

**UNIVERSIDAD SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE AGRONOMIA
INSTITUTO DE INVESTIGACIONES AGRONOMICAS**

**ESTIMACION DEL VOLUMEN Y CALIDAD DEL AGUA
SUBTERRANEA Y ESTABLECIMIENTO DE POLITICAS DE
EXPLOTACION, PARA LAS ALDEAS SAN JOSE PACUL Y PACHALI
DEL MUNICIPIO DE SANTIAGO SACATEPEQUEZ**

**TESIS
PRESENTADA A LA HONORABLE JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE AGRONOMIA DE LA UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA**

**POR
ARTURO RENE CABRERA CRUZ**

En el acto de investidura como

INGENIERO AGRONOMO

EN

SISTEMAS DE PRODUCCION AGRICOLA

EN EL GRADO ACADEMICO DE

LICENCIADO

Guatemala, noviembre de 1998

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA

FACULTAD DE AGRONOMIA

Ing. Agr. EFRAIN MEDINA GUERRA

RECTOR

JUNTA DIRECTIVA DE LA FACULTAD DE AGRONOMIA

DECANO	Ing. Agr. JOSE ROLANDO LARA ALECIO
VOCAL PRIMERO	Ing. Agr. JUAN JOSE CASTILLO MONT
VOCAL SEGUNDO	Ing. Agr. WILLIAM ROBERTO ESCOBAR LOPEZ
VOCAL TERCERO	Ing. Agr. ALEJANDRO ARNOLDO HERNANDEZ FIGUEROA
VOCAL CUARTO	Br. OSCAR JAVIER GUEVARA PINEDA.
VOCAL QUINTO	P. Agr. EDGAR DANILO JUAREZ QUIM
SECRETARIO	Ing. Agr. GUILLERMO EDILBERTO MENDEZ BETETA

Guatemala, noviembre de 1998.

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

Distinguidos miembros:

De conformidad con las normas establecidas por la ley de la Universidad de San Carlos de Guatemala, tengo el honor de someter a vuestra consideración, el trabajo de tesis titulado:

**ESTIMACION DEL VOLUMEN Y CALIDAD DEL AGUA
SUBTERRANEA Y ESTABLECIMIENTO DE POLITICAS DE
EXPLOTACION, PARA LAS ALDEAS SAN JOSE PACUL Y PACHALI
DEL MUNICIPIO DE SANTIAGO SACATEPEQUEZ**

Presentado como requisito previo a optar el título de Ingeniero Agrónomo en Sistemas de Producción Agrícola, en el grado académico de Licenciado en Ciencias Agrícolas.

Atentamente,



Arturo René Cabrera Cruz

ACTO QUE DEDICO

A:

DIOS: Supremo Creador

MI MADRE: Teodora Cruz Valencia
Como una pequeña recompensa a sus múltiples esfuerzos.

MI ESPOSA: Olga Jeanete Ruiz de Cabrera
Por su amor, apoyo y comprensión en todo momento.

MIS HIJOS: Maria José y Luis Arturo
Con todo mi amor.

MIS HERMANOS: Luz del Carmen, Victor Manuel, Onoria Elizabeth,
José Angel, Pablo Enrique, Sandra Edilia y
Rudy Osberto
Con amor fraternal por todo su apoyo.

MIS SOBRINOS: Con mucho cariño

LA FAMILIA: Ruiz Hernández
Por su confianza y apoyo.

MIS AMIGOS: Mario Chonay, Francisco Velásquez, Tulio García
Anabella de Romero, Emilio Say, Raúl Maas.

TESIS QUE DEDICO

A:

Mi Patria Guatemala

San Cristobal Verapaz, Alta Verapaz

Facultad de Agronomía

Universidad de San Carlos de Guatemala

**Agricultores de la Cooperativa Unión de Cuatro Pinos,
Santiago Sacatepéquez**

AGRADECIMIENTOS

Sinceros agradecimientos a:

Ing. Agr. M. Sc. Víctor Manuel Cabrera Cruz, por su asesoría y consejos durante la realización de este trabajo de tesis.

Ing. Agr. Rudy Osberto Cabrera Cruz, por su apoyo y colaboración en la elaboración del presente trabajo.

Ing. Agr. Tulio René García Morales, por la oportunidad que me dió de trabajar en el Proyecto de Desarrollo de la Cooperativa Cuatro Pinos.

Y a todas aquellas personas que de una u otra manera contribuyeron para la realización de este trabajo.

CONTENIDO

	Página
Índice de figuras	v
Índice de cuadros	vi
RESUMEN	vii
1. INTRODUCCION	1
2. DEFINICIÓN DEL PROBLEMA	2
3. JUSTIFICACION DE LA INVESTIGACION	3
4. MARCO TEORICO	4
4.1. MARCO CONCEPTUAL	4
4.1.1 Origen del agua subterránea	4
4.1.2 Movimiento del agua en el suelo	4
4.1.3 Clasificación del agua subterránea	4
4.1.3.1 Zonas de aireación	4
4.1.3.2 Zona de saturación	5
4.1.4 Exploración del agua subterránea	5
4.1.5 Pruebas de bombeo	5
4.1.6 Propiedades hidráulicas de los acuíferos	6
4.1.6.1 Permeabilidad o conductividad hidráulica	6
4.1.6.2 Transmisividad	7
4.1.6.3 Coeficiente de almacenamiento y rendimiento específico	7
4.1.7 Tipos de acuíferos	8
4.1.8 Métodos para analizar los datos de la pruebas de bombeo	10
4.1.8.1 Método de Theis	10
4.1.8.2 Método de Jacob	12
4.1.9 Métodos de limpieza y desarrollo de pozos.	13
4.1.9.1 Tipo de Materiales de los Acuíferos	13

4.1.9.2	Materiales no consolidados	14
4.1.9.3	Materiales no consolidados especiales	14
4.1.9.4	Materiales consolidados.	14
4.1.9.5	Métodos de limpieza	15
4.1.9.6	Sobrebombeo	15
4.1.9.7	Bombeo intermitente y cuchareo.	15
4.1.9.8	Chorro horizontal de agua	16
4.1.9.9	Aire comprimido.	16
4.1.9.10	Agitación mecánica	16
4.1.9.11	Hielo seco	17
4.1.9.12	Dispensador de arcillas	17
4.1.9.13	Desarrollo de pozos con empaque de grava o prefiltro.	17
4.1.10	Calidad del agua subterránea	18
4.1.10.1	Fuentes de agua	19
4.1.10.2	Agua subterránea	19
4.1.10.3	Normas de calidad para aguas de riego	20
4.1.10.4	Normas de agua para uso doméstico	21
4.1.10.5	Recolección de muestras	23
4.1.11	Evapotranspiración	24
4.1.12	Velocidad de infiltración	25
4.1.13	Balance hídrico	25
4.1.14	Precipitación	26
4.1.14.1	Capacidad de almacenamiento de agua en el suelo	26
4.1.14.2	Profundidad radicular	27
4.1.14.3	Exceso y deficiencia de agua	27
4.2	MARCO REFERENCIAL	27

4.2.1	Localización y accesos	27
4.2.2	Características socioeconómicas	29
4.2.2.1	Población actual	29
4.2.2.2	Nivel de ingresos	29
4.2.2.3	Organización socio-política	29
4.2.2.4	Organización socio-económica	30
4.2.2.5	Tenencia de tierras	30
4.2.3	Zonas de Vida	30
4.2.4	Climatología	30
4.2.4.1	Precipitación	31
4.2.4.2	Temperatura.	31
4.2.4.3	Evaporación	31
4.2.5	Estudio edafológico	31
4.2.5.1	Uso actual de la tierra	31
4.2.6	Génesis de suelos	34
4.2.7	Aprovechamiento de las aguas subterráneas	34
5.	OBJETIVOS	36
5.1	General	36
5.2	Específicos	36
6.	METODOLOGIA	37
6.1	Determinación del área de estudio	37
6.2	Estudio edafológico	37
6.2.1	Muestreo de suelos	37
6.2.2	Uso actual de la tierra	37
6.2.3	Análisis de suelos	38
6.2.4	Velocidad de infiltración y determinación de infiltración básica	38

6.3 Estudio hidrológico	39
6.3.1 Determinación del consumo de agua o evapotranspiración	39
6.3.2 Estimación de la demanda	40
6.3.2.1 De riego	40
6.3.2.2 De agua potable	40
6.3.3 Calidad de agua	41
6.3.4 Determinación de la recarga	41
6.4 Estudio geológico	41
6.5 Estudio hidrogeológico	41
6.6 Propuesta de políticas de explotación	42
7. RESULTADOS	43
7.1 Análisis físico y constantes de humedad del suelo	43
7.2 Infiltración básica	44
7.3 Estudio hidrológico	45
7.3.1 Determinación del consumo de agua o evapotranspiración	45
7.3.2 Estimación de la demanda de agua	46
7.3.2.1 De riego	46
7.3.2.2 Consumo humano	48
7.3.3 Calidad de agua	49
7.3.3.1 De riego	49
7.3.3.2 Consumo humano	51
7.3.4 Determinación de la recarga	52
7.4 Estudio geológico	52
7.4.1 Unidades litológicas	53
7.4.1.1 Rocas volcánicas	53
7.4.1.2 Secuencia estratigráfica	56

7.5 Estudio hidrogeológico	57
7.5.1 Unidad hidrogeológica del cuaternario	57
7.5.2 Unidad hidrogeológica del terciario	57
7.5.3 Aspectos litológicos	58
7.5.3.1 Perfiles litológicos de 0-30 m.	58
7.5.3.2 Perfiles litológicos de 30-185 m.	60
7.5.4 Reservas del acuífero	63
7.6 Políticas de explotación	68
8. CONCLUSIONES	69
9. RECOMENDACIONES	70
10. BIBLIOGRAFIA	71
11. APENDICE	73

INDICE DE FIGURAS

	Página
1. Tipos de acuífero	9
2. Pozo profundo perforado	11
3. Mapa de Guatemala mostrando la localización del departamento de Sacatepéquez	28
4. Mapa de uso actual de la tierra de Santiago Sacatepéquez, Guatemala.	33
5. Velocidad de infiltración, Santiago Sacatepéquez, Guatemala	45
6. Mapa de ubicación de pozos y puntos de muestreo, Santiago Sacatepéquez, Guatemala	50
7. Mapa de geología general, Santiago Sacatepéquez, Guatemala	54
8. Perfiles litológicos de 0-30 metros, ubicado en Santiago Sacatepéquez	59

9.	Perfiles litológicos de 30-185 m, pozo N° 1 ubicado en San Lucas Sac.	61
10.	Perfiles litológicos de 30-185 m, pozo N° 2 ubicado en San Lucas Sac.	62
11.	Perfiles litológicos de 30-185 m, pozo N° 3 ubicado en Santiago Sac.	64
12.	Perfiles litológicos de 30-185 m, pozo N° 4 ubicado en Santiago Sac.	65
13.	Perfiles litológicos de 30-185 m, pozo N° 5 ubicado en Santiago Sac.	66
14.	Perfiles litológicos de 30-185 m, pozo N° 6 ubicado en San Pedro Sac.	67

INDICE DE CUADROS

	Página
1. Normas de calidad de agua para uso doméstico	22
2. Característica físicas y constantes de humedad del suelo del área	43
3. Evapotranspiración real para el cultivo de arveja china	46
4. Balance hídrico	47
5. Demanda actual y futura de agua para consumo humano.	48
6. Calidad de agua para irrigación.	49
7. Calidad de agua para uso humano	51
8. Recarga promedio en milímetros	52

INDICE DEL APENDICE

	Página
1. Coeficiente Kc del cultivo.	74

**ESTIMACION DEL VOLUMEN Y CALIDAD DEL AGUA SUBTERRANEA Y ESTABLECIMIENTO
DE POLITICAS DE EXPLOTACION, PARA LAS ALDEAS SAN JOSE PACUL Y PACHALI
DEL MUNICIPIO DE SANTIAGO SACATEPEQUEZ**

**VOLUME ESTIMATION AND GROUNDWATER QUALITY, AND EXPLOTATION POLICIES
ESTABLISHMENT FOR THE SAN JOSE PACUL AND PACHALI COMMUNITIES, ON SANTIAGO
SACATEPEQUEZ, GUATEMALA.**

RESUMEN

Actualmente en Guatemala por el deterioro y escasez de la fuentes superficiales de agua, se le ha dado énfasis al aprovechamiento de las aguas subterráneas como fuentes de abastecimiento doméstico, agropecuario e industrial, de esa cuenta, se hace necesario los estudios cualitativos y cuantitativos del recurso hídrico subterráneo basados en aspectos geológicos, hidrológicos, climáticos, hidrogeológicos y edafológicos.

El estudio se llevó a cabo en las Aldeas San José Pacul y Pachalí del Municipio de Santiago Sacatepéquez, Guatemala en una extensión de 960 hectareas con amplios problemas de abastecimiento de agua doméstica y para riego agrícola en cuanto a calidad y cantidad proveniente de fuentes superficiales, siendo la subterránea la única disponible aprovechándose únicamente por pozos excavados a mano o artesanales y en forma desordenada. El estudio se basó en estimar la cantidad y calidad del recurso hídrico subterráneo en esas aldeas, definiéndose específicamente en determinar la demanda de agua para fines de riego y consumo humano, determinar la geología, características litológicas e hidrogeológicas del área acuífera y determinación de estrategias de explotación del agua subterránea en función de la demanda.

El proceso metodológico seguido se basó preliminarmente en un caminamiento del área y delimitación mediante fotointerpretación. Posteriormente, se realizaron los estudios edafológicos con muestreos de suelos, análisis del uso actual de la tierra, determinación de constantes de humedad,

textura, densidad aparente, pH, punto de marchitez permanente y capacidad de campo, especialmente. El estudio hidrológico comprendió la determinación del consumo de agua de acuerdo a la vegetación predominante (cultivos principalmente) y características climáticas. Con base a los cultivos principales de la zona, se determinó la demanda de agua para fines de riego y con base en la población se determinó la demanda de agua potable. Asimismo, mediante muestreos de pozos domésticos y mecánicos, se determinó la calidad del agua desde el punto de vista físico, químico y bacteriológico. Al área delimitada también se le determinó la recarga hídrica, análisis geológico e hidrogeológico. Mediante una integración de todas esas características y sus variables, se determinó las políticas de explotación del recurso agua en la zona.

Con base en el análisis integrado de las variables biofísicas y socioeconómicas de la zona de estudio y de la demanda actual y futura del agua para fines de riego y consumo humano, del total de agua infiltrada anualmente en la zona, se utiliza el 74% para fines de riego y el 4% para fines de agua potable, esto implica que bajo el actual uso del agua y a futuro (estimaciones al año 2,008) no se consume ni la reserva infiltrada ni mucho menos la reserva inferior del acuífero.

Producto del estudio, se recomienda para la zona mantener y ampliar la actual cobertura boscosa mediante un programa de reforestación a fin de facilitar la recarga hídrica al acuífero y facilitar su sostenibilidad a largo plazo tanto del acuífero superficial (0-30 m.) como el profundo (30-185 m.). Por las características del acuífero (perchado colgado) y la distribución de los predios en minifundio y su población, los pozos artesanales son una solución para el aprovechamiento múltiple de caudales mínimos para fines de consumo humano y riego complementario. Además, esta práctica es una solución económicamente viable con costos de energía hidráulica mínima en zonas de pobreza y pobreza extrema como la estudiada. Para evitar la contaminación del acuífero, las distancias de perforación rústica entre un pozo y una letrina no debe ser menor a 30 metros. Coordinar con los gobiernos locales y alcaldías auxiliares a fin de regular el uso y aprovechamiento de los recursos hídricos del área mediante reglamentos internos aprobados en concenso por las comunidades.

1. INTRODUCCION

A pesar de los grandes adelantos tecnológicos, el hombre tiene aún que resolver los problemas de producir la cantidad necesaria de alimentos para su subsistencia, problemas que deben resolverse a la par del aumento de la población mundial y del agotamiento gradual de los recursos naturales tales como: el agua disponible para la agricultura en las próximas décadas. Por esta razón deben definirse lineamientos estratégicos en cuanto a recursos hidráulicos se refiere, adaptados a la realidad de una o varias regiones.

Existen áreas del territorio nacional que por razones geológicas o topográficas, no ofrecen posibilidades para la construcción de obras hidráulicas que permitan la captación de los escurrimientos superficiales pero en cambio presentan condiciones favorables para explotar aguas subterráneas, enfatizando los estudios cualitativos y cuantitativos que permitan tener un mejor conocimiento de las cantidades disponibles y de las características hidrogeológicas de los acuíferos.

Actualmente en Guatemala se ha dado importancia al recurso hídrico subterráneo, como una fuente de abastecimiento, tanto doméstico, agrícola e industrial.

El presente trabajo es producto de una serie de estudios para cualificar y cuantificar la disponibilidad del agua subterránea existente, además es también determinante establecer diferentes estrategias de explotación que permitan un manejo racional de este recurso, considerándose posteriormente llegar a optimizar el uso del agua subterránea en la zona. Todo esto se llegó a determinar a través de estudios geológicos, hidrológicos, climáticos, hidrogeológicos y edafológicos para un área de 960 hectáreas.

2. DEFINICION DEL PROBLEMA

Santiago Sacatepéquez puede considerarse como un municipio rico en agua, pues en promedio recibe al año 1100 mm de lluvia, muy superior a los municipios del oriente del país, en los cuales la precipitación es muy inferior.

En la cabecera municipal se utiliza con fines de uso doméstico un pozo mecánico y el nacimiento del Río Chinimayá, no así en los municipios de San Lucas y San Pedro Sacatepéquez, los cuales distribuyen a sus habitantes agua de pozos mecánicos. En las aldeas San José Pacul y Pachali no se cuenta con una red de distribución de agua potable, y es prohibido por EMPAGUA utilizar el nacimiento del río Pansalic y el río Las Flores con fines de riego y uso doméstico en la aldea San José Pacul, en la aldea Pachali no existen nacimientos ni afluentes.

Como resultado de esto los habitantes de estas aldeas excavan pozos en sus casas y terrenos de cultivo. El agua extraída para uso doméstico no se le realiza ninguna práctica de ebullición o cloración y la extraída para fines de irrigación la utilizan como riego complementario, el cual puede ser aplicado con mangueras directamente de la motobomba o por medio de regaderas.

Se desconoce en la cabecera municipal y en las aldeas la calidad del agua para fines domésticos y de riego. La perforación de pozos la realizan a conveniencia y en algunas casas toman como referencia el pozo vecino afectándose ambos, desconocen la profundidad y las características de la capa confinante y el pozo no es utilizado por pérdida de circulación, por otro lado no realizan ninguna práctica de conservación de suelos y aguas, las cuales serían de gran beneficio para la recarga del acuífero.

3. JUSTIFICACION DE LA INVESTIGACION

El agua es un recurso que determina el desarrollo económico y social de una aldea, pueblo o país, a nivel nacional no digamos a nivel rural. Presenta una problemática de déficit, mala calidad de agua, uso inadecuado y contaminación y mal manejo de aguas residuales, por tal razón los cuerpos de agua superficiales y subterráneos se encuentran en un proceso de franco deterioro. Debido a la situación anterior es condicionante usar eficientemente el agua.

Lo anterior obligó a entidades como la Facultad de Agronomía de la Universidad de San Carlos, Ministerio de Agricultura y el INSIVUMEH a realizar estudios en diferentes áreas del país a efecto de utilizar este recurso en un marco de la conservación y racionalización, procurando la continuidad y permanencia del ciclo hidrológico.

Las aldeas San José Pacul y Pachalí del municipio de Santiago Sacatepéquez, departamento de Sacatepéquez, es la zona donde se encuentra ubicada el área sobre la cual se realizó el estudio de estimación de calidad y volumen de los recursos hídricos subterráneos, siendo ésta la única fuente de abastecimiento existente para uso doméstico y agrícola.

Actualmente el acuífero es aprovechado por los habitantes de estas aldeas, pero en forma empírica, desordenada y contaminante, debido a que en algunas áreas se excavan pozos a poca distancia uno de otro y algunas veces interfiriéndose ambos. La mayoría de pozos para la utilización de uso doméstico se encuentra cerca de la letrina, lo que puede dar lugar en un futuro a la contaminación del agua subterránea. Con el presente estudio se pudo establecer la calidad y cantidad del acuífero superior e inferior.

4. MARCO TEORICO

4.1 MARCO CONCEPTUAL

4.1.1 Origen del agua subterránea

Linsley, R., Kohler, M. y Paulus, J., (14) indican que casi toda el agua subterránea meteórica proveniente de la precipitación en algunos sitios se encuentra agua de formación presente en la roca durante su formación o deposición, generalmente de alto contenido salino. En menores cantidades existe también aguas formadas químicamente dentro del subsuelo.

4.1.2 Movimiento del agua en el suelo

Amisial, R. y Jegat, H., (2) señalan que la infiltración es el movimiento del agua a través de la superficie del suelo al interior de la tierra, diferente de la percolación que es el movimiento de agua a través del suelo.

Según Linsley, R., Kohler M. y Paulus J. (14) después de una lluvia el agua puede infiltrarse a través de los poros más grandes del suelo, pero luego debe dispersarse en la zona capilar pasando hacia los acuíferos o al caudal de un río.

4.1.3 Clasificación del agua subterránea

Rubio, L., Torres, J. y Juarez, J. (21) señalan que el agua subterránea ocupa una zona situada entre la superficie de la tierra y los límites inferiores de las formaciones de rocas porosas que la admiten, la cual se designa como zonas de fractura de las rocas. Esta se subdivide en zonas de aireación y zonas de saturación.

