



UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR

FACULTAD DE CIENCIAS AGRONOMICAS

DEPARTAMENTO DE INGENIERIA AGRICOLA



**ESTUDIO HIDROGEOLOGICO DE LA SUB-CUENCA DE
LAS QUEBRADAS: LA JUTERA, QUIOMALAPA, LA SIERPE
Y TECUALUYA, EN EL DEPARTAMENTO DE LA PAZ.**

POR:

GALICIA, JOSE RICARDO

MEDINA LIMA, ANTONIO

SOTO, OSWALDO ERNESTO

REQUISITO PARA OPTAR AL TITULO DE:

INGENIERO AGRONOMO

SAN SALVADOR, JULIO DE 1992.

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR

RECTOR: DR. FABIO CASTILLO FIGUEROA

SECRETARIO GENERAL: LIC. MIRNA A. PERLA DE AMAYA

FACULTAD DE CIENCIAS AGRONOMICAS

DECANO : ING. AGR. GALINDO ELEAZAR JIMENEZ MORAN

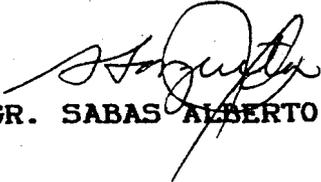
SECRETARIO : ING. AGR. MORENA ARGELIA RODRIGUEZ DE SOTO

d) por Secretario de La Fac. de C.C. AA. Octubre 1992.

*7-025
1304
E 156
1992.*

001048
Ej 1

JEFE DEL DEPARTAMENTO DE INGENIERIA AGRICOLA


ING. AGR. SABAS ALBERTO ARGUETA

ASESOR:

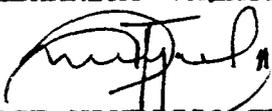
ING. CIV. JOSE MARIO GUEVARA RETANA

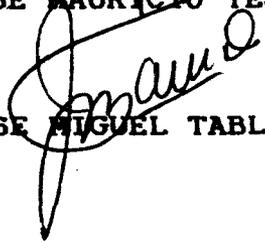

ING. AGR. RODRIGO ALFREDO MONTES MIRANDA


ING. ELE. TRANSITO ARNULFO ARTURO QUEZADA MUÑOZ

JURADO EXAMINADOR :


ING. AGR. ALEXANDRO VALMORE PEREZ ESCOBAR


ING. AGR. JOSE MAURICIO TEJADA ASENCIO


ING. AGR. JOSE MIGUEL TABLAS DUBON

RESUMEN

El presente trabajo de investigación, tiene como objetivos estudiar en la sub-cuenca de las quebradas: La Jutera, Quiomalapa, La Sierpe y Tecualuya; Departamento de la Paz, las áreas de Geología, Hidrología, Hidrogeología y calidad del agua superficial y subterránea. El estudio tuvo una duración de doce meses de marzo de 1991 a febrero de 1992 y con éste se pretende dar solución a la problemática de los habitantes de la sub-cuenca, que tiene limitado su desarrollo integral por la falta del recurso agua; por lo que se establecen los sitios más adecuados para la explotación de agua subterránea por medio de un estudio hidrogeológico de la zona.

Se determinó la población del área de estudio, datos que fueron utilizados para el cálculo de la demanda actual y futura de agua potable de la sub-cuenca; en Geología se describen los tipos de materiales de las formaciones geológicas existentes en el área de estudio, se determinó mediante el uso de información ya existente y reconocimiento de campo; en Hidrología se describen las condiciones climáticas de la zona, tomando los elementos climáticos de los registros existentes de la estación meteorológica "La Providencia", ubicada en el campo experimental y de prácticas de la facultad de Ciencias Agronómicas de la Universidad de El Salvador; completado esta información con aforos realizados en las quebradas durante un período de 3 meses, determinando con esta información el

potencial hidráulico de la sub-cuenca; en Hidrogeología se describen las características hidrogeológicas de las formaciones diferenciadas y para la parte baja de la sub-cuenca, se propone una columna litológica basándonos en los diferentes tipos de materiales encontrados en las perforaciones de pozos de áreas vecinas; además se analizó el agua subterránea determinándose la dirección de su flujo, y el caudal de agua subterráneo que descarga al río Comalapa, determinando la profundidad del nivel freático en la parte media y baja de la sub-cuenca, se determinó la calidad del agua superficial, subterránea y para riego a través de análisis físico-químico y bacteriológico de muestras obtenidas de manantiales de las quebradas y pozos excavados y perforados del área de estudio.

Los resultados obtenidos en el presente estudio demuestran que con los dos pozos perforados al sur de la hacienda Santo Tomás, se cubren las demandas de agua para consumo hasta el año 2011. Desde el punto de vista de explotación de agua subterránea sólo el miembro superior de la formación San Salvador; consistente en depósitos sedimentarios, conforma un acuífero de buenas características hidráulica de permeabilidad de media a alta y transmisibilidad alta, encontrándose en la parte baja de la sub-cuenca; por lo que se recomienda la perforación de un pozo en est área, para la implementación de proyectos agropecuarios. Los resultados de los análisis de calidad de agua superficial y subterránea demuestran que el

agua es corrosiva, con olor, sabor, turbiedad y altamente contaminada por bacterias coliformes, por lo que no cumple con las normas de la Organización Mundial de la Salud (OMS), situación que se podría corregir mediante el tratamiento de agua.

AGRADECIMIENTOS

Deseamos expresar nuestros más sinceros agradecimientos, a las siguientes personas e instituciones que de una o otra forma contribuyeron al desarrollo del presente trabajo.

- A NUESTROS ASESORES.

Ing. Civil. José Mario Guevara Retana, por su valiosa y desinteresada colaboración en la planificación, desarrollo y acertadas sugerencias, para llevar a buen término el presente trabajo.

Ing. Tránsito Arnulfo Arturo Quezada Muñoz, por su valiosa y desinteresada colaboración.

Ing. Agr. Rodrigo Montes Miranda, por su colaboración.

- Al laboratorio de Análisis de Muestras de Agua, de la Administración Nacional de Acueductos y Alcantarillados (A.N.D.A).

- Al laboratorio de Protección Vegetal, de la facultad de Ciencias Agronómicas, Universidad de El Salvador, especialmente a la señora Conchita.

- Al departamento de dibujo, de la facultad de Ciencias Agronómicas, Universidad de El Salvador, especialmente al señor dibujante, José María "Chemita".

- A los miembros del jurado examinador por las sugerencias aportadas al trabajo.

DEDICATORIA

- A DIOS Todopoderoso.

Por darme la vida, iluminación y sabiduría para lograr la satisfacción de ser un profesional.

- A MI MADRE: VIRGINIA GALICIA.

Por sus sacrificios, amor, comprensión y consejos, para seguir adelante y culminar mi carrera.

- A MI PADRE: JOSE ANTONIO MELGAR.

Por el sacrificio moral y económico para coronar mi carrera.

- A MIS HERMANOS: Ana Lilian, Joaquín Antonio, Edgardo Guillermo, Elsa, Marta Elia, Jorge Arturo, Rafael Antonio; por su amor, apoyo y confianza que me brindaron en todo momento.

- A MIS SOBRINOS: Karen, Dalila, Nataly, Allan, Evelyn, Bety, Aracely, Néstor, Mauricio, Marta Lilian, Keny, Rafael, Verónica y Walter; con mucho cariño, y como un ejemplo para alcanzar las metas que nos proponemos.

- A mis compañeros de tesis, por los arduos momentos de trabajo.

- A mis amigos; que de una u otra forma contribuyeron a mi formación profesional.

DEDICATORIA

Dedico este trabajo a:

DIOS nuestro Padre celestial, por iluminarme y estar siempre en mi camino.

A MI PADRE.

Antonio Medina Sandoval, por haberme ayudado a formar un profesional.

A MI ESPOSA.

Ana Guadalupe Reina de Medina, por su amor, comprensión y paciencia.

A MIS HERMANOS.

Dora Alicia, Carlos Ignacio, Esther, Evelyn y a mi tía Bertha; por su hermandad y apoyo que me brindaron.

A mis amigos de tesis y compañeros de estudio.

DEDICATORIA

- A DIOS Todopoderoso.

Por la vida y sabiduría.

- A MIS PADRES.

Marta Soto y Martín Deras (Q.E.P.D).

Por sus enseñanzas.

- A MI HERMANO.

Eliás, por el sacrificio económico y moral para coronar mi carrera.

- A MIS HERMANAS.

Cecilia, Vilma, Marlene, Yanira y a cada uno de mis cuñados, por su apoyo, la fe y la motivación que me brindaron en todo momento.

- A MI TIO.

Lic. Domingo Deras, por sus consejos oportunos y todo su apoyo moral y espiritual.

- A MI NOVIA.

Ana Mirtala, con todo el amor del mundo, por su inagotable paciencia, comprensión y cariño.

- A mis compañeros de tesis por los duros momentos de trabajo.

- A todos mis amigos por su amistad.

INDICE

RESUMEN.....	iii
AGRADECIMIENTOS.....	vi
DEDICATORIA.....	vii
INDICE DE CUADROS.....	xvi
INDICE DE FIGURAS.....	xviii
INTRODUCCION.....	xix
1. GENERALIDADES.....	1
1.1. Objeto e importancia del estudio.....	1
1.2. Antecedentes.....	2
1.3. Métodos y procedimientos de trabajo.....	4
1.3.1. Recopilación, selección y análisis de la información disponible.....	5
1.3.2. Foto-Interpetración.....	6
1.3.3. Toma de muestras de agua de nacimientos y pozos.....	6
1.3.4. Fase de laboratorio.....	6
1.3.5. Geología.....	7
1.3.6. Hidrología.....	7
1.3.6.1. Precipitación.....	8
1.3.6.2. Evaporación.....	8
1.3.6.3. Temperatura.....	8
1.3.6.4. Humedad relativa.....	9
1.3.6.5. Velocidad del viento....	9
1.3.6.6. Luz solar.....	9
1.3.6.7. Evapotranspiración	

	potencial.....	9
	1.3.6.8. Balance hidrico.....	9
	1.3.6.9. Aforos.....	10
	1.3.6.10. Coeficientes del cultivo Kc.....	10
1.3.7.	Hidrogeología.....	10
1.3.8.	Descripción del área de estudio....	11
1.3.9.	Características edáficas.....	13
1.3.10.	Población actual y futura.....	15
1.3.11.	Abastecimiento actual y futuro de agua potable.....	17
2.	GEOLOGIA.....	19
2.1.	Generalidades.....	
2.2.	Geomorfología.....	20
2.3.	Geología histórica.....	21
2.4.	Geología superficial.....	23
	2.4.1. Formación El Bálsamo.....	23
	2.4.2. Formación Cuscatlán.....	23
	2.4.3. Formación San Salvador.....	24
2.5.	Génesis geológico local.....	24
2.6.	Geología estructural.....	28
2.7.	Estratigrafía.....	29
3.	HIDROLOGIA.....	32
3.1.	Generalidades.....	32
3.2.	Descripción hidrográfica.....	32
3.3.	Características climáticas.....	33
	3.3.1. Temperatura.....	33

3.3.2.	Humedad relativa.....	34
3.3.3.	Precipitación.....	34
	3.3.3.1. Generalidades.....	34
	3.3.3.2. Precipitación decádica....	34
3.3.4.	Viento.....	35
3.3.5.	Evaporación.....	35
3.3.6.	Evapotranspiración potencial.....	35
3.4.	Potencial hidráulico de la sub-cuenca.....	37
	3.4.1. Escorrentía superficial.....	37
	3.4.2. Manantiales.....	37
	3.4.3. Agua subterránea.....	38
3.5.	Balance hídrico:.....	40
3.6.	Uso consuntivo de cultivos.....	44
	3.6.1. Maíz.....	44
	3.6.2. Sorgo.....	44
	3.6.3. Ajonjolí.....	44
	3.6.4. Caña de azúcar.....	45
	3.6.5. Plátano.....	45
4.	HIDROGEOLOGIA.....	47
	4.1. Generalidades.....	47
	4.2. Descripción de las principales formaciones acuíferas.....	48
	4.2.1. Toba pumítica dacítica, piroclásticos semiconsolidados (tierra blanca).....	48
	4.2.2. Tobas fundidas o ignimbritas.....	49
	4.2.3. Sedimentos aluvionales.....	49

4.3.	Pozos y fuentes.....	49
4.3.1.	Pozos.....	49
4.3.2.	Fuentes.....	52
4.4.	Características hidrogeológicas del material encontrado de acuerdo a la columna litológica.....	53
4.5.	El agua subterránea.....	55
4.5.1.	Drenaje superficial.....	57
4.5.2.	Drenaje subterráneo.....	58
4.5.3.	Dirección del flujo subterráneo....	59
4.6.	Recursos de agua subterráneo.....	60
4.7.	Coefficientes de almacenamiento y transmisibilidad.....	61
4.8.	Caudales subterráneos.....	62
5.	CALIDAD DE AGUA.....	64
5.1.	Agua superficial.....	64
5.1.1.	Temperatura.....	64
5.1.2.	PH.....	65
5.1.3.	Dureza total.....	65
5.1.4.	Color real y turbidez.....	65
5.1.5.	Cloruros.....	66
5.1.6.	Sólidos totales.....	66
5.2.	Calidad de agua subterránea.....	66
5.2.1.	Temperatura.....	67
5.2.2.	PH.....	67
5.2.3.	Aniones y cationes.....	67
5.2.4.	Hierro y magnesio.....	68

5.2.5.	Bióxido de carbono.....	68
5.2.6.	Dureza total.....	68
5.2.7.	Sólidos totales.....	69
5.3.	Características físico - químico del agua de manantiales y pozos.....	69
5.3.1.	Nacimiento La Jutera.....	69
5.3.2.	Nacimiento Quiomalapa.....	76
5.3.3.	Pozo excavado. Hacienda El Barrial.	76
5.3.4.	Nacimiento La Sierpe.....	76
5.3.5.	Pozo excavado. Cantón Tecualuya....	77
5.3.6.	Pozos excavados. Hacienda Santo Tomás.....	77
	5.3.6.1. Pozo 1.....	77
	5.3.6.2. Pozo 2.....	77
5.4.	Análisis bacteriológico.....	77
5.4.1.	Nacimiento La Jutera.....	78
5.4.2.	Nacimiento Quiomalapa.....	79
5.4.3.	Pozo excavado. Hda. El Barrial.....	79
5.4.4.	Nacimiento La Sierpe.....	79
5.4.5.	Pozo excavado. Cantón Tecualuya....	79
5.4.6.	Pozos perforados. Hda. Santo Tomás.	79
	5.4.6.1. Pozo 1.....	79
	5.4.6.2. Pozo 2.....	79
5.5.	Calidad de agua para riego	
6.	CONCLUSIONES.....	82
7.	RECOMENDACIONES.....	86
8.	BIBLIOGRAFIA.....	89

9. ANEXOS..... 94

INDICE DE CUADROS

CUADRO	PAGINA
1	POBLACION ACTUAL Y FUTURA..... 16
2	PROYECCION DE DEMANDA DE AGUA POTABLE..... 16
3	ABASTECIMIENTO ACTUAL DE AGUA POTABLE..... 18
4	CARACTERISTICAS QUIMICAS DE MUESTRAS DE TIERRA BLANCA RECOGIDA EN DISTINTOS LUGARES DEL DEPARTAMENTO DE SAN SALVADOR..... 27
5	CARACTERISTICAS PRINCIPALES DE LA ESTACION AGROCLIMATOLOGICA LA PROVIDENCIA..... 33
6	DATOS CLIMATICOS ESTACION HACIENDA LA PROVIDENCIA.. 36
7	CAUDALES PROMEDIOS MENSUALES DE ESCORRENTIA SUPERFICIAL DE LA QUEBRADA..... 37
8	INFILTRACION PROMEDIO DE LA SUB-CUENCA..... 39
9	BALANCE HIDRICO..... 42
10	USO CONSUNTIVO DE CULTIVOS EXTENSIVOS..... 46

11	PROFUNDIDAD DEL NIVEL FREATICO, ALTURA DE BROQUEL DE POZOS EXCAVADOS, PERFORADOS EN LA SUB-CUENCA	51
12	CARACTERISTICAS FISICO - QUIMICAS DE MUES TRAS DE AGUA	70
13	RECUENTO DE COLONIAS EN UNA DISOLUCION DE 1/10000 ml, EN TOMA DE MUESTRAS DE AGUA DE LA SUB-CUENCA	78
14	BACTERIAS ENCONTRADAS EN ANALISIS BACTERIO LOGICO EN MUESTRAS DE AGUA DE LA SUB-CUENCA	80
15	NORMAS DE AGUA PARA RIEGO	81
A-1	COEFICIENTE DE CULTIVOS (Kc) PARA LOS CULTIVOS EXTENSIVOS EN EL AREA DE ESTUDIO	95
A-2	ELEVACION DE CURVAS ISOFREATICAS	96
A-3	CALCULO DEL GRADIENTE HIDRAULICO DE LA PARTE MEDIA - BAJA DE LA SUB-CUENCA	98
A-4	ELEVACION Y UBICACION DE POZOS, NACIMIENTOS DE TOMAS DE MUESTRA DE AGUA EN LA SUB-CUENCA	99
A-5	NORMAS DE LA ORGANIZACION MUNDIAL DE LA SALUD PARA AGUA POTABLE	100

INDICE DE FIGURAS

Fig.		Pág.
1	Comportamiento de la precipitación, evapotranspiración media, exceso y déficit de agua decádicos.....	41
2	Columna litológica propuesta para la zona baja de la sub-cuenca.....	56
A-3	Columna litológica de pozo perforado N ^o 1 en Hacienda Santo Tomás.....	101
A-4	Columna litológica de pozo perforado N ^o 2 en Hacienda Santo Tomás.....	102
A-5	Columna litológica de pozo perforado en el campo experimental de la facultad de Ciencias Agronómicas de la Universidad de El Salvador.....	103
A-6	Columna litológica de pozo perforado en reparto San Luis. SAN LUIS TALPA.....	104
A-7	Mapa de Ubicación N ^o 1.....	
A-8	Mapa Geológico N ^o 2.....	
A-9	Mapa Hidrogeológico N ^o 3.....	

INTRODUCCION

El crecimiento poblacional en el área de estudio exige mayor eficiencia en el uso de los recursos naturales; siendo el recurso hídrico el que mayor efecto tiene en su desarrollo, sobre todo en las zonas rurales donde el servicio de agua potable no existe.

La demanda de agua en estas zonas es cubierta por medio de pozos domésticos y perforados, manantiales y quebradas, algunos de los cuales en época de estiaje no aportan caudales suficientes para el abastecimiento de agua o se secan completamente.

El área de la sub-cuenca de las quebradas: La Jutera, Quiomalapa, La Sierpe y Tecualuya, dentro del plan de desarrollo integral (que la facultad de Ciencias Agronómicas desarrolla a través de sus actividades relevantes, la docencia, la investigación y proyección social) enfrenta un grave problema, puesto que su desarrollo integral demanda agua para consumo humano y para la producción agropecuaria en la zona norte de la carretera del litoral y para la producción agropecuaria en la zona sur, siendo una limitante para el desarrollo.

El presente estudio hidrogeológico pretende dar alternativas de solución al problema de aprovechamiento del

recurso hídrico, que enfrentan los habitantes de la sub-cuenca, a través de la elaboración de un mapa geológico e hidrogeológico que permita evaluar el potencial hídrico de la región y su explotación por medio de perforación de pozos para los cuales se determinaron los sitios más adecuados desde el punto de vista hidrogeológico, valiéndose de las líneas isofreáticas y del tipo de materiales en el área de estudio.

