75	502.07	415.85	
C1	0.33	0.21	0.15	0.24	0.55	0.91	1.00	1.00	1.00	1.00	0.92	0.54	
C2	0.16	0.10	0.08	0.11	0.25	0.28	0.39	0.56	0.73	0.78	0.38	0.26	
HD (mm)	94.45	58.34	42.87	68.00	156.68	258.31	309.69	347.94	368.73	387.46	259.88	154.10	
ETR (mm)	36.64	21.74	16.02	26.41	62.62	116.65	138.26	147.27	140.09	148.65	107.28	59.64	1021.28
HSf (mm)	321.06	299.85	290.10	304.84	357.31	404.91	434.69	463.92	491.88	502.07	415.85	357.70	
DCC (mm)	225.69	246.90	256.65	241.91	189.44	141.84	112.06	82.83	54.87	44.68	130.90	189.05	
Rp (mm)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
NR (mm)	338.32	365.56	381.62	365.08	283.32	220.48	172.54	124.09	76.82	63.40	188.74	278.16	2858.12

final de mes

final de mes

final de mes

final de mes

final de mes

inicio de mes

final de mes antes de ETR

final de mes despues de ETR

final de mes antes de ETR

final de mes

final de mes

final de mes

final de mes

Cálculo del balance hídrico para el polígono 11 (Las Pavas) utilizando la metodología Schosinsky.

BALANCE HIDRICO DE SUELOS
Gunther Schosinsky

Zona de Estudio: **AMA-POL-LP**

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]

44.20

Kp [0.01%]

0.06

Kv [0.01%]

0.18

Kfc [0.01%]

0.28177

I [0.01%]

0.52177

DS (g/cm³):

1.35

PR (mm)

450.00

HSi (mm)

164.03

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

10

Lluvia retenida [0.01%] : Bosques=0.2, otros=0.1

0.12

por peso

(%)

(mm)

CC 27.00 164.03

PM 13.00 78.98

(CC-PM) 14.00 85.05

Concepto	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Total
P (mm)	2.72	5.90	15.70	79.86	223.38	318.78	326.12	342.56	326.16	201.77	40.98	14.31	1898.24
Ret (mm)	2.72	5.00	5.00	9.58	26.81	38.25	39.13	41.11	39.14	24.21	5.00	5.00	240.96
Pi (mm)	0.00	0.47	5.58	36.67	102.57	146.37	149.74	157.29	149.76	92.65	18.77	4.86	864.72
ESC (mm)	0.00	0.43	5.12	33.61	94.01	134.15	137.25	144.16	137.26	84.91	17.21	4.45	792.56
ETP (mm)	149.27	140.40	140.99	149.58	156.50	195.29	198.73	188.53	162.05	167.36	165.12	148.76	1962.58
HSi (mm)	82.10	79.36	79.12	79.96	83.52	107.83	156.56	164.03	164.03	164.03	162.82	99.03	
C1	0.04	0.01	0.07	0.44	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.29	
C2	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.34	0.63	0.86	0.12	0.00	0.00	
HD (mm)	3.13	0.85	5.73	37.65	107.11	175.23	227.32	242.34	234.81	177.70	102.62	24.91	
ETR (mm)	2.74	0.70	4.75	33.11	78.25	97.64	132.77	153.90	150.34	93.85	82.56	21.79	852.42
HSf (mm)	79.36	79.12	79.96	83.52	107.83	156.56	164.03	164.03	163.44	162.82	99.03	82.10	
DCC (mm)	84.67	84.90	84.07	80.51	56.19	7.47	0.00	0.00	0.58	1.21	64.99	81.92	
Rp (mm)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	9.50	3.39	0.00	0.00	0.00	0.00	12.89
NR (mm)	231.20	224.59	220.31	196.98	134.44	105.11	65.95	34.63	12.30	74.71	147.55	208.89	1656.67

final de mes

final de mes

final de mes

final de mes

final de mes

inicio de mes

final de mes antes de ETR

final de mes despues de ETR

final de mes antes de ETR

final de mes

final de mes

final de mes

final de mes

Cálculo del balance hídrico para el polígono 12 (Bosque Las Pavas) utilizando la metodología Schosinsky.

