

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA

FACULTAD DE AGRONOMÍA

ÁREA INTEGRADA

**TRABAJO DE GRADUACIÓN
CARACTERIZACIÓN DE ACUÍFEROS PARA IRRIGACIÓN AGRÍCOLA EN LA CUENCA BAJA
DEL RÍO ACOME, LA GOMERA, ESCUINTLA, GUATEMALA.**

CARLOS EFRAÍN MORALES RAMÍREZ

GUATEMALA, NOVIEMBRE DE 2010

**UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE AGRONOMÍA
ÁREA INTEGRADA**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

**CARACTERIZACIÓN DE ACUÍFEROS PARA IRRIGACIÓN AGRÍCOLA EN LA CUENCA BAJA
DEL RÍO ACOME, LA GOMERA, ESCUINTLA, GUATEMALA.**

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

**POR
CARLOS EFRAÍN MORALES RAMÍREZ**

**EN EL ACTO DE INVESTIDURA COMO
INGENIERO AGRÓNOMO
EN**

**RECURSOS NATURALES RENOVABLES
EN EL GRADO ACADÉMICO DE
LICENCIADO**

GUATEMALA, NOVIEMBRE DE 2010

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE AGRONOMÍA

RECTOR

LIC. CARLOS ESTUARDO GÁLVEZ BARRIOS

JUNTA DIRECTIVA DE LA FACULTAD DE AGRONOMÍA

DECANO	Ing. Agr. MSc.	Francisco Javier Vásquez Vásquez
VOCAL PRIMERO	Ing. Agr.	Waldemar Nufio Reyes
VOCAL SEGUNDO	Ing. Agr.	Walter Arnoldo Reyes Sanabria
VOCAL TERCERO	Ing. Agr. MSc.	Oscar Rene Leiva Ruano
VOCAL CUARTO	P. forestal	Axel Esau Cuma
VOCAL QUINTO	P. contador	Carlos Alberto Monterroso Gonzales
SECRETARIO	Ing. Agr. MSc.	Edwin Enrique Cano Morales

GUATEMALA, NOVIEMBRE DE 2010

Guatemala, noviembre 2010

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

Honorables miembros:

De conformidad con las normas establecidas por la Ley Orgánica de la Universidad de San Carlos de Guatemala, tengo el honor de someter a vuestra consideración, el trabajo de Graduación: **CARACTERIZACIÓN DE ACUÍFEROS PARA IRRIGACIÓN AGRÍCOLA EN LA CUENCA BAJA DEL RÍO ACOME, LA GOMERA, ESCUINTLA, GUATEMALA.** Guatemala, como requisito previo a optar al título de Ingeniero Agrónomo en Recursos Naturales Renovables, en el grado académico de Licenciado.

Esperando que el mismo llene los requisitos necesarios para su aprobación, me es grato suscribirme,

Atentamente,

“ID Y ENSEÑAD A TODOS”

CARLOS EFRAÍN MORALES RAMÍREZ

ACTO QUE DEDICO

A:

Dios: Como agradecimiento por el regalo de cada día de vida y las oportunidades de éxito y fracaso que me ayudaran a aprender a ser alguien mejor.

Mis Padres: Carlos E. Morales M. y Elda Consuelo Ramirez de Morales, por su esfuerzo y sacrificio por tantos años de lucha.

Mis Hijos: María Renee, Diego e Isabel, por ser tres bendiciones en mi vida y mi inspiración de cada día.

Mis Hermanos: Erick, Walter, Verónica y David, por estar a mi lado en las buenas y en las malas siempre con esa palabra de apoyo y fe.

Mis Amigos: Por ese valioso gesto incondicional de amistad,

TRABAJO DE GRADUACIÓN QUE DEDICO

A:

Dios

Por ser mi luz y fuente de vida.

Al pueblo de Guatemala

Por su lucha diaria por sacar adelante este bello país y por que con su esfuerzo y sacrificio es posible que esta casa de estudios forme profesionales en pro de un mejor país.

Universidad de San Carlos de Guatemala

Magna casa de estudios que me permitió realizar mi sueño.

Facultad de Agronomía

Por formarme como un profesional.

Escuela Nacional Central de Agricultura

Gloriosa Institución que me forjo en el inicio de mi carrera agronómica.