4.1.3.1 Zonas de aireación

En las zonas de aireación los intersticios de la roca están ocupados parcialmente por agua y aire. En si esta zona recibe y retiene el agua para uso de las plantas y permite el movimiento de exceso hacia la zona de saturación.

4.1.3.2 Zona de saturación

En estas zonas todos los intersticios de la roca están llenos de agua bajo presión hidrostática. La parte superior debe estar limitada por una superficie de presión atmosférica, la cual se reconoce por el nivel que alcanza el agua en un pozo que penetra el acuífero (nivel estático). La parte superior puede también estar limitada por una capa de roca impermeable.

El límite inferior se localiza a una profundidad donde las rocas se vuelven impermeables. Durante los periodos húmedos el agua se filtra a la zona de saturación a una velocidad uniforme haciendo subir el nivel freático formándose de esta manera, los depósitos de aguas subterráneas.

4.1.4. Exploración del agua subterránea

Amisai, R. y Jegat, H. (2), indican que con el fin de dar un manejo más racional a los recursos hidráulicos, se realizan estudios de prospección del agua subterránea. De los distintos métodos de exploración utilizados se mencionan algunos de los que más se utilizan.

La exploración geológica, hace uso de la petrografía para el análisis de la porosidad y permeabilidad de las rocas. La estratigrafía interesada en la determinación del espesor de las diferentes capas acuíferas, la geología estructural que se ocupa de la localización de zonas de fracturación de las rocas, la geomorfología que permite sacar información estratigráfica valiosa. La exploración hidrogeológica consiste en la determinación de las zonas de recarga de agua. La prospección subsuperficial o sondeos de reconocimiento, consiste en la realización de una perforación que proporciona informaciones más seguras y confiables que los métodos de superficie.

4.1.5 Pruebas de bombeo

Los ensayos o pruebas de bombeo es uno de los más útiles medios para determinar las propiedades hidráulicas de acuíferos y capas confinantes. Se pueden obtener resultados fidedignos que en general son representativos de una superficie mayor que los obtenidos, por medio de observaciones puntuales o de superficie. Una prueba de bombeo, puede servir para dos objetivos, principales:

- En primer lugar, para determinar las características hidráulicas de acuíferos o de capas que transportan agua.
- En segundo lugar, un ensayo por bombeo puede proporcionar información sobre el rendimiento y el descenso del nivel de agua en el pozo. Estos datos, pueden ser utilizados para determinar la capacidad específica o la relación descarga-descenso del pozo.

4.1.6 Propiedades hidráulicas de los acuíferos

Según Amisial, R. y Jegat H. (2), los acuíferos presentan ciertas características con las cuales se debe estar familiarizado para poder seguir cualquier tema relacionado con el movimiento de agua en un medio poroso.

4.1.6.1. Permeabilidad o conductividad hidráulica

Se define como el caudal que pasa por una sección o unidad de acuífero, en un gradiente unitario a una temperatura fija o determinada.

La permeabilidad depende de factores extrínsecos como los mencionados y factores intrínsecos, tal como la viscosidad y peso específico del fluido.

La ecuación de la conductividad hidráulica fue formulada por Darcy y se plantea como:

$$K = \frac{V}{i} \quad \dots\dots\dots \text{ec. (1)}$$

$$i = \frac{\Delta h}{L} \quad \dots\dots\dots \text{ec. (2)}$$

Donde

i = Gradiente Hidráulico

L = Longitud

Δh = Diferencia de carga

K = Coeficiente de permeabilidad o Conductividad Hidráulica

V = Velocidad aparente

4.1.6.2 Transmisividad

La transmisividad fue introducida por Theis en 1935. Se define como el caudal que se filtra a través de una franja vertical de terreno en una unidad de ancho y la altura igual a la del manto permeable saturado bajo una unidad de gradiente a una temperatura fija determinada se expresa en m/día, m/día/m de donde:

$$T = k.m \dots\dots\dots \text{ec. (3)}$$

T = Transmisividad

k = Conductividad hidráulica

m = Espesor saturado de acuífero

4.1.6.3. Coeficiente de almacenamiento y rendimiento específico

Ambos vienen definidos como el volumen del agua liberada o almacenada por unidad de superficie de acuífero para un cambio de una unidad de la carga hidráulica perpendicular a la superficie. Se representan por el símbolo " S_s ", y son adimensionales.

El Coeficiente de Almacenamiento está referido únicamente a las partes confinadas de un acuífero y dependen de la elasticidad del material del acuífero y del fluido. El rendimiento específico esta relacionado con las zonas libres de un acuífero y es el volumen que puede liberar por drenado gravitacional y se plantea como:

$$S = M.S_s \dots\dots\dots \text{ec. (4)}$$

De donde:

S_s = coeficiente de almacenamiento

M = espesor medio del acuífero

$$S_s = p.g (\alpha + h\beta) \dots\dots\dots \text{ec. (5)}$$

Donde:

p = densidad o masa específica del agua.

g = aceleración de la gravedad.

α = comprensibilidad vertical de la matriz salida del acuífero.

n = porosidad del acuífero.

β = compresibilidad del área.

S_y = volumen de agua liberado por drenaje gravitacional.

s_y = rendimiento específico.

4.1.7. Tipos de acuíferos

Krusseman, G. P., (13), define los siguientes tipos de acuíferos: confinado, semiconfinado, libre y semilibre.

a. Acuífero confinado

Se llama acuífero confinado al que está totalmente saturado de agua y cuyos límites superior e inferior son capas totalmente impermeables, raramente se dan en la naturaleza por ello estos tipos de acuíferos son menos comunes de lo que a menudo se cree. Ver Figura 1.A

b. Acuífero semiconfinado

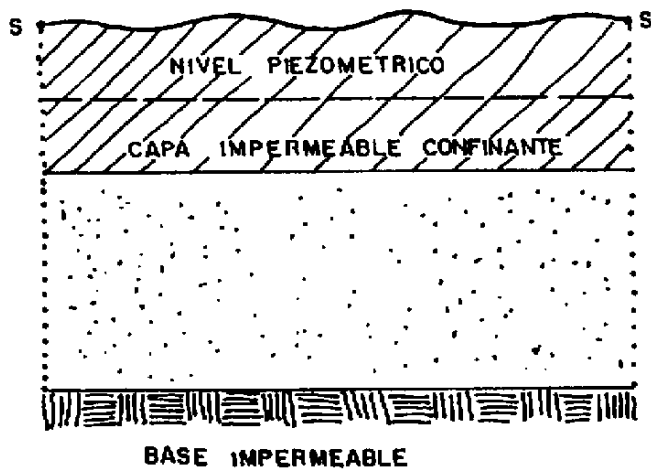
Se llama acuífero semiconfinado al que está totalmente saturado, siendo su límite superior una capa semi-impermeable y en el inferior una capa impermeable o semi-impermeable. Ver Figura 1.B

c. Acuífero libre

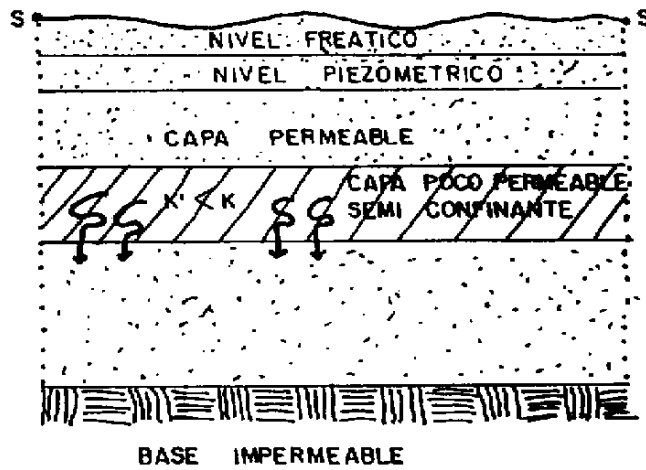
Un acuífero libre es una capa permeable saturada de agua solo parcialmente, y situada sobre una capa relativamente impermeable. Su límite superior está formado por una superficie libre de agua o nivel freático o una igual que la atmosférica. Ver Figura 1.C

d. Acuífero semilibre

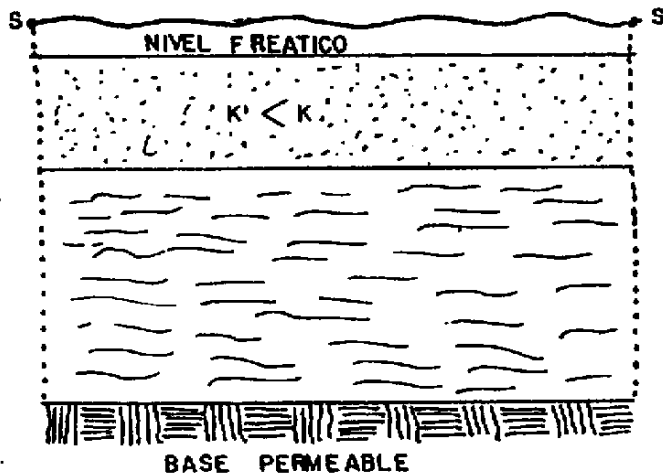
Si la conductividad hidráulica de la capa granular fina es un acuífero semiconfinado, es tanto que la componente horizontal del flujo no puede ser ignorada, entonces el acuífero es un intermedio entre el típico semiconfinado y el libre, por eso se le llama acuífero semilibre. Ver Figura 1.D.



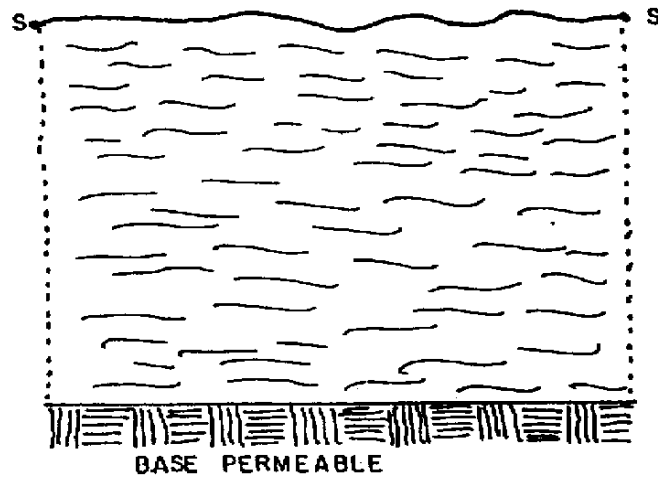
A) ACUIFERO CONFINADO



B) ACUIFERO SEMICONFINADO



C) ACUIFERO SEMILIBRE



D) ACUIFERO LIBRE

FIG. 1 TIPOS DE ACUIFEROS.

4.1.8 Métodos para analizar los datos de las pruebas de bombeo

Para la determinación de los parámetros hidrogeológicos como: permeabilidad, transmisividad y el coeficiente de almacenamiento; existen diferentes métodos de cálculo para condiciones de flujo en régimen permanente y variable, para acuíferos de extensión infinita y aplicado a acuíferos libres, confinados, semiconfinados y semilibre, en condiciones corrientes de campo sin considerar límites de barreras, recarga o forma de acuíferos; se basan en los siguientes supuestos, Krusseman G.P. (13).

- El acuífero, tiene una extensión superficial infinita.
- El acuífero en el área influenciada por el ensayo de bombeo es homogéneo, isotrópico y de espesor uniforme.
- Antes de bombear la superficie piezométrica y/o superficie freática son casi horizontales en el área influenciada por el bombeo.
- Se bombea el acuífero a caudal constante.
- El pozo, penetra totalmente en el acuífero y recibe agua de todo el espesor del acuífero, siendo el flujo horizontal.
- Partiendo de estos supuestos, se procede a efectuar la prueba de bombeo a caudal constante. Las medidas a tomar durante la prueba son: tiempo, medidas del nivel de agua en el pozo de la prueba y en el pozo de observación.

Al representar las funciones del descenso con relación al tiempo, en papel doble logaritmo se obtendrá una curva típica, la cual determinará el tipo de acuífero. Ver Figura 2.

De los varios métodos de cálculo para determinar las características hidrogeológicas, los más comúnmente utilizados son el método de Theis y Jacob.

2.1.8.1 Método de Theis

Krusseman, G.P. (13), menciona que Theis en 1935, produjo un gran progreso al ser el primero en desarrollar una fórmula para régimen variable, en el que toman parte el factor tiempo y el coeficiente de almacenamiento.

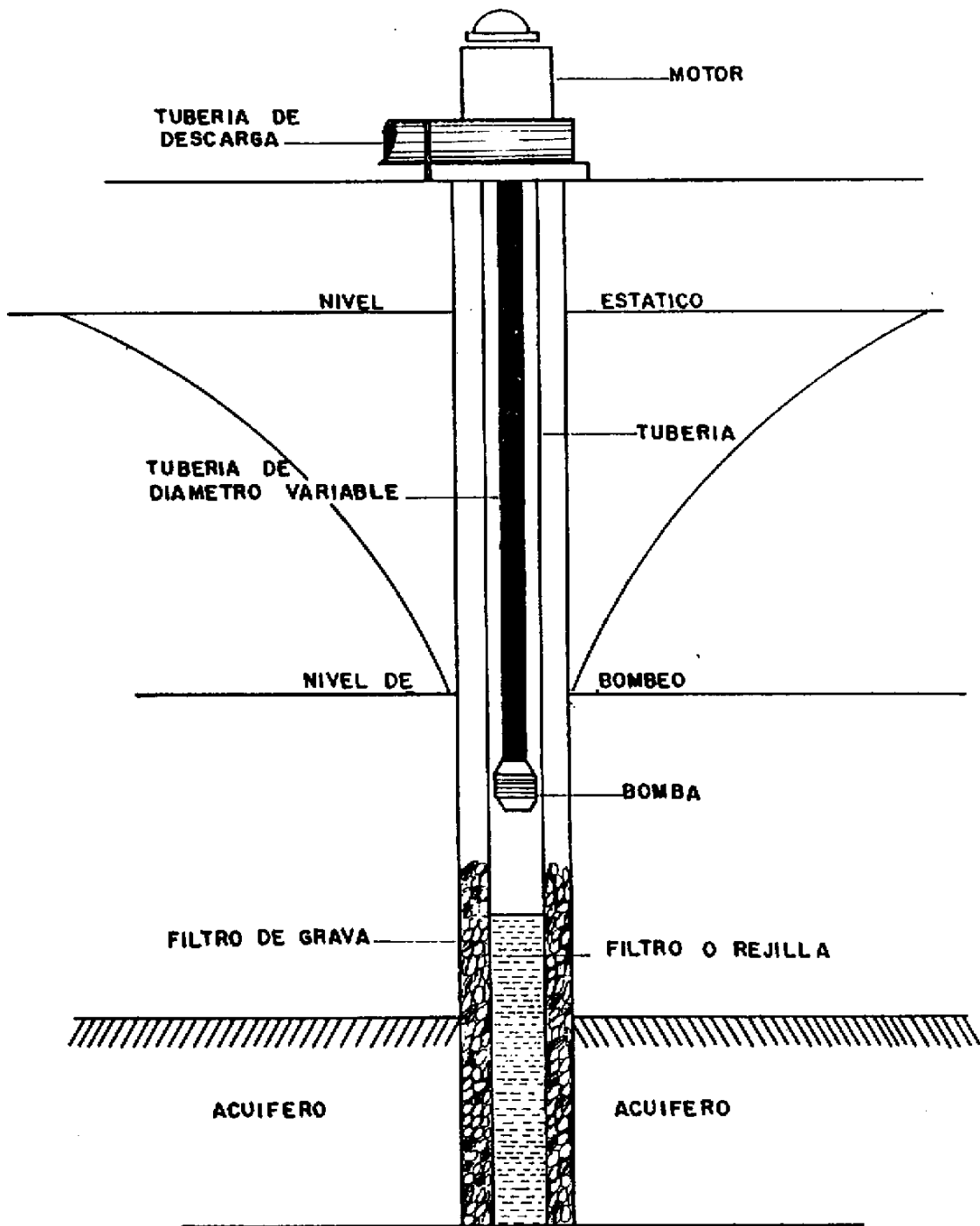


FIG. 2 POZO PROFUNDO PERFORADO

La ecuación para régimen permanente de Theis, fue deducida por analogía entre el flujo de agua en el suelo y la conducción de calor, se puede expresar de la forma:

$$S = \frac{QW(u)}{4 Km} \dots\dots\dots \text{Ec. (1)}$$

Donde

$$u = \frac{r^2 S}{4 Km t} \quad \text{y por tanto} \quad s = \frac{4 Km.t.u}{(r)^2} \dots\dots\dots \text{Ec. (2)}$$

S = Descenso del nivel piezométrico o pozo situado a r del pozo 4 de bombeo en metros.

Q = Caudal constante de descarga, m³ /día.

S = Coeficiente de almacenamiento dimensional.

Km = Transmisividad del acuífero en m²/día.

t = Tiempo, desde que comenzó el bombeo, en días.

$$Wu = 0,5772 - \ln u + u - \frac{u^2}{2.2!} + \frac{u^3}{3.3!} - \frac{u^4}{4.4!} + \dots\dots \text{ec (3)}$$

Sustituyendo los valores de W (u), S y Q en la ecuación (1)

$$Km = \frac{Q.W(u)}{4.S} \quad \text{y obtener Km.}$$

Calcular S, sustituyendo los valores de Km, t/r²u en la ecuación (2).

$$S = 4 Km (t/r^2) u \dots\dots\dots \text{ec (4)}$$

4.1.8.2 Método de Jacob

El método de Jacob, esta basado en la fórmula de Theis, sin embargo, las condiciones para su aplicación, son algo más restringidas que para el método de Theis. Jacob, desarrolló la fórmula de Theis, integrándola exponencialmente en forma de una serie convergente, por lo tanto, se puede expresar el descenso del coeficiente de almacenamiento (S) en forma:

$$S = \frac{2.25 Km t}{r^2} \dots\dots\dots \text{ec. (1)}$$

La diferencia de tiempos en forma logarítmica, se obtiene:

$$K_m = \frac{2300}{4 A.S} \dots\dots\dots \text{ec. (2)}$$

Para efectos de cálculo, se deben satisfacer las siguientes condiciones:

- El acuífero es confinado.
- El flujo de agua hacia el pozo es en régimen variable.
- La extracción de agua del almacenamiento produce inmediatamente descensos en la carga hidráulica.
- El diámetro del pozo de bombeo, es muy pequeño.

Para el método de Jacob, son las mismas condiciones, sólo que los valores de "u" son pequeños (u= 0.01), es decir "r" es pequeño y "T" es grande.

4.1.9. Métodos de limpieza y desarrollo de pozos

Desarrollo de un pozo es el conjunto de operaciones por medio de las cuales se logra un aumento en la porosidad y permeabilidad del filtro y de la formación acuífera vecina del pozo, desalojando en las zonas periféricas el máximo diámetro posible, los materiales granulares muy finos (arcillas, arena y limo), que empaquetan los intersticios de la formación comprendida entre los fragmentos de roca de diámetros mayores; desalojando así mismo, los lodos infiltrados en las formaciones acuíferas durante los trabajos de perforación; simultáneamente durante la operación de desarrollo, las acciones dinámicas aplicadas al pozo en el filtro de grava, cuando éste está dotado de tal artificio.

4.1.9.1 Tipo de materiales de los acuíferos

Las condiciones hidrogeológicas del área donde se va a establecer la captación condicionan de gran manera el tipo de las mismas, Custodio y Llamas (8). En terrenos incoherentes el desarrollo tiene por objeto eliminar las fracciones mas finas del material acuífero en las inmediaciones de la rejilla, con ello se estabiliza y

alcanza una granulometría más gruesa y uniforme en la zona. En captaciones coherentes el desarrollo busca limpiar las fisuras en la formación e incluso aumentar el número y tamaño.

4.1.9.2. Materiales no consolidados

En las formaciones de materiales granulares no consolidados una de las misiones principales es eliminar los materiales finos de las proximidades del pozo, facilitando así la circulación del agua hacia el pozo precisamente donde las velocidades son mayores y pueden producirse pérdidas de carga. La rejilla debe permitir la entrada de los finos pero no de los gruesos de la formación, Custodio y Llamas (6), y su adecuada selección es esencial para obtener buenos resultados.

4.1.9.3. Materiales no consolidados especiales

Si la formación acuífera no se presta al desarrollo natural (arenas muy finas, uniformes) se debe colocar un relleno de grava artificial. Normalmente el éxito en el trabajo de desarrollo de un pozo en materiales no consolidados depende más de la destreza del operario y de un buen diseño y construcción del pozo que del propio método de desarrollo.

4.1.9.4. Materiales consolidados

El desarrollo y estimulación de pozos en materiales consolidados tiene como misión principal limpiar las grietas y fisuras de lodo, residuos de perforación y otros materiales que puedan obstruir, Custodio y Llamas (6). No se alcanza pleno rendimiento de la formación si todas las fracturas y fisuras no se encuentran en condiciones de ceder el agua libremente al pozo, Johnson (12).

En algunos casos se puede prescindir de la rejilla y dejar el pozo sin revestir, Custodio y Llamas (6). Los métodos de desarrollo a emplear son similares a los que se utilizan en materiales no consolidados Custodio y Llamas (6), Johnson, (12). Para llegar a resultados más profundos es necesario llegar a métodos de limpieza más enérgicos tales como la acidificación y las explosiones u otros procedimientos que permitan hacer nuevas fisuras, Custodio y Llamas (6).

4.1.9.5. Métodos de limpieza o desarrollo

La operación de desarrollo para ser eficaz debe causar inversiones del flujo a través de la rejilla y la formación que circunda el pozo. El desarrollo clasifica el material en la formación acuifera alrededor de la rejilla, logra una situación estable en la cual el pozo proporciona agua libre de arena a su máxima capacidad. La clasificación del material grueso a través de otro sucesivamente menos grueso continua, hasta que se llega a el material original de la formación acuifera.