BALANCE HIDRICO DE SUELOS Gunther Schosinsky

Zona de Estudio: AMA-POL12-BLP

Fecha:

Textura de Suelo: Franco Arcilloso

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]

44.20

Kp [0.01%]

0.06

Kv [0.01%]

0.20

Kfc [0.01%]

0.28177

I [0.01%]

0.54177

DS (g/cm³):

1.35

PR (mm)

2500.00

HSi (mm)

911.25

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

10

Lluvia retenida [0.01%] : Bosques=0.2, otros=0.1

0.20

por peso

(%)

(mm)

CC 27.00 911.25

PM 13.00 438.75

(CC-PM) 14.00 472.50

Concepto	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Total
P (mm)	2.72	5.90	15.70	79.86	223.38	318.78	326.12	342.56	326.16	201.77	40.98	7.56	1891.50
Ret (mm)	2.72	5.00	5.00	15.97	44.68	63.76	65.22	68.51	65.23	40.35	8.20	5.00	389.65
Pi (mm)	0.00	0.49	5.80	34.61	96.82	138.16	141.35	148.47	141.36	87.45	17.76	1.39	813.66
ESC (mm)	0.00	0.41	4.90	29.28	81.89	116.86	119.55	125.58	119.56	73.97	15.02	1.17	688.19
ETP (mm)	149.27	140.40	140.99	149.58	156.50	195.29	198.73	188.53	162.05	167.36	165.12	148.76	1962.58
HSi (mm)	661.72	602.40	561.36	534.56	534.42	578.04	625.23	657.69	688.81	911.25	845.50	740.83	
C1	0.47	0.35	0.27	0.28	0.41	0.59	0.69	0.78	0.83	1.00	0.90	0.64	
C2	0.32	0.24	0.19	0.19	0.27	0.34	0.40	0.47	0.54	0.83	0.58	0.44	
HD (mm)	222.97	164.14	128.41	130.42	192.49	277.45	327.82	367.41	391.42	559.95	424.51	303.47	
ETR (mm)	59.31	41.53	32.60	34.75	53.20	90.98	108.88	117.35	111.22	153.21	122.43	80.50	1005.96
HSf (mm)	602.40	561.36	534.56	534.42	578.04	625.23	657.69	688.81	718.95	845.50	740.83	661.72	
DCC (mm)	308.85	349.89	376.69	376.83	333.21	286.02	253.56	222.44	192.30	65.75	170.42	249.53	
Rp (mm)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
NR (mm)	398.81	448.76	485.08	491.66	436.51	390.34	343.40	293.62	243.13	79.90	213.11	317.79	4142.11

final de mes

final de mes

final de mes

final de mes

final de mes

inicio de mes

final de mes antes de ETR

final de mes despues de ETR

final de mes antes de ETR

final de mes

final de mes

final de mes

final de mes

Cálculo del balance hídrico para el polígono 13 (Buena Vista 2) utilizando la metodología Schosinsky.

BALANCE HIDRICO DE SUELOS
Gunther Schosinsky

Zona de Estudio: AMA-POL13-BV2

Fecha:

Textura de Suelo: Franco Arcilloso

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]

73.47

Kp [0.01%]

0.10

Kv [0.01%]

0.10

Kfc [0.01%]

0.41295

I [0.01%]

0.61295

DS (g/cm³):

1.35

PR (mm)

1500.00

HSi (mm)

273.38

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

10

Lluvia retenida [0.01%] : Bosques=0.2, otros=0.1

0.12

por peso

(%) (mm)