1. GENERALIDADES

1.1. Objeto e importancia del estudio.

El presente estudio tiene como objetivo primordial la evaluación de las características hidrogeológicas de las sub-cuencas de la quebrada: La Jutera, Quiomalapa, La Sierpe y Tecualuya, y la localización de los sitios o zonas que reúnan las mejores condiciones hidrogeológicas para el aprovechamiento de los recursos de agua subterránea, así como la elaboración de los mapas geológico e hidrogeológico de la zona de estudio. El alcance de dichos objetivos permitirá la integración de las actividades primordiales de la facultad de Ciencias Agronómicas de la Universidad de El Salvador, la investigación, docencia y proyección social al desarrollo integral de la sub-cuenca.

El acelerado crecimiento poblacional demanda la búsqueda de una mejor utilización de los recursos naturales por lo que se hace necesario estudios que permitan maximizar su uso; la sub-cuenca de las quebradas: La Jutera, Quiomalapa, La Sierpe y Tecualuya no escapa a la sub utilización de los recursos naturales; primordialmente el recurso agua que limita grandemente el desarrollo integral de sus habitantes.

Por lo antes expuesto, se manifiesta la importancia de una investigación hidrogeológica que como la presente tienda a definir la cantidad, calidad y localización de los recursos

hídricos, cuyo aprovechamiento debe planificarse y efectuarse de manera que garantice el mayor beneficio económico y social, para la población residente en la zona.

1.2. Antecedentes.

Entre las investigaciones hidrogeológicas realizadas dentro del área de estudio se tienen:

La Administración Nacional de Acueductos y Alcantarillados (ANDA), realizó en el año 1974, un estudio hidrogeológico de la zona donde se proyecta construir el nuevo aeropuerto internacional, del cual se concluyó que el área que ubica a San Luis Talpa está dentro de la zona de estudio y pertenece a la unidad geomorfológica conocida como zona costera y Cordillera El Bálsamo. Se deduce además del aspecto geomorfológico de la región un flujo de agua subterráneo, por sedimentos piroclásticos y fluvialíticos que ofrecen características hidrogeológicas adecuadas para la captación de agua mediante pozos profundos. Además de existir formaciones pliocénicas que se consideran desfavorables para dicha actividad.

El Centro de Recursos Naturales (CENREN) del Ministerio de Agricultura y Ganadería (MAG), en el año de 1980 publicó los documentos básicos del "Plan Maestro de Desarrollo y Aprovechamiento de los Recursos Hídricos" (PLANDARH) dentro del cual se hace una clasificación de las unidades hidrogeológicas

de las distintas regiones del país. En base al mapa N° 21 del documento básico N° 1, se pueden inferir que dentro del área de estudio, se encuentran ubicadas las siguientes unidades hidrogeológicas:

- Qal: Sedimentos Aluvionales Recientes.

Estos conforman una unidad hidrogeológica bien definida, se ubican en la planicie costera y están constituidos por materiales volcánicos retrabajados cuya granulometría varía de gruesa a fina. Se trata de cantos rodados, grava, arena, limo y arcilla, que se encuentran depositados en estratos cuyo espesor varía de una zona a otra.

- Tla: Aglomerados y lavas terciarias.

Esta unidad se caracteriza litológicamente por estar constituida principalmente por sedimentos piroclásticos bien consolidados, en los que predominan los aglomerados, flujos de lodo y tobas endurecidas. Interestratificados con estos materiales se encuentran flujos masivos de lavas terciarias.

En el año de 1984 J.G. Escobar, realizó el proyecto de perforación y equipamiento de un pozo para fines de riego doméstico y pecuario en el campo experimental y de prácticas La Providencia; donde retoma el aspecto geológico ubicando dentro del campo las tres formaciones geológicas siguientes:

-Cl: Que corresponde al plio-pleistoceno, denominado formación Cuscatlán, formada por piroclastitas ácidas epiclásticas volcánicas, tobas ardientes y fundidas.

S₄: Correspondiente al Holoceno, formación San Salvador, compuesta por piroclastitas ácidas y efusivas volcánicas.

Q'f: Del Holoceno, formación San Salvador, son aluviones localmente intercalados con piroclastitas.

La Administración Nacional de Acueductos y Alcantarillados (ANDA), realizó en el año 1987, un estudio hidrogeológico del área del municipio de San Luis Talpa, del cual se concluyó que es factible la explotación del acuífero existente en el área, y que éste circula a través de una capa de depósitos sedimentarios de mediana a buena permeabilidad, así mediante la perforación de pozos profundos, se puede aprovechar el acuífero como fuente de abastecimiento de agua potable.

1.3. Métodos y procedimientos de trabajo.

Las actividades que comprende la presente investigación fueron desarrolladas en el periodo de marzo de 1991 a febrero de 1992, comprendiendo los siguientes aspectos:

- Recopilación, selección, análisis y aplicación de la información existente y de datos obtenidos durante este periodo.

- Foto - Interpretación

- Toma de muestras de agua de la quebrada y pozos existentes

- Fase de laboratorio

- Geología

- Hidrología
- Hidrogeología

A continuación se describe en forma breve la metodología y procedimiento de trabajo empleado.

1.3.1. Recopilación, selección y análisis de la información disponible.

Para la recopilación de la información existente se hicieron gestiones ante las diferentes instituciones relacionadas con el uso y/o manejo de los recursos hídricos tales como: Departamento de Hidrogeología de ANDA; Servicio Hidrológico y Meteorológico del M.A.G., Estación Meteorológica del Campo Experimental y de Prácticas de la facultad de Ciencias Agronómicas de la Universidad de El Salvador.

En base a la información obtenida, se hizo una selección de datos de mayor interés y confiabilidad, así como su correspondiente análisis y aplicación para los propósitos del estudio.

Se recopiló así mismo datos de análisis físico-químico y perfiles litológicos de pozos existentes en el área de estudio, los cuales se describen en los diferentes capítulos de este trabajo.

1.3.2. Foto - interpretación.

Se utilizó en la interpretación geomorfológica y el cartografiado geológico del área de estudio, utilizando fotografías aéreas a escalas 1/200,000 del año de 1969.

1.3.3. Toma de muestras de agua de quebradas y pozos.

Estas se llevaron a cabo para realizar los análisis físico-químico y bacteriológico, en puntos donde los habitantes de la zona que no poseen agua potable; la utilizan para su consumo diario. (ver mapa N° 3 y cuadro A-4).

1.3.4. Fase de laboratorio.

En ésta se realizaron los análisis físico-químico y bacteriológico de las muestras recolectadas, para esto se contó con la colaboración de los laboratorios de protección vegetal de la facultad de Ciencias Agronómicas de la Universidad de El Salvador para el bacteriológico, y de los de la Administración de Acueductos y Alcantarillados (ANDA) para el físico-químico los cuales nos proporcionaron los resultados que se incluyen en el presente trabajo. (Cap. 5, cuadros 12 y 14).

1.3.5. Geología.

Se recopiló la información geológica disponible, entre las que se cuenta: El mapa geológico de la República de El Salvador, Hoja BLATT San Salvador, escala 1:100,000, publicado en los años de 1964-1970, perfiles litológicos de los pozos profundos perforados en la zona para diversos fines, así como también estudios hidrogeológicos realizados cerca del área de estudio.

Esta información fue completada con reconocimiento de campo, análisis litológicos de muestras de roca consideradas representativas de diversas zonas. Habiendo elaborado un mapa geológico detallado del área de estudio a escala 1:125,000 (ver mapa No 2).

1.3.6. Hidrología.

Para el análisis hidrológico, la escorrentia superficial se evaluó, realizando aforos, ya que no existen estaciones hidrométricas que midan constantemente el caudal de la quebrada.

Para el análisis climatológico se contó únicamente con la estación agroclimatológica "La Providencia" del campo experimental y de prácticas de la facultad de Ciencias Agronómicas de la Universidad de El Salvador, dado que su radio de influencia abarca toda el área de estudio.

Los datos climatológicos obtenidos de la estación son: precipitación, evaporación, temperatura, humedad relativa del aire, velocidad del viento y horas de luz solar, a continuación se hace una breve descripción de cada uno de ellos.

1.3.6.1. Precipitación.

Este representa la totalidad del aporte hídrico de la subcuenca, este dato se utilizó para elaborar el balance hídrico, así como para el cálculo de la cantidad de agua que se infiltra.

1.3.6.2. Evaporación.

Este parámetro se obtuvo para determinar la cantidad de agua que se evapora de la superficie del suelo y así determinar la cantidad de agua infiltrada.

1.3.6.2. Temperatura.

Se utilizó para el cálculo de la evapotranspiración potencial, que contribuyó en la elaboración del balance hídrico.

1.3.6.4. Humedad relativa.

Se utilizó para la determinación del coeficiente del cultivo (Kc), de los cultivos predominantes en la zona de estudio.

1.3.6.6. Luz solar.

Se utilizó la cantidad de luz solar del día, para el cálculo de la evapotranspiración potencial, la cual contribuyó a la elaboración del balance hídrico.

1.3.6.7. Evapotranspiración potencial (ETp).

Para el cálculo de la ETp, se utilizó el método de Hargreaves, cuya ecuación se basa en los datos de luz solar y temperatura media mensual. La ETp contribuye con el balance hídrico y a encontrar las necesidades hídricas de los cultivos.

1.3.6.8. Balance hídrico.

Este se realizó para determinar los excesos y déficit de agua, mediante el método de Thorwaite, el cual considera el suelo como una sola capa homogénea, con una capacidad de retención de agua igual a 100 mm.

1.3.6.9. Aforos.

Los aforos se llevaron a cabo durante la época lluviosa en los meses de septiembre a noviembre que fue el único período de flujo de la quebrada, siendo éste mínimo por lo que se utilizó un vertedero triangular de 60 ° para la medición de su caudal; el cual se obtuvo a través de una fórmula matemática ($Q = 1.32 \text{ tg } (\alpha/2) h^{2.47}$) que tiene como variables, el ángulo del triángulo y la altura alcanzada por el agua en el vertedero, que se mide a partir del vértice.

1.3.6.10. Coeficiente del cultivo "Kc".

Para cada cultivo predominante en el área de estudio, se determinó su Kc, utilizando la metodología propuesta por la F.A.O. Esta metodología toma en cuenta las características de las diferentes fases de desarrollo del cultivo, así como las condiciones climáticas, en especial el viento y humedad relativa. (10).

1.3.7. Hidrogeología.

Para el análisis hidrogeológico se recopiló, analizó y seleccionó información de los estudios hidrogeológicos de áreas vecinas.

- Se realizó un inventario de pozos excavados y perforados existentes en el área de estudio.

- Se midió la profundidad del nivel freático de cada uno de los pozos inventariados, con una sonda eléctrica.

- Se recopiló datos sobre características físico-químico y bacteriológica del agua, y se tomaron muestras en nuevos sitios.

- Se evaluaron los recursos hídricos subterráneos de la zona de estudio, y se localizaron sitios más favorables para su aprovechamiento mediante la perforación de pozos profundos.

Con la información obtenida se procedió a la elaboración de un mapa hidrogeológico con sus respectivas curvas isofreáticas (ver mapa N^o 3 y Anexo A-1).

1.3.8. Descripción del área de estudio.

El área de estudio comprende los cantones La Jutera y Quiomalapa, jurisdicción de San Luis Talpa; La Sierpe y Tecualuya, jurisdicción de San Luis Talpa localizado al occidente del departamento de La Paz en la región paracentral al sur del país, con una extensión de 9,09 km² limitada por las coordenadas planas; 25695 O.N. - 25990 O.N. y 487629 E - 489650 E; 13°31'21.22" N con la hacienda Miramar; 13°31'26,93" N con la desembocadura de la quebrada Tecualuya; 89°07'1,63" E con la desembocadura de la quebrada Tecualuya, 89°05'49,79" E con los Gueguechos. (Ver mapa N^o 1).

Las poblaciones principales que se localizan en el área de estudio son: Cantón La Jutera, San José Buena Vista, cantón La

Sierpe, Tierra Blanca, cantón y caserío Santo Tomás y el cantón y caserío Tecualuya. (Ver mapa No 1).

Dentro del sistema vial se distinguen en la zona de estudio, carretera sin pavimentar angosta transitable en tiempo seco, que une la Hacienda Miramar, con la Hacienda El Barrial, pasando por el cantón San José Buena Vista; carretera sin pavimentar angosta transitable todo el año que une la hacienda El Barrial con el cantón Tecualuya, así como un tramo de la carretera del litoral, hacia el sur de la sub-cuenca. Existe también una red densa de caminos rurales y vecinales transitables todo el año.

La mayor parte del área de estudio carece de energía eléctrica únicamente en la parte baja se observan líneas de transmisión y subtransmisión de diferente voltaje.

En lo que respecta al uso de la tierra se distinguen en la zona de estudio las siguientes áreas:

- Tierra de cultivo
- Cultivos semipermanentes
- Otros

En las tierras de cultivo se consideran las dedicadas a la siembra de gramíneas (maíz, maicillo, arroz), leguminosas (frijol común y viqna). En los cultivos semipermanentes predominan: la caña de azúcar, ajonjolí y plátano; en cuanto a otros son tierras incultas cubiertas de maleza; existiendo a la orilla de la quebrada bosques de galería, así como áreas de construcción, calles, etc.

1.3.9. Características edáficas.

Según el Levantamiento General de Suelos de El Salvador, (9,22) los suelos predominantes del área de estudio son:

Apc. Apopa ondulado en planicies

Suelos pertenecientes al gran grupo de los regosoles. Los horizontes superiores son francos o franco arenosos finos color café grisáceo muy oscuros, estructura débilmente granular y con espesor variado de 15 a 25 cm.

Esta unidad comprende las clases II E, III E, tierras aptas para cultivos intensivos, en los cuales es posible emplear maquinaria agrícola.

Estos suelos se extienden en la zona desde la altura del cantón San José Buena Vista, hasta la hacienda Santo Tomás.

ILF. Ilopanqo - Tonacatepeque muy accidentado en terrenos elevados.

Estos se encuentran a la altura del cantón La Sierpe, en la parte intermedia de la sub-cuenca, en áreas fuertemente diseccionadas, en planicies inclinadas.

Los suelos pertenecen a los grandes grupos de los regosoles, y las clases de tierras predominantes son:

La clase IV-E, son tierras con pendientes suaves, que pueden ser utilizadas para cultivos extensivos. Las clases IV-E 30% y V E 35%, a causa de las fuertes pendientes son tierras

difíciles de trabajar, por lo que se recomienda cultivos forestales y obras de conservación de suelos.

La clase VII- E 30% , ésta se presenta en un área reducida en la sub-cuenca y está representada por áreas muy diseccionadas, con suelos muy poco profundos o por fallas con paredes casi verticales. (6,22).

Cma. Comalapa franco arenoso fino en planicies aluviales.

Estos predominan en la parte baja de la sub-cuenca; donde se encuentran las planicies aluviales sin disección y sin relieve, las pendientes predominantes son menores de 2%, las capas inferiores están constituidas por depósitos aluviales recientes provenientes de materiales volcánicos como cenizas y arenas pumicíticas.

Los suelos pertenecen al gran grupo Regosol Aluvial. Los horizontes superiores son franco arenosos finos de colores cafesosos, usualmente muy oscuros.

Las clases de tierras predominantes son:

Las clases IIA y IIIA, tierras aptas para cultivos intensivos propios de la zona, prácticas de conservación de suelos y protección contra las inundaciones y corrección de los excesos de humedad son requeridos para mejorar las condiciones físicas del suelo.

Clase VA, tierras demasiado húmedas, y mucho peligro de inundaciones, se recomienda, pastos o cultivos adecuados.

1.3.10. Población actual y futura.

Para el estudio de la población se ha dividido la sub-cuenca en tres partes:

Parte alta con una población actual (1991) de 900 habitantes y una demanda media diaria de 1,56 lts/seg, la cual carece completamente de agua, para el año 2011 se tendrá una población de 1615 habitantes, con una demanda media diaria de 2,80 lts/seg. (ver cuadro 1).

Parte media con una población actual (1991) de 85 habitantes y una demanda media diaria de 0,15 lts/seg, la cual carece completamente de agua, para el año 2011 se tendrá una población de 154 habitantes, con una demanda diaria de 0,27 lts/seg. (ver cuadro 1).

Parte baja con una población actual (1991) de 2470 habitantes y una demanda media diaria de 4,29 lts/seg, la cual se satisface por los pozos perforados por PLANSABAR, ya que sólo uno está funcionando produce un caudal de 6,42 lts/seg que cubre la demanda. Para el año 2011 se tendrá una población de 4460 habitantes, con una demanda media diaria de 7,75 lts/seg, la cual se podrá satisfacer con los dos pozos funcionando, ya que el pozo N^o 1 produce un caudal de 4,53 lts/seg, (en la actualidad no funcionando) y el N^o 2 produce un caudal de 6,42 lts/seg, produciendo un caudal total de 10,95 lts/seg. (ver cuadros 1,2).

La población total de la sub-cuenca es de 3455 habitantes para 1991 y para el año 2011 de 6047 habitantes, y con el caudal de los pozos perforados de 10,95 lts/seg, se cubre la

demanda de agua ya que para el año 2011 la demanda es de 10,82 lts/seg, pero el problema es llevar el agua de la parte baja a la media y alta, ya que es de un costo muy alto, por lo que se tendrá que buscar otras soluciones. (ver cuadro 2).

CUADRO 1. POBLACION ACTUAL Y FUTURA.

Localidad	Población Actual	Población Futura
Año	1991	2011
Parte Alta	900	1615
Parte Media	85	184
Parte Baja	2470	4460
Total	3456	6047

+ La tasa de crecimiento poblacional según PLANSABAR del 3%

CUADRO 2. PROYECCION DE DEMANDA DE AGUA POTABLE.

Localidad	Demanda media diaria (lts/seg)	
Año	1991	2011
Parte Alta	1,56	2,80
Parte Media	0,15	0,27
Parte Baja	4,29	7,75
Total	6,0	10,82

1.3.11. Abastecimiento actual y futuro de agua.

El abastecimiento actual de agua potable en el área de estudio se encuentra dividido en tres partes. La parte alta que comprende la hacienda Miramar, la cual carece totalmente de agua potable, y el cantón San José Buena Vista, el cual posee una red de cañerías de agua potable instalada por PLANSABAR, donde se transporta el agua por gravedad, desde la fuente El Zacatal localizada en Olocuilta, de la cual se transporta agua a cuatro cantones más, siendo insuficiente el caudal que la fuente produce para satisfacer las demandas del cantón San José Buena Vista que sólo recibe agua eventualmente, por lo que sus habitantes se abastecen de el manantial conocido como La Jutera.

La parte media que comprende la hacienda El Barrial y el caserío Veracruz, los cuales carecen totalmente de agua potable, en la hacienda El Barrial se posee un pozo excavado, donde el agua que se extrae se utiliza para los quehaceres del hogar y las casas vecinas carecen de agua; para el caserío Veracruz se poseen una red de cañerías, pero éstas no transportan agua, por lo que carecen de agua; y se abastecen de los nacimientos conocidos como Quiomalapa y La Sierpe; y de las poblaciones que se encuentran en la parte baja de la sub-cuenca que sí poseen agua potable.

Para la parte baja que comprende cantón y caserío Santo Tomás, Los Higueros, El Barrial y Tierra Blanca, poseen agua potable distribuida por PLANSABAR, el cual ha perforado dos

pozos al sur de la hacienda Santo Tomás, en la actualidad sólo uno está en funcionamiento y este pozo cubre la demanda de agua de estas poblaciones, además en el cantón y caserío Tecualuya la mayoría de sus habitantes poseen pozos excavados. (ver cuadro 3)

CUADRO 3 ABASTECIMIENTO ACTUAL DE AGUA POTABLE

El abastecimiento actual de agua en el área de estudio se encuentra dividido en tres partes:

Parte Alta	Habitantes	Observación
Hacienda Miramar	85	Carece de Agua Potable
San José Buena Vista	815	Carece de Agua Potable
Total	900	con instalación de tubería.
Parte Media	Habitantes	Observación
Hacienda El Barrial	25	Carece de Agua Potable
Caserío Veracruz	60	Carece de Agua Potable
Total	85	con instalación de tubería.
Parte Baja	Habitantes	Observación
Ctón. y Caserío Tecualuya	1450	Posee Agua Potable
Caserío y Hda. Santo Tomás	550	Posee Agua Potable
Ctón. y Caserío Santo Tomás	330	Posee Agua Potable
Los Higueros	50	Posee Agua Potable
El Barrial	50	Posee Agua Potable
Tierra Blanca	40	Posee Agua Potable
	2470	

2. GEOLOGIA

En este capítulo se hace una breve descripción sobre las características geológicas y estructurales de la sub-cuenca de las quebradas: La Jutera, Quiomalapa, La Sierpe y Tecualuya; tomando como base el mapa geológico nacional, estudios geológicos realizados en la parte sur de la sub-cuenca, así como fotografías aéreas y visitas de campo.