La sucesión de zonas clasificadas de material en derredor de la rejilla estabiliza la formación . Lo que se trata de lograr con el desarrollo a través de la rejilla es la inversión del flujo por sus aberturas, para acomodar sus partículas y esencialmente romper la forma de arco en que ciertos grupos de partículas se acomodan, Johnson, (12).

4.1.9.6. Sobrebombeo

Es el procedimiento más sencillo para eliminar los finos de la formación acuifera, se usa para pozos pequeños y acuíferos pobres, Johnson (12), pero es incompleto puesto que el flujo va en un sentido. Otra objeción es el equipo costoso y si se emplea la bomba que luego quedará instalada en el pozo se le expone a un deterioro anticipado. El método consiste en bombear el pozo con un caudal notablemente superior que se pretende extraer normalmente del mismo.

4.1.9.7. Bombeo Intermitente y cuchareo

Se basa en el principio de oleaje o agitación. El método consiste en provocar paros y arranques sucesivos de la bomba con el fin de crear variaciones bruscas de la presión. Se utiliza preferiblemente una bomba de eje vertical y sin válvula de pie. El efecto que se consigue es bajar y elevar intermitentemente el nivel del agua del pozo, de manera que la dirección del caudal queda invertida alternativamente. El caudal de salida deshace los puentes de las partículas de arena y el caudal de entrada saca el material fino. Custodio y Llamas (6).

4.1.9.8. Chorro horizontal de agua

Conocido también como lavado por retroceso. El desarrollo mediante chorros de agua horizontales a alta velocidad es muy efectivo en materiales granulares, Custodio y Llamas (6). Es además muy eficaz para desalojar la costra de lodo de perforación. Johnson (12) se refiere a él como el mejor método, y la ventaja reside en que la energía se concentra sobre un área pequeña, cada parte de la rejilla puede ser tratada en forma selectiva.

La herramienta es un tubo con perforaciones o boquillas de salida horizontal. Mientras se bombea agua a través de las boquillas se hace girar la herramienta de inyección, lentamente alrededor de la rejilla, lavando y desarrollando así la formación. Después se eleva y repite el proceso.

4.1.9.9. Aire comprimido

El desarrollo mediante aire comprimido es un proceso rápido y eficaz, produce óptimos resultados cuando la relación de sumergencia de la línea de aire es en un 60%, Johnson (12).

El pozo se bombea por inyección de aire desde un compresor, con depósito de 0.5 mts. o más con la tubería situada por debajo del tubo de conducción y levantando de nuevo la línea de aire, para que prosiga el bombeo. Se repite hasta que el agua quede libre de arena, luego es levantado el conjunto unos pocos metros más arriba y se repite, así se desarrolla a intervalos, Johnson (12).

4.1.9.10. Agitación mecánica

El desarrollo de pozos mediante agitación mecánica también se conoce como pistón o émbolo de buzo oleaje o agitación mecánica. Es el método según el cual se opera un émbolo hacia arriba y hacia abajo dentro del entubado. Consiste en comprimir y aspirar el agua en el pozo para producir un enérgico flujo de agua hacia adentro y hacia afuera del acuífero a través de la rejilla y forzar el material más fino del acuífero a entrar en el pozo, Custodio y Llamas (6).

4.1.9.11. Hielo seco

Llamado por Custodio y Llamas (6) nieve carbónica. Al ser arrojado en el interior del pozo el gas carbónico en estado sólido se sublima pasando a gas, aumentando su volumen en función de temperatura. El gas penetra en las formaciones por la fuerte presión que se origina en su avance impulsa fuertemente la emulsión gas-agua, ejerciéndose así una intensa acción dinámica en los espacios intergranulares. La cantidad de hielo seco a usar se puede tomar aproximadamente como 1 kilogramo por cada metro de agua en el pozo. En pozos de agua no se utiliza el anhídrido carbónico líquido inyectado en profundidad, aunque se ha utilizado a veces en pozos de petróleo.

4.1.9.12. Dispensor de arcillas

Para facilitar la eliminación del lodo de perforación y arcillas poniéndolos en suspensión y evitando su sedimentación en el pozo y la rejilla, es recomendable utilizar ciertos agentes químicos dispersantes añadidos al agua contenida en el pozo o al agua utilizada en el desarrollo, Custodio y Llamas (6).

Los dispersores son sustancias que poseen la facultad de flocular las arcillas aumentando la permeabilidad del acuífero. La aplicación es tan sencilla como que basta vaciarlos dentro del pozo, pero se obtienen mejores resultados si se ejerce una acción dinámica que active la penetración. Uno de los dispersores más usados es el Magnus Drillers "NZL" que puede usarse como preventivo en la formación de paredes de arcilla en pozos y en concentraciones altas para la remoción física de tales paredes.

4.1.9.13. Desarrollo de pozos con empaque de grava o prefiltro

En general y en condiciones adecuadas los pozos con desarrollo natural suelen ser mejores que los pozos con relleno de grava artificial en cuanto a seguridad de funcionamiento y duración, Custodio y Llamas (6). Si la formación acuífera no se presta para el desarrollo natural como sucede en arenas muy finas y uniformes, se debe colocar un relleno de grava artificial entre la rejilla del pozo y la formación acuífera. Al realizar el diseño del pozo con base en el análisis granulométrico de muestras representativas del material del

acuífero se recomienda el uso del prefiltro. Los rellenos de gravas se justifican generalmente en las condiciones y situaciones siguientes:

Para estabilizar acuíferos constituidos por arenas finas y uniformes y evitar el bombeo de arena, ya que en este caso no puede procederse a la creación de un macizo de grava natural.

1. Cuando el material del acuífero son areniscas pobremente cimentadas.
2. En las formaciones muy estratificadas que constan de capas de poco espesor alternando material fino, entre fino y grueso.
3. Si el agua subterránea es muy incrustante y en consecuencia se espera que haya precipitación de minerales, es más conveniente construir un pozo con macizo de grava porque podrán usarse aberturas mayores, lo que se traduce en menor turbulencia y por lo tanto menos ritmo de incrustación.

El desarrollo va orientado a la eliminación de la delgada capa de material aprisionado en la parte exterior del filtro de grava, el espesor del filtro de grava y la gradación del material que se emplea, ejercen un efecto considerable sobre lo que puede lograr el desarrollo para llevar el pozo a su máxima eficiencia. Cuanto más delgado es el filtro de grava, más seguro es para el operador eliminar la arena fina indeseable, el limo y la arcilla al desarrollar el pozo, Johnson (12). El método de inyección suele ser el más efectivo en el desarrollo de estos pozos.

La razón que se da con mas frecuencia para utilizar el relleno de grava es la de "conseguir mas agua", pero el método no puede producir agua cuando no existe suficiente permeabilidad, Custodio y Llamas (6). El filtro debe permitir que el 50 a 70% de la fracción más fina del material pase por la rejilla durante el desarrollo del pozo, quedando retenido 30 a 50% de los granos de arena que constituirán un filtro natural.

4.1.10. Calidad del agua subterránea

Tratar el tema de la calidad del agua implica estudiarla y describirla individualmente y luego relacionarle al uso que se quiere destinar. De acuerdo a la American Water Works Association (1), la calidad del agua está relacionada a su origen e historia, en otras palabras el agua va a tener una determinada calidad a partir

de sus orígenes y puede ésta variar de acuerdo a los lugares que recorra antes de ser tomada por el usuario, en estos puntos puede sufrir contaminación o autopurificación.

Velásquez (23) menciona que la calidad del agua va a tener diversos puntos de vista de acuerdo al uso que se pretenda darle. No rigen las mismas normas aún si el ojo del agua es para consumo humano como para riego. A este aspecto toma la siguiente definición de calidad: Es el conjunto de características físicas, químicas y biológicas del agua con relación a su propiedad, para usos benéficos.

4.1.10.1. Fuentes de agua

Quiroa (20), cita a la American Water Works Association y definen que de acuerdo a la fuente de agua puede existir una variación en su calidad natural o en su susceptibilidad a ser contaminada. De acuerdo a la A.W.A. estas fuentes pueden ser:

- Lluvia o nieve
- Agua superficial
 - a) Corrientes de agua
 - b) Lagunas o lagos naturales
 - c) Embalses
- Agua subterránea
 - a) Manantiales
 - b) Pozo poco profundos y galerías de infiltración.
 - c) Pozo profundo

En nuestro caso le daremos al agua subterránea mayor importancia en cuanto a calidad, por ser el objeto de estudio.

4.1.10.2 Agua subterránea

Velásquez, S. (23) menciona que el agua durante su paso a través del suelo entra en contacto con muchas sustancias tanto orgánicas como inorgánicas, algunas de estas son fácilmente solubles en ellas.

Aunque las bacterias y otros organismos vivos en la superficie de la tierra pueden ser recogidos primero por la lluvia que cae sobre ellos, la filtración en el subsuelo da como resultado la separación de estos organismos.

Hay una excepción cuando cerca de la superficie de las rocas están agrietadas como ocurre con la piedra caliza, en este caso la contaminación de superficie puede ser llevada a grandes distancias sin variación importante. Las condiciones sanitarias, en las proximidades de las fuentes de agua subterránea son importantes, en particular cuando la polución en el subsuelo proviene de letrinas, pozos absorbentes y albañales con fuga. Especialmente, sería esa la polución que se presenta al nivel o debajo del manto freático. En general, las aguas subterráneas son claras, frías, sin color y más duras que el agua de superficie de la región en la cual se encuentran. Para efecto de muestreos de aguas subterráneas. Hubber citado en el manual AWA (1) dice que la extracción puede provocar cambios en la calidad, pero en general las aguas subterráneas tienden a tener una calidad uniforme.

4.1.10.3 Normas de calidad para aguas de riego

Según de la Peña (19), la calidad del agua desde el punto de vista agrícola es un término que se utiliza para analizar la conveniencia o limitación de su empleo para fines de riego. Al momento de determinar la calidad de agua para riego, el solo resultado no va a dar todos los parámetros de decisión, sino hay que tomar en cuenta otros aspectos los cuales se juegan teniendo en cuenta: las características químicas, las condiciones agronómicas y las condiciones edafológicas.

A. Características químicas

La calidad, depende de los constituyentes salinos y de su peligro potencial, y en los efectos directos e indirectos sobre los cultivos, teniendo en cuenta tres aspectos: calidad de drenaje, racionalización de riego, y concentración progresiva de iones. De esta cuenta, se clasifican las aguas en el aspecto químico bajo tres factores principales:

1. Contenido total de sales solubles.
2. Concentración relativa del sodio con respecto a otros cationes y su efecto en las características físicas del suelo o sea el peligro de acumulación de sodio en el suelo.

3. Concentración de iones tóxicos y su efectos en las plantas de cultivo.

B. Condiciones agronómicas

Una vez obtenidas en el laboratorio las características químicas del agua para riego, la aplicación de ella va a estar sujeta a la susceptibilidad, al daño que puedan ocasionar los contenidos salinos en el cultivo por efectuarse. Como órgano de consulta, en este aspecto hay que recurrir a tabulaciones realizadas por diversas instituciones en cuanto a la tolerancia o susceptibilidad de los cultivos. En resumen, las condiciones agronómicas serán manejadas y decididas por el agricultor de acuerdo a sus conocimientos, necesidades y limitaciones.

C. Condiciones edafológicas

Cuando el agua de riego presenta contenidos de sales que pueden ser perjudiciales a los cultivos, su daño puede ser de carácter creciente si las sales se concentran en el espesor del suelo donde se desarrolla el sistema radicular de la planta. Esta condición, se puede controlar aplicando además de la lámina de agua requerida por el riego, otra porción de agua adicional o lámina de sobre riego, que deberá ser en cantidad suficiente para arrastrar fuera del espesor radicular las posibles concentraciones salinas. En este caso será necesario que el agricultor cuente con los medios para obtener un cálculo de su lámina de riego y lámina de sobre riego por cuanto puede tener como limitante la falta de agua suficiente para sobre regar.

4.1.10.4 Normas de calidad de agua para uso doméstico

Las normas de calidad de agua son límites en los valores cuantitativos de las cantidades de sustancias extrañas presentes en la misma. Estas normas no son cantidades absolutas pero se basan en consideraciones económicas y de salud pública en el agua, pueden existir organismos entérico patógenos. Estos llegan frecuentemente por medio de la descarga de excrementos humanos a fuentes usadas para suministro de agua cruda.

Los análisis de organismos entéricos en el agua de abastecimiento son de por sí complicados y costosos, pero detectando organismos del grupo coliforme es posible suponer la existencia de otros grupos de organismos patógenos que ocurren en los excrementos, dado que los grupos se comportan similarmente. Las

normas para agua potable, no señalan una eliminación completa de organismos coliformes en el agua. El gusto del público o la estética establecen criterios para consideraciones subjetivas, tales como: color, olor y turbidez. McCarty (16).

Existen diversas normas, establecidas sobre parámetros aceptables para agua potable, principalmente en los EEUU donde varían de un estado a otro pero la Organización Mundial de la Salud OMS con sede en Ginebra, Suiza, estableció las normas internacionales para el agua potable. Esta Organización toma como criterios concentraciones máximas tolerables, sus normas involucran los tres aspectos fundamentales: calidad física, calidad química y normas bacteriológicas. En el cuadro 1, se representan las normas descritas anteriormente. Se han omitido los aspectos de calidad química, pues el trabajo de tesis no involucra este aspecto.

**CUADRO 1
NORMAS DE CALIDAD DE AGUA PARA USO DOMESTICO**

1. Calidad física	Concentración máxima aceptable	Concentración máxima tolerable
color	5 unidades	50 unidades
turbidez	5 unidades	25 unidades
sabor	no rechazable	-----
olor	no rechazable	-----
2. Normas bacteriológicas		NP/100 ML de bacterias coliformes
Clasificación		
a. Calidad bacteriológica que no exige más que un tratamiento de desinfección		0 - 50
b. Calidad bacteriológica que no precisa la aplicación de los métodos habituales de tratamiento (coagulación, filtración y desinfección).		50-500
c. Contaminación muy intensa que hace necesario tratamientos más activos		5,000-50,000
d. Contaminación muy intensa que hace inaceptable el agua a menos que se recurra a tratamientos especiales estas fuentes solo se utilizan en extremo.		más de 50,000

Fuente: Organización Mundial de la Salud, Ginebra (1964)

4.1.10.5 Recolección de muestras

A. Cantidad

Quiroa (20), menciona que para la mayor parte de los análisis físicos y químicos es suficiente una muestra de dos litros y no debe utilizarse la misma muestra para examen químico y microbiológico. Para el análisis microbiológico, la cantidad de muestra es de 150 cc tomados en frascos especiales con tapón esmerilado y esterilizado.

B. Intervalo de tiempo entre la recolección y el análisis

En general mientras menos tiempo transcurra entre la recolección y su análisis mayor será la confianza de los resultados analíticos. Sugieren los siguientes límites máximos razonables para muestras destinadas a análisis físicos y químicos:

- Aguas no contaminadas, 72 horas
- Aguas ligeramente contaminadas, 46 horas
- Aguas contaminadas, 12 horas.

C. Muestras representativas

Se debe poner especial cuidado para que se tenga una muestra que sea realmente representativa de las condiciones existentes para que se maneje en una forma tal que no se deteriore o contamine antes de llegar al laboratorio. Antes de llenarlo se debe enjuagar el frasco de muestra por dos o tres veces con la misma agua que se va a muestrear.

Los detalles de recolección varían tanto con las condiciones locales que no se puede formular una recomendación específica que sea de aplicación universal. Se debe llevar un registro de cada muestra recolectada y cada frasco se debe identificar apropiadamente de preferencia fijando una etiqueta debidamente rotulada, el registro debe incluir todos aquellos datos que permitan la identificación positiva de la muestra en cualquier instante, lo mismo que el nombre del muestreador, la fecha, la hora, localización exacta del lugar de

muestreo, la temperatura del agua y cualquier otro dato que se pueda necesitar en el futuro para propósitos de correlación.

Las muestras de pozos se deben tomar después de haberlos bombeado por suficiente tiempo, para asegurarse de que la muestra representa la calidad de las aguas subterráneas que alimentan al pozo.

4.1.11 Evapotranspiración

La evapotranspiración de una unidad de plantas y suelo comprende la evaporación de la superficie del suelo y la transpiración de la planta a través de las hojas. Si el cultivo cubre por completo la superficie del terreno, la evaporación tiene lugar totalmente a partir de las plantas y si las raíces pueden absorber agua a un ritmo suficientemente elevado la transferencia de vapor está controlada por el clima. Este índice de humedad se denomina Índice de Evaporación Potencial y es una función de la energía disponible para vaporizar el agua, junto con el índice de dispersión del vapor de las superficies de las hojas.

Los valores típicos de evaporación potencial son de 1 a 3 mm. de agua al día para los climas templados, de 5 a 8 mm/día en trópicos húmedos y de 10 a 12 mm/día en regiones muy áridas.

De acuerdo a lo señalado por Grassi, C.J. (9), la evaporación es el proceso mediante el cual se produce el cambio de estado de agua líquido a vapor. En la naturaleza cabe distinguir dos casos:

1. Evaporación de superficies libres de aguas;
2. Evaporación de superficies de terreno cubiertas de vegetación. En este caso, dicho proceso tienen una denominación especial: Evapotranspiración.

La evapotranspiración requiere energía para cambiar de estado físico del agua de líquido a vapor, disponibilidad de agua en el suelo y un mecanismo de transmisión de agua desde el suelo a la atmósfera. La radiación solar provee la fuente de energía; la precipitación pluvial y/o el riego artificial la periódica reposición de agua al suelo y las diferencias de potencial creadas en diferentes partes del sistema suelo planta la circulación de agua hacia la superficie evaporante.

La evapotranspiración potencial se da en el caso de una vegetación de escasa altura en activo crecimiento que cubre integralmente el terreno y sin restricciones de humedad. La evapotranspiración potencial

dependen fundamentalmente de las condiciones climáticas existentes, dadas por las características de la atmósfera al suelo.

4.1.12. Velocidad de infiltración

Grassi, C. J. (9), define la velocidad de infiltración como la velocidad de penetración del agua en el perfil del suelo cuando la superficie del terreno se cubre con una delgada lámina de agua.

La cantidad de agua que se infiltra en un suelo en una unidad de tiempo bajo condiciones de campo, disminuye conforme aumenta la cantidad de agua que ya ha entrado en él, la cual es máxima al comenzar la aplicación del agua al suelo y disminuye proporcionalmente con respecto al tiempo, representando la lámina de agua infiltrada con respecto al tiempo se obtiene un tipo de curva que muestra la disminución en la velocidad de infiltración.

4.1.13 Balance hídrico

Según Amisial R. A. (2), el balance hídrico del suelo se establece para las tierras agrícolas, con el fin de determinar la evapotranspiración real de los cultivos y el déficit agrícola de los suelos. En particular, pone en evidencia si es necesario poner tierras bajo riego con miras de proveer a los cultivos el agua necesaria para obtener el rendimiento óptimo. En general el sistema hidrológico en que se base el establecimiento de este balance incluye sólo el suelo debajo del terreno siendo este último la región cultivada.

Grassi, C. J. (9), menciona que el proceso inverso, el agotamiento de la humedad edáfica por evapotranspiración lo constituye el aporte hídrico por diversos conceptos: precipitación, ascenso del agua por capilaridad y condensación del vapor acuoso.

El movimiento del agua en estado de vapor acuoso en la capa del suelo que exploran las raíces es generalmente de escasa importancia práctica. El ascenso de agua por capilaridad tiene significación en condiciones muy especiales de conductividad capilar de los suelos, distancia a la superficie freática y calidad del agua, en tal caso debe considerarse como un aporte hídrico de alguna importancia.

Para establecer el balance hídrico de una región es necesario tomar en cuenta: precipitación, capacidad de almacenaje de agua en el suelo, profundidad radicular de los cultivos, exceso y deficiencia de agua.

4.1.14. Precipitación

En la generalidad de los casos la precipitación representa casi la totalidad del aporte hídrico al suelo. Del agua que cae a la superficie del terreno parte es interceptada por la vegetación, parte se infiltra y se incorpora a la capa radical, parte se percola debajo de las raíces del cultivo y parte escurre sobre la superficie del terreno. La proporción de agua retenida en la capa radical con relación a lluvia dependen de las características del terreno para recibir agua.

Para efectos de cálculo debe en consecuencia tenerse en cuenta la precipitación efectiva (PE), que es igual a la precipitación (P) multiplicada por un coeficiente menor que la unidad. El método de Anderson, para determinar la precipitación efectiva consiste en descartar 0.5 pulgadas (12.5 mm) por cada tormenta y tomar el 80% del resto. El propuesto por Blaney y Criddle, consiste en aplicar coeficientes decrecientes por cada una pulgada (25 mm) de incremento en el total de lluvia mensual.

4.1.14.1. Capacidad de almacenamiento de agua en el suelo

La capacidad de almacenaje de agua en el suelo y su disponibilidad para la planta, está comprendida entre el contenido hídrico que comprende la capacidad de campo (W_c) y el punto de marchitez permanente (W_m).

Si W_c y W_m , se expresan en por ciento de suelo en peso seco, la lámina de agua disponible (d), se calcula por la siguiente ecuación.

$$d = \frac{W_c - W_m}{100} \quad \text{Dap} \cdot Pr \quad \dots \quad \text{ec (1)}$$

Donde:

d = Lámina de agua disponible (cm.)