CC 27.00 546.75

PM 13.00 263.25

(CC-PM) 14.00 283.50

Concepto	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Total
P (mm)	2.72	5.90	15.70	79.86	223.38	318.78	326.12	342.56	326.16	201.77	40.98	7.56	1891.50
Ret (mm)	2.72	5.00	5.00	9.58	26.81	38.25	39.13	41.11	39.14	24.21	5.00	5.00	240.96
Pi (mm)	0.00	0.55	6.56	43.08	120.49	171.95	175.91	184.78	175.93	108.83	22.05	1.57	1011.70
ESC (mm)	0.00	0.35	4.14	27.20	76.08	108.58	111.08	116.68	111.09	68.72	13.93	0.99	638.84
ETP (mm)	149.27	140.40	140.99	149.58	156.50	195.29	198.73	188.53	162.05	167.36	165.12	148.76	1962.58
HSi (mm)	297.15	284.00	276.61	275.73	297.23	355.98	408.40	442.07	474.37	273.38	332.71	316.99	
C1	0.12	0.08	0.07	0.20	0.54	0.93	1.00	1.00	1.00	0.42	0.32	0.20	
C2	0.06	0.04	0.04	0.09	0.24	0.29	0.43	0.62	0.79	0.17	0.13	0.09	
HD (mm)	33.90	21.30	19.92	55.56	154.47	264.68	321.06	363.60	387.05	118.96	91.52	55.31	
ETR (mm)	13.15	7.94	7.44	21.58	61.73	119.53	142.24	152.48	145.33	49.50	37.78	21.41	780.10
HSf (mm)	284.00	276.61	275.73	297.23	355.98	408.40	442.07	474.37	504.97	332.71	316.99	297.15	
DCC (mm)	262.75	270.14	271.02	249.52	190.77	138.35	104.68	72.38	41.78	214.04	229.76	249.60	
Rp (mm)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
NR (mm)	398.87	402.59	404.57	377.53	285.53	214.11	161.17	108.44	58.51	331.90	357.10	376.95	3477.26

final de mes

final de mes

final de mes

final de mes

final de mes

inicio de mes

final de mes antes de ETR

final de mes despues de ETR

final de mes antes de ETR

final de mes

final de mes

final de mes

final de mes

Cálculo del balance hídrico para el polígono 14 (Hda. Santa Marta) utilizando la metodología Schosinsky.

BALANCE HIDRICO DE SUELOS
Gunther Schosinsky

Zona de Estudio: **AMA-POL14-HSM**

Fecha:

Textura de Suelo: **Franco Arcilloso**

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]

195.24

Kp [0.01%]

0.15

Kv [0.01%]

0.10

Kfc [0.01%]

0.65515

I [0.01%]

0.90515

DS (g/cm³):

1.35

PR (mm)

1150.00

HSi (mm)

419.18

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

10

Lluvia retenida [0.01%] : Bosques=0.2, otros=0.1

0.12

por peso

(%) (mm)

CC 27.00 419.18

PM 13.00 201.83

(CC-PM) 14.00 217.35

Concepto	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Total
P (mm)	2.72	5.90	15.70	79.86	223.38	318.78	326.12	342.56	326.16	201.77	40.98	7.56	1891.50
Ret [mm]	2.72	5.00	5.00	9.58	26.81	38.25	39.13	41.11	39.14	24.21	5.00	5.00	240.96
Pi (mm)	0.00	0.81	9.68	63.61	177.93	253.91	259.77	272.86	259.79	160.72	32.57	2.32	1493.98
ESC (mm)	0.00	0.09	1.01	6.67	18.65	26.61	27.22	28.59	27.22	16.84	3.41	0.24	156.56
ETP (mm)	149.27	140.40	140.99	149.58	156.50	195.29	198.73	188.53	162.05	167.36	165.12	148.76	1962.58
HSi (mm)	276.01	242.56	225.20	220.40	246.91	322.64	398.30	419.18	419.18	419.18	415.09	334.44	
C1	0.34	0.19	0.15	0.38	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.62	
C2	0.11	0.07	0.05	0.12	0.31	0.83	1.00	1.00	1.00	0.97	0.37	0.20	
HD (mm)	74.19	41.55	33.06	82.18	223.01	374.73	456.24	490.21	477.14	378.07	245.83	134.93	
ETR (mm)	33.45	18.17	14.49	37.10	102.20	178.26	198.73	188.53	162.05	164.80	113.22	60.75	1271.75
HSf (mm)	242.56	225.20	220.40	246.91	322.64	398.30	419.18	419.18	419.18	415.09	334.44	276.01	
DCC (mm)	176.62	193.97	198.78	172.26	96.53	20.88	0.00	0.00	0.00	4.08	84.74	143.16	
Rp (mm)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	40.16	84.33	97.74	0.00	0.00	0.00	222.23
NR (mm)	292.44	316.20	325.28	284.75	150.83	37.91	0.00	0.00	0.00	6.64	136.64	231.17	1781.85

final de mes
final de mes
final de mes
final de mes
final de mes
inicio de mes
final de mes antes de ETR
final de mes despues de ETR
final de mes antes de ETR
final de mes
final de mes
final de mes
final de mes

Cálculo del balance hídrico para el polígono 15 (Apolinario Serrano) utilizando la metodología Schosinsky.