2.1. Generalidades.

El área de la sub-cuenca de las quebradas: La Jutera, Quiomalapa, La Sierpe y Tecualuya, está formada en un 64% por rocas volcánicas que van del período Terciario Superior (plioceno), al período Cuaternario; y en un 36% por depósitos sedimentarios recientes.

La parte alta, al norte de la carretera del litoral, está cubierta por rocas volcánicas pertenecientes al plioceno - pleistoceno (14), tratándose mayormente de depósitos de piroclastos de granulometría y compactación variable, así como cenizas volcánicas arrojadas por los volcanes de Ilopango y la Caldera. Solamente en la parte baja al sur de la carretera del litoral, se encuentran depósitos sedimentarios de espesor variable y poca extensión provenientes de la erosión y redepositación de los mismos materiales de la parte alta; dando origen a depósitos sedimentarios compuestos por piroclastos retrabajados y partículas de pómez.

2.2. Geomorfología.

Geomorfológica y cartográficamente se distingue en la parte alta del área de estudio, terreno irregular y ondulado, con pendientes suaves; la máxima elevación se presenta en esta parte y se localiza en el casco de la hacienda Miramar, que es un pequeño domo, del cual salen radialmente ondonadas de poca profundidad.

En el inicio de las ondonadas donde se forman las quebradas existe bastante vegetación, y conforme se va bajando disminuye, observándose cerros desprovistos de ella, con una alta erosión, por lo que se supone que la quebrada misma es producto de esta alta erosión. Desde la hacienda Miramar hasta el nivel de San Juan Talpa que comprende la parte alta, la pendiente se mantiene uniforme.

La parte media que comprende desde San José Buena Vista hasta la carretera del litoral, se caracteriza por pequeños quiebres que hacen cambiar el cauce de las quebradas en algunos puntos. A 1,5 km, al norte de la carretera del litoral, a la altura de la hacienda El Barrial, se origina un salto de aproximadamente 40 m, de alto, que sólo interrumpe el flujo y no la dirección del agua; la profundidad de la quebrada va disminuyendo hacia el sur, y a escasos 200 m, al sur de la carretera, donde terminan las ignimbritas el cauce corre prácticamente el nivel del terreno sobre los depósitos sedimentarios.

La parte baja al sur de la carretera del litoral hasta el límite de la sub-cuenca, es donde se observan las menores elevaciones, los cauces se ensanchan, y se pierde la quebrada, no logrando descargar en el río Comalapa, por lo que su caudal alimenta el acuífero debido a la alta permeabilidad de los materiales sedimentarios de esa zona. El terreno posee ondulaciones de poca profundidad con pendientes suaves, casi plano, típico de la planicie costera.

2.3. Geología histórica.

La sub-cuenca de las quebradas: La Jutera, Quiomalapa, La Sierpe y Tecualuya, se encuentra dentro de la cadena costera la cual se extiende desde los volcanes de San Salvador - Boquerón - Ilopango, hasta la costa del pacífico en dirección Este - Oeste. (25)

La cadena costera llamada cordillera del Bálsamo o Cumbre, según Williams y Meyer - Abich (1953), es un hundimiento o graben tectónico; que se extiende paralelo a la costa del pacífico y lo denominan "Gaben de Olomeqa - Ilopango - Zapotitán". (25)

Tanto en el campo como en fotografías aéreas pueden distinguirse un total de cuatro terrazas que se inclinan al sur de modo aparentemente idéntico; cada una queda separada de la otra por un escalón bien marcado en el declive, estos

escalones, se notan también en los lechos de los ríos; el escalón inferior se distingue especialmente por paredones hasta de 100 m, de altura y catarata. (24, 25)

Estas condiciones morfológicas se pueden interpretar, como que la montaña ha sido levantada intensamente en el norte a lo largo de fracturas jóvenes, en partes todavía activas y sufren aquí los efectos de una extensa erosión. La planicie truncada que estaba al sur de la montaña fue levantada por las fallas indicadas de modo que desde entonces la erosión renovada pudo atacarla.

La subdivisión de los valles en tramos bien definidos, por los paredones y la de las pendientes por los escalones de terrazas, indican que hubo varios levantamientos repentinos entre los cuales habían intervalos de calma. Según Williams y Meyer - Abich (1953), El Graben de Olomega - Ilopango - Zapotitán, se produjo en tres fases de hundimientos con intervalos de sedimentación volcánica; a éstas corresponderían exactamente las tres fases de levantamientos que se diferencian en la serie de las terrazas. Las épocas de las diferentes fases no puede ser precisada, pero se supone que el primer hundimiento tuvo lugar a fines del plioceno, época en la cual concordaría el estado de conservación de la terraza superior. (25)

En la región de Comalapa puede diferenciarse debajo de la terraza superior sólo una terraza bien marcada de modo que se presenta solamente dos fases de levantamiento. Esto talvés pueda interpretarse como que algunas partes de la cadena

costera reaccionaron en forma diferentemente pronunciada sobre los movimientos del graben.

2.4. Geología superficial.

En el área de estudio se encuentran o diferencian las formaciones: San Salvador, Cuscatlán y El Bálsamo, ésta última es la más antigua, por lo que en el área de estudio no existen afloramientos.

2.4.1. Formación El Bálsamo.

La formación El Bálsamo del plioceno superior o tope del terciario, constituye la roca madre, sobre la cual subyacen las dos formaciones más recientes, por lo que en el área de estudio no existen afloramientos.

2.4.2. Formación Cuscatlán.

La formación Cuscatlán edad plio-pleistoceno de la base del período Cuaternario formada por piroclastos ácidos descompuestos, arcillas, tobas ardientes y fundidas (Ignimbritas). Aflorando en la parte intermedia de la subcuenca, a la altura de la hacienda El Barrial, hasta la carretera del litoral. (ver mapa N° 2)

2.4.3. Formación San Salvador.

En el área de estudio esta formación tiene una edad geológica que corresponde a la época Holocénica del período Cuaternario, la formación consta de dos miembros uno superior al sur de la sub-cuenca y uno inferior al norte.

El miembro inferior de la formación está conformado en la zona desde la hacienda Miramar hasta la hacienda El Barrial (ver mapa N^o 2), por potentes acumulaciones de tobas pumíticas poco compactas de color blanco y granulometría fina conocida como "tierra blanca", piroclastos ácidos, tobas volcánicas subordinadas localmente y lavas ácidas.

El miembro superior aflora en la parte baja del área de estudio, conformada por depósitos sedimentarios compuesto por aluviones, con intercalaciones de piroclastos y suelos anmoor.

2.5. Génesis geológico local.

El yacimiento de tobas fundidas del área de estudio se halla debajo de una capa de varios metros de espesor de tobas de pómez blancas denominada tierra blanca, que han sido expulsadas del lago de Ilopango.

Las tobas fundidas o ignimbritas se formaron contemporáneamente con la primera actividad volcánica del Ilopango a fines del terciario superior y principios del cuaternario (20), fueron expulsadas en forma de avalanchas ardientes a través de grietas y líneas paralelas a la costa

salvadoreña las cuales no pueden verse en la actualidad debido a que están totalmente cubiertas por dichas tobas; las partes superiores de la propia roca del lecho es terrosa y espesa, pero sumamente estable.

La densidad de la toba varía de 1,28 a 2,03; con el empleo del microscopio petrográfico se le puede distinguir las siguientes partes: parte fundamental, trozos de obsidiana, inclusiones de rocas, intrusiones pequeñas. (25)

La primera se compone de trozos de vidrio que yacen en una sustancia intermediaria de vidrio con aspecto de granulación finísima; los fragmentos de obsidiana muestran su característica en forma de estrías vítreas (textura paralela); las inclusiones de rocas extrañas son primordialmente rocas efusivas basálticas y andesíticas.

La mayoría bien redondeadas y considerablemente descompuesta, por lo cual se diferencia claramente del material fresco de la toba; finalmente las intrusiones minerales comprenden principalmente feldepastos plagioclasas con un porcentaje de Anortita (feldepasto cálcico) de 35 - 45%, se pueden observar además la presencia de piroxenos, magnetitas y algo de cuarzo. (25)

Las tobas fundidas o ignimbritas se observan muy bien a ambos lados de la carretera del litoral; al norte de la carretera (zona alta de la sub-cuenca), posee un basamento de tobas fundidas el cual en su totalidad está cubierto de tobas pumíticas dacíticas (tierra blanca).

Como ya se expresó la tierra blanca es la roca que se encuentra sobre las tobas fundidas, representando la tercera etapa ígnea de la depresión volcánico - tectónica del Ilopango. Se le ha calculado una edad aproximadamente de 3000 años, es decir, geológicamente son más recientes que las tobas fundidas. Un espesor promedio para estas cenizas volcánicas dentro del área en estudio no es posible determinarlo, dado que sólo existen perforaciones de pozos en la parte baja de la zona. García Escobar reporta un espesor promedio en el campo experimental y de prácticas de la facultad de Ciencias Agronómicas de la Universidad de El Salvador de aproximadamente 30 m.

Análisis químicos realizados en muestras de tierra blanca recogidas en distintos lugares del Departamento de San Salvador, arrojaron los siguientes resultados (ver cuadro 4) (14).

Notando el alto contenido de Sílice (SO_2) se deduce fácilmente que esta ceniza volcánica es de composición ácida finalmente, como tercer material geológico, están los sedimentos aluviales, constituidos por partículas rocosas que varían en su tamaño desde arcillas hasta cantos rodados finos con un diámetro de 2 a 3 cm. Geológicamente son muy recientes, habiendo sido formados en su mayor parte por el río Cacapa, y las quebradas, los cuales han depositado gran cantidad de su carga en el recorrido hacia la costa. Siendo las tobas

CUADRO 4. CARACTERISTICAS QUIMICAS DE MUESTRAS DE TIERRA BLANCA RECOGIDAS EN DISTINTOS LUGARES DEL DEPARTAMENTO DE SAN SALVADOR.

Elemento	Peso/muestras	Porcentaje
SiO ₂	61,7	65,5%
TiO ₂	0,2	1,7%
Al ₂ O ₃	14,7	17,7%
FeO	3,5	4,7%
MnO	--	0,16%
O	3,6	4,6%
MgO	0,8	1,4%
Na ₂ O	3,8	4,0%
K ₂ O	1,4	2,0%
H ₂ O	3,1	4,9%
P ₂ O ₅	--	0,17%

fundidas y la tierra blanca las rocas principales al norte y sobre las cuales se produce la acción degradadora de ambas corrientes, lo que origina que estos sedimentos estén constituidos en su mayoría por partículas provenientes de dichas rocas predominando la de pómez (cascajo), por su facilidad de arrastre.

2.6. Geología estructural.

La sub-cuenca de las quebradas: La Jutera, Quiomalapa, La Sierpe y Tecualuya, se encuentran dentro de la cadena costera la cual se extiende desde los volcanes de San Salvador - Boquerón - Ilopango y la costa del pacífico en dirección Este - Oeste.

En la cadena costera se reconocen una serie de escalones pronunciados del terreno que deben interpretarse como escalones pronunciados de falla con rumbo predominante E-O. En la parte media de la cadena costera, su escalón fallado sectorial es menos pronunciado por estar en su mayor parte cubierto por los depósitos volcánicos jóvenes del Volcán de San Salvador. En el oriente de la cadena costera se infiere un escalón fallado aunque puede haber sido modificado por procesos volcánicos - tectónicos.

En la zona de interés se distingue un sistema de cuatro fallas, de las cuales tres son fallas escalonadas por estar en superposición e inclinadas en el mismo sentido. Este sistema de fallas suponemos se originó en la era cenozoica, período cuaternario, época Holocénica, ya que dejan al descubierto afloramientos de ignimbritas, pertenecientes al período Terciario de la misma era. Por visitas de campo en las que se observaron rastros de estrías verticales, aunque no eran muy evidentes debido a la vegetación y al grado de descomposición de la roca por los procesos de meteorización también se puede suponer que las fallas son de tipo vertical.

La primera falla se observa aproximadamente a 0,4 km, al sur del casco de la hacienda Miramar, y a 4,7 km, al norte de la carretera del litoral, no se encuentra escalonada ya que su dirección es diferente a las tres fallas siguientes, su rumbo predominante es N.O. - S. E., y su mayor importancia radica en que en ella se origina la quebrada.

Las fallas escalonadas poseen un rumbo E - O, y se localizan así: la primera, aproximadamente a 0,6 km, al este de la hacienda El Barrial, y a 1,5 km, al norte de la carretera del litoral, esta falla da lugar a una discontinuidad muy pronunciada en el flujo de la quebrada, originando un salto de 40 m, de altura, dando la impresión que la quebrada se pierden principalmente en la época seca.

La segunda falla, se localiza aproximadamente a 1,1 km, al norte de la carretera del litoral, ésta ocasiona pequeños saltos que no interrumpen, pero sí cambian el curso del flujo en la quebrada.

La tercera falla escalonada, y última del sistema se observa aproximadamente a 0,7 km, al norte de la carretera del litoral, que al igual que la anterior sólo altera el curso del flujo de la quebrada y origina pequeños saltos.

2.7. Estratigrafía.

Los datos de secuencia estratigráfica que se describen a continuación fueron tomados de cuatro pozos perforados cercanos al área de estudio, en la parte baja, (al sur de la carretera

del litoral). Los primeros dos pozos se localizan al Oeste, uno en el municipio de San Luis Talpa (a 2 km,) y el otro en el campo experimental y de prácticas de la facultad de Ciencias Agronómicas de la Universidad de El Salvador, (a 0,5 km, del área de estudio). Los dos restantes pozos, se localizan en la hacienda Santo Tomás, a 0,5 km, al Este del área de estudio.

La cercanía de los pozos y su posición a ambos lados de la periferia de la zona de estudio, así como la similitud de los materiales encontrados en las perforaciones de los cuatro pozos (ver anexo A-1, A-2, A-3 y A-4), nos permite elaborar la siguiente estratigrafía representativa de la parte baja del área de estudio. (ver capítulo 4, numeral 4.4.)

De 0 a 4 m, de profundidad, sedimentos aluvionales fluviales, formados por piroclastos, lapilli; cenizas finas a medias, de carácter andesítico mezclado con polvo volcánico.

De 4 a 18 m, de profundidad, piroclastos retrabajados formado por lapilli medios a gruesos, mezclados con grava escoriácea y polvo volcánico.

De 26 a 34 m, de profundidad, sedimentos aluvionales formados por: gravas y arenas gruesas a medias de carácter andesítico con intercalaciones de polvo volcánico.

De 34 a 50 m, de profundidad, tobas fundidas (ignimbritas), formadas por: piroclastos gruesos, diseminados en la matriz fina de carácter ácido, textura fluidal muy compacta.

De 50 a 70 m. de profundidad, toba litica, formada por piroclastos finos en una matriz de polvo volcánico.

De 70 a 100 m. de profundidad, sedimentos aluvionales fluviales formados por arenas medias a finas y piroclásticos retrabajados.

Colocando los materiales encontrados en posición ascendente, desde el más antiguo al más joven, tenemos que los sedimentos aluviales; gravas, arenas, limos y arcillas, pertenecen a la era cuaternaria reciente; las tobas pumíticas dacíticas (tierra blanca), pertenecen a la era cuaternaria, época del pleistoceno; mientras que las tobas fundidas o ignimbritas pertenecen al período terciario superior, y la época del plioceno, siendo el material más antiguo que aflora en la zona de estudio.

3. HIDROLOGIA

3.1. Generalidades.

Para el análisis hidrológico de la sub-cuenca de las quebradas: La Jutera, Quiomalapa, La Sierpe y Tecualuya; se utilizarán los datos climáticos de la estación agroclimatológica "La Providencia", del campo experimental y de prácticas de la facultad de Ciencias Agronómicas de la Universidad de El Salvador por encontrarse el área de estudio dentro de su radio de influencia (ver cuadro 5)

Los datos hidrológicos procesados han permitido evaluar la magnitud y características de los recursos hídricos superficiales para una planificación en forma racional en el aprovechamiento del acuífero en el área de estudio.

3.2. Descripción hidrográfica.

El área total de la sub-cuenca es de 9,09 km² con un perímetro de 20,3 km, su forma y relieve es irregular. La longitud del cauce de la quebrada es de 8,6 km, originándose en la hacienda Miramar y no logrando desembocar (el cauce) en el río Comalapa al sur de la hacienda Santo Tomás. (ver mapa N^o 1)

CUADRO 5 CARACTERISTICAS PRINCIPALES DE LA ESTACION AGRO-CLIMATOLOGICA LA PROVIDENCIA.

Estación Hacienda La Providencia	
Coordenadas	13° 28' Lat. N 89° 06' Long. W
Elevación	50 m.s.n.m.
Registros	Enero 1977 - Diciembre 1990
Características	Tipo "A"
Localización	Estación experimental y de práctica La Providencia de la facultad de Ciencias Agronómicas de la U.E.S.

3.3. Características climáticas.

La estación agrometeorológica "La Providencia", cuenta con registros decádicos desde 1977, permitiendo la evaluación de los elementos meteorológicos que a continuación se describen:

3.3.1. Temperatura.

La temperatura promedio anual es de 26.6 °C, alcanzando un máximo de 28 °C en el mes de abril, y un mínimo de 25,7°C en el mes de enero (ver cuadro 6)

3.3.2. Humedad relativa.

La humedad relativa media guarda una relación directa con la ocurrencia de la lluvia a través del año, mientras que con la temperatura posee una relación inversa. La humedad relativa promedio anual es de 75%, teniendo un máximo para septiembre de 86%, y un mínimo de 63% para enero. (ver cuadro 6)

3.3.3. Precipitación.

3.3.3.1. Generalidades.

El análisis de la precipitación de la sub-cuenca de la quebrada se basó en registros pluviográficos de la Estación Hacienda La Providencia. La cantidad de agua precipitada varía en relación al relieve del terreno, alcanzando láminas anuales en la parte alta de 2000 mm, y en las partes bajas se tiene un promedio anual de 1718 mm.

3.3.3.2. Precipitación decádica.

Para la zona de estudio la época seca se establece de noviembre hasta abril; caracterizada por muy baja o nula precipitación. La época húmeda se presenta de mayo a octubre y se caracteriza por el aumento gradual de lluvias; alcanzando su primer máximo en la primera década de julio con 127,3 mm.

El mayor incremento de lluvia ocurre en la tercera década de agosto alcanzando 157,2 mm, de agua precipitada; a partir de

esta década disminuye progresivamente hasta que finaliza la época húmeda. (ver cuadro 6)

3.3.4. Viento.

El sistema de vientos predominantes en la zona de estudio son los alisios con rumbo norte; teniendo otras fuerzas que influyen en el clima como lo representa el viento marítimo terrestre y la invasión de masas de aire seco que ocurren de noviembre a enero. Las velocidades del viento varían desde un mínimo de 2,48 km/hora en los meses de mayo a septiembre y un máximo de velocidad de 7,46 km/hora para los meses de diciembre a febrero. (ver cuadro 6)

3.3.5. Evaporación.

La cantidad de agua medida en el tanque evaporímetro tipo "A", cuya evaporación medida es de 226 mm/año. La mayor evaporación se produce en la tercera década de marzo con 8,1 mm, y la de menor evaporación se da en la segunda década de septiembre con 4,8 mm/día, primera década de octubre con 4,9 mm/día. (ver cuadro 6)

3.3.6. Evapotranspiración potencial (ETp).

La magnitud alcanzada demuestra ser mayor para el mes de abril alcanzando un promedio de 6,0 mm/día de agua evaporada y

menor para los meses de septiembre, octubre, enero, alcanzando un promedio de 4,61 mm/día. (ver cuadro 6)

Cuadro 6. DATOS CLIMATOLOGICOS ESTACION HACIENDA LA PROVIDENCIA.