W_c = Capacidad de campo (%)

W_m = Punto de marchitez permanente (%)

D_{ap} = Densidad aparente del suelo

P_r = Profundidad radicular del cultivo (cm.)

4.1.14.2. Profundidad radicular (P_r)

Define la potencialidad del sistema radicular de los cultivos de extraer agua, puede representarse con porcentaje absoluto o en porcentaje relativo al total del agua disponible o en altura de la lámina de agua. La profundidad esta relacionada con el tamaño del cultivo y ello a su vez con el lapso de vida de los mismos y la textura del suelo.

4.1.14.3. Exceso y deficiencia de agua

Al enfrentar los valores de evapotranspiración potencial de un determinado periodo ETP con la precipitación efectiva PE y la capacidad de almacenamiento de agua del suelo se obtiene un cuadro de deficiencia y exceso de agua.

El periodo de déficit, marca el lapso en el cual los cultivos dependerá de riego artificial. El periodo de exceso por el contrario, da una indicación de posible existencia de problemas de drenaje superficial y/o subterráneos si es que no existen condiciones naturales que faciliten la evacuación de los excedentes y a su vez permite cuantificar el grado de recarga de los acuíferos subterráneos.

4.2 MARCO REFERENCIAL

4.2.1 Localización y accesos

El área objeto de estudio se encuentra ubicada dentro de los municipios de Santiago Sacatepéquez, San Lucas Sacatepéquez y San Pedro Sacatepéquez, (Figura 3). Se encuentra el área ubicada en la latitud $14^{\circ} 38'00''$ y longitud $90^{\circ} 40' 47''$ y a una altitud de 2000 msnm.

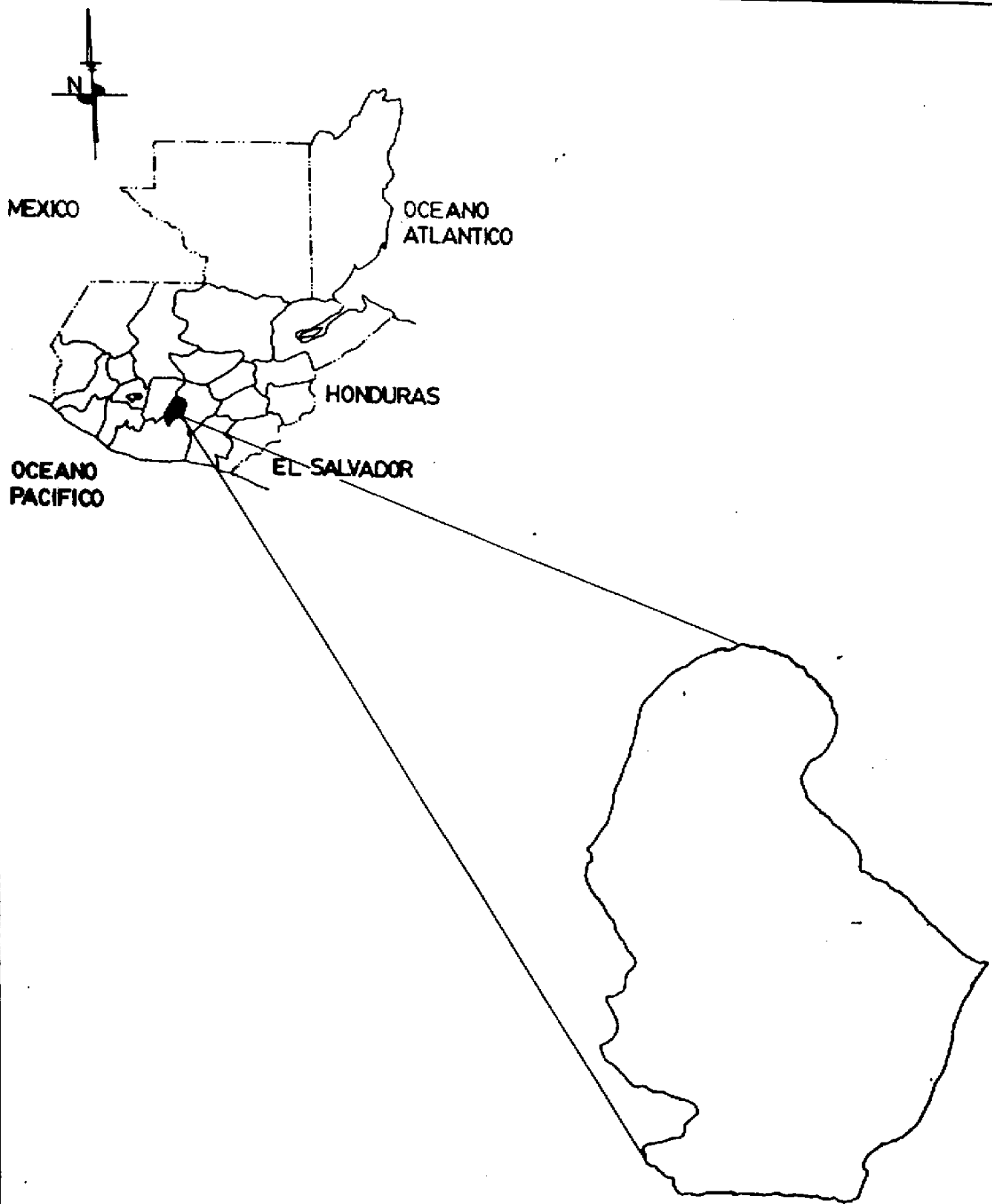


FIG.3 MAPA DE GUATEMALA, MOSTRANDO.
EL DEPARTAMENTO DE SACATEPEQUEZ Y
MUNICIPIO DE SANTIAGO SAC.
ESCALA: 1/30000

El área se localiza a 40 kms. distante de la ciudad capital y se llega por la carretera Panamericana a San Lucas Sacatepéquez, para continuar por el camino de terracería que conduce a San Pedro Sacatepéquez que es transitable durante todo el año y se delimita de la siguiente manera: al norte río las Flores y límite entre San Pedro Sacatepéquez y Santiago Sacatepéquez, al sur río Chiplatanos y límite entre San Lucas Sacatepéquez y Santiago Sacatepéquez, este límite entre Santiago Sacatepéquez y Mixco y al este por el parteaguas de los ríos Chiplatanos, Las Flores y Pansalic.

4.2.2 Características socio-económicas

4.2.2.1 Población actual

En las aldeas San José Pacul y Pachalí para el año 1997 habían un total de 1,709 habitantes; el 98% de la población del área en estudio pertenecen al grupo étnico cakchiquel. La tasa de crecimiento a nivel de las dos aldeas presenta un crecimiento del 3% anual. La región debido a una agricultura desarrollada de cultivos de exportación, no ha sufrido migración desde el año de 1976. La población económicamente activa para el año 1997 correspondía al 70% de la total.

4.2.2.2 Nivel de ingresos

Para la determinación del nivel de ingresos no se dispone de información específica ya que estos están sujetos a la variación de precios de los productos agrícolas de exportación, pero de acuerdo a datos disponibles en la Cooperativa Cuatro Pinos los ingresos anuales individuales oscilan entre los Q 6,000.00 y Q 10,000.00.

4.2.2.3 Organización socio-política

De acuerdo a la división política de Guatemala es el municipio la entidad administrativa constitucional y básica que limita la afiliación geográfica de las aldeas. La alcaldía municipal se preocupa de la administración global del municipio y rige la vida de los habitantes como ciudadanos, a nivel de aldea existe una alcaldía auxiliar, la cual vela por el desarrollo de su aldea.

4.2.2.4 Organizaciones socio-económicas

Las formas de agrupación de la población en el área son: asociaciones voluntarias de tipo económico, religioso y político. Destacándose entre estas las de tipo económico, siendo la más importante la Cooperativa Unión de Cuatro Pinos, asociación a la cual pertenecen la mayoría de padres de familia, debido a que posee políticas definidas de comercialización, producción y servicios.

4.2.2.5 Tenencia de tierras

El régimen de la tenencia de tierra es catalogado como minifundista, el promedio de tierra por habitante es 0.7 hectáreas, por tal razón existe una fuerte presión de uso de la tierra. En la actualidad el 50% de los agricultores arrendan tierras.

4.2.3 Zonas de vida

Según la clasificación ecológica de las zonas de vida vegetal de Holdridge y adaptado a Guatemala por de la Cruz (5) el área de estudio pertenece a la región Bosque Húmedo Montano Bajo Subtropical y se representa por el símbolo bh-MB.

La vegetación natural, está representada por modales de Quercus spp., asociados generalmente con Pinus pseudostrobus y Pinus moctezumae. Pueden observarse también Alnus jurullensis, Ostrya spp, Carpinus spp, Prunus capulli y Arbutus xalapensis. El uso apropiado es fitocultural forestal, en los terrenos planos pueden utilizarse para la producción de: hortalizas, maíz (Zea mays), frijol (Phaseolus Vulgaris), trigo (Triticum spp) y frutales deciduos o de zonas templadas.

Los terrenos accidentados deben de mantenerse cubiertos de bosques para protegerlos y para que estos satisfagan el consumo local, pues las existencias boscosas son limitadas dada la densidad de población.

4.2.4 Climatología

El carácter del clima es templado con invierno benigno, húmedo con verano seco. Los elementos climáticos que definen el área en estudio según INSIVUMEH (1980), son:

4.2.4.1. Precipitación

La precipitación varía entre 1,000 y 1,187 mm anuales, considerándose dos épocas bien definidas el periodo seco durante los meses de noviembre, diciembre, enero, febrero, marzo y abril; un periodo lluvioso donde se concentra el mayor volumen de lluvias (1000 mm) en los meses de junio, julio, agosto y septiembre, siendo los meses de mayo y octubre la época de transición entre una estación y otra.

4.2.4.2. Temperatura

La temperatura media anual de la zona es de 17°C. Las temperaturas más altas se registran en los meses de mayo y abril, cuyo promedio máximo es de 20.9°C y la temperatura promedio mínima es de 9.7°C, registrada en el mes de diciembre.

4.2.4.3. Evaporación

La evaporación media anual es de 1,022 mm. Durante el año se registra una evaporación media mensual de 85 mm. con una mínima de 54 mm. en noviembre y una máxima de 115 mm en marzo. La evapotranspiración real anual según la zona de vida son semejantes a las descritas. En este grupo ecológico se considera una relación entre la evapotranspiración potencial anual y la lluvia de 0.884, lo cual la clasifica como zona húmeda.

4.2.5 Estudio edafológico

4.2.5.1 Uso actual de la tierra

La correcta delimitación de las distintas áreas y los usos que actualmente se les da se realizó con base en la siguiente clave.

- a. Uso agrícola (granos básicos y cultivos anuales).
- b. Uso Forestal (bosque de coníferas y latifoliadas).

Con el planimetro de disco fue posible la determinación de áreas que ocupan los distintos tipos de uso actualmente obteniéndose los resultados siguientes:

A. Uso agrícola

En cuanto a extensión se refiere, los cultivos hortícolas juntamente con los granos básicos ocupan un área de 622 hectáreas, o sea el 64.79% del área total la cual es potencialmente regable. En su mayoría estos cultivos están representados por maiz (Zea mays), frijol (Phaseolus vulgaris L.), arveja china (Pisum sativum L.), brócoli (Brassica oleracea), coliflor (Brassica oleracea) y repollo (Brassica oleracea). Existen áreas de frutales pero debido a la escala de trabajo no fue posible ubicarlos en el mapa.

B. Uso forestal

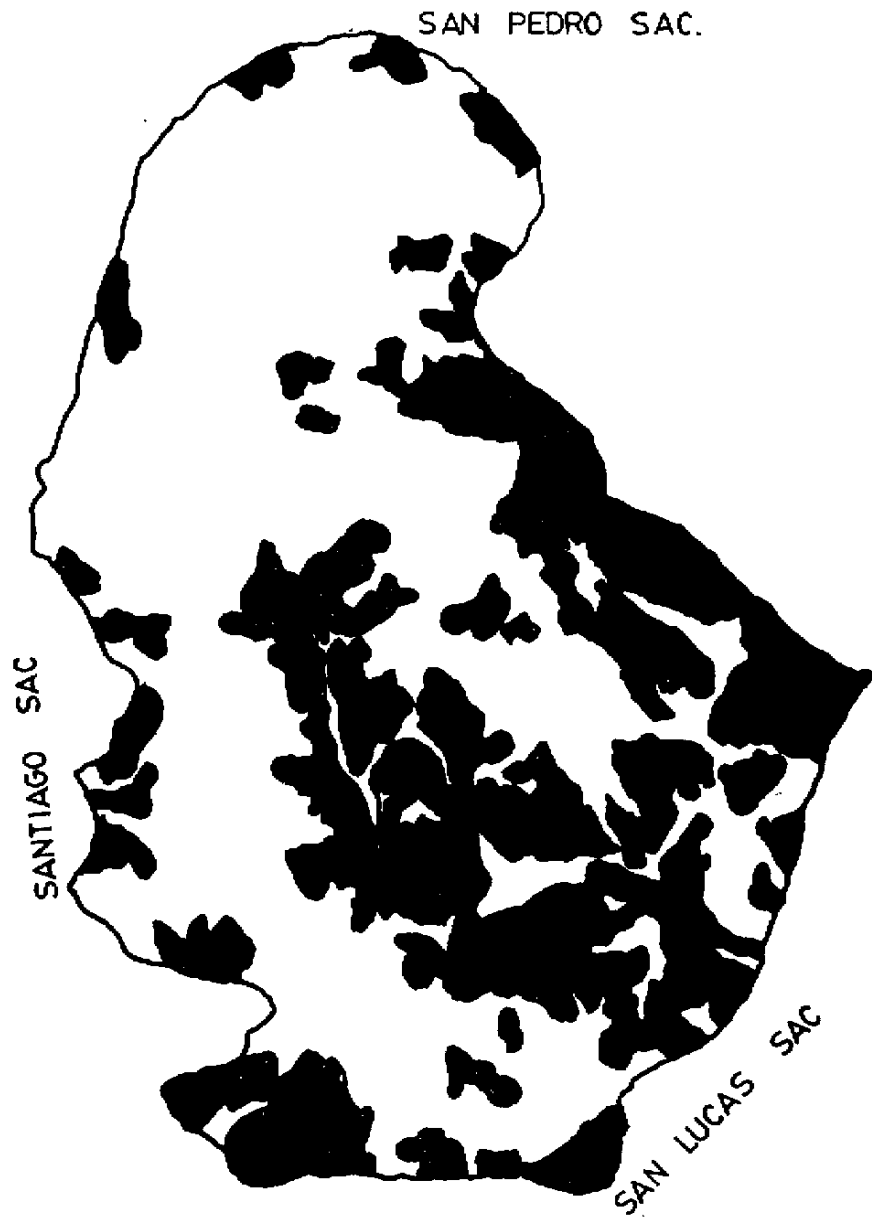
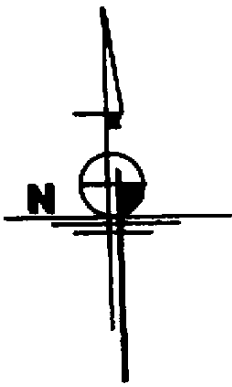
El área de bosque, posee una extensión de 338 hectáreas, que representa el 35.2% del total del área bajo estudio. Dentro del área existen mezcladas especies de coníferas y latifoliadas. La vegetación predominante está formada por Ainus jurullensis, Quercus sp. y Pinus sp., las cuales son utilizadas como combustible, madera de construcción y postes para tutoreado de arveja china. (Ver Figura 4).

C. Tendencias de uso

Debido a la presión en la utilización del recurso suelo para áreas de cultivos limpios, el área boscosa irá disminuyendo paulativamente; esto implicará en la disminución de los niveles de infiltración, aumentar la escorrentía, lo cual tiene como consecuencia una disminución en la recarga hídrica del área. La distribución en función del bosque en su mayoría se ubican en las áreas de mayor pendiente (45-60%).

D. Capacidad de uso

Las clases de capacidad de uso que se presentan van de la categoría I a la categoría IV, (metodología USDA) encontrándose tierras planas, onduladas y de fuerte pendiente, fácil de erosionarse los cuales requieren prácticas intensivas de conservación de suelos y tierras.



REFERENCIAS.

- | | | | |
|---|--------------|--------|-----|
| ○ | USO AGRÍCOLA | 622 Ha | 65% |
| ● | USO FORESTAL | 338 Ha | 35% |

FIG: 4 MAPA DE USO ACTUAL DE LA TIERRA
SANTIAGO SACATEPEQUEZ.
ESCALA: 1:30,000

4.2.6 Génesis de suelos

En el caso presente el recurso suelo se define desde el punto de vista pedológico, es decir el origen del mismo, o sea el material sobre el cual se han formado, lo cual determina en gran medida las características de los mismos y que los sitúan dentro de una serie determinada.

Según la clasificación realizada por Simmons, C.; Tarano, J.M. y Pinto, J.H (22), son suelos desarrollados sobre ceniza volcánica a elevaciones altas, los cuales presentan las características siguientes: El relieve de estos es muy variable presentando planicies ondulantes, valles, rellenos, barrancos profundos con paredes casi verticales y montañas muy quebradas, son suelos de color café, de textura franca o franco arcillosa, para los suelos superficiales de un espesor que varía de 25-50 cms; los subsuelos son de textura franco arcillosa, color café rojizo y que llegan a una profundidad de hasta un metro o más.

La zona de estudio está localizada en la división fisiográfica de suelos de la altiplanicie central y representados por dos series de suelos las cuales son: Cauqué y Guatemala, siendo la más predominante la serie Cauqué. En esta región en épocas geológicas relativamente recientes toda el área fue cubierta por cenizas volcánicas, principalmente con pómez cuaternaria cubriendo totalmente las formaciones de tierra preexistentes que se desarrollaron sobre el basamento cristalino y sedimentario.

En relación al drenaje, no existen áreas mal drenadas, los ríos corren rápidamente por hondos barrancos, los cuales desaguan hacia el mar Caribe a través del río Motagua. La mayor parte de los suelos del área pertenecen al orden de los andisoles y en una mínima parte del área se encuentra andisoles en asociaciones con suelos del orden inceptisoles.

4.2.7 Aprovechamiento de las aguas subterráneas

El Estudio de las Aguas Subterráneas en el Valle de la Ciudad de Guatemala (11), menciona que la evaluación de las necesidades, el crecimiento demográfico y el desarrollo urbano, son los factores más importantes que han determinado el exagerado desarrollo y crecimiento de la demanda de agua.

Históricamente las tendencias técnicas y posibilidades prácticas han orientado a los usuarios a la utilización intensiva de manantiales después de las aguas superficiales, riachuelos, ríos, lagos y por último las aguas subterráneas por medio de la excavación y perforación de pozos. Estas alternativas persisten hoy día y su importancia relativa sigue guardando en términos generales la misma proporción especialmente si el marco de referencia es todo el país.

5. OBJETIVOS

5.1. General

Estimar la cantidad y calidad del recurso hídrico subterráneo, en las aldeas San José Pacul y Pachali del Municipio de Santiago Sacatepéquez.

5.2. Específicos

Determinar la demanda de agua de riego y consumo humano.

Conocer la geología del área acuífera, basado en las características litológicas de las formaciones presentes.

Identificar las características hidrogeológicas del acuífero.

Establecer distintas estrategias de explotación mediante un estudio de aprovechamiento del acuífero en función de la demanda.

6. METODOLOGIA

6.1 Determinación del área de estudio

El área se determinó por medio de el límite municipal de cada aldea, al corroborarlos con fotointerpretación y caminamientos. Se decidió utilizar e incluir a la población de Santiago Sacatepéquez, paralela a la cual corre el río Chiplátanos, siendo este parte aguas de esta subcuenca del río Motagua, y por el lado de la aldea San José Pacul, el parte aguas es el río Pansalic. La jurisdicción municipal de la aldea Pachall, colinda con el municipio de San Lucas Sacatepéquez, utilizando éste municipio como referencia del área en estudio. Posteriormente se ubicó en un plano y se delimitó el área.

6.2 Estudio edafológico

6.2.1. Muestreo de suelos

Este se realizó para determinar las características físicas y las constantes de humedad de los suelos del área. La metodología de muestreo a utilizar fue semejante a la de Peck, T.R. y S.W. (18), seleccionando los lugares de extracción de las condiciones típicas o modales del área a muestrear aparentemente homogéneas, muestreando la profundidad radicular del cultivo predominante en el área (arveja china). La intensidad de muestreo, fue de 10 sub-muestras por cada modal o área representativa, para obtener una muestra completa.

6.2.2 Uso actual de la tierra

El levantamiento preliminar del uso actual de la tierra, se basó en la aplicación de técnicas de fotointerpretación. Para la clasificación de investigación de campo se hizo con base en la clasificación que utiliza el manual de Conservación de Suelos y del Agua, de la Dirección General de Conservación de Suelos y Aguas del Colegio de Postgraduados, Chapingo, México (17) que se basa en:

- a) Seleccionar las fotografías áreas que, cubren la superficie a estudiar a escala 1:30,000.
- b) Sobre las fotografías áreas, se delimitaron los diferentes usos de la tierra.

- c) Mediante recorridos, se cotejan los diferentes usos del terreno y se delimitación.
- d) A las áreas delimitadas por sus diferentes usos, se les identificaron con una clave.
- e) Estos límites, se transfirieron a un plano topográfico 1:30,000 del terreno en diferentes usos por medio del planímetro.
- f) Con esta información, se obtuvo el plano de uso actual del área. (Ver Figura 4)

6.2.3. Análisis de suelos

Los análisis se efectuaron en el Laboratorio de Suelos de la Dirección de Riego y Avenamiento (DIRYA). Las constantes de humedad y las características físicas determinadas son: textura, densidad aparente, PH, punto de marchitez permanente y capacidad de campo.