BALANCE HIDRICO DE SUELOS
Gunther Schosinsky

Zona de Estudio: **AMA-POL15-AS**

Fecha:

Textura de Suelo: **Franco Arcilloso**

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]

44.20

Kp [0.01%]

0.06

Kv [0.01%]

0.10

Kfc [0.01%]

0.28177

I [0.01%]

0.44177

DS (g/cm³):

1.35

PR (mm)

450.00

HSi (mm)

164.03

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

10

Lluvia retenida [0.01%] : Bosques=0.2, otros=0.1

0.12

por peso

(%)

(mm)

CC 27.00 164.03

PM 13.00 78.98

(CC-PM) 14.00 85.05

Concepto	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Total
P (mm)	2.72	5.90	15.70	79.86	223.38	318.78	326.12	342.56	326.16	201.77	40.98	7.56	1891.49
Ret [mm]	2.72	5.00	5.00	9.58	26.81	38.25	39.13	41.11	39.14	24.21	5.00	5.00	240.96
Pi (mm)	0.00	0.40	4.73	31.05	86.84	123.93	126.78	133.17	126.80	78.44	15.89	1.13	729.16
ESC (mm)	0.00	0.50	5.97	39.23	109.73	156.60	160.20	168.28	160.22	99.12	20.09	1.43	921.38
ETP (mm)	149.27	140.40	140.99	149.58	156.50	195.29	198.73	188.53	162.05	167.36	165.12	148.76	1962.58
HSi (mm)	80.77	79.19	79.08	79.80	82.82	91.41	117.69	145.11	164.03	164.03	158.78	92.12	
C1	0.02	0.01	0.06	0.37	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.17	
C2	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.13	0.59	0.00	0.00	0.00	
HD (mm)	1.79	0.62	4.83	31.87	90.69	136.36	165.50	199.31	211.85	163.49	95.70	14.28	
ETR (mm)	1.57	0.51	4.01	28.03	78.25	97.65	99.37	106.21	128.47	83.68	82.56	12.48	722.78
HSf (mm)	79.19	79.08	79.80	82.82	91.41	117.69	145.11	164.03	162.36	158.78	92.12	80.77	
DCC (mm)	84.83	84.94	84.22	81.20	72.61	46.33	18.91	0.00	1.67	5.24	71.91	83.26	
Rp (mm)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	8.05	0.00	0.00	0.00	0.00	8.05
NR (mm)	232.53	224.83	221.21	202.76	150.86	143.98	118.28	82.32	35.25	88.92	154.47	219.53	1874.94

final de mes

final de mes

final de mes

final de mes

final de mes

inicio de mes

final de mes antes de ETR

final de mes despues de ETR

final de mes antes de ETR

final de mes

final de mes

final de mes

final de mes

Cálculo del balance hídrico para el polígono 16 (Zona Media - Muestra 2) utilizando la metodología Schosinsky.

BALANCE HIDRICO DE SUELOS
Gunther Schosinsky

Zona de Estudio: AMA-POL16-ZMM2

Fecha:

Textura de Suelo: Franco Arcilloso

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]	44.20
Kp [0.01%]	0.08
Kv [0.01%]	0.10
Kfc [0.01%]	0.28177
I [0.01%]	0.46177
DS (g/cm ³):	1.35
PR (mm)	450.00
HSi (mm)	164.03
Nº de mes con que inicia HSi:1,2,3...12?	10
Lluvia retenida [0.01%] : Bosques=0.2, otros=0.1	0.12