		Promedios de Evaporación Tanque Clase "A" (mm/día)												
		E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	
D E C A D A S	I	6,7	7,5	8,0	7,6	5,8	5,9	6,2	5,9	5,2	4,9	5,6	5,4	
	II	7,0	7,7	7,9	7,4	5,9	4,9	5,8	6,9	4,5	5,1	5,5	6,4	
	III	7,0	7,7	8,1	6,6	5,3	7,4	6,9	5,9	4,6	5,2	5,2	6,3	
	Promedios de Precipitación (mm)													
	I	1,8	0,2	3,8	3,1	47,8	127,3	82,8	60,9	91,3	88,1	31,3	7,7	
	II	2,4	0,6	9,8	11,6	37,8	78,9	79,7	109,6	105,6	64,1	12,3	1,1	
	III	0,1	0,8	4,0	20,8	98,8	89,3	127,7	157,2	101,6	51,8	5,5	0,8	
	Promedios de Humedad Relativa (%)													
	I	64	63	66	68	77	83	79	80	84	84	77	72	
	II	64	66	66	68	78	82	71	82	85	80	73	66	
	III	66	63	69	72	81	80	80	83	86	78	76	68	
	Promedio de Radiación Solar Calorías/Cm ² /día													
I	471,6	524,4	543,3	534,4	467,7	431,4	500,4	507,2	465,6	444,1	469,8	458,5		
II	477,8	521,4	542,9	504,0	481,0	457,0	492,7	511,7	447,0	456,9	469,9	458,6		
III	499,0	528,6	543,3	487,6	406,2	472,3	509,0	478,0	433,7	461,0	471,5	469,7		
Promedio de Evapotranspiración Potencial (ETP) mm/día														
I	4,7	5,1	5,5	6,0	5,6	5,0	5,2	5,2	4,8	4,5	4,6	4,5		
II	4,7	5,2	5,7	6,1	5,5	5,0	5,2	5,1	4,7	4,6	4,6	4,6		
III	4,9	5,5	5,7	5,9	5,1	5,1	5,2	4,9	4,5	4,6	4,4	4,5		
Promedio de Temperatura (°C)														
I	25,8	26,1	26,6	27,8	27,7	26,7	26,8	26,8	26,2	26,1	26,0	26,1		
II	25,6	26,4	26,8	28,2	27,9	26,8	26,7	26,6	25,9	26,3	26,3	26,2		
III	25,8	26,2	27,3	27,9	27,2	27,1	26,6	26,2	25,9	26,3	25,9	25,6		
Promedio de Velocidad del Viento (Km/h)														
I	5,04	5,04	5,04	4,32	3,6	2,88	2,52	2,88	2,52	2,88	2,88	3,6		
II	5,04	5,04	4,68	4,32	2,52	3,24	2,53	2,88	2,52	2,88	3,24	4,68		
III	7,46	5,4	4,68	3,96	3,24	2,88	2,88	2,52	2,52	2,88	3,24	4,32		

3.4. Potencial hidráulico de la sub-cuenca.

3.4.1. Escorrentía superficial.

El flujo de agua en la quebrada se encuentra sujeta por la época lluviosa; principalmente para los meses de agosto, septiembre y mediados de octubre (ver cuadro 7), el sistema torrencial de las aguas provoca alta erosión en pendientes pronunciadas y de esta manera conduce agua a los drenajes naturales que abastecen a las quebradas. Durante la época seca es nulo el caudal recibido aún en los meses de mayo, junio y mediados de julio.

CUADRO 7 CAUDALES PROMEDIOS MENSUALES DE ESCORRENTIA SUPERFICIAL DE LAS QUEBRADAS.

Mes	Caudal (mt ³ /seq)	Caudal (lt/seq)
Septiembre	2.337×10^{-4}	0.2337
Octubre	7.079×10^{-3}	7.079
Noviembre	1.621×10^{-4}	0.1621
Promedio	2.4916×10^{-3}	2.4916

3.4.2. Manantiales.

Los manantiales existentes en el cauce de la quebrada son de vital importancia para las poblaciones del área; los

rendimientos son muy bajos pero mantiene agua durante la época seca.

Los manantiales existentes en el área de estudio se encuentran en las quebradas y son conocidos como: Nacimiento La Jutera, Nacimiento Quiomalapa y Nacimiento La Sierpe, su caudal no es medible ya que son de rendimientos inapreciables. (ver mapa N^o 3)

3.4.3. Agua subterránea.

La topografía de la sub-cuenca así como la escasa cubierta vegetal; contribuye a que el agua precipitada no sea interceptada por la vegetación, contribuyendo a una escorrentía alta; pero debido a la mínima lluvia que hubo en el año 1991 causada por el fenómeno atmosférico del Niño, la precipitación fue de poca intensidad en comparación con otros años. El agua de escorrentía fluye hacia la parte baja principalmente por la quebrada a los depósitos aluvionales que facilitan la recarga del acuífero de la parte baja.

La magnitud de agua infiltrada hacia los mantos acuíferos de la sub-cuenca se encuentra representado por la fórmula: $I = P - ETP - EV - Es$, cuyo comportamiento es el siguiente: Para la época seca que comprende los meses de diciembre a abril, se tiene que no existe infiltración.

En la época húmeda la infiltración sufre un incremento gradual a partir de mayo con 151,2 mm/día, alcanzando el máximo

en agosto con 293,8 mm/día; disminuyendo progresivamente en noviembre con 19,20 mm/día.(ver cuadro 8)

CUADRO 8 INFILTRACION PROMEDIO DE LA SUB-CUENCA.

Mes	$I = P - ETP - EV - EQ = \text{mm/día}$
Enero	- 30.7
Febrero	- 37.1
Marzo	- 23.3
Abril	- 4.1
Mayo	151.2
Junio	262.1
Julio	255.7
Agosto	293.8
Septiembre	270.20
Octubre	175.02
Noviembre	19.20
Diciembre	- 22.1

P = Precipitación

ETP = Evapotranspiración Potencial

EV = Evaporación

EQ = Escorrentía Superficial

I = Infiltración

3.5. Balance hidrico.

Las fluctuaciones de niveles de agua en el suelo; son asumidas en base a una capacidad de retención de 100 mm, iniciando la saturación del suelo en la primera década de junio a la tercera década de octubre; teniendo el primer exceso en la primera década de junio con 25,1 mm; aumentando progresivamente hasta la tercera década de julio con 75,7 mm, y tercera década de agosto con 108,2 mm.

El mínimo exceso ocurre en la tercera década de octubre con 5,8 mm, el máximo exceso en la tercera década de agosto con 108,2 mm, y el déficit de agua es representado desde la segunda década de diciembre hasta la segunda década de mayo. (ver cuadro 9 y figura 1)

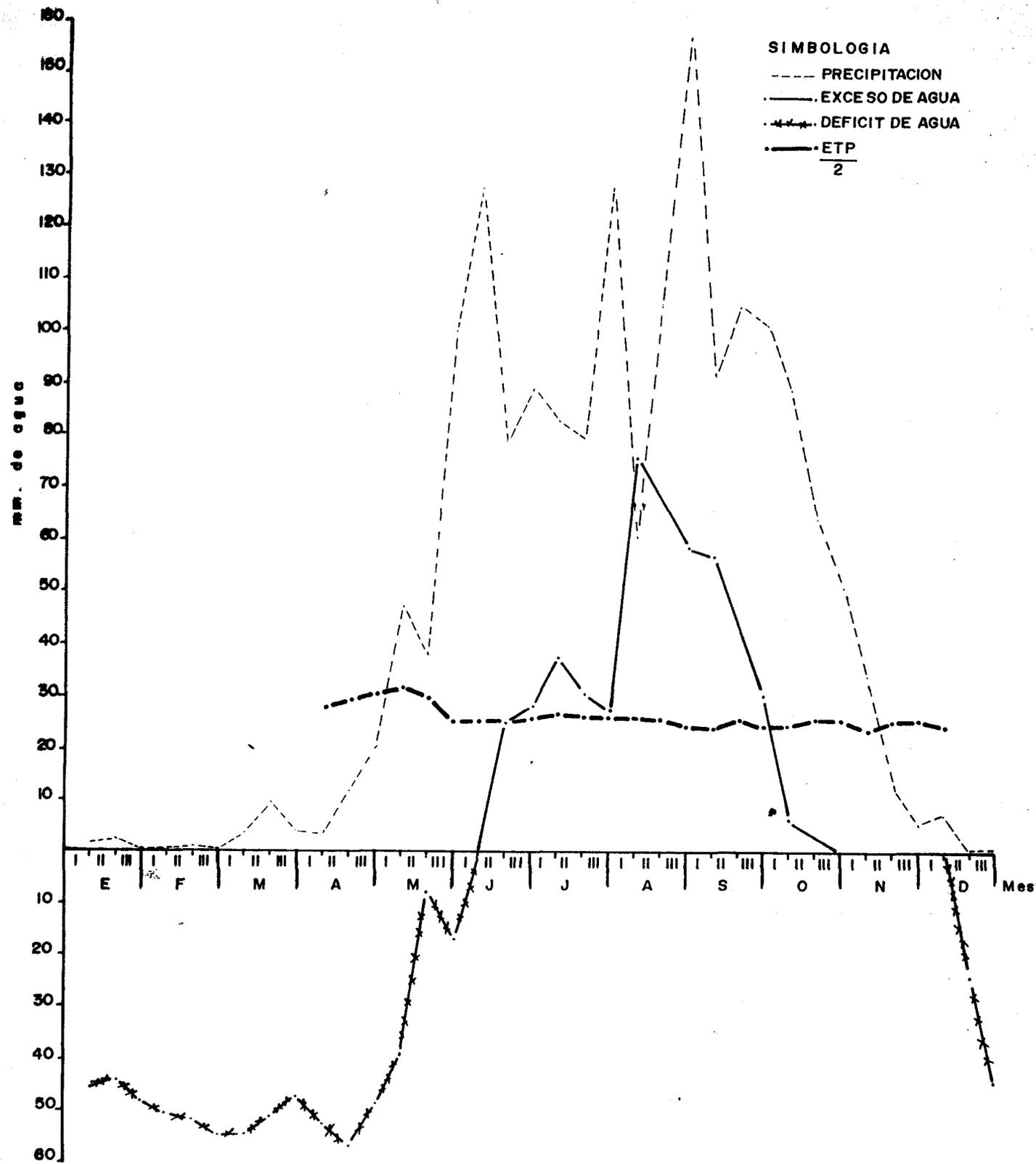


Fig. 1 Comportamiento de la precipitación, evapotranspiración potencial media, exceso y deficit de agua.

CUADRO 9. BALANCE HIDRICO ESTACION HDA. LA PROVIDENCIA
 ESTACION EXPERIMENTAL Y DE PRACTICAS DE LA FAC.
 C.C.A.A. DE LA U.E.S.

Capacidad de Retención : 100 mm

Método : Thorwaite

MES	DECADA	PRECIPITACION	ETP	(P-ETP)	VA	A	ETR	DEF	EXCESO H2O
E N E	I	1,8	47	-45,2	---	---	47	45,2	---
	II	2,4	47	-44,6	---	---	47	44,6	---
	III	0,1	49	-48,9	---	---	49	48,9	---
F E B	I	0,2	51	-50,8	---	---	51	50,8	---
	II	0,6	52	-51,4	---	---	52	51,4	---
	III	0,8	55	-54,2	---	---	55	54,2	---
M A R	I	3,8	55	-51,2	---	---	55	51,2	---
	II	9,8	57	-47,2	---	---	57	47,2	---
	III	4,0	57	-53,0	---	---	57	53	---
A B R	I	3,1	60	-56,9	---	---	60	56,9	---
	II	11,6	61	-49,4	---	---	61	49,4	---
	III	20,8	59	-38,2	---	---	59	38,2	---
M A Y	I	47,8	56	-8,2	---	---	56	8,2	---
	II	37,8	55	-17,2	---	---	55	17,2	---
	III	98,8	51	47,8	47,8	47,8	51	---	---
J U N	I	127,3	50	77,3	52,2	100	50	---	25,1
	II	78,9	50	28,9	---	100	50	---	28,9
	III	89,3	52	37,3	---	100	52	---	37,3
J U L	I	82,8	52	30,8	---	100	52	---	30,8
	II	79,7	52	27,7	---	100	52	---	27,7
	III	127,7	52	75,7	---	100	52	---	75,7

CUADRO 9. BALANCE HIDRICO (Continuación)

Capacidad de Retención : 100 mm

Método : Thorwaite

MES	DECADA	PRECIPITACION	ETP	(P-ETP)	VA	A	ETR	DEF H2O	EXCESO H2O
A G O	I	60,9	52	8,9	---	100	52	---	8,9
	II	109,6	51	58,6	---	100	51	---	58,6
	III	157,2	49	108,2	---	100	49	---	108,2
S E P	I	91,3	48	43,3	---	100	48	---	43,3
	II	103,6	47	58,6	---	100	47	---	58,6
	III	101,6	45	56,6	---	100	45	---	56,6
O C T	I	88,1	45	43,1	---	100	45	---	43,1
	II	64,1	46	18,1	---	100	46	---	18,1
	III	51,8	46	5,8	---	100	46	---	5,8
N O V	I	31,3	46	-14,7	---	85,3	46	14,7	---
	II	12,3	46	-33,7	---	51,6	46	33,7	---
	III	5,5	44	-38,5	---	13,1	44	38,5	---
D I C	I	7,7	45	-37,3	---	---	45	37,3	---
	II	1,1	46	-44,9	---	---	1,1	23,1	---
	III	0,8	45	-44,2	---	---	0,8	44,2	---

P : Precipitación

ETP : Evapotranspiración Potencial

A : Almacenaje de Agua

VA : Variación de Almacenaje

Def : Déficit de Agua

Exc : Exceso de Agua

3.6. Uso consuntivo de cultivos.

Las necesidades hídricas de los cultivos extensivos predominante en el área de estudio son representados por los cultivos: maíz, sorgo, ajonjolí, caña de azúcar, plátano.

3.6.1. Maíz.

El máximo uso consuntivo es alcanzado desde los cuarenta a ochenta días de haberse establecido, alcanzando 5,46 mm/día y el mínimo de 3,25 mm/día en la fase inicial (ver cuadro 10 y Anexo A - 2)

3.6.2. Sorgo.

El máximo uso consuntivo es alcanzado desde los cuarenta hasta los setenta días; teniendo una exigencia de 4,56 mm/día de agua y una mínima de 3,23 mm/día para la fase inicial y 2,76 mm/día en la última década del ciclo vegetativo (ver cuadro 10 y Anexo A - 2)

3.6.3. Ajonjolí.

La mayor exigencia hídrica es alcanzada a los sesenta días hasta los noventa días teniendo una necesidad de agua 4,94 mm/día y a los treinta días de haberse establecido posee una

necesidad de 3,6 mm/día y 2,08 mm/día para la Fase de Germinación. (ver cuadro 10 y Anexo A - 2)

3.6.4. Caña de azúcar.

La mayor exigencia hídrica es alcanzada desde los cien a ciento sesenta días de haberse establecido el cultivo con 5,46 mm/día y de los ciento ochenta días, hasta la maduración necesita de un promedio de 4,73 mm/día. La mínima necesidad es alcanzada para los primeros cuarenta días con 3,78 mm/día y para las últimas dos décadas del ciclo vegetativo. (ver cuadro 10 y Anexo A - 2)

3.6.5. Plátano.

La mayor exigencia hídrica es alcanzada de ciento veinte hasta los doscientos ochenta días alcanzando un promedio de necesidad hídrica de 4,92 mm/día, teniendo un uso consuntivo para el segundo año donde ocurre el deshije de 5,6 mm/día hasta la maduración. La mínima exigencia es alcanzada para los primeros meses de haberse establecido el cultivo 3,4 mm/día. (ver cuadro 10 y Anexo A - 2)

CUADRO 10 USO CONSUNTIVO DE CULTIVOS EXTENSIVOS DE LA SUB-CUENCA.

		Uso Consuntivo para Maíz (mm/día)											
		E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
D E C A D A S	I						3,45	5,46	4,32				
	II						4,25	5,46	3,01				
	III					3,26	5,30	5,46					
		Uso consuntivo para Sorgo (mm/día)											
D E C A D A S	I									3,94	4,5	2,76	
	II								3,37	4,56	4,6		
	III								3,23	4,7	3,77		
		Uso consuntivo para Ajonjolí (mm/día)											
D E C A D A S	I								3,12	4,8	3,6	1,84	
	II							2,08	3,57	4,94	3,68		
	III							2,08	3,92	4,73	2,76		
		Uso consuntivo para Caña de Azúcar 1º año (mm/día)											
D E C A D A S	I					3,81	4,38	4,94	5,46	5,04	4,73	4,83	4,73
	II					4,07	4,55	5,10	5,36	5,08	4,83	4,83	4,83
	III				3,66	4,08	4,84	5,2	5,15	4,73	4,83	4,62	4,73
		2º año											
D E C A D A S	I	4,94	4,74	4,07									
	II	4,94	4,52	3,48									
	III	5,15	4,4	3,42									
		Uso consuntivo para Plátano 1º año (mm/día)											
D E C A D A S	I					3,42	3,05	3,22	4,06	4,66	5,0	5,24	4,95
	II					3,36	3,05	3,48	4,34	4,79	5,15	5,15	5,06
	III					3,11	3,17	4,06	4,51	4,86	5,24	4,88	4,95
		2º año											
D E C A D A S	I	5,17	5,30	3,91	4,44	4,09	3,85	4,52	5,56	5,76	5,40	5,47	5,18
	II	5,17	4,68	4,16	4,39	4,07	4,0	4,94	5,71	5,64	5,52	5,43	5,29
	III	5,39	4,13	4,22	4,19	3,83	4,26	5,41	5,88	5,40	5,52	5,10	5,18

4. HIDROGEOLOGIA

4.1. Generalidades.

En el presente capítulo se describen las características hidrogeológicas del área de estudio, las cuales se complementan con los resultados y análisis de las otras disciplinas concurrentes en este estudio, como son: La Geología, La Hidrología y los datos disponibles sobre los pozos excavados y perforados en la zona.

En cuanto a la determinación de parámetros hidrogeológicos es conveniente mencionar que por la heterogeneidad estratigráfica y lo complejo de su disposición que son características típicas las regiones volcánicas y costeras, se limita la aplicación de los métodos de evaluación convencionales (Ley de Darcy, Método de Theis, Jacob), razón por la cual los valores de los diferentes parámetros, deben ser tomados como un orden de magnitud correspondiente al sitio de prueba. (7)

La información hidrogeológica obtenida en forma directa en el área de estudio, es relativamente limitada, puesto que sólo se tienen dos pozos perforados en los límites de la sub-cuenca, en la parte sur de la hacienda Santo Tomás y distantes entre sí de 250 a 300 m, perforados por PLANSABAR. Se encuentran otros tres pozos perforados en las vecindades al área de estudio, en San Luis Talpa (ANDA) y dos en el Campo Experimental La Providencia (F.C.C.A.A.U.E.S.), distantes entre sí de 0,75 a

2,0 km, para todos estos pozos se dispone de datos de coeficientes hidráulicos (transmisibilidad y de almacenamiento), no existiendo para el pozo conocido como viejo (Nº 1) de el campo experimental de la facultad de Ciencias Agronómicas de la Universidad de El Salvador, éstos están contruidos en la parte baja de la carretera del litoral; en la formación acuífera de sedimentos aluvionales, por lo que la interpolación o correlación de los datos conocidos puede efectuarse con cierto grado de certeza.