6.2.4 Velocidad de infiltración y determinación de infiltración básica

Los procedimientos para medir la velocidad de infiltración o de penetración del agua en el suelo, se utilizó el método del infiltrómetro de doble cilindro. Se realizaron varias pruebas en diferentes partes del área. Para efectos de cálculo, se utilizó el modelo de Kostiaikov-Lewis, las cuales se analizó numérica y gráficamente, la cual se expresa como:

$$I = K t^{n-1} \dots\dots\dots \text{ec (1)}$$

Donde:

I = Velocidad de infiltración mm/min o mm/hr

t = tiempo de infiltración min. o en hr.

K = coeficiente que representa la velocidad de infiltración en el tiempo inicial a t = 1,

n = exponente a dimensional, siempre negativo con valores que varían entre 0 y 0.1.

Integrando la Ecuación 1, entre los límites t = 0 y t = t, se obtiene la infiltración acumulada:

$$I_{ACUM} = \frac{K t^{(n+1)}}{n+1} \dots\dots\dots ec (2)$$

La velocidad de infiltración básica es el valor instantáneo cuando la velocidad de cambio de la infiltración para un periodo estandar es el 10% o menos de su valor y se expresa como:

$$I_b = k (-600 n)^n \dots\dots\dots ec (4)$$

$$I_b = \text{cm/hora}$$

6.3 Estudio hidrológico

6.3.1 Determinación del consumo agua o evapotranspiración

Para la determinación de la cantidad de agua que consumen los cultivos, se determinó primeramente que se siembra en el área, a éstos cultivos se les calculó la evapotraspiración, siendo la arveja china el cultivo que más consume agua. Para condiciones de cálculo se estimó la evapotranspiración por el método de Blaney y Criddle partiendo de:

$$Et = K \times F \dots\dots\dots ec (1)$$

Donde:

Et = Evapotranspiración real total del cultivo, expresada en lámina de agua en mm o cm.

K = Coeficiente que depende del cultivo (ciclo vegetativo).

F = Suma de factores mensuales de uso consuntivo en mm o cm.

La suma de factores mensuales de uso consuntivo se expresa:

$$F = \sum_i^n f \dots\dots\dots ec (2)$$

$$F = (0.457 T^{oc} + 8.13) P \dots\dots\dots ec (3)$$

Donde:

F = Factor de uso consuntivo mensual en mm/mes

t = temperatura media mensual en grados centigrados

P = Porcentaje mensual de horas luz que depende de la latitud

Además se introduce el factor de corrección (k) en función de la temperatura media mensual (kt) y el coeficiente del cultivo (kc), por lo tanto:

$$K = Kt \cdot Kc \dots\dots\dots \text{ec (4)}$$

Donde :

$$Kt = 0.24 + 0.0312 t \dots\dots\dots \text{ec (5)}$$

El factor de cultivo (kc), depende del ciclo vegetativo, obteniéndose de la Tabla 1 del apéndice.

6.3.2 Estimación de la demanda

6.3.2.1 De riego

Con la información climatológica se calculó la evapotranspiración potencial para el cultivo de arveja china, por el método de Blaney y Criddle, y se hizo un balance hídrico mensual para el área; para esto se estimó que la capacidad de retención de humedad del suelo es de 100 mm. para la obtención de la demanda de riego mensual se tomó como base el déficit agrícola para cada uno de estos que al sumarlos se obtiene la demanda neta anual.

6.3.2.2 De agua potable

Para la determinación de la demanda de agua potable en las aldeas Pachalí y San José Pacul, se tomó como base la dotación de agua que utiliza en INFOM (Instituto de Fomento Municipal) por habitante para el área rural, la cual es de 40 galones por habitante por día.

6.3.3 Calidad de agua

Para evaluar la calidad de agua para riego como para uso doméstico se tomaron 4 muestras de pozos mecánicos y 8 muestras de pozos perforados a mano, cada muestra se subdividió en 2, obteniéndose 24 submuestras. Las muestras para análisis de calidad de agua para irrigación se enviaron al Laboratorio de Suelos de la Dirección de Riego y Avenamiento (DIRYA), para su análisis físico-químico. Las muestras para análisis de potabilidad se enviaron al Laboratorio de Salud Pública y Asistencia Social.

6.3.4 Determinación de la recarga

Es importante saber que la recarga es parte del balance hídrico del sistema. El volumen de la recarga se definió como porcentajes de filtración sobre la precipitación anual. Los volúmenes de infiltración para la unidad hidrogeológica de depósitos piroclásticos cuaternarios es del 15% y para las lavas y tobas terciarias es del 5%.

6.4 Estudio geológico

Dado el interés que reviste la geología para el estudio del agua subterránea, se consultaron trabajos realizados a inmediaciones del área, así como también el mapa geológico semidetallado a escala 1:50,000, elaborado por la sección de Aguas Subterráneas del INSIVUMEH, además se corroboró con los perfiles litológicos elaborados para el área y con reconocimiento de campo de las afloraciones existentes.

6.5 Estudio hidrogeológico

Para el estudio hidrogeológico de esta subcuenca, y de acuerdo con las características fundamentalmente estructurales de las formaciones geológicas en el tiempo se definen y diferencian unidades hidrogeológicas, las cuales son del cuaternario y del terciario para definir éstas es necesario basarse en los perfiles litológicos de la zona.

6.6 Propuesta de políticas de explotación

Para la definición de las políticas de explotación se enmarcaron hacia el adecuado manejo y conservación de los recursos agua y tierra de la región, tomándose como base para su definición: la calidad del agua, el volumen disponible, reservas del acuífero referidos a la estimación de la demanda, tanto de agua para irrigación como agua potable, la explotación actual y de la explotación futura.

7. RESULTADOS

7.1 Análisis físico y constantes de humedad del suelo

Se definieron cinco áreas representativas, obteniéndose cincuenta sub-muestras de las cuales se tomaron 5 muestras compuestas. Las características físicas y las constantes de humedad se efectuaron en el Laboratorio de Suelos de la Dirección de Riego y Avenamiento (DIRYA). Los resultados del análisis se presentan en el cuadro 2.

CUADRO 2
Características físicas y constantes de Humedad del Suelo del Area
Santiago Sacatepéquez, Guatemala

AREA	PROF. Cms.	TEXTURA	pH	DENSIDAD APARENTE	HUMEDAD 1/3 Atm	EQUIVALENTE 1/5 Atm	LAMINAS APROVECH. Cms.
A	0-30	franco arcilloso	5.13	0.986	51.61	34.65	5.02
	30-60	arcilla	5.20	0.875	49.74	39.39	2.66
	60-90	arcilla	5.04	0.791	55.06	44.45	2.52
B	0-30	franco arc arenoso	5.29	1.293	25.48	16.72	3.39
	30-60	franco arc. arenoso	5.40	1.289	26.90	17.50	3.63
	60-90	Franco arc arenoso	5.51	1.2347	31.84	20.97	4.02
C	0-30	Franco	5.00	0.888	50.22	25.84	6.49
	30-60	Arcilla	5.28	0.832	60.70	44.60	4.02
	60-90	Arcilla	5.45	0.739	61.75	48.25	2.99
D	0-30	Franco arc. arenoso	5.42	1.026	27.45	16.53	3.36
	30-60	Franco arc. arenoso	5.62	1.376	27.06	16.78	3.01
	60-90	Franco arc. arenoso	5.69	1.297	28.14	18.16	2.95
E	0-30	Franco	5.21	1.075	37.83	19.50	5.91
	30-60	Franco arc. arenoso	5.07	1.034	34.38	18.24	5.00
	60-90	Franco ar. arenoso	5.65	0.989	37.35	19.33	5.36

Fuente: Laboratorio de Suelos DIRYA, 1995.

En el cuadro 2 solo se incluyen las propiedades del suelo específicamente las relacionadas con irrigación. La importancia radica en la determinación de la capacidad que tienen los suelos de almacenar agua que sea aprovechable por las plantas. La lámina aprovechable se estimó con base en la ecuación No. 1 del inciso 4.1.14.1.

Los suelos de profundidad de 0-30 cms. poseen una textura que va de franco, franco arcilloso y franco arcillo arenoso son suelos fáciles de trabajar con buena retención de humedad, sueltos, buena infiltración y susceptibles a la erosión hídrica. La lámina de agua promedio almacenable para ese estrato es de 5.02 cm.

Los suelos de la profundidad de 30-60 y 60-90 cms. poseen una textura que va de franco arcilloso arenoso y arcilla son suelos con alta retención de humedad, la cual es aprovechada en el verano por los agricultores, al realizar algunas prácticas de laboreo en el suelo superficial, para que el agua ascienda por efecto de capilaridad, a lo que comunmente se le denomina cultivo de humedad. La lámina promedio de agua a aplicar en este tipo de suelo es de 3.65 cm.

La densidad aparente de los suelos que no han sido sometidos a manipuleo por parte del hombre, poseen densidades normales para esa clase textural la cual se encuentra entre 1.2 y 1.4 gramos por centímetro cúbico. Los suelos sometidos a laboreo poseen densidades entre 0.98 y 0.73 gramos por centímetro cúbico las cuales no son normales, pero esto podría deberse a la compactación del suelo al manipuleo.

Los suelos poseen un pH que oscila entre 5 y 5.7, el cual los define como fuertemente ácidos lo cual influye en el crecimiento de las plantas al afectar la asimilación de nutrimentos. Esta condición podría corregirse o seleccionar plantas que desarrollen bien con el pH existente en los suelos.

7.2 Infiltración básica

De las pruebas de infiltración realizadas, numéricamente se obtuvieron los siguientes resultados: n y k.

$$I = K \times t^n \quad I = 87.60t^{0.29}$$

Donde:

I = infiltración básica (cm/hr)

t = tiempo en minutos

n = pendiente de la función

K = ordenada en el origen

Aplicando los parámetros de Kostiakov, se obtuvo una infiltración básica de 26.72 cm/ hora. En la figura 5 se puede ver el comportamiento de la infiltración a través del tiempo.

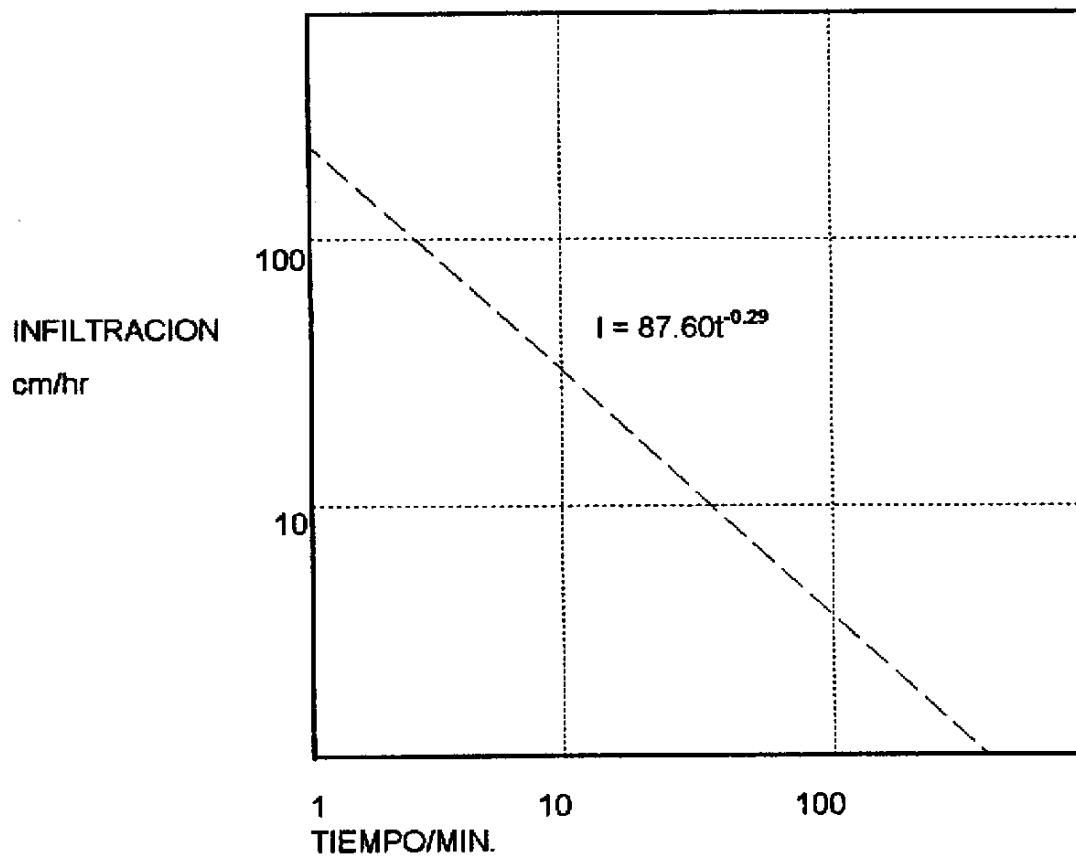


FIGURA 5
VELOCIDAD DE INFILTRACION

7.3 Estudio Hdrológico

7.3.1 Determinación del consumo de agua o evapotranspiración

Se efectuaron los cálculos en distintos cultivos y diferentes épocas de siembra, considerándose el resultado que da las más críticas en cuanto a exigencias de agua se refiere.

Los cálculos efectuados en el cultivo de arveja china Pisum sativum, con un ciclo vegetativo de 150 días, sembrado el 1o. de enero hasta la cosecha el 31 de mayo, siendo este el principal cultivo en importancia de la zona en cuanto a consumo de agua se refiere, se tomó como base de cálculo por ser un cultivo de alto valor que requiere de gran cantidad de mano de obra y genera la mayoría de ingresos de los agricultores, siendo además su rentabilidad alta al aplicar tecnología moderna de producción y comercialización, además de producirse con proyectos de irrigación utilizando agua subterránea, los cuales son sumamente caros tanto en operación como inversión sean rentables y aceptados con éxito por los agricultores del área.

CUADRO 3
EVAPOTRANSPIRACION REAL PARA EL
CULTIVO DE ARVEJA CHINA
SANTIAGO SACATEPEQUEZ, GUATEMALA

Mes	Et (mm)	Etacum (mm)
Enero	26.9	26.9
Febrero	49.8	76.7
Marzo	86.9	163.6
Abril	94.4	258.0
Mayo	91.2	349.2

Fuente: Arturo Cabrera, Santiago Sacatepéquez 1995.

7.3.2 Estimación de la demanda de agua

7.3.2.1 De riego

Con la información climatológica, se calculó la evapotranspiración potencial por el método de Blaney y Criddle, y se hizo un balance hídrico mensual para el área; para ésto se estimó que la capacidad de retención de humedad del suelo es de 100 mm. para la obtención de la demanda de riego mensual, se tomó como base el déficit agrícola para cada uno de esto que al sumarlo se obtiene la demanda neta anual. Ver cuadro 4

CUADRO 4
BALANCE HIDRICO
SANTIAGO SAC. GUATEMALA

MES	DEFICIT AGRICOLA (mm)	DEFICIT AGRICOLA (m ³ /Ha)
enero	45	450
febrero	47	470
marzo	56.9	569
abril	47.9	479
mayo	----	----
junio	----	----
julio	----	----
agosto	----	----
septiembre	----	----
octubre	----	----
noviembre	27.50	275
diciembre	37.50	373
Demanda Neta de Riego Anual = 2616 m ³ /ha. (DNRA)		

Para el cálculo de la demanda Bruta de Riego se adoptó un coeficiente promedio para riego por aspersión en suelo de textura media, profundo; la eficiencia de aplicación para estas condiciones según Grassi (9) es de 0.75. Las pérdidas por conducción no se consideran debido a que ésta se realiza en tubería de PVC. Por lo tanto la eficiencia total (Eft), estará dada por la eficiencia de aplicación de agua (efr).

$$Eff = Efr$$

$$Eff = 0.75$$

Y la demanda bruta de riego anual (DBRA) será entonces:

$$DBRA = \frac{DNRA}{eff} = \frac{2616}{0.75}$$

$$DBRA = 3488 \text{ m}^3/\text{ha/año}$$

La demanda bruta de riego anual total (DBRT) para las 622 hectáreas será:

$$DBRT: 2,169,536 \text{ m}^3/\text{año.}$$

7.3.2.2 Consumo humano

Para la determinación de la demanda de agua potable en las aldeas Pachali y San José Pacul, se tomó como base la dotación de agua que utiliza el INFOM (Instituto de Fomento Municipal) por habitante para el área rural, el cual es de 40 galones por habitante por día. Ver cuadro 5.

**CUADRO 5
DEMANDA ACTUAL Y FUTURA DE AGUA PARA CONSUMO HUMANO
SANTIGO SAC. GUATEMALA**

ALDEA	AÑO 1997 HABITANTES	DEMANDA ACTUAL GAL/DIA	3% DE CRECIMIENTO POBLACIONAL	AÑO 2008 HABITANTES	DEMANDAS FUTURAS
Pachali	907	36,280	30	1,180	47,200
Pacul	<u>812</u>	<u>32,480</u>	30	<u>1,056</u>	<u>42,240</u>
Total	1,719	68,760		2,236	89,440

Para las dos aldeas la demanda neta actual por día es de 68,760 galones, la cual es abastecida por el sistema tradicional, el cual consiste en la captación del agua directamente de la fuente (pozo) por parte del consumidor. Este sistema es utilizable debido a que no existen sistemas de aprovisionamiento adecuado.

Estimando el 3% de crecimiento poblacional anual, para el año 2,008, la demanda neta por día para ambas aldeas será de 89,440 galones por día, la cual podría satisfacerse con un sistema adecuado de distribución, utilizando pozos excavados a mano en las depresiones topográficas de las aldeas, que son los que mejor caudal producen. Con el sistema tradicional de perforación de pequeños pozos, esta demanda podrá ser satisfecha, ya que el caudal a extraer no sobrepasa las reservas del acuífero perchado colgado, pero deberán realizar un adecuado manejo de las aguas residuales y una ubicación adecuada de las letrinas para no contaminar el acuífero.

7.3.3 Calidad de agua

7.3.3.1 De riego

Las muestras para su análisis se enviaron al Laboratorio de Suelos de la Dirección de Riego y Avenamiento (DIRYA), el cual reportó los resultados siguientes: ver cuadro 6. Todas las muestras pertenecen a la misma clasificación y de acuerdo al manual 60 de USDA el agua analizada es de buena calidad para fines de riego.

CUADRO 6
CALIDAD DEL AGUA PARA IRRIGACION
SANTIAGO SACATEPEQUEZ, 1995,
GUATEMALA

MUESTRA	LUGAR DE MUESTREO	TIPO DE POZO	CLASE
1	Santiago Sacatepéquez	mecánico	C ₁ S ₁
2	San Lucas	mecánico	C ₁ S ₁
3	San Pedro	mecánico	C ₁ S ₁
4	Santiago	mecánico	C ₁ S ₁
5	Pachali	manual	C ₁ S ₁
6	Pachali	manual	C ₁ S ₁
7	Pachali	manual	C ₁ S ₁
8	San José Pacul	manual	C ₁ S ₁
9	San José Pacul	manual	C ₁ S ₁
10	San José Pacul	manual	C ₁ S ₁
11	San Pedro	manual	C ₁ S ₁
12	San Pedro	manual	C ₁ S ₁

Fuente Laboratorio de Suelos (DIRYA)

No. DE POZO	ALTURA EN MSNM	PROFUNDIDAD DE EXCAVACION MTS	PROFUNDIDAD DEL NIVEL ESTÁTICO
1	2100	158	5884
2	2100	184	64
3	2100	230	121
4	2090	183	89
5	1900	228	140.55
6	2100	12	31.70
7	2150	18	13
8	2190	23	18
9	2190	23	18
10	2190	20	17
11	2190	21.4	17.3
12	2190	2390	16
13	2220	25	21
14	2190	18	14
15	2100	15.5	11
16	2190	20	14
17	2100	20	15
18	2170	18	11
19	2100	12	8.30
20	2200	18	15
21	2100	6	7.20
22	2050	5	1

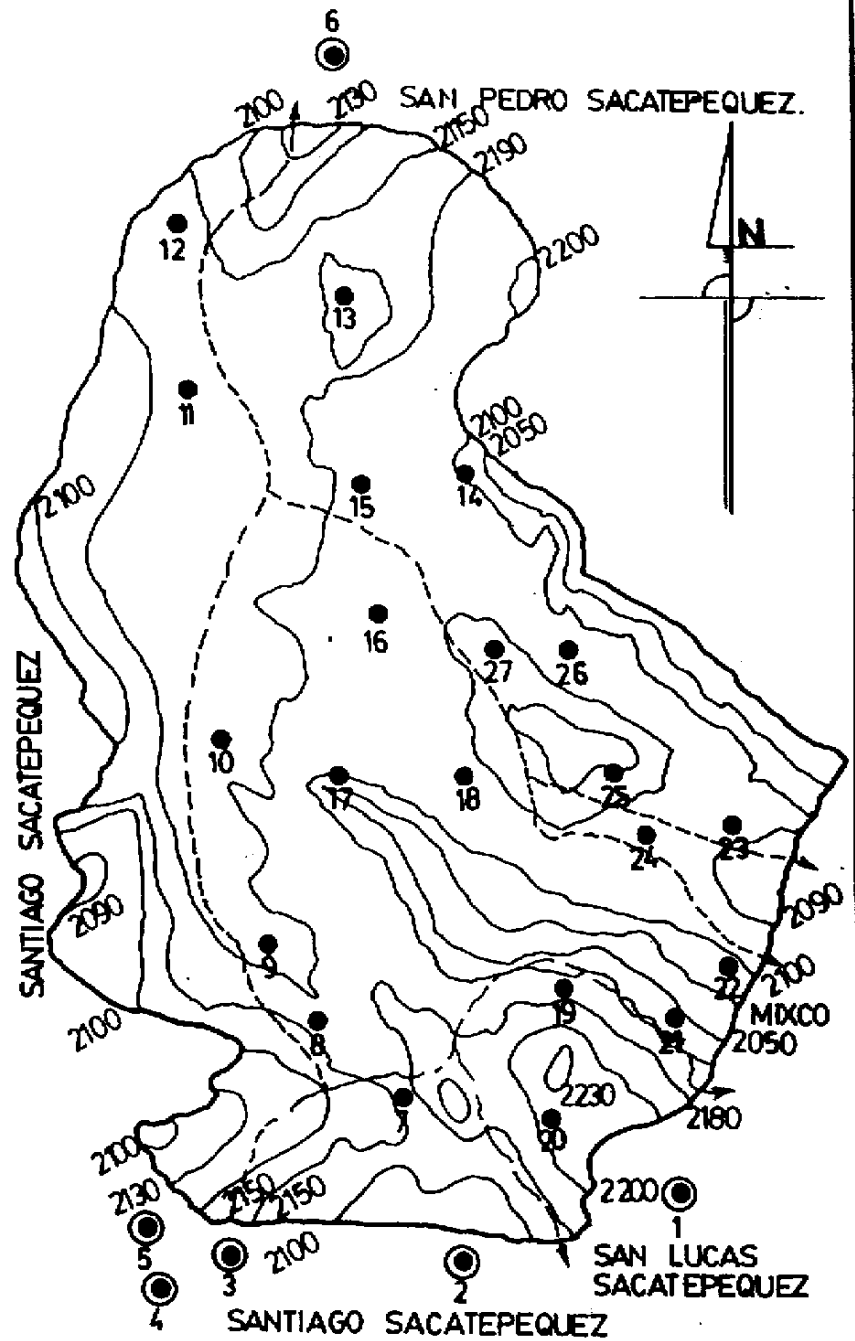


FIG: 6
 MAPA DE UBICACION DE POZOS Y
 CURVAS DE NIVEL Y NIVELES
 FRIATICOS.
 ESCALA: 1/30,000

REFERENCIAS:	
⊙	POZOS DE PERFORACION MECANICA
●	POZOS DE PERFORACION RUSTICA
---	CARRETERIA

7.3.3.2 Consumo humano

Las muestras para su análisis físico y bacteriológico se enviaron al Laboratorio de la Dirección General de Servicios de Salud. Ver cuadro 7. Al analizar los parámetros de evaluación se puede observar en el cuadro que las muestras de pozos profundos 1, 2, 3, y 4 se encuentran entre los rangos normales de potabilidad, los cuales no necesitan de ningún tratamiento adicional para consumirla.