	por peso (%)	(mm)
CC	27.00	164.03
PM	13.00	78.98
(CC-PM)	14.00	85.05

Concepto	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Total
P (mm)	2.72	5.90	15.70	79.86	223.38	318.78	326.12	342.56	326.16	201.77	40.98	7.56	1891.49
Ret [mm]	2.72	5.00	5.00	9.58	26.81	38.25	39.13	41.11	39.14	24.21	5.00	5.00	240.96
Pi (mm)	0.00	0.42	4.94	32.45	90.77	129.54	132.52	139.20	132.54	81.99	16.61	1.18	762.17
ESC (mm)	0.00	0.48	5.76	37.83	105.80	150.99	154.46	162.25	154.48	95.57	19.37	1.38	888.37
ETP (mm)	149.27	140.40	140.99	149.58	156.50	195.29	198.73	188.53	162.05	167.36	165.12	148.76	1962.58
HSi (mm)	81.31	79.26	79.10	79.84	82.99	95.52	127.41	160.57	164.03	164.03	162.34	96.39	
C1	0.03	0.01	0.06	0.39	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.22	
C2	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.38	0.65	0.00	0.00	0.00	
HD (mm)	2.33	0.70	5.06	33.32	94.79	146.08	180.96	220.79	217.59	167.04	99.98	18.60	
ETR (mm)	2.05	0.58	4.20	29.30	78.25	97.65	99.37	130.02	133.93	83.68	82.56	16.26	757.84
HSf (mm)	79.26	79.10	79.84	82.99	95.52	127.41	160.57	164.03	162.63	162.34	96.39	81.31	
DCC (mm)	84.76	84.93	84.18	81.03	68.51	36.61	3.46	0.00	1.40	1.69	67.63	82.72	
Rp (mm)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	5.72	0.00	0.00	0.00	0.00	5.72
NR (mm)	231.99	224.75	220.98	201.31	146.76	134.26	102.82	58.51	29.51	85.37	150.19	215.21	1801.66

final de mes
final de mes
final de mes
final de mes
final de mes
inicio de mes
final de mes antes de ETR
final de mes despues de ETR
final de mes antes de ETR
final de mes
final de mes
final de mes
final de mes

Cálculo del balance hídrico para el polígono 17 (Zona Media - Muestra 3) utilizando la metodología Schosinsky.

BALANCE HIDRICO DE SUELOS
Gunther Schosinsky

Zona de Estudio: **AMA-POL10-LA2**

Fecha:

Textura de Suelo: **Franco Arcilloso**

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]

44.20

Kp [0.01%]

0.06

Kv [0.01%]

0.10

Kfc [0.01%]

0.28177

I [0.01%]

0.44177

DS (g/cm³):

1.35

PR (mm)

450.00

HSi (mm)

164.03

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

10

Lluvia retenida [0.01%] : Bosques=0.2, otros=0.1

0.12

por peso

(%)

(mm)

CC 27.00 164.03

PM 13.00 78.98

(CC-PM) 14.00 85.05

Concepto	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Total
P (mm)	2.72	5.90	15.70	79.86	223.38	318.78	326.12	342.56	326.16	201.77	40.98	7.56	1891.49
Ret [mm]	2.72	5.00	5.00	9.58	26.81	38.25	39.13	41.11	39.14	24.21	5.00	5.00	240.96
Pi (mm)	0.00	0.40	4.73	31.05	86.84	123.93	126.78	133.17	126.80	78.44	15.89	1.13	729.16
ESC (mm)	0.00	0.50	5.97	39.23	109.73	156.60	160.20	168.28	160.22	99.12	20.09	1.43	921.38
ETP (mm)	149.27	140.40	140.99	149.58	156.50	195.29	198.73	188.53	162.05	167.36	165.12	148.76	1962.58
HSi (mm)	80.77	79.19	79.08	79.80	82.82	91.41	117.69	145.11	164.03	164.03	158.78	92.12	
C1	0.02	0.01	0.06	0.37	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.17	
C2	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.13	0.59	0.00	0.00	0.00	
HD (mm)	1.79	0.62	4.83	31.87	90.69	136.36	165.50	199.31	211.85	163.49	95.70	14.28	
ETR (mm)	1.57	0.51	4.01	28.03	78.25	97.65	99.37	106.21	128.47	83.68	82.56	12.48	722.78
HSf (mm)	79.19	79.08	79.80	82.82	91.41	117.69	145.11	164.03	162.36	158.78	92.12	80.77	
DCC (mm)	84.83	84.94	84.22	81.20	72.61	46.33	18.91	0.00	1.67	5.24	71.91	83.26	
Rp (mm)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	8.05	0.00	0.00	0.00	0.00	8.05
NR (mm)	232.53	224.83	221.21	202.76	150.86	143.98	118.28	82.32	35.25	88.92	154.47	219.53	1874.94

final de mes
final de mes
final de mes
final de mes
final de mes
inicio de mes
final de mes antes de ETR
final de mes despues de ETR
final de mes antes de ETR
final de mes
final de mes
final de mes
final de mes

ANEXO 04: Álbum fotográfico



Fotografía 1. Levantamiento de inventario de puntos de agua. Toma de datos de pozos excavados. Se toman coordenadas utilizando GPS, profundidad del nivel piezométrico, altura del brocal y profundidad total del pozo.