4.2. Descripción de las formaciones acuíferas principales.

De conformidad con las características hidrogeológicas se distinguen en el área de estudio tres formaciones acuíferas que se describen a continuación.

4.2.1. Toba pumítica dacítica, piroclastos semiconsolidados (tierra blanca).

Pertenece a la formación San Salvador y se encuentra en la parte alta de la sub-cuenca (ver mapa Nº 21). Estos materiales poseen una porosidad media y una permeabilidad baja, formando una unidad hidrogeológica de media a baja permeabilidad (12); estos estratos constituyen acuíferos de medianos rendimientos los que dependerán de su extensión, espesor y granulometría a partir del nivel freático, en la zona de saturación.

4.2.2. Tobas fundidas o ignimbritas.

Pertenece a la formación Cuscatlán y se encuentra en la parte media de la sub-cuenca (ver mapa N° 2). Estos materiales son muy compactos, tienen una porosidad baja y una permeabilidad de baja a nula, formando una unidad hidrogeológica prácticamente impermeable, constituyendo capas basales locales en el área. (12)

4.2.3. Sedimentos aluvionales.

Pertenece a la formación San Salvador y se encuentra en la parte baja de la sub-cuenca (al sur de la carretera del litoral) (ver mapa N° 2). Está compuesto por gravas y arenas gruesas a medias de carácter andesíticos, tienen una porosidad buena y una alta permeabilidad, formando una unidad hidrogeológica de alta a media permeabilidad. Estos estratos constituyen acuíferos de altos rendimientos; pueden encontrarse intercalados con estratos delgados de polvo volcánico en descomposición a limos y arcillas, de porosidad alta y permeabilidad de baja a nula. (12)

4.3. Pozos y fuentes.

4.3.1. Pozos.

En el mapa N° 3, se indica la ubicación de pozos inventariados y sus características se describen en el cuadro 11. Del total de 15 pozos inventariados, dos han sido

construidos con maquinaria y los restantes son pozos someros excavados por métodos manuales. Puede observarse en el mapa N^o 3, que la distribución de los pozos es bastante irregular, existiendo zonas en que no se dispone de pozos como es la zona norte de la carretera del litoral, sólo se cuenta con un pozo excavado en la hacienda El Barrial, siendo por lo tanto limitada la información hidrogeológica obtenida en forma directa.

La mayor densidad de pozos se localizan al sur de la carretera del litoral, específicamente en el cantón Tecualuya, donde se cuenta con un gran número de pozos excavados. Los dos pozos perforados se encuentran al sur de la hacienda Santo Tomás, en los límites de la sub-cuenca y han sido perforados por PLANSABAR, para abastecer de agua potable al cantón Tecualuya, la hacienda Santo Tomás y sus alrededores. El pozo N^o 1 está fuera de funcionamiento y el N^o 2 proporciona un caudal de 6,42 lts/seg; tienen una profundidad de 33 metros para el pozo N^o 1 y para el N^o 2 de 36 metros. Los resultados de estas perforaciones permiten calificar esta zona como muy favorable desde el punto de vista hidrogeológico.

CUADRO 11 PROFUNDIDAD DE NIVEL FREATICO, ALTURA DE BROQUEL DE POZOS EXCAVADOS Y PERFORADOS EN LA SUB-CUENCA.

Pozos No.	Profundidad Superficial del Agua (Nivel Freatico). m	Profundidad Total del Agua. m	Altura de Broquel. m
1	3,10	10,50	0,55
2	9,45	16,43	0,72
3	6,69	8,25	0,90
4	5,00	7,00	Sin Broquel
5	6,43	8,76	0,65
6	3,67	7,00	0,55
7	5,90	7,75	0,60
8	6,75	8,58	0,77
9	6,43	8,80	0,65
10	5,65	6,11	0,50
11	5,12	6,00	0,85
12	2,70	4,80	0,85
13	3,70	4,38	0,70
Pozos Perforados Hda. Santo Tomás			
No. 1	6,90	36,00	---
No. 2	3,88	33,00	---
Campo Experimental N°2	3,26	100,61	---

4.3.2. Fuentes.

La principal fuente la constituyen las quebradas: La Jutera, Quiomalapa, La Sierpe y Tecualuya, la cual es de flujo intermitente, en época seca; no conduce caudal y en época lluviosa conduce un caudal promedio de $0,002492 \text{ m}^3/\text{seg}$ (2,492 lts/seg); las quebradas se inician en la parte alta de la sub-cuenca, en la hacienda Miramar y recorre todo el área con rumbo predominante Norte - Sur (ver mapa N^o 3), en la parte baja los cauces de las quebradas se ensanchan y se pierden, no logrando descargar en el río Comalapa, por lo que se considera que el caudal de las quebradas alimenta los acuíferos, debido a la permeabilidad de los estratos sedimentarios. (ver mapa N^o 2)

Se encuentra otra pequeña quebrada llamada El Barrial, que se inicia a 1,1 km, al norte de la hacienda El Barrial y una red de drenajes naturales que se inician a 0,5 km, al norte de la carretera del litoral, que conducen flujos mínimos de agua en la época lluviosa, que descargan en la quebrada La Sierpe y Tecualuya, y en la época seca, se secan.

La zona de estudio se caracteriza por la presencia de tres manantiales de bajísimos rendimientos, que son importantes para el abastecimiento de agua de los pobladores de la zona alta y media de la sub-cuenca, tanto en época seca como en la lluviosa, ya que el agua en estas zonas es escasa y limita todas las actividades.

Estos manantiales son conocidos como: Nacimiento La Jutera, ubicado en la parte alta de la sub-cuenca a 0,5 km, al

sur de la hacienda Miramar, Nacimiento Quiomalapa ubicado a 0,75 km, al norte de la hacienda El Barrial, Nacimiento La Sierpe, ubicado a 0,82 km, al norte de la carretera del litoral. (ver mapa N° 3)

4.4. Características hidrogeológicas del material encontrado de acuerdo a la columna litológica.

La columna litológica propuesta (ver fig. 2) para la parte baja de la sub-cuenca ha sido diseñada en base a los materiales encontrados en las perforaciones de los pozos de: San Luis Talpa a 2 km, al oeste del área de estudio; el campo experimental La Providencia a 0,5 km, al oeste y 2 pozos perforados al sur de la hacienda Santo Tomás, en los límites de la sub-cuenca (ver mapa N° 3). La cercanía de los pozos y su ubicación en la parte al sur de la carretera del litoral y a ambos lados del área de estudio, así como también la similitud de los materiales encontrados (ver Anexos A-1, A-2, A-3 y A-4); nos permite definir una columna litológica para la parte baja de la sub-cuenca, así como conocer las características hidrogeológicas de los materiales encontrados.

0 - 4 m.,. Sedimentos aluvionales fluviales, formados por piroclastos, lapilli, cenizas finas a medias, de carácter andesítico, mezclados con polvo volcánico. Porosidad media a alta, permeabilidad media.

4 - 18 m.,. Piroclastos retrabajados, formados por lapilli y cenizas gruesas a finas de pómez, con piroclastos de andesita color gris claro. Porosidad alta, permeabilidad media a alta.

18 - 26 m.,. Piroclastos retrabajados, formados por lapilli medios a gruesos, mezclados con grava escoriácea y polvo volcánico. Porosidad media, permeabilidad media.

26 - 34 m.,. Sedimentos aluvionales, formados por: gravas y arenas gruesas a medias, de carácter andesítico con intercalaciones de polvo volcánico. Porosidad media a alta y permeabilidad media a alta.

34 - 50 m.,. Tobas fundidas (ignimbritas), formados por piroclastos finos, diseminados en la matriz fina de carácter ácido, textura fluvial muy compacta. Porosidad prácticamente nula, permeabilidad baja a nula.

50 - 80 m.,. Sedimento aluvional fluvial (arena media a fina, limo, canto rodado, piroclastos retrabajados). Porosidad media; permeabilidad media.

80 - 100 m.,. Piroclásticos de pómez. Porosidad media; permeabilidad media a alta. Sedimento aluvional fluvial (arena media a fina, piroclásticos retrabajados). Porosidad media; permeabilidad media.

De acuerdo a la columna litológica, de las características hidrogeológicas de los materiales encontrados y de la profundidad del nivel freático de esta área que oscila entre 3,67 a 6,75 m (ver cuadro 11), podemos concluir que existe un manto acuífero bueno, ya que se calcula una disponibilidad de 30 a 40 m, de agua aprovechable. (ver literal 4.3.1.)

4.5. El agua subterránea.

Los factores principales que rigen el movimiento del flujo subterráneo son: las características geomorfológicas y estructurales regionales, los caracteres litológicos que determinan la permeabilidad de las rocas, la configuración y naturaleza de las formaciones acuíferas y la relación entre formaciones limitrofes. (7)

La zona de recarga principal del agua subterránea de la región la constituye las elevaciones topográficas pertenecientes a la unidad geomorfológica denominada cadena costera, en donde se origina un drenaje superficial y un drenaje subterráneo en forma radial con dirección sur predominantes.

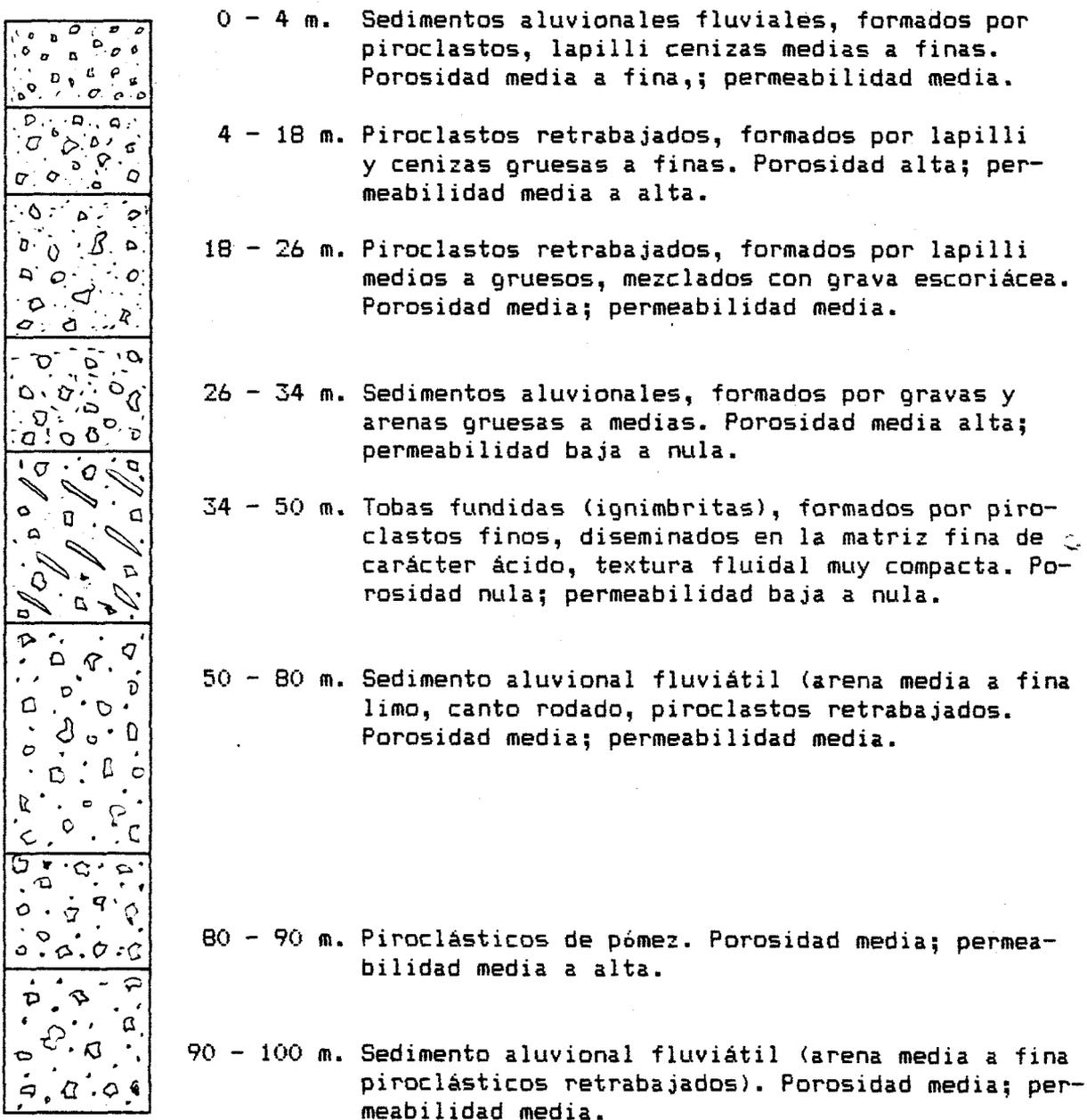


Fig. 2 COLUMNA LITOLÓGICA Y CARACTERÍSTICAS HIDROGEOLOGICAS, PROPUESTAS PARA LA PARTE BAJA DE LA SUB - CUENCA.

4.5.1. Drenaje superficial.

El drenaje superficial comienza cuando el agua pluvial cae sobre la superficie del suelo en las partes altas de la sub-cuenca (hacienda Miramar), en donde parte del agua es interceptada por la vegetación, una escurre y otra se infiltra en el suelo, almacenándose en las formaciones geológicas superficiales poco permeables.

El drenaje superficial está definido principalmente por las quebradas: La Jutera, Quiomalapa, La Sierpe y Tecualuya, la cual atraviesa toda el área con dirección norte - sur, predominante y en la parte baja se ensancha y se pierde no logrando descargar en el río Comalapa, siendo la quebrada de flujo no permanente que conducen un caudal promedio de 0,002492 mt³/seg (2,492 lts/seg), durante la época lluviosa.

Las quebradas: La Jutera, Quiomalapa, La Sierpe y Tecualuya, tienen como afluentes, una pequeña quebrada llamada El Barrial y una red de drenajes naturales que conducen un flujo mínimo de agua en la época lluviosa y en la época seca, no conducen. El flujo total de agua que circula por dicha quebrada no alcanza a descargar en el río Comalapa, debido a que el caudal que transporta se infiltra en las formaciones geológicas superficiales permeables existentes en las zonas atravesadas por las quebradas, incorporándose al manto acuífero general de la región y convirtiéndose en agua subterránea.

4.5.2. Drenaje subterráneo.

En la sub-cuenca se tiene una infiltración promedio aproximadamente de 203,89 mm/día, que penetra en el suelo y se almacena en las formaciones geológicas superficiales poco permeables, originándose un drenaje gravitacional subterráneo a través de las formaciones geológicas más profundas de la región. Parte del agua que drena en forma gravitacional es desviada y forzada a aflorar cerca de la superficie por cambios de permeabilidad en los estratos, ligados a la morfología del terreno, formando pequeños manantiales aislados de bajos rendimientos. A este tipo de manantiales corresponden los conocidos como: Nacimiento La Jutera, Nacimiento Quiomalapa, Nacimiento La Sierpe.

La otra parte de agua que se infiltra (aproximadamente 203,89 mm/día) profundamente, se almacena y circula en las capas geológicas porosas de mayor espesor, donde el rendimiento específico y la permeabilidad dependen de las características físicas e hidráulicas de las capas acuíferas de la zona saturada propia de cada región.

Las características físicas e hidráulicas de las capas acuíferas inciden directamente en sus coeficientes hidráulicos de transmisibilidad (T) y de almacenamiento (S); a su vez, estos coeficientes dependen de la magnitud de recarga de los mismos acuíferos; siendo estas condiciones generales las que rigen y determinan el aprovechamiento del agua subterránea y la capacidad de explotación por medio de pozos perforados.

4.5.3. Dirección del flujo subterráneo.

La dirección del flujo subterráneo principal en la sub-cuenca es con rumbo sur predominante y con un gradiente hidráulico del orden de 0,0445 para la parte media baja. (ver anexo A - 3).

La profundidad del nivel freático en la parte alta de la sub-cuenca no puede ser determinada, ya que no se cuenta con pozos excavados ni perforados, solamente se cuenta con un pozo excavado en la hacienda El Barrial, con una profundidad del nivel freático de 3,10 m, ubicado aproximadamente a 1,5 km, al norte de la carretera del litoral, los demás datos que se tienen del nivel freático al área del cantón La Jutera y de la parte baja de la sub-cuenca y oscila entre 3,67 a 6,75 m, esto depende de pequeños cambios topográficos y de permeabilidad locales. (ver cuadro 11)

Por la estructura geológica existente sobre y al norte de la carretera del litoral, determinada por una falla tectónica transversal que forma una barrera hidrogeológica, la cual modifica y cambia la dirección general del flujo subterráneo, teniendo una desviación lateral y paralela de dicha barrera. (ver mapa N° 3). Por esta situación la parte baja de la sub-cuenca recibe un flujo subterráneo indirecto y parcial, originando acuíferos de una extensión limitada en zonas de contacto o cercanas a dicha barrera hidrogeológica.

4.6. Los recursos de agua subterránea.

En la sub-cuenca de las quebradas: La Jutera, Quiomalapa, La Sierpe y Tecualuya, no fue posible definir un acuífero en toda el área, ya que en la parte norte de la carretera del litoral no se dispone de pozos excavados ni perforados que nos permitan evaluar los parámetros hidrogeológicos; solamente se pudo definir el acuífero al sur de la carretera del litoral que se encuentra en depósitos sedimentarios aluviales. Los recursos de agua subterránea existentes en esta área son de medianos a buenos rendimientos.

En estas capas de mayor espesor el agua subterránea se almacena y circula a través de poros e intersticios, originando una formación saturada, con acuíferos de coeficientes hidráulicos que dependen de las características hidrogeológicas de la zona, acuíferos de rendimientos específicos buenos en pozos perforados.

En la parte Norte y Central del cantón Tecualuya y hacienda Santo Tomás, la extracción de estos caudales está limitada y definida por los linderos de recarga, formados por la barrera hidrogeológica general de la región, barrera constituida por la capa de ignimbritas impermeables existentes en la parte Norte de la carretera del litoral (12). Estos acuíferos adecuadamente explotados, pueden tener rendimientos de producción de 12,6 a 22,05 lts/seg (200 a 350 gpm) (12), los cuales dependerán de la granulometría de los estratos atravesados y del espesor total del acuífero, de la penetración

parcial del espesor total del acuífero y de las dimensiones físicas de los pozos a perforarse.

Los pozos perforados en las áreas vecinas a la sub-cuenca han proporcionado un caudal de 20,47 lts/seg (325 Gpm). (12), para el pozo de San Luis Talpa; de 34,64 lts/seg (550 Gpm) (14), para el pozo N^o 2 del campo experimental La Providencia (F.C.C.A.A., U.E.S.) y para los pozos perforados por PLANSABAR al sur de la hacienda Santo Tomás que se encuentran en los límites de la sub-cuenca (ver mapa N^o 3), se ha obtenido un caudal de 4,53 lts/seg (72 Gpm) para el pozo N^o 1 y de 6,42 lts/seg (102 Gpm) para el pozo N^o 2 (13). Por lo que se considera que podemos contar con un recurso de agua subterránea de buenas características hidráulicas, al sur de la carretera del litoral, en el área del cantón Tecualuya y hacienda Santo Tomás.

4.7. Coeficientes de almacenamiento y transmisibilidad.

Los resultados de las pruebas de bombeo efectuadas en pozos perforados en el área de la población de San Luis Talpa, se ha determinado la variación del coeficiente de almacenamiento de 0,10 a 0,15 (adimensional) y del coeficiente de transmisibilidad de 27,32 a 141,58 $\text{m}^2/\text{día}$ (2200 a 11400 GpD/pie) (12). Para el área del campo experimental La Providencia (pozo N^o 2), el coeficiente de Almacenamiento es de 0,10 (adimensional) y el coeficiente de Transmisibilidad de 61,76 $\text{m}^2/\text{día}$ (4973 GpD/pie) (12).