CUADRO 7
CALIDAD DEL AGUA PARA CONSUMO HUMANO
SANTIAGO SACATEPEQUEZ, 1995
GUATEMALA

No.	MUESTRA	PUNTO DE MUESTREO	COLOR	OLOR/SABOR	TURBIDEZ	BACTERIAS COLIFORMES	POTABILIDAD
1	Santiago Pozo mecánico	4	no rechazable	no rechazable	2.6	0	Buena
2	San Lucas Pozo mecánico	0	no rechazable	no rechazable	1.4	0	Buena
3	San Pedro Pozo mecánico	1	no rechazable	no rechazable	1.2	0	Buena
4	Santiago Pozo mecánico	2	no rechazable	no rechazable	1.9	0	Buena
5	Pachali Pozo manual	12	no rechazable	no rechazable	29.10	0	Buena
6	Pachali Pozo manual	18	no rechazable	no rechazable	28.21	0	Buena
7	Pachali Pozo manual	10	no rechazable	no rechazable	46.10	210	Mala
8	Pacul Pozo manual	24	no rechazable	no rechazable	35.40	0	Buena
9	Pacul Pozo manual	18	no rechazable	no rechazable	29.22	0	Buena
10	Pacul Pozo manual	13	no rechazable	no rechazable	31.30	0	Buena
11	San Pedro Pozo manual	7	no rechazable	no rechazable	36.90	0	Buena
12	San Pedro Pozo manual	9	no rechazable	no rechazable	36.90	0	Buena

FUENTE: Laboratorio Bacteriológico, Dirección General de Servicios de Salud, 1995

Las muestras de los pozos perforados manualmente presentan algunas características como: color para las muestras 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11 y 12 se encuentran entre los rangos aceptables; el olor y sabor es aceptable para todas las muestras; la turbidez se encuentra por encima de lo permisible, lo cual podría deberse a la forma de extracción del agua. La calidad bacteriológica establece que sólo la muestra 7 fue positiva para *Escherichia Coli*, lo cual se debe en parte a la cercanía a la letrina al pozo de abastecimiento.

De manera general estas muestras de agua analizadas, se les debe de realizar tratamiento de cloración o ebullición para beberla, debido a que se reporta la presencia de bacterias tales como *Enterobacter agglomerans* y *Citrobacter freundii*.

7.3.4 Determinación de la recarga

En el cuadro 8 se observa la recarga promedio en milímetros, basado en la infiltración efectiva de lluvia para la zona acuífera considerada.

**CUADRO 8
RECARGA PROMEDIO EN MILIMETROS**

PERIODO	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	TOTAL
1985 -1990	0	0	0	9.2	43	52	50	50	51	42	9.2	0	306.4

Tomando como base que un milímetro de precipitación es igual a un metro cuadrado por litro de infiltración, se obtiene un volumen de recarga para la zona de $2.94 \times 10^6 \text{ m}^3$ por año.

7.5 Estudio geológico

Dado el interés que reviste la geología para el estudio del agua subterránea, se consultaron trabajos realizados a inmediaciones del área, así como también el mapa de geología general superficial de la zona,

elaborado por el INSIVUMEH. Lo cual se comprobó mediante reconocimiento de campo y los perfiles litológicos elaborados para el área.

7.4.1 Unidades litológicas

Dentro de la zona de influencia geológica definida, se observa de acuerdo a su origen, únicamente un grupo de rocas: Las rocas volcánicas.

7.4.1.1 Rocas volcánicas

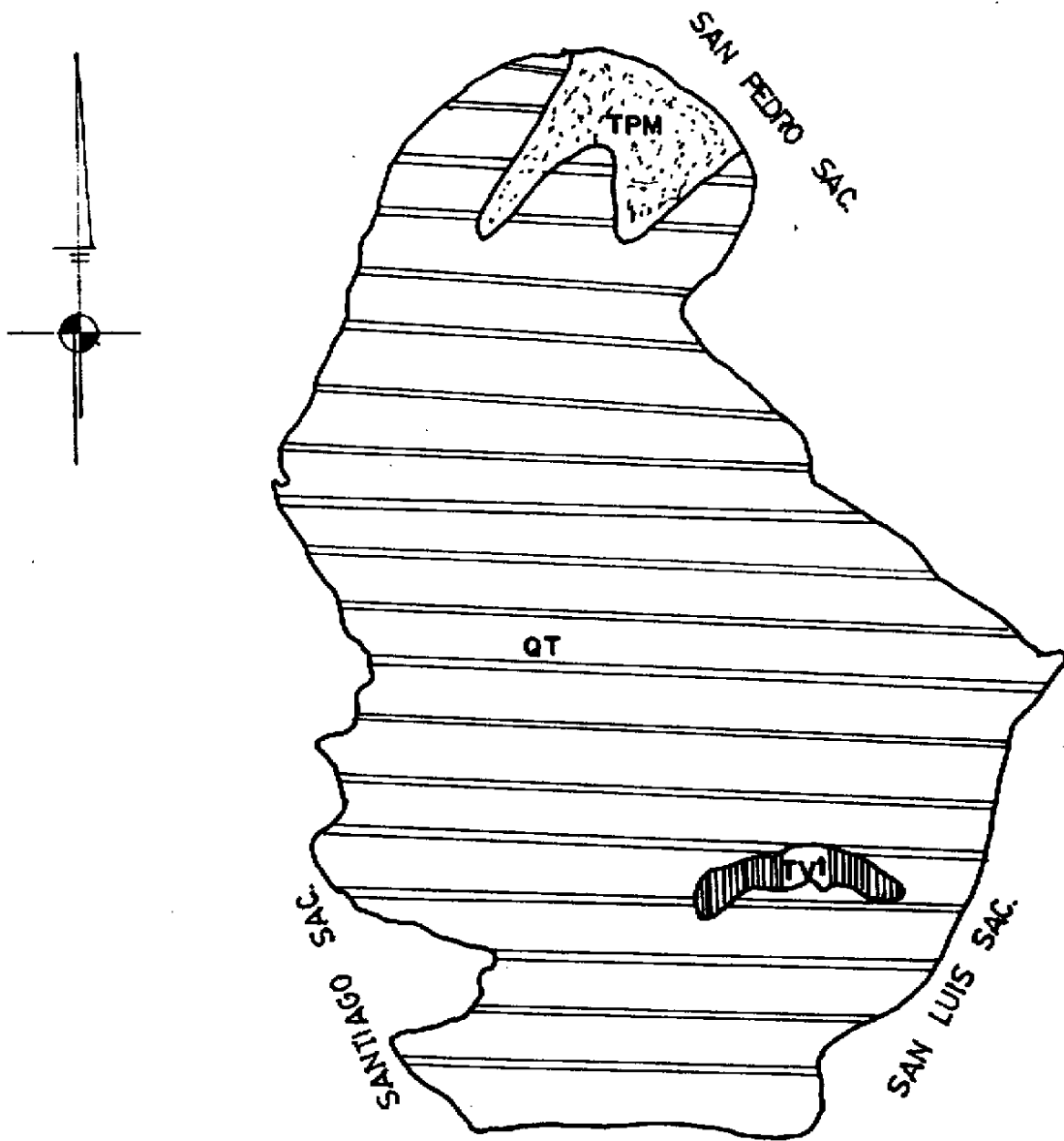
En el área esta unidad presenta un extenso número de rocas así como variaciones para un mismo tipo de rocas especialmente en ciertas características como color, textura, grado de consolidación y compactación, etc. Dentro de esta unidad se tienen básicamente las rocas siguientes: lavas, tovas, estratos tobáceos subacuáticos, tovas sub-aéreas, ignimbrita soldada, flujos de andecitas, basalto, cenizas y arenas pomáceas de variada granulometría transportada por aire. Las distinciones más importantes entre las rocas están relacionadas con su estructura interna: si es granular; suelta o consolidada, cohesiva, macisa o compacta, así como algunas características de su deposición, especialmente si es masivo o en estratificaciones

A. Sedimentos piroclásticos

Dentro de este tipo de materiales se encuentra una amplia gama granulométrica, así como una variada distribución; lo cual corresponde en principio a los siguientes factores: distancia de la zona de yacimiento al foco eruptivo que le dió origen, naturaleza e intensidad de la erupción, condición de los vientos prevalecientes durante la erupción. Ver referencia en la figura 7.

B. Depósitos piroclásticos masivos

Son generalmente materiales finos de variada granulometría, los cuales incluyen también fragmentos de diámetro mediano y grande de rocas pomáceas y lavas. Estos materiales se encuentran en el área de estudio y cuya potencia puede sobrepasar los 100 metros. Este material puede presentarse como sedimentos sueltos poco compactos o muy compactos con cierto grado de consolidación.



REFERENCIAS.	
QT	PIROCLASTUS (POMEZ, CENIZAS) SOBRE YACIENDO A ROCAS VOLCANICAS.
TVI	TOBA BIOTITICA GRIS CLARO
TPM	GRUPO PADRE MIGUEL ESTRATOS TOBACEOS DE TOBA SUBACUATICA, SILLAR IGNEMBRITA SOLDADA, TOBA SUBAEREA Y FLUJOS DELGADOS DE ANDESITA Y BASALTOS.

FIG. 7 MAPA DE GEOLOGIA GENERAL
 ESCALA: 1/30,000

C. Depósitos piroclásticos estratificados

Están constituidos por arenas pomáceas de variada granulometría, los cuales también incluyen granos muy finos. En el área se han identificado 13 capas o estratos de este tipo de arenas pomáceas cada una de diferente extensión y cubrimiento superficial, generalmente entre los principales grupos de sedimentos pomáceos se encuentran intercalados paleosuelos (materiales limosos y arcillosos, los cuales son producto de la alteración de los sedimentos pomáceos).

La potencia máxima de estos materiales es del orden de unos 150 metros. Su importancia local radica en el hecho de que su gran porosidad puede permitir una importante retención de las aguas de lluvia. Su cobertura superficial en el área puede alcanzar un 95% del área total.

D. Tobas volcánicas

Dentro del área este tipo de rocas es probablemente el segundo grupo en importancia. Generalmente aflora superficialmente en la parte norte por el río Pansalic y en la Carretera que conduce de Mixco a San Lucas Sacatepéquez. Este tipo de roca es subyacente a las cenizas y arenas volcánicas anteriormente descritas, y poseen una gran cobertura espacial (volumétricamente). Este tipo de rocas exhibe localmente variadas características: textura, estructura litológica, tintes, grado de consolidación, etc. sus acumulaciones y depósitos están influenciados por los eventos tectónicos y algunos otros tipos de alteración. Ver referencia en la figura 7

Las tobas pueden ser riolíticas, dacíticas o alodacíticas, en colores que van de blanco grisáceo, amarillento, rosado al corinto. Debido al intenso tectonismo que durante largos períodos de tiempo ha afectado a la región, los depósitos tobáceos se encuentran fuertemente fracturados y fisurados, lo cual determina en ellos una gran porosidad de fracturas y espacios potencialmente importantes para la circulación y almacenamiento de agua subterránea.

E. Lavas

Se tiene el área de estudio flujos de lavas; andesíticas y basálticas frecuentemente muy fracturadas. Generalmente no se encuentran aflorando sino que están subyaciendo a depósitos piroclásticos. Su potencia

máxima investigada en el área es del orden de 200 metros. Al igual que las tobas las lavas están afectadas por una densa fracturación y fisuración, lo cual implica una gran porosidad y una densa red de conductos potencialmente importantes para el almacenamiento y circulación de las aguas subterráneas.

7.4.1.2 Secuencia estratigráfica

La configuración y secuencia estratigráfica dentro del área de influencia definida para la zona de filtración en la escala del tiempo fundamentalmente entre los periodos oligoceno, mioceno y plioceno (terciario medio, superior y cuaternario).

A. Terciario

Dentro de este periodo de tiempo geológico, se desarrollaron los más importantes y extensos eventos volcánicos del país, los cuales estuvieron influenciados por los efectos de la actividad tectónica regional; especialmente con el desarrollo de grandes fracturas de tensión a través de las cuales se dieron los grandes extrusiones de materiales volcánicos.

Las principales rocas depositadas durante esta era son los colados o flujos de lavas andesíticas y basálticas, así como tobas volcánicas. Las lavas generalmente subyacen a las fosas, y ambos depósitos pueden ser incluidos dentro del grupo padre Miguel, estando su edad comprendida entre el oligoceno y mio-plioceno.

B. Cuaternario

Esta era también ha sido marcada por un intenso tectonismo y extenso vulcanismo, siendo el número de focos eruptivos conocidos bastante grandes; pero localmente tres son de gran influencia: Volcanes Acatenango, Fuego y Agua; a los cuales se les atribuye el origen de la mayor parte de los sedimentos piroclásticos del área de estudio. Los sedimentos piroclásticos depositados comprenden tanto los masivos como los estratigráficos, sin embargo estos no presentan una secuencia definida ni continua. La potencia

máxima que alcanzan los sedimentos piroclásticos; masivos y estratificados en la zona de estudio es del orden los 170 metros.

7.5 Estudio hidrogeológico

Dentro del esquema geológico descrito y de acuerdo con las características fundamentalmente estructurales de las formaciones geológicas, se definen y diferencian las principales unidades hidrogeológicas.

7.5.1 Unidad hidrogeológica del cuaternario

Tiene su origen principalmente en un tipo de proceso el cual es volcánico, definido por las erupciones, transporte por el viento y depósito de materiales piroclásticos. Esta unidad está formada por materiales de diversa graduación: bombas, piedras, arenas, cenizas y polvos, etc. y variada distribución granulométrica depositada en bancos o en forma masiva.

Este tipo de materiales acumulados poseen una potencia vertical de 170 metros y en extensión superficial toda el área de estudio. En esta unidad se dan diferentes tipos de acuíferos cuyo rendimiento puede variar entre las ordenes de magnitud de 45 a 250 galones por minuto (colgados libres y artesianos).

Esta unidad hidrogeológica es la más comúnmente explotada en el área. Este tipo de unidad, tiene también una doble importancia ya que localmente los pequeños o regulares acuíferos, son menos o poco profundos, constituyen las únicas fuentes de abastecimiento de agua potable, se estima que en la actualidad hay 1,000 pozos perforados rústicamente por otro lado constituye otra de las principales zonas de recarga y alimentación del acuífero del valle de la ciudad de Guatemala, con rendimientos de 6 a 30 galones por minuto.

7.5.2 Unidad hidrogeológica del terciario

Los depósitos eruptivos depositados desde el terciario superior en forma de lavas de origen fisural y tobas volcánicas de diferente grado de consolidación y diversa naturaleza litológica corresponden a esta unidad hidrogeológica. Los depósitos han sido afectados por importantes movimientos tectónicos de alcance regional,

los cuales forman parte del origen de la falla de Mixco. De este proceso pueden encontrarse bloques levantados y fundidos, sobre los cuales se acumularon potentes depósitos de sedimentos piroclásticos y flujos de lavas cuaternarias. Los efectos de la erosión superficial han dejado al descubierto en la parte norte del área y en el cauce del río Chiplatanos sitios de este tipo de rocas.

Debido a su gran fracturación y fisuración, constituye desde el punto de vista de su almacenamiento y rendimiento el acuífero más importante localizado, debiéndose aprovechar en las partes bajas del área, cuyo rendimiento puede variar entre 150 a 430 galones por minuto, el cual se explota solamente en Santiago Sacatepéquez.

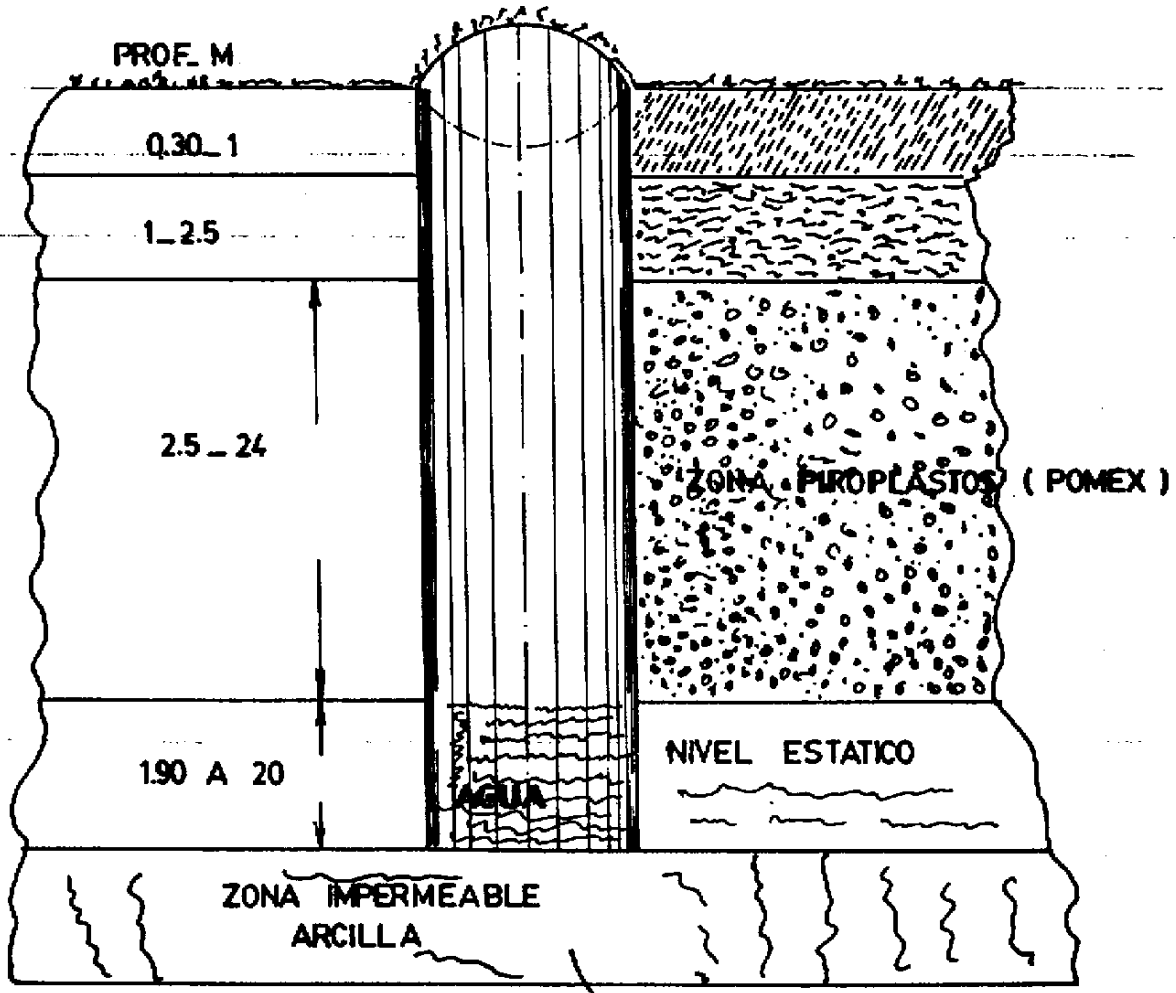
7.5.3 Aspectos litológicos

7.5.3.1 Perfiles litológicos 0-30 metros

Para establecer la secuencia de éstos, el área se dividió en tres hileras de pozos de observación. En los pozos de observación y muestreo, la secuencia estratigráfica es similar, variando únicamente la potencia de los depósitos. La secuencia estratigráfica para las tres hileras se resume de la siguiente forma: suelo franco, franco arcilloso arenoso, con una profundidad de 0.30 - 1 metro, suelo arcilloso color café amarillento de 0.60 - 20 metros de profundidad, arena pómez con diferente grado de consolidación y solidificación con colores que van del blanco a blanco rojizo y amarillo, con profundidades variables de 10-20 metros. El último estrato observado es arcilla de color negro, rojizo, gris o café con una profundidad de 1 - 2 metros, a esta profundidad se encuentra el acuífero perchado colgado y este merece especial atención debido a que es la única fuente de agua para uso doméstico y agrícola.