Fotografía 2. Levantamiento de inventario de puntos de agua. Toma de datos de manantiales en la zona. Estructura de captación en manantial *Qda La Pita*, ubicado en el cantón el Zapote.



Fotografía 3. Levantamiento de inventario de puntos de agua. Sistemas de captación de agua en manantiales ubicados en el cantón El Zapote, municipio de Suchitoto.



Fotografía 4. Toma de profundidad del nivel piezométrico del pozo perforado ARAS.



Fotografía 5. Manantial *Borbollón* en río Los Amates. Representa la cota a la cual el río Los Amates posee escorrentía superficial durante todo el año.



Fotografía 6. Vista del manantial *Caserío Santa María*, municipio de Suchitoto. El manantial se encuentra sobre una falla en dirección S-N, se identifica que la temperatura del agua en el manantial es 3° C superior a la temperatura promedio del río Chalchigüe.



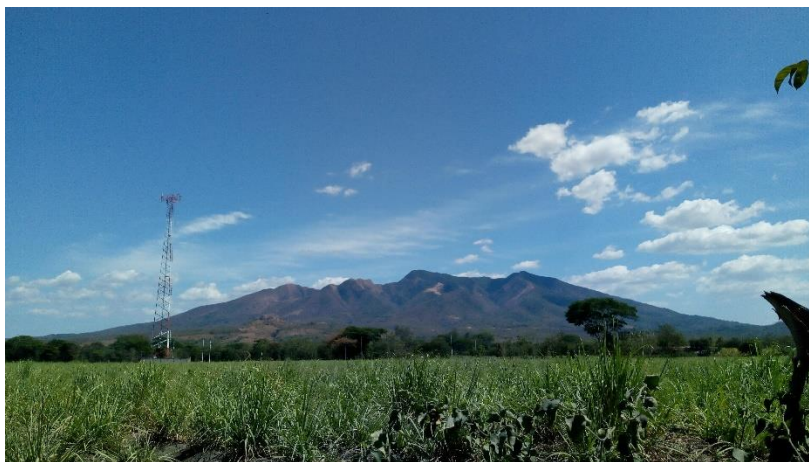
Fotografía 7. Manantial *Qda La Periquera*. Representa la cota a la cual el río Tasajera mantiene escorrentía superficial durante todo el año.



Fotografía 8. Cultivos de maíz en cercanías de caserío Las Guaras.



Fotografía 9. Zona de cultivo de caña de azúcar en el valle de la cuenca, vista hacia el sur de la carretera que conduce de Aguilares a Suchitoto, al fondo, estrato volcán Guazapa.



Fotografía 10. Sembradío de caña de azúcar en el valle de la cuenca del río Los Amates, vista hacia el sur de carretera que conduce de Aguilares a Suchitoto.



Fotografía 11. (a) Vista de cultivo *Arundo Donax* en Hacienda Santa Marta en caserío San Francisco. Se observa uno de los sistemas de riego utilizado. (b) Realización de prueba de infiltración en punto *PInfl-Apolinario Serrano*, desarrollada en uso de suelo *caña de azúcar*



Fotografía 12. Prueba de infiltración *PInfl4- Hacienda Santa Marta*, desarrollada sobre uso de suelo *Arundo Donax*.



Fotografía 13. Desarrollo de tomografías eléctricas en la zona de estudio. (a) MSc. Luis castillo revisa conexión del equipo ABEM Terrameter SAS 1000. (b) Integrantes del grupo de investigación en hidrología conectan electrodos y toman datos con GPS.



Fotografía 14. Procesamiento de muestras de suelo en laboratorio para la obtención de curvas granulométricas que permitan estimar la textura del suelo.



Fotografía 15. (a) Preparación de muestras de suelo para secado en horno. Las muestras de suelo se han tomado de la zona donde se han realizado las pruebas de infiltración. (b) Estudiantes pesan el material retenido por cada tamiz en las instalaciones del laboratorio de física.



Fotografía 16. Presentación de perfil de investigación a Mesa de Medio Ambiente de la alcaldía municipal de Suchitoto, integrada por organizaciones, ONG's, Juntas de agua, etc.