Para los pozos de la hacienda Santo Tomás, el coeficiente de Almacenamiento es de 0,10 (adimensional) y el coeficiente de Transmisibilidad de 21,86 $\text{mt}^2/\text{día}$ (1760 GpD/pie); para el pozo N^o 1 y para el pozo N^o 2, el coeficiente de Almacenamiento es de 0,10 (adimensional) y el coeficiente de Transmisibilidad de 27,32 $\text{mt}^2/\text{día}$ (2200 GpD/pie) (13).

Dado que la parte baja de la sub-cuenca (área de la Jutera) posee las mismas características hidrogeológicas del área de San Luis Talpa, del campo experimental La Providencia, de la hacienda Santo Tomás, se asume que rigen estas mismas características de coeficiente de Almacenamiento y de Transmisibilidad.

4.8. Caudales subterráneos.

El caudal de agua subterránea que escurre a través de los depósitos sedimentarios existentes en el área de estudio y que descarga en el río Comalapa, se ha calculado en base a la longitud de la sección transversal de la sub-cuenca, medida sobre la carretera del litoral y es de 2,5 km. (ver mapa N^o 3).

La sección de escurrimiento, denominada A - A', tiene una longitud de 2500 m (ver mapa N^o 3) y un espesor saturado de 70,45 m (231 pies) (12).

Para calcular el caudal de agua subterránea que fluye por esta sección, se aplica la ecuación de Darcy.

$$Q = T i w$$

En donde =

Q = caudal de agua subterránea en escurrimiento,
en $m^3/día$

T = Transmisibilidad, en $mt^2/día$

i = Gradiente hidráulico del agua subterránea,
adimensional.

w = Ancho de la sección en metros.

Sustituyendo en la fórmula, los valores antes mencionados
en numerales = 4.5.2; 4.7; 4.8; se tiene:

$$Q = 61,76 \text{ m}^2/día \times 0,0445 \times 2500 \text{ m}$$

$$Q = 6870,8 \text{ m}^3/día$$

$$Q = 79,52 \text{ lts/seg}$$

El caudal de agua subterránea que fluye a través de la
sección A - A' y descarga al río Comalapa es de: 79,52 lts/seg.

5. CALIDAD DE AGUA

El presente capítulo ha sido orientado hacia el análisis y determinación de las características del agua tanto superficiales como subterránea; se ha considerado conveniente hacer una descripción de los parámetros principales que determinan la calidad del agua en las quebradas, manantiales y pozos; dado que son las fuentes de suministro de agua de gran parte de los habitantes de la sub-cuenca. Las principales características físico-químicas son descritas a continuación.

5.1. Agua superficial.

El aspecto cualitativo y cuantitativo de agua superficial en el área de estudio, se analizaron en base a los resultados de los análisis físico - químico y bacteriológico; de las muestras recolectadas sobre las quebradas y manantiales existentes en la zona, según normas de la Organización Mundial de la Salud (O.M.S.) (ver anexo A - 5).

5.1.1. Temperatura.

La temperatura promedio durante la estación seca muestra un gradiente a lo largo de las quebradas que varía de 29° C en su nacimiento en la hacienda Miramar a 32° C en el cantón Tecualuya, incremento que es determinado por la diferencia de

altitud. Durante la estación lluviosa, los valores registrados muestran una temperatura constantes de 26° C a lo largo de la quebrada, determinada por la influencia de la precipitación cumpliendo con las normas de la O.M.S. (ver cuadro 12)

5.1.2. PH.

Este parámetro varía a lo largo de las quebradas; teniendo valores promedios de 6,6 a 7,0 en la época húmeda y 6,3 a 6,8 en la época seca; reflejando un carácter ligeramente ácido del agua de las quebradas, cumpliendo con las normas de la O.M.S. (ver cuadro 12)

5.1.3. Dureza total.

En los puntos de toma de muestras de agua a lo largo de las quebradas; la dureza total varía de 98 mg/lt a 48 mg/lt; según la O.M.S. está en un rango aceptable por dicha Organización la cual considera un máximo de 500 mg/lt (ver cuadro 12)

5.1.4. Color real y turbidez.

El color real promedio de las muestras analizadas tiene un orden de 5 unidades, alcanzando en algunos puntos órdenes de 35 - 100 unidades en la época seca; no cumple con las normas de la O.M.S.

La turbidez varía para los puntos de interés de 14 a 34 UNT; alcanzando un máximo de 620 UNT en la época lluviosa que refleja el efecto erosivo y el arrastre en suspensión de sedimentos; no cumple con las normas de la O.M.S. (ver cuadro 12)

5.1.5. Cloruros.

Según los análisis de muestras de agua de las concentraciones de cloruros en el agua tienen un promedio de 8 mg/lt; cuyos valores exceden lo permisible de 2,5 mg/lt; no cumple con las normas de la O.M.S. (ver cuadro 12)

5.1.6. Sólidos totales.

Los análisis realizados indican una concentración promedio de 293,3 mg/lt, por tanto se encuentra bajo el valor establecido por la O.M.S. de 1000 mg/lt (ver cuadro 12)

5.2. Calidad de agua subterránea.

El aspecto cualitativo y cuantitativo del agua subterránea se analiza en base a los análisis físico - químicos y bacteriológico disponible, que reflejan los resultados de muestras tomadas en diferentes sitios de interés; pozo excavado en la parte media (hacienda El Barrial) ver mapa N° 3 y pozos

perforados en la parte baja (hacienda Santo Tomás) ver mapa N^o 3.

5.2.1. Temperatura.

La temperatura del agua subterránea para el área de estudio; varía de 27° a 33° C, teniéndose el mayor incremento en la parte baja, cumple con las normas de 30° C de la O.M.S. (ver cuadro 12)

5.2.2. PH.

El potencial de acidez varía teniendo un rango para la parte media y baja de 6,8 - 7,41 respectivamente, según la O.M.S. acepta un rango de 6,5 - 8,5.

5.2.3. Aniones y cationes.

La concentración de aniones principalmente analizados oscilan entre 4 mg/lt a 17 mg/lt para cloruros y para sulfatos oscila de 7 mg/lt a 36 mg/lt. Según la O.M.S. los límites permisibles son de 2,5 mg/lt para cloruros y 400 mg/lt para sulfatos. Los cloruros no cumplen con las normas de la O.M.S. y los sulfatos si cumplen.

Los cationes oscilan entre 8,0 mg/lt a 25,6 mg/lt de calcio y para magnesio 1,46 mg/lt a 31,83 mg/lt. Según la

O.M.S. se permite un máximo de 200 mg/lt para calcio y para magnesio un rango que varía de 50 mg/lt a 150 mg/lt; por lo que cumplen con las normas de la O.M.S. (ver cuadro 12)

5.2.4. Hierro y manganeso.

Las concentraciones totales varían de 0,1 a 8,3 mg/lt y de 0,49 a 31,83 de hierro y manganeso respectivamente, según la O.M.S., los límites establecidos son de 0,3 y 0,1 mg/lt respectivamente; por lo que no cumplen las normas de la O.M.S. (ver cuadro 12)

5.2.5. Bióxido de carbono.

Las concentraciones encontradas varían de 8 - 68 mg/lt no existiendo valores permisibles por la O.M.S., cuyo incremento de las concentraciones son debidas a las lluvias. (ver cuadro 12)

5.2.6. Dureza total.

La dureza total varía de 36 - 333 mg/lt, según O.M.S. acepta un valor máximo de 500 mg/lt; por lo que se encuentran dentro de las normas. (ver cuadro 12)

5.2.7. Sólidos totales.

Las concentraciones mayores corresponden a las zonas de rocas efusivas ácidas con valores de 420 mg/lt, parte media de las quebradas y en la parte baja los valores varían de 240 - 300 mg/lt. Según la O.M.S. los valores permisibles son 1000 - 1500 mg/lt. (ver cuadro 12)

5.3. Características físico-químico de agua de manantiales pozos.

Las muestras de aguas de pozos y manantiales se describen a continuación según sus características físico-químico.

La elevación y ubicación de los sitios de tomas de muestras de agua de la sub-cuenca se describen en el Anexo

A - 4.

5.3.1. Nacimiento La Jutera.

Para los meses de mayo, junio, julio; el agua superficial cumple con todas las normas de consumo, pero a partir de agosto hasta noviembre posee bióxido de carbono alto, olor fuera de norma, agua corrosiva, PH con tendencia ácida.

CUADRO 12 CARACTERISTICAS FISICO-QUIMICAS DE MUESTRAS DE AGUA DE LA SUB-CUENCA

DETERMINACION	FECHA DE TOMA DE MUESTRA									
	27 - 05 - 91					03 - 06 - 91				
	M1	M2	M3	M4	M5	M1	M2	M3	M4	M5
PH (Sin Unidad)		6,6	6,8	6,5			7,4	6,2	6,4	
Olor (Sin Unidad)		Terroso		Normal			Normal	L-Fe	Normal	
Color Verdadero (Sin Unidad)		50	10	0			0	10	5	
Color Aparente (Sin Unidad)		233,3	15	0			15	40	60	
Temperatura (°C)		--	--	--			--	--	--	
Turbiedad (UNT)		14,0	0,1	0,3			5,0	76	15	
Solidos Totales (mg/lt)		--	--	--			300	--	--	
Solidos Tot. Disueltos (mg/lt)		--	--	--			--	--	--	
Alcalinidad Tot. (CaCO ₃)(mg/lt)		140	93	97			105	114	90	
Dureza Total (mg/lt)		122	92	79			62	333	118	
Bioxido de Carbono (mg/lt)		68	28	58			8	140	68	
Conductividad 25° (mhos/cm)		290	202,5	215			215	920	355	
Cloro residual (mg/lt)		--	--	--			--	--	--	
Indice Langelie		--	--	--			--	--	--	
Alcalinidad al Bicarbonato de Sodio o Potasio (mg/lt)		18	1,0	18			43	0	0	
Dureza Carbonatica (mg/lt)		122	92	79			62	114	90	
Dureza no Carbonatica (mg/lt)		0	0	0			0	219	28	
Calcio (mg/lt)		20	20,8	23,2			21,6	80,8	31,6	
Magnesio (mg/lt)		17,5	9,72	5,10			1,94	31,83	9,48	
Sodio (mg/lt)		--	--	--			--	--	--	

CUADRO 12 (Continuación)

DETERMINACION	FECHA DE TOMA DE MUESTRA									
	27 - 05 - 91					03 - 06 - 91				
	M1	M2	M3	M4	M5	M1	M2	M3	M4	M5
Potasio (mg/lt)		--	--	--			--	--	--	
Hierro total (mg/lt)		0,3	0,1	0			0,3	8,3	2,5	
Hierro disuelto (mg/lt)		Trazas	0	0			0	0,3	0,1	
Manganeso total (mg/lt)		1,2	0,05	0			0	0,8	0,2	
Manganeso disuelto (mg/lt)		0	0	0			0	0,6	0	
Arsenico (mg/lt)		--	--	--			--	--	--	
Boro (mg/lt)		--	--	--			--	--	--	
Carbonatos (mg/lt)		0	0	0			0	0	0	
Bicarbonatos (mg/lt)		140	93	97			105	114	90	
Hidroxidos (mg/lt)		0	0	0			0	0	0	
Cloruros (mg/lt)		7,5	4	5			6	104,5	14	
Sulfatos (mg/lt)		--	--	--			--	--	--	
Nitratos (No2)(mg/lt))		--	--	--			--	--	--	
Silice (SiO2)(mg/lt)		--	--	--			94,12	--	--	
Fluoruros (mg/lt)		--	--	--			0,20	--	--	

CUADRO 12 (Continuación)

DETERMINACION	FECHA DE TOMA DE MUESTRA										
	15 - 07 - 91					19 - 08 - 91					
	M1	M2	M3	M4	M5	M1	M2	M3	M4	M5	
PH (Sin Unidad)	7	6,7	6,8	7	7,15	6,2	5,91	5,86	6,22	7,08	
Olor (Sin Unidad)	Normal	Terroso				Normal	Terro	Desagradable			
Color Verdadero (Sin Unidad)	--	15	300	5	5	0	30	100	5	5	
Color Aparente (Sin Unidad)	0	60	350	45	15	5	90	100	15	15	
Temperatura (°C)	--	--	--	--	--	29	31	31	32	29	
Turbiedad (UNT)	1	8	8,5	1,6	2,2	0,47	14	620	1,3	2,8	
Solidos Totales (mg/lt)	220	320	420	240	260	--	--	--	--	--	
Solidos Tot. Disueltos (mg/lt)	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	
Alcalinidad Tot. (CaCO ₃)(mg/lt)	100	63	73	111	101	104	70	86	96	100	
Dureza Total (mg/lt)	54	26	36	48	42	79	57	48	68	58	
Bioxido de Carbono (mg/lt)	19,38	24,34	22,42	21,51	13,91	127	153,7	238	105	15,3	
Conductividad 25° (mhos/cm)	202,5	222,5	190	217,5	267,5	230	240	210	210	260	
Cloro residual (mg/lt)	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	
Indice Langelier	--	--	--	--	--	-1,93	-2,54	-2,43	-1,86	-1,26	
Alcalinidad al Bicarbonato de Sodio o Potasio (mg/lt)	46	37	37	63	59	25	13	38	28	42	
Dureza Carbonatica (mg/lt)	54	26	36	48	42	79	57	48	68	58	
Dureza no Carbonatica (mg/lt)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Calcio (mg/lt)	19,2	8	12	18,40	12	18,4	11,6	14,4	19,2	12	
Magnesio (mg/lt)	1,46	1,46	1,46	0,49	2,92	8,02	6,8	2,92	4,86	6,80	
Sodio (mg/lt)	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	

CUADRO 12 (Continuación).

DETERMINACION	FECHA DE TOMA DE MUESTRA									
	15 - 07 - 91					19 - 08 - 91				
	M1	M2	M3	M4	M5	M1	M2	M3	M4	M5
Potasio (mg/lt)	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
Hierro total (mg/lt)	Trazas	1,3	4,4	0,7	0,25	0,1	2,3	2,6	0,7	0,3
Hierro disuelto (mg/lt)	--	0,5	3,4	Trazas	Trazas	0	Trazas	2,6	0	Trazas
Manganeso total (mg/lt)	0	0,65	0	0,55	Trazas	0	0,2	Trazas	0,05	Trazas
Manganeso disuelto (mg/lt)	--	0,2	0	0	0	0	0	0	0	0
Arsenico (mg/lt)	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
Boro (mg/lt)	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
Carbonatos (mg/lt)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Bicarbonatos (mg/lt)	100	63	73	111	101	104	70	86	96	100
Hidroxidos (mg/lt)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Cloruros (mg/lt)	6	10	5	7	17	4	8	4	15	14
Sulfatos (mg/lt)	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
Nitratos (No2)(mg/lt))	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
Silice (SiO2)(mg/lt)	109,09	106,96	114,01	109,09	123,21	--	--	--	--	--
Fluoruros (mg/lt)	0,06	0,21	--	0,13	0,42	0,16	0,41	--	0,11	0,48

CUADRO 12 (Continuación).

DETERMINACION	FECHA DE TOMA DE MUESTRA							
	01 - 10 - 91							
	M1	M2	M3	M4	M5		1	2
PH (Sin Unidad)	6,69	6,4	6,52	6,55	6,85		7,41	7,03
Olor (Sin Unidad)	Terroso						Terroso	
Color Verdadero (Sin Unidad)	5	60	40	0	5		35	10
Color Aparente (Sin Unidad)	5	90	90	0	10		130	10
Temperatura (°C)	30	30	29,5	30	30		--	--
Turbiedad (UNT)	2,4	32	34	5,6	1,8		32	2,8
Solidos Totales (mg/lt)	--	--	--	--	--		--	--
Solidos Tot. Disueltos (mg/lt)	--	--	--	--	--		--	--
Alcalinidad Tot. (CaCO ₃) (mg/lt)	98	49	90	96	97		195	145
Dureza Total (mg/lt)	74	40	60	60	50		68	100
Bioxido de Carbono (mg/lt)	37,87	37,81	55,19	52,78	26,72		14,97	28,10
Conductividad 25° (mhos/cm)	225	180	220	215	275		380	340
Cloro residual (mg/lt)	--	--	--	--	--		--	--
Indice Langelier	-1,302	-2,28	-1,706	-1,594	-1,29		--	--
Alcalinidad al Bicarbonato de Sodio o Potasio (mg/lt)	24	9	30	36	47		127	45
Dureza Carbonatica (mg/lt)	74	0	60	60	50		68	100
Dureza no Carbonatica (mg/lt)	0	0	0	0	0		0	0
Calcio (mg/lt)	24,8	6,4	16,8	18,4	10,3		17,6	25,6
Magnesio (mg/lt)	2,92	2,92	4,37	3,4	0,97		5,83	8,75
Sodio (mg/lt)	--	--	--	--	--		--	--

CUADRO 12 (Continuación).

DETERMINACION	FECHA DE TOMA DE MUESTRA							
	01 - 10 - 91							
	M1	M2	M3	M4	M5		1	2
Potasio (mg/lt)	--	--	--	--	--		--	--
Hierro total (mg/lt)	0,1	1,4	2,0	0	0,5		4,0	0,9
Hierro disuelto (mg/lt)	Trazas	0,8	0,9	0	Trazas		3,0	0,5
Manganeso total (mg/lt)	Trazas	0,1	Trazas	0	0,35		0,7	0,1
Manganeso disuelto (mg/lt)	0	0	0	0	0,35		0,7	0,05
Arsenico (mg/lt)	--	--	--	--	--		--	--
Boro (mg/lt)	--	--	--	--	--		--	--
Carbonatos (mg/lt)	0	0	0	0	0		0	0
Bicarbonatos (mg/lt)	98	49	90	96	97		195	145
Hidroxidos (mg/lt)	0	0	0	0	0		0	0
Cloruros (mg/lt)	5	6	5	5	15,5		6	13,5
Sulfatos (mg/lt)	7,0042	36,77	21,06	11,138	22,715		12,793	14,446
Nitratos (No2)(mg/lt))	--	--	--	--	--		--	--
Silice (SiO2)(mg/lt)	--	--	--	--	--		--	--
Fluoruros (mg/lt)	0	0,2	0,13	0,13	0,4		0,48	0,4

5.3.2. Nacimiento Quiomalapa.

Para el mes de mayo el agua de este nacimiento se encuentra dentro de las normas para agua potable. Luego de junio hasta noviembre el hierro y manganeso son altos, teniendo como consecuencia olor y turbidez altos y PH ligeramente ácido, bióxido de carbono alto, agua corrosiva.

5.3.3. Pozo excavado. Hacienda El Barrial.

Para el mes de mayo el agua de este pozo posee las características siguientes: turbidez, color, olor y manganeso alto. Luego para junio, el hierro y manganeso son los valores altos; por lo que están fuera de norma. De julio a noviembre reflejan: turbidez, color, olor, manganeso, hierro y bióxido de carbono altos; por lo que se encuentran fuera de norma.

5.3.4. Nacimiento La Sierpe.

Los análisis de agua para el mes de mayo resultan estar dentro de las normas para agua potable, mientras que para junio, el hierro y manganeso están fuera de norma, luego para julio hasta noviembre se mantiene un PH con tendencia ácida, color y turbidez fuera de norma, bióxido de carbono alto, agua corrosiva.

5.3.5. Pozo excavado. Cantón Tecualuya.

El análisis de agua para el mes de julio representa estar dentro de las normas para el consumo humano, mientras que para agosto olor y color fuera de norma, hierro en límite de la norma de 0,3 mg/lt, agua corrosiva, para el mes de noviembre el olor, color, hierro, manganeso y bióxido de carbono alto, agua corrosiva.

5.3.6. Pozos perforados. Hacienda Santo Tomás.

5.3.6.1. Pozo 1.

El análisis representa un olor fuera de norma, color, turbidez, hierro y manganeso alto, encontrándose los demás parámetros dentro de las normas.