Para aprovechar este acuífero no se debe sobrepasar la capa confinante de arcilla que se encuentra a una profundidad que varía entre 20 y 30 metros. En lo referente a rendimientos de caudal, éstos oscilan de acuerdo a la topografía del área, teniéndose pozos con caudales máximos de 30 galones por minuto y los mínimos de extracción 6 galones por minuto. Una de las limitantes de la calidad del agua para consumo humano es la turbidez, ésta se podría evitar haciéndole a los pozos al final de la excavación un filtro de grava y tubo perforado. Ver figura 8.

NIVEL ESTÁTICO 3 A 18 M
 NIVELES DINÁMICOS 1.90 A 20 M
 PRODUCCIÓN 6 A 30 GPM



PROFUNDIDAD MÁXIMA
 EXCAVADA 25 M

NO SOBREPASAR ESTA CAPA
 PARA EVITAR QUE EL AGUA
 SE FILTRE AL ACUÍFERO PROFUNDO.

FIG. 8
 PERFIL GENERAL DE UN POZO EXCAVADO A MANO
 EN EL ACUÍFERO PERCHADO COLGADO.

7.5.3.2 Perfiles litológicos 30-185 metros

El área es producto de deposiciones de materiales volcánicos que son una secuencia de estratos piroclásticos y lavas permeables e impermeables, compuestos de arenas cenizas, pómez, polvos, arcillas, limos, rocas y depósitos de lavas en todas sus combinaciones y distribuciones granulométricas. El sector de San Lucas Sacatepéquez, está formado de material piroclástico compuesto de pómez, arcillas, arena, gravas y rocas andesíticas de color negro, con diversa distribución y estratificación. Esta zona es de gran infiltración de agua de los ríos Chinimayá, San Lucas, Pansalic, Las Flores y parte de la recarga del acuífero de la ciudad de Guatemala.

El área presenta un acuífero libre, el cual sufre un confinamiento paulatino debido a depósitos de arcillas y limos y según los perfiles litológicos elaborados existen grandes depósitos de material piroclástico con una profundidad de 134-170 metros. El número de estratos para este sector varía entre 10 - 20. La unidad hidrogeológica explotada es del cuaternario.

El nivel estático se encuentra entre los 55 y 61 metros y el nivel dinámico entre los 122 y 152 metros, con caudales de 226 galones por minuto a 500 metros de distancia de la falla de Mixco. Los pozos perforados a menos de esa distancia se obtienen rendimientos de 40 a 75 galones por minuto, estos pequeños caudales de extracción se debe a pérdidas de circulación y el pozo excavado es de alto riesgo porque puede colapsarse debido a efectos tectónicos. En términos generales el área de San Lucas Sacatepéquez para obtener un buen rendimiento en un pozo, éste debe perforarse a 198 metros, para obtener una columna de agua de 76 metros. Estos depósitos piroclásticos poseen una transmisividad de $180\text{m}^2/\text{día}/\text{m}$. con un coeficiente de almacenamiento de 0.09

En la zona de Santiago Sacatepéquez se observa una serie de estratificaciones de piroclastos, pómez, arena, cantos rodados, andesitas descompuestas, subyaciendo a arcillas y limos, siendo el número de estratificaciones de 22 y 12, cuya potencia excede de los 200 m. subyaciendo a esta secuencia se localiza una estratificación de roca andesítica gris rosada fracturada, cuya potencia investigada es del orden de los 90 m., con una transmisividad que varía entre 500 y $5000\text{m}^2/\text{día}/\text{m}$. y un coeficiente de almacenamiento de 0.22.

NIVEL ESTATICO 193 PIES
 NIVEL DINAMICO 407 PIES
 PRODUCCION 226 GPM.

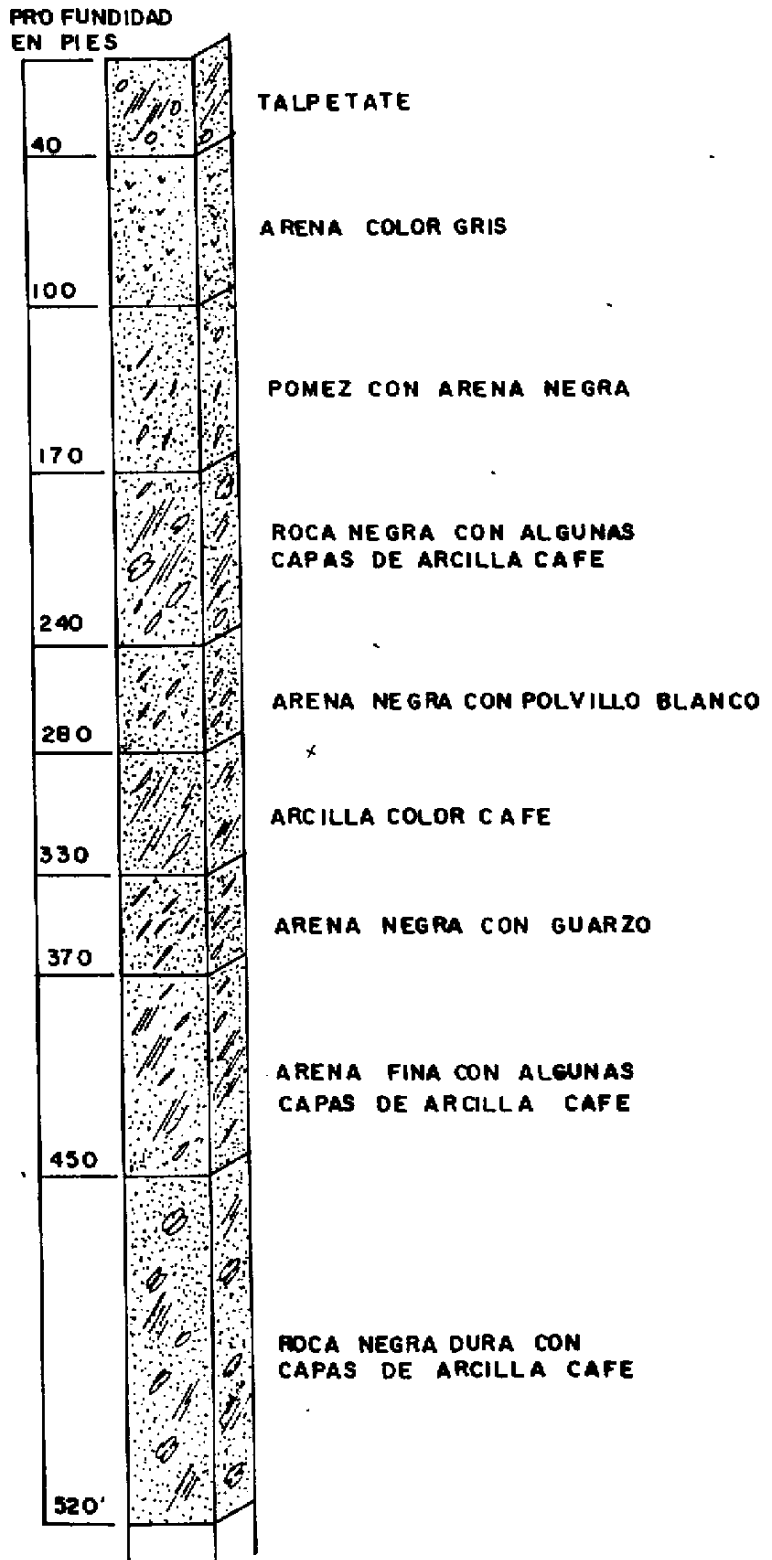


FIG.9 PERFIL LITOLÓGICO UBICADO EN SAN LUCAS SAC.

NIVEL ESTATICO 210
 NIVEL DINAMICO 484 PIES 290
 PRODUCCION 66 GPM.

PROFUNDIDAD
 EN PIES.

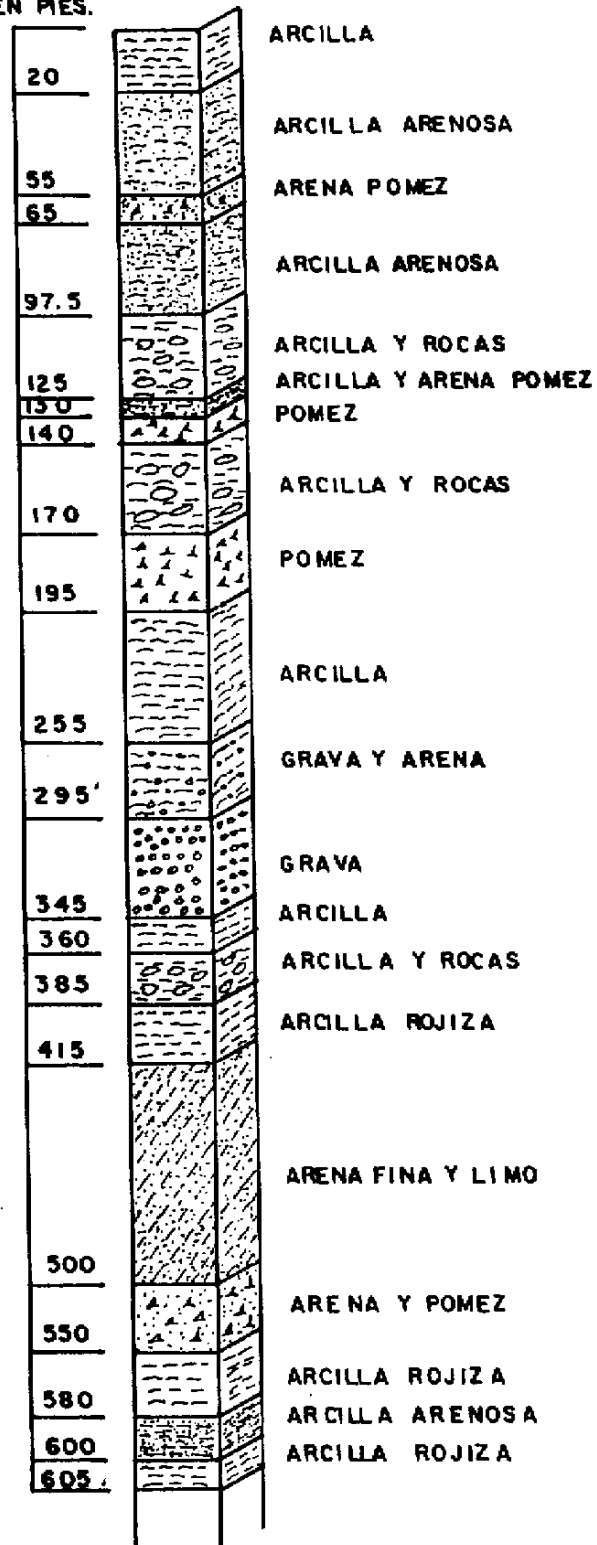


FIG.10 PEREIL LITOLÓGICO, SAN LUCAS SAC.
 POZO 2 UBICADO EN FINCA LA SUIZA.

Las unidades hidrogeológicas aprovechadas en esta zona son del terciario y cuaternario. El acuífero en esta área sufre un confinamiento debido a estratos de arcillas, este acuífero es el más explotado en la zona y el que mejores rendimientos produce, el nivel estático se encuentra a 107 m. y el nivel dinámico entre 91 y 122 m. en esta zona la profundidad de perforación para obtener un caudal de aproximadamente 250 galones por minuto debe de realizarse a 198 m. pies de profundidad y a una distancia entre un pozo y otro de 500 metros para que no exista interferencia entre pozos. En un futuro este acuífero es el que más debería de aprovecharse.

En el área de San Pedro Sacatepéquez, se observan estratificaciones de material piroclástico; el cual está constituido principalmente por arenas, pómez, basaltos, andesitas, gravas, pómez en descomposición, arcilla gris y limos, en todas sus combinaciones, siendo el número de estratificaciones de 13 cuya potencia investigada es de 161 m. Esta zona es de gran infiltración de agua para el Río Chiplatanos.

El acuífero es libre con cierto confinamiento debido a estratos de arcillas intercaladas con los piroclásticos, este tipo de estrato posee una profundidad de 21 metros. El nivel estático del agua se encuentra a 12 metros y el nivel dinámico a 32 metros con una producción de 150 galones por minuto.

La profundidad máxima a excavar un pozo mecánico en esta zona es de 152 metros, debido a la alta porosidad y transmisividad de los piroplastos este acuífero podría ser utilizado en un futuro para dotar de agua a habitantes de la comunidad de Mixco, o alimentar la represa de La Brigada de la Municipalidad de Guatemala.

7.5.4 Reservas del acuífero

Las reservas representan el volumen de agua almacenada en un periodo determinado para una zona acuífera. Estas están condicionadas por la estructura geológica que da las dimensiones, el rendimiento específico y el coeficiente de almacenamiento. Se calculó el volumen almacenado por medio de la ecuación siguiente:

NIVEL ESTATICO 366 PIES
 NIVEL DINAMICO 399 PIES
 PRODUCCION: 329 GPM.

PROFUNDIDAD
 EN PIES.

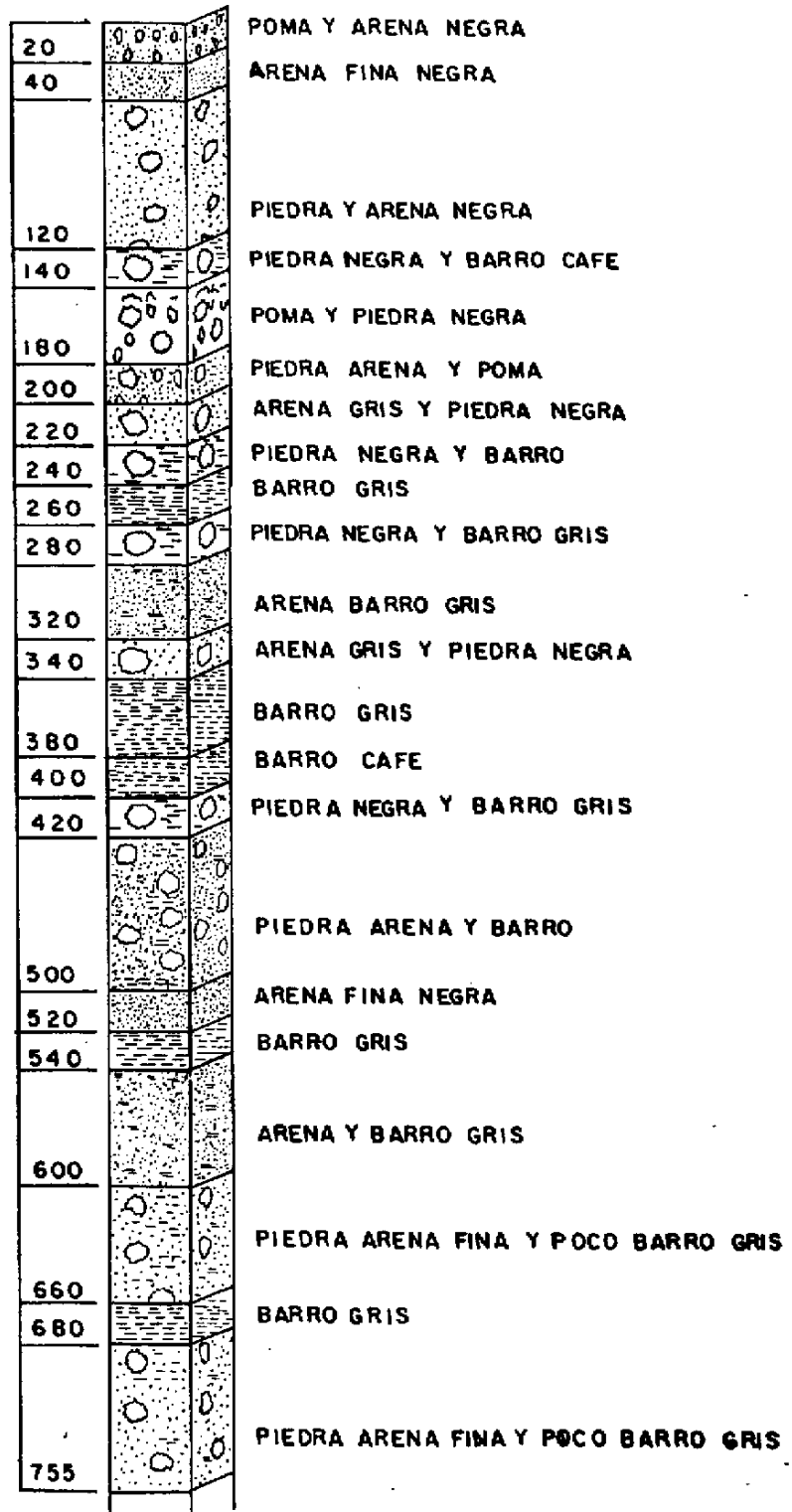


FIG: 11 PERFIL LITOLÓGICO
 POZO 3 UBICADO EN SANTIAGO SAC.

NIVEL ESTATICO 287 PIES
 NIVEL DINAMICO 293 PIES
 PRODUCCION 239 GPM

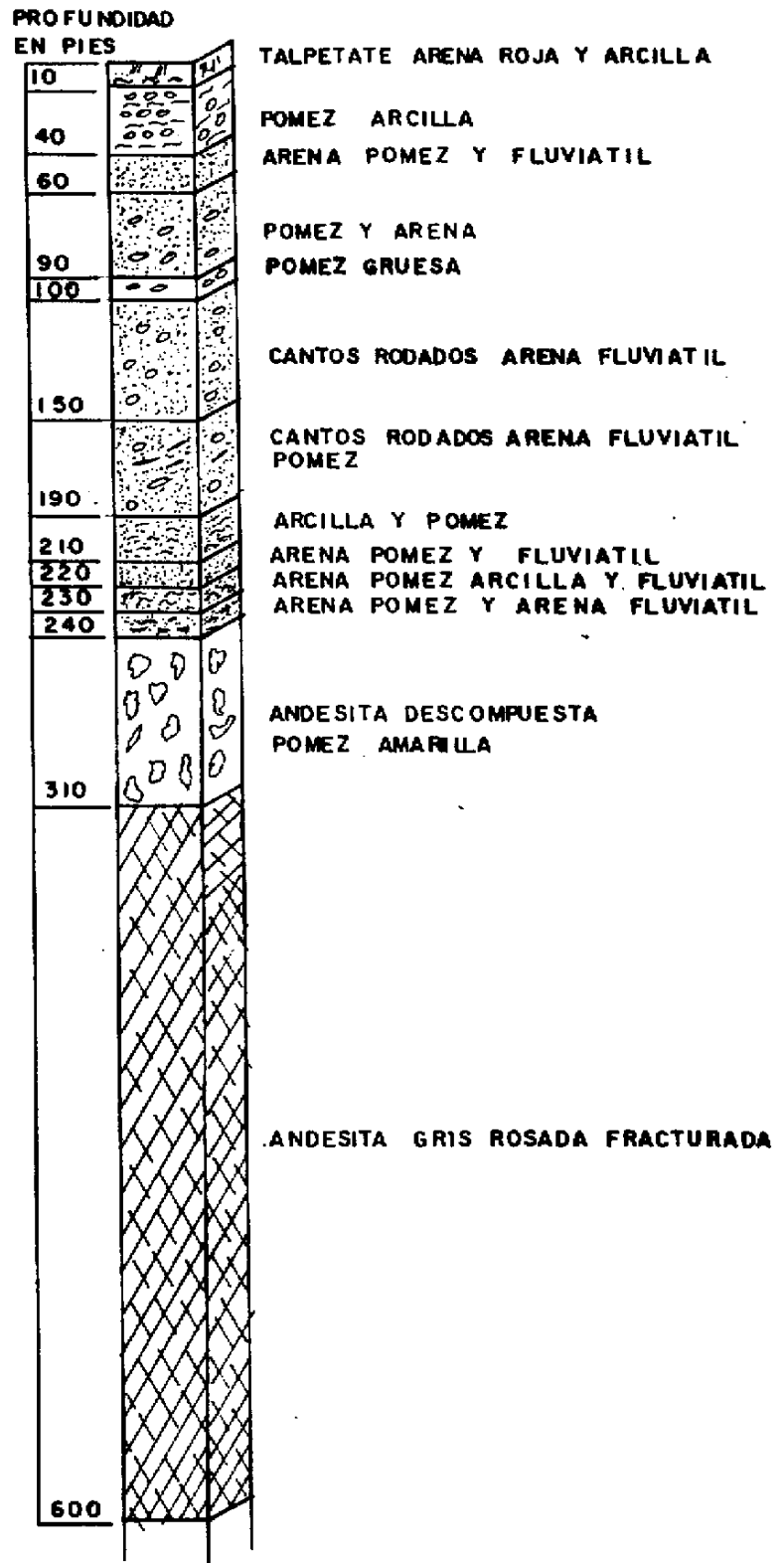


FIG. 12 PERFIL LITOLÓGICO
 POZO 4 UBICADO EN SANTIAGO SAC.

NIVEL ESTATICO 320 PIES
 NIVEL DINAMICO 461 PIES
 PRODUCCION 329 GPM.

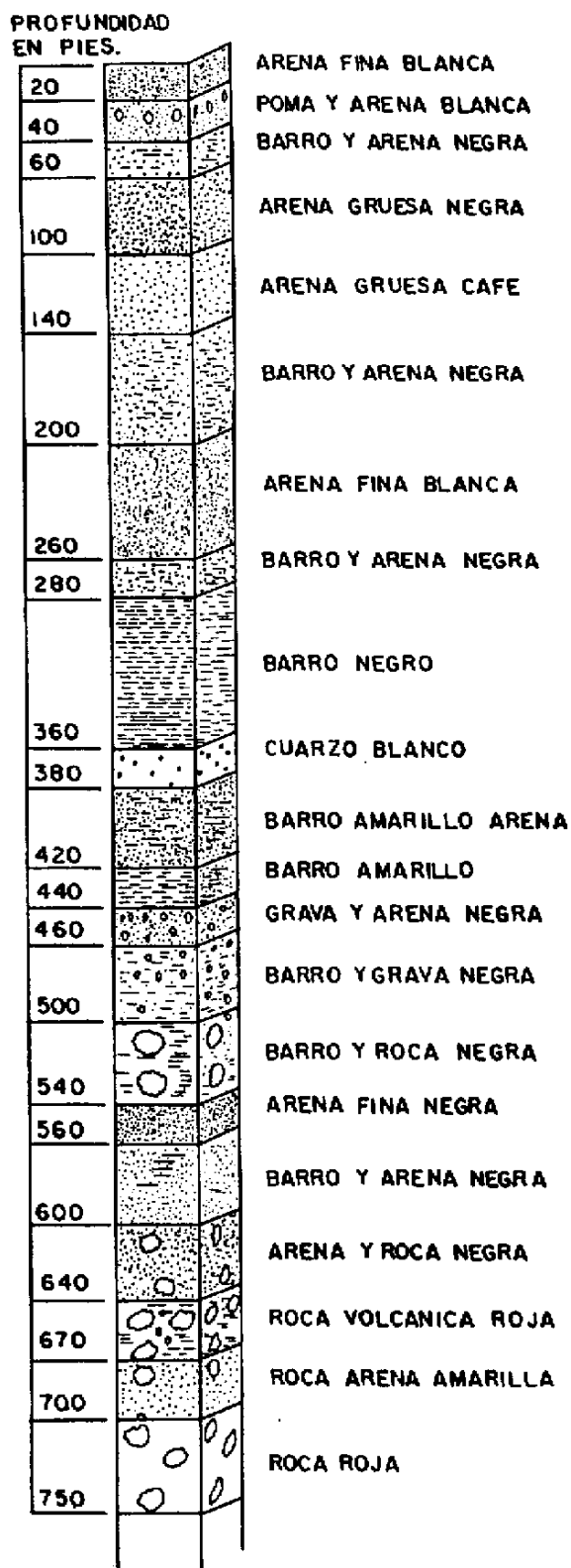


FIG: 13 PERFIL LITOLOGICO
 POZO 5 UBICADO EN SANTIAGO SAC.

NIVEL ESTADICO 40 PIES
 NIVEL DINAMICO 104 PIES
 PRODUCCION 150 GPM.

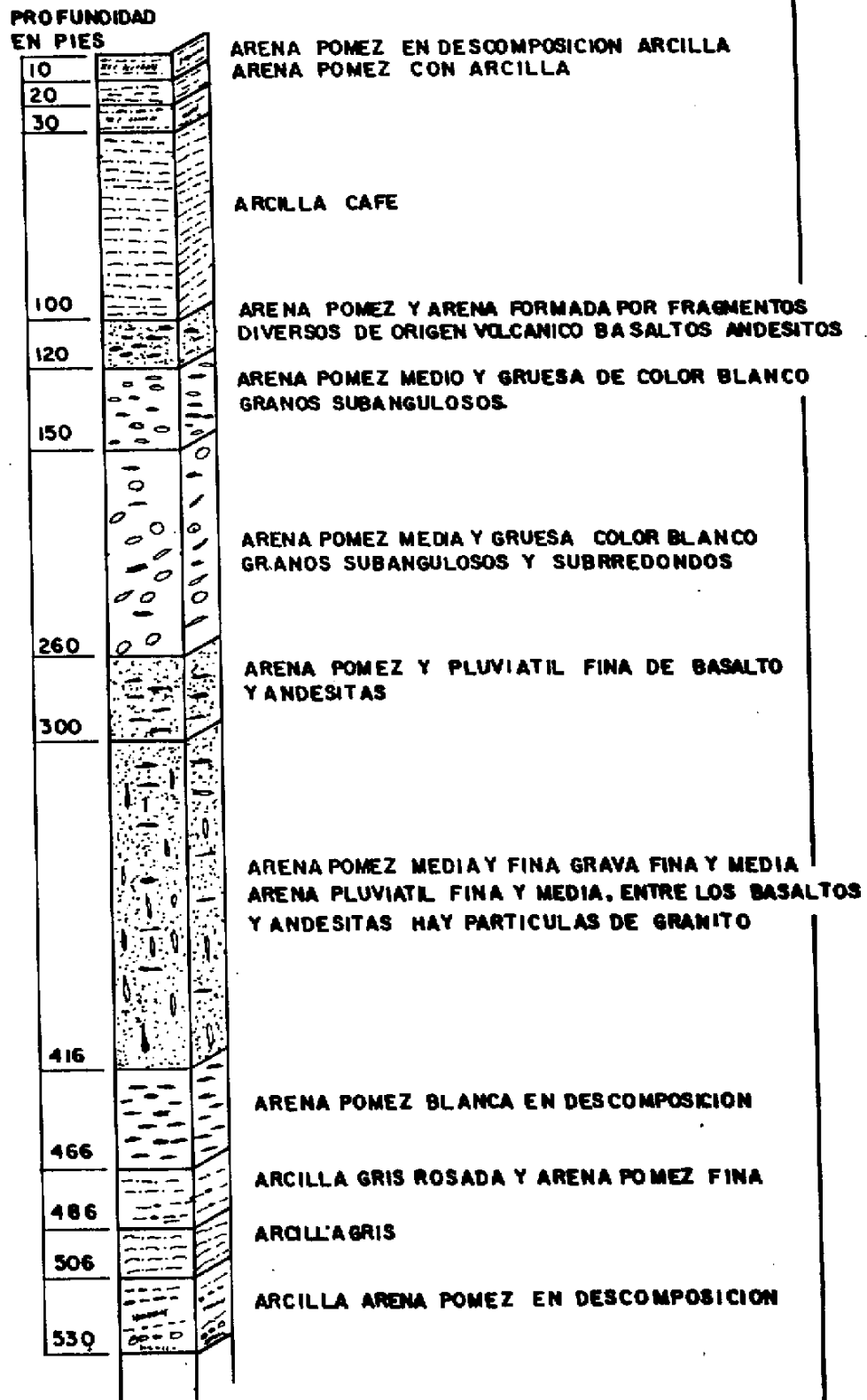


FIG. 14 PERFIL LITOLOGICO
 POZO 6 EN SAN PEDRO SAC.

$$\text{Volumen} = A * M * SL$$

Donde:

A = área

M = espesor del acuífero

SL = rendimiento específico

Para la zona considerando el acuífero superior o perchado colgado, se ha establecido que las reservas son del orden de 777,600 m³ . Las reservas del acuífero inferior es de 185.8 millones de m³ .

7.6 Políticas de Explotación

1. Crear un programa de reforestación para la zona alta y media aguas arriba del acuífero de aprovechamiento, para permitir la recarga al acuífero y que tenga sostenibilidad en el largo plazo, tanto para el acuífero superficial (0-30 m.) como el profundo (30-185 m.).
2. Por las características de la zona en la que prevalece el minifundio, los pozos excavados a mano en el acuífero perchado colgado, son una solución para el aprovechamiento de caudales mínimos y el uso conjunto de aguas para riego y potable.
3. Por el costo de la energía necesaria para operar pozos profundos, el aprovechamiento del agua en pozos excavados es una solución económicamente viable con costos de energía hidráulica mínimas en zonas de extrema pobreza, donde es necesaria la producción de cultivos intensivos aplicando una lámina de reposición o mantenimiento para aprovechar la humedad residual de la zona.
4. Coordinar con los agricultores y pobladores de zonas urbanas la búsqueda de cooperación técnica para el aprovechamiento del acuífero, porque las instituciones gubernamentales en esta materia se han debilitado.
5. Constituir de autoridad a las municipalidades y alcaldías auxiliares para que coordinen y regulen el uso y aprovechamientos de los recursos hídricos.

8. CONCLUSIONES

En base a estudio realizado se concluye lo siguiente:

1. Debido a las características físicas del suelo y la evapotranspiración potencial fija del área, permite a los agricultores de la región cultivarlos por medio del proceso físico de hidrofobización y esto se debe a que los suelos poseen una capacidad de retención de humedad alta por lo tanto, las láminas de agua a reponer a estos sería pequeña y ha intervalos no menores de diez días de riego.
2. La demanda de agua para consumo humano en un futuro es posible de abastecerse con un sistema de distribución adecuado, utilizando pozos excavados a mano de alto rendimiento y juntando los caudales en un tanque de distribución.
3. El agua de los pozos de perforación a mano y mecánica es de buena calidad para fines de riego ($C_1 S_1$) por lo tanto no se restringe su uso.
4. El agua de los pozos perforados mecánicamente para uso doméstico no es necesario realizarseles tratamiento de potabilidad, no así el agua de pozos de perforación a mano.
5. El volumen de agua extraída actualmente del acuífero es de $19.73 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{año}$, la cual no sobrepasa las reservas del acuífero que son de $186.5 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{año}$, lo que representa el 12% del total.

9. RECOMENDACIONES

- 1. La distancia de perforación rústica entre un pozo y la letrina debe ser no menor de 30 metros para evitar la contaminación por heces fecales del mismo, o utilizar letrinas aboneras.**
- 2. La distancia de perforación mecánica entre pozos no debe ser menor de 500 metros para evitar interferencia.**
- 3. En un futuro se puede aprovechar con mayor eficiencia el acuífero en la parte baja de Santiago Sacatepéquez, por su alto rendimiento y calidad del agua a una profundidad que no pase los 200 metros de perforación.**
- 4. Las empresas perforadoras de pozos, deben estandarizar los nombres de cada estrato del perfil litológico con nombres técnicos utilizados en hidrogeología.**
- 5. Los pozos perforados a mano para uso doméstico debe realizarseles un sello sanitario de grava o tubo de concreto perforado para contrarrestar los altos índices de turbidez del agua y evitar derrumbes del mismo.**

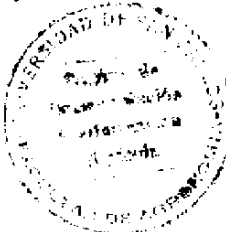
10. BIBLIOGRAFIA

1. AMERICAN WATER WORKS ASSOCIATION. 1968. Curso de adiestramiento en la distribución del agua. Trad. por Centro Regional de Ayuda Técnica. México. 167 p.
2. AMISIAL, R.; JEGAT, H. 1978. Aprovechamiento y modelos de aguas subterráneas. Mérida Venezuela, Centro Interamericano de Desarrollo Integral de Aguas y Tierras. 73 p.
3. CABRERA, V.M. 1980. Estimación de agua subterránea y política de explotación para la cuenca alta y media del río Portuguesa. Tesis Mag. Sc. en riego y drenaje. Mérida, Venezuela, Universidad de los Andes. 160 p.
4. CASTANY, G. 1978. Prospección y explotación de las aguas subterráneas. Barcelona, España, Omega. 738 p.
5. CRUZ, J.R. DE LA. 1976. Clasificación de zonas de vida de Guatemala a nivel de reconocimiento. Guatemala, Instituto Nacional Forestal. 42 p.
6. CUSTODIO, E.; LLAMAS, R. s.f. Hidrología subterránea. Barcelona, España, Omega. 2,100 p.
7. FLORES, J. 1974. Evaluación del uso conjunto de agua superficial y agua subterránea en el sistema de riego Boconó-Tucupido. Tesis Mag Sc. en riego y drenaje. Mérida, Venezuela, Universidad de los Angeles. 180 p.
8. GRASSI, C.J.; CHRISTIANSEN, J.E. 1978. Manual de drenaje en tierras de riego. Mérida, Venezuela, Centro Interamericano de Desarrollo Integral de Aguas y Tierras. 150 p.
9. _____. 1978. Métodos de riego. Trad. por Hilda Grassi. Mérida, Venezuela, Centro Interamericano de Desarrollo Integral de Aguas y Tierras. 265 p.
10. GUATEMALA. INSTITUTO GEOGRAFICO NACIONAL. 1978. Mapa topográfico de Santiago Sacatepéquez, hoja cartográfica No. 2059 IV. Guatemala. Esc. 1:50,000. Color.
11. GUATEMALA. INSTITUTO NACIONAL DE SISMOLOGIA, VULCANOLOGIA, METEOROLOGIA E HIDROLOGIA. 1978. Estudio de aguas subterráneas en el valle de la ciudad de Guatemala. Guatemala. 303 p.
12. JOHNSON, INC. 1966. Groudwater and Wells. Minnesota, EE.UU. 164 p.

13. KRUSSEMAN, G. 1975. Análisis y evaluación de los datos de ensayos por bombeo. Holanda, International Institute for Land Reclamation and Improvement. 212 p.
14. LINSLEY, R.; KOLHER, M.A.; PAULUS, J.H. 1977. Hidrología para ingenieros. 2 ed. Bogotá, Colombia, Mc Graw-Hill. 386 p.
15. MARTINEZ, A.C. 1980. Disponibilidad de agua superficial en el distrito Torres, estado de Lara. Tesis Mag. Sc. en Riego y Drenaje. Mérida, Venezuela, Universidad de los Andes. 72 p.
16. McCARTY, P. 1979. Lecciones sobre calidad del agua y control de su contaminación. Mérida, Venezuela, Centro Interamericano de Desarrollo Integral de Aguas y Tierras. 90 p.
17. MEXICO. DIRECCION GENERAL DE CONSERVACION DE SUELOS Y AGUAS. 1982. Manual de conservación del suelo y agua. México, Colegio de Postgraduados. 248 p.
18. PECK, T. R. 1973. Field sampling for soil testing. Wisconsin, EE.UU., Soil Science Society of America. 48 p.
19. PEÑA, I. DE LA. 1976. Calidad del agua de riego. México, Secretaría de Recursos Hidráulicos. Distrito de Riego No. 41. 197 p.
20. QUIROA, R. 1985. Determinación cualitativa y cuantitativa del agua en la cuenca del río Achiguate. Tesis Ing. Agr. Guatemala, Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Agronomía. 75 p.
21. RUBIO, L.; TORRES, J.; JUAREZ, J. 1981. Normas y especificaciones para el aprovechamiento del agua subterránea. Chapingo, México, Universidad Autónoma de Chapingo, Departamento de Irrigación. 276 p.
22. SIMMONS, CH.; TARANO, J.M.; PINTO, J.H. 1959. Clasificación de reconocimientos de suelos de la República de Guatemala. Trad. por Pedro Tirado Sulsona. Guatemala, Ed. Jose Pineda Ibarra. 1,000 p.
23. VELASQUEZ, S. 1984. Determinación cualitativa y cuantitativa del agua en la cuenca del río Grande de Zacapa. Tesis Ing. Agr. Guatemala, Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Agronomía. 90 p.

U. P. O.

Patualle



9. APENDICE

Tabla No. 1

Coeficiente de cultivo (kc)

CULTIVO	Fases de desarrollo del cultivo					Periodo vegetativo total
	Inicial	Desarrollo del cultivo	Mediados del periodo	Finales del periodo	Recolección	
Banana tropical	0,4-0,5	0,7-0,85	1,0 -1,1	0,9 -1,0	0,75-0,85	0,7 -0,8
Banana subtropical	0,5-0,65	0,8-0,9	1,0 -1,2	1,0 -1,15	1,0 -1,15	0,85-0,95
Frijol verde	0,3-0,4	0,65-0,75	0,95-1,05	0,9 -0,95	0,85-0,95	0,85-0,9
Frijol seco	0,3-0,4	0,7 -0,8	1,05-1,2	0,65-0,75	0,25-0,3	0,7 -0,8
Col	0,4-0,5	0,7 -0,8	0,95-1,1	0,9 -1,0	0,8 -0,95	0,7 -0,8
Algodón	0,4-0,5	0,7 -0,8	1,05-1,25	0,8 -0,9	0,65-0,7	0,8 -0,9
Vid	0,35-0,55	0,6 -0,8	0,7 -0,9	0,6 -0,8	0,55-0,7	0,55-0,75
Cacahuete	0,4 -0,5	0,7 -0,8	0,95-1,1	0,75-0,85	0,55-0,6	0,75-0,8
Maíz dulce	0,3 -0,5	0,7 -0,9	1,05-1,2	1,0 -1,15	0,95-1,1	0,8 -0,95
Maíz grano	0,3 -0,5	0,7 -0,85	1,05-1,2	0,8 -0,95	0,55-0,6	0,75-0,9
Cebolla seca	0,4 -0,6	0,7 -0,8	0,95-1,1	0,85-0,9	0,75-0,85	0,8 -0,9
Cebolla verde	0,4 -0,6	0,6 -0,75	0,95-1,05	0,95-1,05	0,95-1,05	0,65-0,8
Guisante, fresco	0,4 -0,5	0,7 -0,85	1,05-1,2	1,0 -1,15	0,95-1,1	0,8 -0,95
Arvejas, fresco	0,3 -0,4	0,6 -0,75	0,95-1,1	0,85-1,0	0,8 -0,9	0,7 -0,8
Patata	0,4 -0,5	0,7 -0,8	1,05-1,2	0,85-0,95	0,7 -0,75	0,75-0,9
Arroz	1,1 -1,15	1,1 -1,5	1,1 -1,3	0,95-1,05	0,95-1,05	1,05-1,2
Cártago	0,3 -0,4	0,7 -0,8	1,05-1,2	0,65-0,7	0,2 -0,25	0,65-0,7
Sorgo	0,3 -0,4	0,7 -0,75	1,0 -1,15	0,75-0,8	0,5 -0,55	0,75-0,85
Soja	0,3 -0,4	0,7 -0,8	1,0 -1,15	0,7 -0,8	0,4 -0,5	0,75-0,9
Nemolocha azuc.	0,4 -0,5	0,75-0,85	1,05-1,2	0,9 -1,0	0,6 -0,7	0,8 -0,9
Cana de azúcar	0,4 -0,5	0,7 -1,0	1,0 -1,3	0,75-0,8	0,5 -0,6	0,65-1,05
Girasol	0,3 -0,4	0,7 -0,8	1,05-1,2	0,7 -0,8	0,35-0,45	0,75-0,85
Tabaco	0,3 -0,4	0,7 -0,8	1,0 -1,2	0,9 -1,0	0,75-0,85	0,85-0,95
Tomate	0,4 -0,5	0,7 -0,8	1,05-1,25	0,8 -0,95	0,6 -0,65	0,75-0,9
Sandía	0,4 -0,5	0,7 -0,8	0,95-1,05	0,8 -0,9	0,65-0,75	0,75-0,85
Trigo	0,3 -0,4	0,7 -0,8	1,05-1,2	0,65-0,75	0,2 -0,25	0,8 -0,9
Alfalfa	0,3 -0,4				1,05-1,2	0,85-1,05
Cítricos						
desyerbe total						0,65-0,75
sin control de malezas						0,85-0,9
Olivo						0,4 -0,6

Primera figura: Con humedad elevada (RH_{min} > 70%) y poco viento (U < 5 m/seg).

Segunda figura: Con humedad reducida (RH_{min} < 20%) y fuerte viento (> 5 m/seg).



FACULTAD DE AGRONOMIA
INSTITUTO DE INVESTIGACIONES
AGRONOMICAS

LA TESIS TITULADA: "ESTIMACION DEL VOLUMEN Y CALIDAD DEL AGUA SUBTERRANEA
Y ESTABLECIMIENTO DE POLITICAS DE EXPLOTACION, PARA
LAS ALDEAS SAN JOSE PACUL Y PACHALI DEL MUNICIPIO DE
SANTIAGO SACATEPEQUEZ".

DESARROLLADA POR EL ESTUDIANTE: ARTURO RENE CABRERA CRUZ

CARNET No: 7915357

HA SIDO EVALUADA POR LOS PROFESIONALES: Ing. Agr. Waldemar Nufio Reyes
Ing. Agr. Fernando Rodríguez Bracamonte

El Asesor y las Autoridades de la Facultad de Agronomía, hacen constar que ha
cumplido con las normas Universitarias y Reglamentos de la Facultad de Agrono-
mía de la Universidad de San Carlos de Guatemala.


Ing. Agr. M.Sc. Victor Manuel Cabrera Cruz
A S E S O R


Ing. Agr. Fernando Rodríguez Bracamonte
DIRECTOR DEL IIA.



I M P R I M A S E


Ing. Agr. Rolando Lara Alecio
D E C A N O



cc: Control Académica
Archivo
FR/prr.

APARTADO POSTAL 1545 § 01091 GUATEMALA, C. A.
TELEFONO 476-9794 § FAX (502) 476-9770

E-mail: lia@usac.edu.gt § <http://www.usac.edu.gt/facultades/agrouomln.htm>