5.3.6.2. Pozo 2.

Olor fuera de norma, color, hierro y bióxido de carbono alto. Manganeso se encuentra en el límite de la norma, agua corrosiva, encontrándose los demás elementos en norma.

5.4. Análisis bacteriológico.

El presente análisis bacteriológico de aguas de pozos y manantiales de la sub-cuenca indica la presencia cualitativa de

microorganismos entéricos, coliformes y recuento de colonias, (ver cuadro 13); cuyos resultados están sujetos a las normas de la Organización Mundial de la Salud. De 0,0 coliformes/100 ml.

La presencia positiva de coliformes y de colonias de bacterias presentes en el muestreo de agua en los sitios de interés, demuestra la presencia de microorganismos patógenos de los cuales se tienen los siguientes:

CUADRO 13 RECUENTO DE COLONIAS EN UNA DISOLUCION DE 1/10000 ML EN TOMA DE MUESTRAS DE AGUA DE LA SUB-CUENCA.

Nacimientos	Coliformes	Recuento de Colonias/10000 ml.				
		Mayo	Junio	Julio	Agosto	Octubre
Oda. La Jutera	x	$1,62 \times 10^5$		$8,4 \times 10^5$	$8,9 \times 10^5$	$5,9 \times 10^5$
Oda. Quiomalapa	x		$1,8 \times 10^5$	$1,81 \times 10^6$	$1,4 \times 10^5$	$2,0 \times 10^6$
Oda. La Sierpe	x	$1,84 \times 10^5$	α	$2,4 \times 10^5$	$1,0 \times 10^5$	$3,0 \times 10^4$
Pozos						
Hda. El Barrial	x	$1,2 \times 10^5$	α	$3,24 \times 10^6$	$1,5 \times 10^5$	$2,0 \times 10^4$
Canton Tecualuya	x			$3,9 \times 10^5$	$9,6 \times 10^5$	$3,60 \times 10^5$
Hda. Santo tomas	x					$3,0 \times 10^4$

5.4.1. Nacimiento La Jutera.

Indica la presencia de Pectobacterium, Escherichia coli, Alcoligenes fecolis, posiblemente género shigella. (ver cuadro 14)

5.4.2. Nacimiento Quiomalapa.

Presencia de Aerobacter aerogenes; Escherichia coli, Pectobacterium, Proteus. (ver cuadro 14)

5.4.3. Pozo excavado. Hacienda El Barrial.

Presencia de Pectobacterium, Escherichia freundii var. II, Providencia alcaciforme, posible shigella. (ver cuadro 14)

5.4.4. Nacimiento La Sierpe.

Presencia de Aerobacter aerogenes y cloacae, Pectobacterium, Escherichia coli y freundii var. I. y II, posible shigella (ver cuadro 14)

5.4.5. Pozo excavado. Cantón Tecualuya.

Presencia de bacterias de la especie Escherichia freundii var. II, Escherichia coli, Pectobacterium, Proteus. (ver cuadro 14)

5.4.6. Pozo perforado. Hacienda Santo Tomás.

5.4.6.1. Pozo 1.

Presencia de Aerobacter aerogenes, var. II (ver cuadro 14)

5.4.6.2. Pozo 2.

Pozo libre de bacterias (ver cuadro 14)

Cuadro No. 2 BACTERIAS ENCONTRADAS EN ANALISIS BACTERIOLOGICO EN MUESTRAS DE AGUA DE LA SUB-CUENCA.

Naclmento	Mayo	Junio	Julio	Agosto	
La Jutera			Pectobacterium Posible Shigella	Escherichia Coll Pectobacterium	Esche Alcolig
Quitomalapa	Aerobacter Aerogenes	Aerobacter Aerogenes Posible Shigella	Escherichia Coll Posible Shigella	Pectobacterium	Proteu
La Sierpe	Aerobacter Aerogenes	Pectobacterium Aerobacter Cloacae	Escherichia Coll	Escherichia Freundl Var. I y Var. II	Esche Var. I p Shigel
Pozos					
Hda. El Barrial	Aerobacter Aerogenes	Pectobacterium Aerobacter Cloacae	Pectobacterium Posible Shigella	Escherichia Freundl Var. II	Provid Pectob
Canton Tecualuya			Escherichia Freundl Var. II Pectobacterium	Escherichia Coll Pectobacterium	Proteu Pectob
Hda. Sto. Tomas Pozos Perforados No. 1 y No. 2					Aerob Var. II

5.5. Calidad de agua para riego.

Se ha determinado la calidad de agua para riego, para su posible utilización en la implementación de proyectos agropecuarios que contribuyan a mejorar las condiciones de vida de sus pobladores.

CUADRO 15. NORMAS DE AGUA PARA RIEGO.

DETERMINACION	NORMAS
PH	6.6 - 8.3
Temperatura	18 - 30° C
Olor	Suave
Turbiedad	5 UNT
Color	0.5 LMA
Bióxido de carbono	16 - 35 mg de CaCO_3 /lt
Dureza	Blanda 0.75 mg/lt
Hierro	0.1 mg/lt
Conductividad eléctrica	750 - 2500 Umhos/cm
Oxígeno disuelto	10 mg/lt

Haciendo una correlación entre los cuadros 12 y 15, se deduce que el agua de las quebradas, manantiales, pozos excavados y perforados no cumple con las normas de agua para riego en las determinaciones de Turbiedad, Conductividad eléctrica, Bióxido de Carbono y Hierro, por lo que se considera como agua corrosiva.

6. CONCLUSIONES

- a) En la parte alta de la sub-cuenca (al norte de la carretera del litoral), no existen antecedentes hidrogeológicos; la información obtenida en forma directa (visitas de campo) es limitada, ya que no se cuenta con pozos excavados ni perforados.
- b) En la parte baja de la sub-cuenca (al sur de la carretera del litoral), se cuenta con información hidrogeológica, tanto de estudios, como de pozos excavados y perforados en esta zona.
- c) Por no contar con equipo especializado en prospección geofísica, no fue posible delimitar con precisión el acuífero de la zona.
- d) Desde el punto de vista geológico; los materiales existentes en el área de estudio pertenecen a la era cenozoica; período terciario superior y cuaternario y época del pleistoceno y Holoceno.
- e) En el área de estudio se observan las formaciones geológicas: Cuscatlán y San Salvador, la primera se encuentra en la parte media de la sub-cuenca, formada por piroclastos ácidos descompuestos e ignimbritas, la segunda se encuentra en la parte alta, formada por cenizas

volcánicas y en la parte baja (al sur de la carretera del litoral) formada por depósitos sedimentarios.

- f) Las quebradas: La Jutera, Quiomalapa, La Sierpe y Tecualuya, son de flujo intermitente, con un caudal de 2,492 lts/seg en época lluviosa y en época de estiaje se seca, por lo que para fines prácticos se considera que no existe flujo base.
- g) Las décadas de saturación de agua del suelo, comienzan en la primera década de julio y terminan en la tercera década de octubre.
- h) La principal recarga del acuífero sucede en la parte baja de la sub-cuenca; donde existen materiales sedimentarios aluviales que poseen buenas características hidráulicas.
- i) Los manantiales conocidos como: La Jutera, Quiomalapa y La Sierpe, por ser de bajos rendimientos no se consideran como fuentes de captación de agua superficial. Pero son importantes para el abastecimiento de agua de los pobladores, ya que se encuentran en sitios donde el agua es escasa, limitando las actividades para su desarrollo.
- j) El nivel freático en la parte baja de la sub-cuenca varía de 3,67 a 6,75 m, dependiendo de pequeños cambios topográficos y de permeabilidad locales.

- k) La dirección del flujo subterráneo principal en la parte media y baja de la sub-cuenca es predominante con rumbo sur y un gradiente hidráulico del orden de 0.0445 (adimensional).

- l) En la parte norte y sobre la carretera del litoral existe una falla tectónica transversal que forma una barrera hidrogeológica la cual modifica y cambia la dirección general del flujo subterráneo; teniendo una desviación lateral y paralela a dicha barrera.

- m) Los coeficientes hidráulicos de Transmisibilidad y Almacenamiento de la zona baja de la sub-cuenca indican que se posee un acuífero de buenas características para su explotación.

- n) Tomando como base los caudales explotados en la zona baja de la sub-cuenca; se puede obtener un rendimiento específico mayor del acuífero.

- o) Los datos de los pozos excavados y perforados, al sur de la sub-cuenca, han permitido tener un mejor conocimiento de las características estratigráficas e hidrogeológicas, por lo que se ha elaborado un perfil litológico característico para la zona y la localización de la zona más favorable para el aprovechamiento de los recursos de

agua subterránea y la determinación de los sitios para la perforación de nuevos pozos.

- p) La sumatoria de los caudales de los 2 pozos perforados en la hacienda Santo Tomás, permitirá cubrir la demanda de agua de los pobladores de la sub-cuenca, aproximadamente hasta el año 2011.
- q) En base a los análisis físico - químicos realizados en muestras de agua de la sub-cuenca tanto superficial como subterránea, ésta se clasifica como agua corrosiva.
- r) Los análisis bacteriológicos, demuestran contaminación por heces fecales de bacterias coliformes en las aguas superficiales y subterráneas.
- s) La calidad del agua superficial y subterránea, desde el punto de vista físico - químico y bacteriológico, no es apta para el consumo humano, según normas de la Organización Mundial de la Salud (O.M.S.)
- t) La calidad de agua superficial y subterránea, desde el punto de vista, para riego, se clasifica como agua turbia, con conductividad eléctrica baja y corrosiva.

7. RECOMENDACIONES

Estas recomendaciones han sido elaboradas en base a los antecedentes existentes, sobre el abastecimiento de agua, en otras zonas del país, así como también las conclusiones antes expuestas.

1- Para manejar el acuífero, en la sub-cuenca de las quebradas: La Jutera, Quiomalapa, La Sierpe y Tecualuya, y conocer sobre las alternativas de explotación o sobre explotación; se recomienda:

- Establecer una red de pozos de observación, para registrar los niveles piezométricos de la zona, para mejor control del recurso.

Determinar los coeficientes hidráulico del acuífero.

2- Se recomienda el establecimiento de un programa para continuar con la medición y análisis periódicos de las características hidrológicas, hidrogeológicas y calidad de agua, para optimizar el aprovechamiento de los recursos hidráulico, a través de un adecuado control cuali - cuantitativo.

3- Se recomienda realizar aforos periódicos de las quebradas y hacer una recopilación y análisis de datos hidrológicos y meteorológicos, para disponer de un registro de mayor período sobre datos hidro - meteorológicos.

- 4- Se recomienda para la zona alta de la sub-cuenca (al norte de la carretera del litoral), realizar pruebas de prospección geofísica; para conocer la estratigrafía y delimitar el acuífero de esta zona.

- 5- Se recomienda, equipar con bomba el pozo N^o 2, ubicado al sur de la Hacienda Santo Tomás (perforado por PLANSABAR), para su funcionamiento y así abastecer de agua potable a los habitantes de la sub-cuenca; debido a que estos pozos (el N^o 1 en funcionamiento) se encuentran en la parte baja, es necesario conducir el agua por la cañería hacia la parte media y alta de la sub-cuenca. El remanente de agua podrá ser utilizado para la implementación de proyectos agropecuarios en la sub-cuenca.

- 6- Se recomienda la perforación de un pozo en la parte baja de la sub-cuenca, que se utilizará en la implementación de proyectos agropecuarios; para la reactivación socio-económica de la sub-cuenca, y que ayuden a mejorar las condiciones de vida de los pobladores.

Características del pozo propuesto:

Ubicación: Lat. 261000 N. Long. 488000 S.

Diámetro de perforación: 13 3/4"

Diámetro de ademe: 8"

Diámetro de bomba: 6"

Caudal: 37,87 lts/seg : 600 Gpm

Profundidad total: 300'

- 7- Ya que desde el punto de vista físico-químico, el agua se considera corrosiva, se recomienda el método de Aireación para la oxidación del Hierro (Fe), se proponen dos tipos: a) Aireadores de caída, por gravedad (tipo cascada) y b) Aireadores, tipo fuentes públicas, el tiempo de aireación será de 2 - 3 segundos.

- 8- Ya que desde el punto de vista bacteriológico el agua tanto superficial y subterránea se encuentran contaminadas por bacterias coliformes, se recomienda el método de cloración para su potabilidad.

- 9- Se recomienda que en base al caudal de 35,87 lt/seg hacer estudios de factibilidad de proyectos agropecuarios para la sub-cuenca que contribuyan al desarrollo de la misma.

10. Se recomienda realizar campañas de concientización y reforestación para la protección y conservación del suelo y el recurso hídrico; así como también medidas que ayuden a preservar y a no contaminarlo, esto se logrará por medio de la construcción de cocina Lorena y letrinas aboneras.

8. BIBLIOGRAFIA

1. AGUILAR, C. 1978. Apuntes de geología general. U.E.S. F.C.C.A.A. Depto. Suelos. San Salv, El Salv. 76 - 81 p.
2. A.N.D.A. 1974. Estudio hidrogeológico de la zona actual del aeropuerto de Comalapa. San Salvador, El Salv. A.N.D.A. 2 - 5 p.
3. AZEVEDO NETTO, J.M. DE; ACOSTA ALVAPEZ. México. HARLA S.A. de C.V. 495 - 501 p.
4. BAXTER, SCOTT. 1984. Léxico estratigráfico de El Salvador. San Salvador. CEL. 56 - 58, 84 - 94 p.
5. BERNAL PEREZ, C. del C. 1990. Calendarización y riesgos climáticos del maíz (zea may) y sorgo (sorghum vicolor) en la planicie costera central con base a la Estación experimental y de prácticas. Tesis Ing. Agronómica. San Salvador. Fac. C.C.A.A. U.E.S. 7 pág.
6. CAMPOS ARAUJO, J.A. 1991. Capacidad de USO de las tierras de la Cooperativa Santo Tomás, jurisdicción de San Luis Talpa, Depto. de la Paz. Tesis Ing.

Agronómica. San Salvador, El Salvador. Fac.
C.C.A.A., U.E.S. 50 - 55 p.

7. CAMPOS, J.H. 1960. Estudio hidrogeológico comparativo de influencia en la investigación del agua subterránea. Tesis Ing. Civil San Salv, El Salvador. U.E.S., Fac. de Ingeniería y Arquitectura.
8. COMERCIAL Financiera, S.A. 1987. Columna litológica del pozo de la U.E.S., Fac. de Ciencias Agronómicas. San Salv, El Salvador. CONFISA. P.
9. DENIS, J.R; BOURNE, W.C. 1962. Levantamiento general de suelos de la República de El Salvador. Cuadrante 2356 II, río Jiboa, Nueva San Salvador. San Salv, El Salv. Dirección General de Investigaciones Agronómicas. ESC 1:50,000, color.
10. DOREMBOS, J. 1976. Las necesidades de agua de los cultivos. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (F.A.O.). Roma. 64 - 72 p.
11. EL SALVADOR, CENTRO DE RECURSOS NATURALES. 1980. Plan Maestro de Desarrollo y Aprovechamiento de los Recursos Hídricos; Recursos y Demandas potenciales a

la región "F". San Salvador, El Salv. M.A.G.
Documento Básico N° 1. 46 p.

12. ESTEVEZ, J.A. 1987. Estudio Hidrogeológico del área del municipio de San Luis Talpa, La Paz. San Salvador, El Salv. A.N.D.A. 1 - 20 p.
13. ESTEVEZ, J.A. 1985. Informe de perforación, aforo y análisis hidráulico de dos pozos perforados en la Hacienda Santo Tomás y caserío Los Artiaga, cantón Tecualuya; jurisdicción de Olocuilta y San Luis, Depto. de La Paz. PLANSABAR. San Salvador, El Salv. p.
14. ESCOBAR, J. 1984. Proyecto de perforación y equipamiento de un pozo profundo para fines de riego doméstico y pecuario en el campo experimental y de prácticas La Providencia. San Salvador, El Salv. p.
15. EXAMEN GEOLOGICO petrográfico de un perfil de toba en la República de El Salvador. 1953. Comunicación (El Salvador) 4 (1) : 10 - 14.
16. FLORES, P.O. 1985. Disponibilidad de humedad en el suelo por medio del método de balance hídrico. San Salvador, El Salvador. SEMEA. 14 - 29 p.

17. GARCIA, F; CASTANEDA, W. 1991. Factibilidad edafoclimática para la diversificación agrícola en la estación experimental y de prácticas de la Universidad Nacional de El Salvador. Tesis Ing. Agronómica. San Salvador, El Salvador, fac. C.C.A.A. U.E.S. p.
18. GUZMAN MERLO, R.J; JOVA DIAZ, G. 1984. Hidrología. La Habana, Cuba. Editorial Pueblo y Educación. 6 - 7, 16 - 23, 158 - 165 p.
19. JOHNSON DIVISION. 1975. El agua subterránea y los pozos. Saint Paul (Minn). p.
20. LAS CENIZAS DE Pómez en los alrededores de San Salvador. 1955. Comunicaciones (El Salvador) 4 (3/4) : 81 - 93.
21. MINISTERIO DE AGRICULTURA Y GANADERIA. Dirección General de Investigaciones Agronómicas. Levantamiento General de Suelos, Cuadrantes 2356I y 2356II. La Paz, diciembre 1966 Esc. 1:50,000.
22. MINISTERIO DE RECURSOS NATURALES. 1984. Requerimientos Agroecológicos para diferentes cultivos. Secretaría de Recursos Hídricos. Honduras. 118 p.

23. MISSION GEOLOGICA ALEMANA, 1978. Mapa geológico Nacional, Cuadrantes 2356I y 2356II de El Salvador.
24. WEYL, R. 1956. Estudios geológicos en la región del río Comalapa (El Salvador) 4 (3/5) : 4 - 7.
25. WEYL, R. 1957. Las tobas fundidas de la cadena costera. Comunicaciones. El Salv. V. 6 (1) : 8 - 16 p.

9. A N E X O S

CUADRO A-1 COEFICIENTES Kc PARA LOS CULTIVOS EXTENSIVOS EN EL AREA DE ESTUDIO.

		Coeficiente Kc para Maiz											
		E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
D	I						0,69	1,05	0,83				
	II						0,85	1,05	0,59				
	III					0,64	1,02	1,05					
		Coeficiente Kc para Sorgo											
E	I									0,82	1,0	0,6	
	II								0,66	0,97	1,0		
	III								0,66	1,0	0,82		
		Coeficiente Kc para Ajonjolí											
C	I								0,6	1,0	0,8	0,44	
	II								0,7	1,05	0,8		
	III								0,8	1,05	0,6		
		Coeficiente Kc para Caña de Azúcar 1º año											
A	I					0,68	0,88	0,95	1,05	1,05	1,05	1,05	1,05
	II					0,74	0,91	0,98	1,05	1,05	1,05	1,05	1,05
	III				0,62	0,8	0,93	1,0	1,05	1,05	1,05	1,05	1,05
		2º año											
S	I	1,05	0,93	0,74									
	II	1,05	0,87	0,61									
	III	1,05	0,8	0,6									
		Coeficiente Kc para Plátano 1º año											
A	I					0,61	0,61	0,62	0,78	0,97	1,11	1,14	1,1
	II					0,61	0,61	0,67	0,85	1,02	1,12	1,12	1,1
	III					0,61	0,61	0,73	0,92	1,08	1,14	1,11	1,1
		2º año											
S	I	1,1	1,04	0,71	0,74	0,73	0,77	0,87	1,07	1,2	1,2	1,19	1,15
	II	1,1	0,9	0,73	0,72	0,74	0,8	0,95	1,12	1,2	1,2	1,18	1,15
	III	1,1	0,75	0,74	0,71	0,75	0,82	1,04	1,2	1,2	1,2	1,16	1,15

CUADRO A - 2 ELEVACION DE CURVAS ISOFREATICAS.

E.C.I.	Elevación m.s.n.m	
	Profundidad nivel freático	
Pozo 1 =	$\frac{116,00}{3,10}$	= 112,9_
Pozo 2 =	$\frac{39,00}{9,45}$	= 29,55
Pozo 3 =	$\frac{33,00}{6,69}$	= 26,31
Pozo 4 =	$\frac{29,50}{5,00}$	= 24,50
Pozo 5 =	$\frac{28,00}{6,43_}$	= 21,57
Pozo 6 =	$\frac{27,50}{3,67}$	= 23,83
Pozo 7 =	$\frac{28,30}{5,90}$	= 22,40
Pozo 8 =	$\frac{28,50}{6,75}$	= 21,75

CUADRO A - 2 ELEVACION DE CURVAS ISOFREATICAS.
(Continuación)

Pozo 9 =	$\frac{30,50}{6,43}$	=	24,07
Pozo 10 =	$\frac{26,25}{5,65}$	=	20,60
Pozo 11 =	$\frac{23,00}{5,12}$	=	17,88
Pozo 12 =	$\frac{19,75}{2,70}$	=	17,05
Pozo 13 =	$\frac{50,00}{3,7}$	=	46,13
Pozos Perforados			
Pozo 1 =	$\frac{17,00}{6,9}$	=	10,10
Pozo 2 =	$\frac{17,00}{3,88}$	=	13,12

CUADRO A - 3 CALCULO DEL GRADIENTE HIDRAULICO (i)

$$i = \frac{P_1 - P_2}{L}$$

Donde:

P_1 = metros sobre el nivel medio del mar - profundidad freática en metros) para el pozo N^o 1.

P_2 = (metros sobre el nivel medio del mar - profundidad freática en metros) para el pozo N^o 2.

L = Longitud en metros medidos desde el pozo N^o 1 a pozo N^o 2.

Pozo N^o 1 : El Barrial

m.s.n.m = 120 mt.

Profundidad freática : 3,10 mt.

Pozo N^o 2 = (pozo inventariado N^o 11)

m.s.n.m = 22 mt.

Profundidad freática = 5,12 mt.

L = 2,250 mt.

$$i = \frac{(120 - 3,10) \text{ mt} - (22 - 5,12) \text{ mt}}{2,250 \text{ mt}}$$

$$i = \frac{116,9 \text{ mt} - 18,88 \text{ mt}}{2,250 \text{ mt}} = \frac{100,02 \text{ mt}}{2,250 \text{ mt}}$$

$$i = 0.0445$$

CUADRO A - 4 ELEVACIONES Y UBICACION DE POZOS Y NACIMIENTOS DE
TOMAS DE MUESTRAS DE AGUA EN LA SUB-CUENCA

Pozo N ^o	Elevación (m.s.n.m)	Coordenadas
1	116,00	263,225 m N; 488,200 m E
2	39,00	261,750 m N; 488,425 m E
3	33,00	261,655 m N; 488,215 m E
4	29,50	261,525 m N; 488,075 m E
5	28,00	261,385 m N; 487,925 m E
6	27,50	261,325 m N; 487,900 m E
7	28,30	261,255 m N; 488,260 m E
8	28,50	261,135 m N; 488,380 m E
9	30,50	261,250 m N; 488,800 m E
10	26,25	261,250 m N; 487,805 m E
11	23,00	261,150 m N; 487,535 m E
12	19,75	260,560 m N; 486,625 m E
13	50,00	262,135 m N; 487,050 m E
Pozos per- forados		
Hda.Santo Tomás		
N ^o 1	17,00	260,800 m N; 485,800 m E
N ^o 2	17,00	260,650 m N; 486,250 m E
Nacimientos		
La Jutera	240,00	266,500 m N; 487,625 m E
Quiomalapa	150,00	263,950 m N; 488,625 m E
La Sierpe	50,00	262,575 m N; 488,650 m E

CUADRO A-5 CARACTERISTICAS FISICO-QUIMICAS Y BACTERIOLOGICAS Y
 SUS LIMITES DE ACEPTACION PARA LA CLASIFICACION DE
 AGUA. SEGUN LA ORGANIZACION MUNDIAL DE LA SALUD
 (O.M.S.).

DETERMINACION	LIMITES DE ACEPTACION FISICO-QUIMICO
pH	De 6.5 - 8.5
Olor	Debe ser inoloro.
Color verdadero	No debe ser mayor de 15 unidades.
Color aparente	No existe rango.
Temperatura	Máximo aceptable 30 °C
	Máximo permisible 34 °C
Turbiedad	Máximo permisible 5 UNT (Unidades
	Turbidimétricas Nefetométricas).
Sólidos totales	de 1000 - 1500 mg/Lt de agua.
Alcalinidad total	No existe norma establecida.
(CaCO ₃)	
Dureza total	Se recomienda no más de 500
(CaO ₃)	mg/Lt.
Bióxido de carbono	No existe norma establecida.
(CO ₂)	
Conductividad a 25°C	De 50 - 500 Mn hos/cm.
Cloro residual	No debe exceder de 0,50 mg/Lt.
Índice de Langelie	Aceptable de 0,5 a + 0,5 mg/Lt.
Alcalinidad al bi-	
carbonato de sodio o	
potasio	No existen normas establecidas.
Dureza carbonática	No debe exceder de 500 mg/Lt.
Calcio	Máximo permisible de 200 mg/Lt.
Magnesio	De 50 - 150 mg/Lt.
Sodio	Máximo 200 mg/Lt.
Potasio	No existe norma establecida.
Hierro total	No debe exceder de 0,3 mg/Lt.
Hierro disuelto	No debe exceder de 0,3 mg/Lt.
Manganeso total	No debe exceder de 0,1 mg/Lt.
Manganeso disuelto	No debe exceder de 0,1 mg/Lt.
Carbonatos y bicar-	
bonatos	No hay norma establecida.
Hidróxidos	No hay norma establecida.
Cloruros	No debe exceder de 2,50 mg/Lt.
Sulfatos	Permisible hasta 400 mg/Lt.
Sílice	No hay norma establecida.
Fluoruro	No debe exceder de 1,5 mg/Lt.
B A C T E	R I O L O G I C O
Método de tubos	Debe tener 0,0 coliformes/100
múltiples	ml de agua.

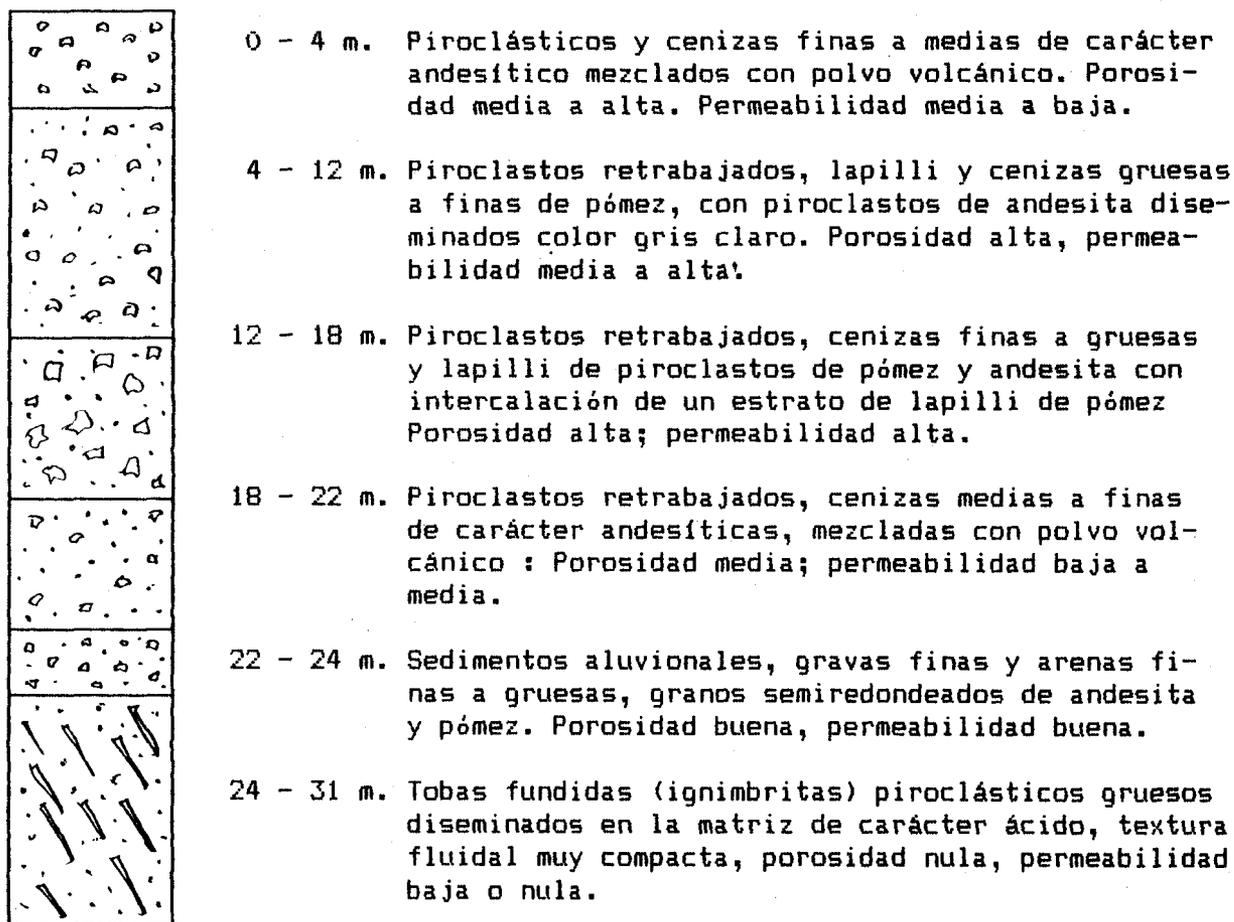
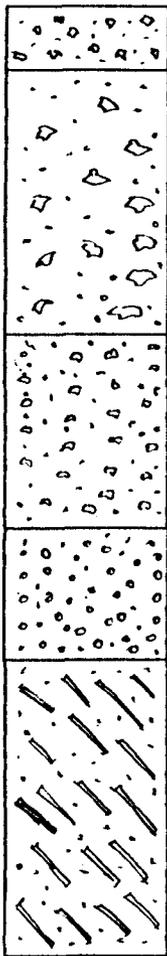


Fig. A-3 COLUMNA LITOLÓGICA POZO Nº 1 HDA. SANTO TOMAS

MINISTERIO DE SALUD PÚBLICA Y ASISTENCIA SOCIAL
PLAN NACIONAL DE SANEAMIENTO BÁSICO RURAL

P L A N S A B A R

PERFIL GEOLOGICO - DISEÑO DE POZO
POZO 83 - 15 - 84 (Nº 1.)
HDA. SANTO TOMAS, J. DE OLOCUILTA, DEPTO
DE LA PAZ



- 0 - 2 m. Piroclásticos lapilli y cenizas finas a medias, de carácter andesítico, mezclados con polvo volcánico. Porosidad media a alta; permeabilidad media.
- 2 - 16 m. Piroclásticos retrabajados; lapilli y cenizas finas a gruesas de pómez con bombas de pómez diseminadas. Porosidad media; permeabilidad media.
- 16 - 26 m. Piroclásticos retrabajados, lapilli medios a gruesos, mezclados con grava escoriácea y polvo volcánico. Porosidad media, permeabilidad media.
- 26 - 34 m. Sedimentos aluvionales gravas y arenas gruesas a medias, carácter andesítico con intercalaciones de polvo volcánico. Porosidad media a alta, permeabilidad media a alta.
- 34 - 50 m. Tobas fundidas (ignimbritas) piroclásticos gruesos diseminados en matriz fina, textura fluidal, muy compactas. Porosidad nula, permeabilidad baja a nula.

Fig. A-4 COLUMNA LITOLÓGICA POZO Nº 2 HDA. SANTO TOMAS

MINISTERIO DE SALUD PÚBLICA Y ASISTENCIA SOCIAL
 PLAN NACIONAL DE SANEAMIENTO BÁSICO RURAL

 P L A N S A B A R

 PERFIL GEOLOGICO - DISEÑO DE POZO
 POZO S - 16 - 84 (Nº 2)
 HDA. SANTO TOMAS, J. DE OLOCUILTA, DEPTO
 DE LA PAZ

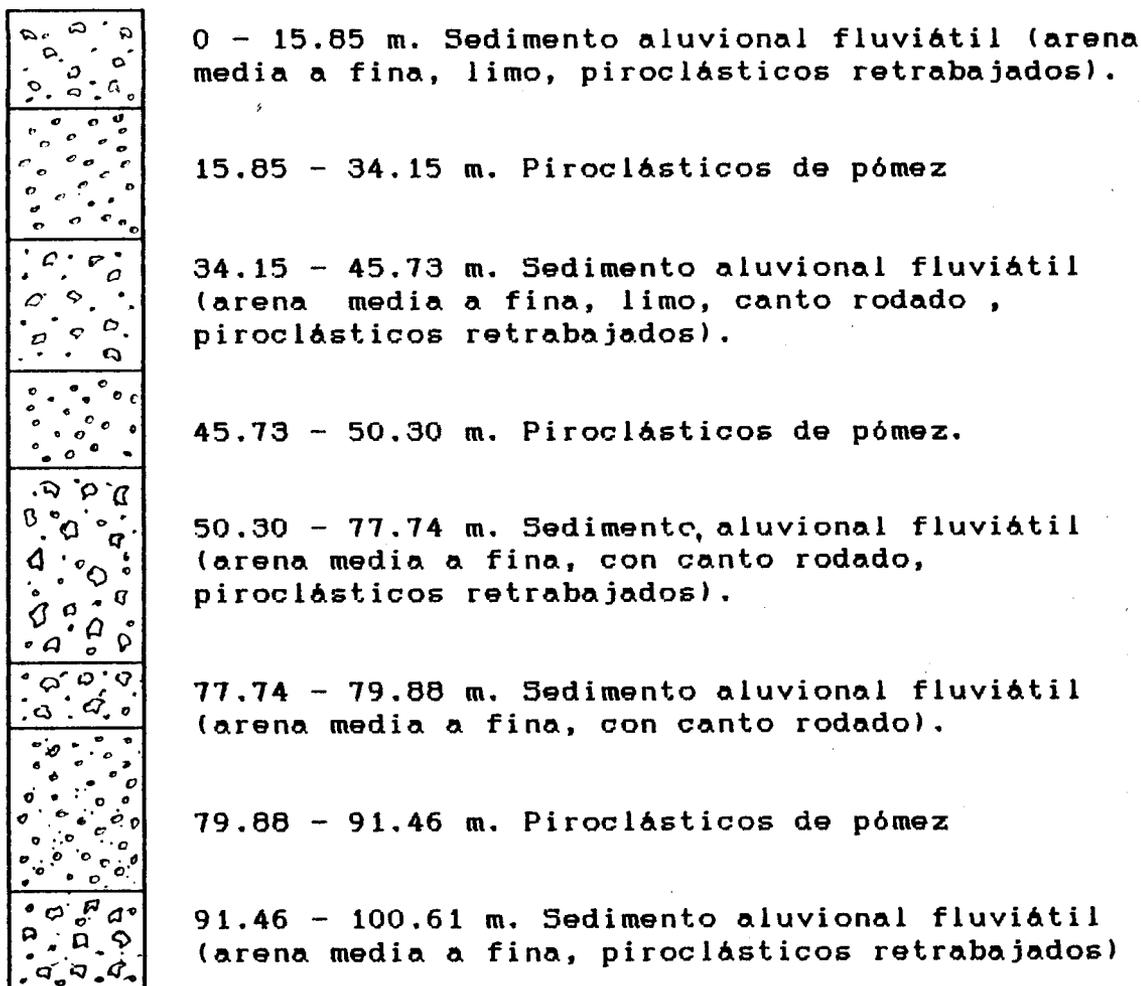


Fig. A-5 COLUMNA LITOLÓGICA DE POZO PERFORADO EN EL CAMPO EXPERIMENTAL DE LA FACULTAD DE AGRONOMIA U.E.S.



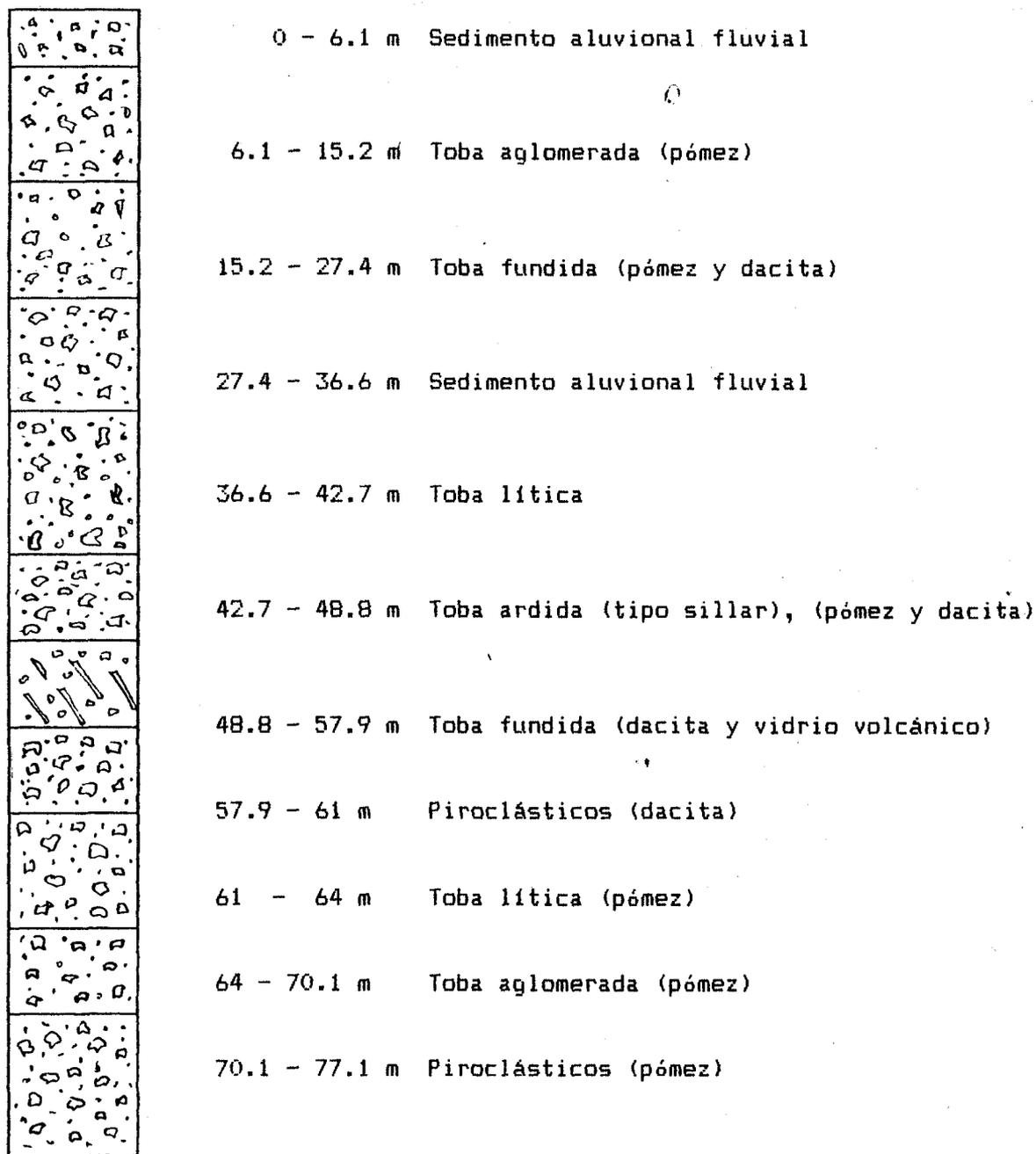


Fig. A-6 COLUMNA LITOLÓGICA POZO REPARTO "SAN LUIS"