**CARACTERIZACIÓN DE ACUÍFEROS PARA IRRIGACIÓN
AGRÍCOLA EN LA CUENCA BAJA DEL RÍO ACOMÉ, LA
GOMERA, ESCUINTLA**

**“CHARACTERIZATION OF AQUIFERS FOR AGRICULTURAL
IRRIGATION IN THE LOWEST PART OF THE ACOMÉ RIVER
BASIN, LA GOMERA, ESCUINTLA”**

CONTENIDO GENERAL

CONTENIDO	PÁGINA
INDICE GENERAL.....	i
INDICE DE FIGURAS	iii
INDICE DE CUADROS.....	iv
1. INTRODUCCION.....	1
2. DEFINICION DEL PROBLEMA.....	3
3. MARCO TEORICO.....	4
3.1 Marco conceptual.....	4
3.1.1 Ciclo hidrológico.....	4
3.1.2 Cuenca hidrográfica.....	5
3.1.3 Agua subterránea.....	5
3.1.4 Relación entre agua subterránea y agua superficial.....	5
3.1.5 Importancia de la reposición de un acuífero.....	6
3.1.6 Distribución del agua en el subsuelo.....	7
3.1.6.1 Zona de aireación.....	7
3.1.6.2 Zona de saturación.....	8
3.1.7 Factores que condicionan la presencia y el movimiento del agua subterránea.....	9
3.1.7.1 Precipitación.....	9
3.1.7.2 Forma del terreno.....	9
3.1.7.3 Geología.....	10
3.1.7.4 Vegetación.....	12
3.1.8 Movimiento o flujo del agua subterránea.....	12
3.1.9 Prospección del agua subterránea.....	13
3.1.10 Rendimiento de un acuífero.....	14
3.1.11 Acuífero sobreexplotado.....	15
3.2 Marco Referencial.....	15
3.2.1 Ubicación geográfica.....	15
3.2.2 Hidrografía y relieve.....	15
3.2.3 Zonas de vida y clima.....	16
3.2.4 Suelos.....	16
3.2.5 Regiones hidrogeológicas de Guatemala.....	17
3.2.5.1 Llanuras aluviales de la costa del pacífico.....	17
3.2.6 Unidad Hidrogeológica Aluviones Cuaternarios.....	18
3.2.7 Potencial de aguas subterráneas por cuencas hidrográficas.....	18
3.2.7.1 Cuenca de la vertiente del pacífico.....	19
4. OBJETIVOS.....	21
4.1 Objetivo general.....	21
4.2 Objetivos específicos.....	21

5. METODOLOGÍA.....	22
5.1 Fase inicial de gabinete.....	22
5.2 Elaboración de base de datos geológica y estratigráfica.....	22
5.2.1 Metodología para la elaboración de pozos de agua.....	22
5.2.2 Metodología para la correlación estratigráfica de pozos de agua.....	22
5.3 Fase de campo.....	24
5.4 Fase de laboratorio.....	25
5.5 Fase final de gabinete.....	25
6. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	25
6.1 Descripción estratigráfica y correlaciones estratigráficas los pozos de interés.....	25
6.1.1 Area pozos Tepeyac.....	25
6.1.1.1 Tepeyac - 1.....	27
6.1.1.2 Tepeyac - 2.....	28
6.1.1.3 Tepeyac - 3.....	29
6.1.1.4 Relación estratigráfica.....	30
6.1.2 Area pozos San Francisco.....	32
6.1.2.1 San Francisco - 1.....	32
6.1.2.2 San Francisco - 2.....	33
6.1.2.3 Relación estratigráfica.....	35
6.1.3 Area pozos Manglares.....	36
6.1.3.1 Manglares - 1.....	36
6.1.3.2 Manglares - 2.....	37
6.1.3.3 Relación estratigráfica.....	38
6.1.4 Discusión.....	38
6.2 Análisis fisico-químicos y calidad del agua para riego de los pozos en estudio.....	40
6.2.1 Área Tepeyac.....	41
6.2.2 Área san Francisco.....	42
6.2.3 Área Manglares.....	44
6.3 Producción de caudales de Pozos.....	46
6.3.1 Producción pozos Tepeyac.....	47
6.3.2 Producción pozos San Francisco.....	48
6.3.3 Producción pozos Manglares.....	49
7. CONCLUSIONES.....	50
8. RECOMENDACIONES.....	52
9. BIBLIOGRAFIA.....	54
10. ANEXOS.....	56

INDICE DE FIGURAS

CONTENIDO	PÁGINA
Figura 1. Ciclo hidrológico.....	4
Figura 2. Distribución del agua en el subsuelo.....	6
Figura 3. Ubicación geográfica de la cuenca Río Acomé (MAGA 2006).....	20
Figura 4. Ubicación de pozos analizados.....	26
Figura 5. Estratigrafía pozo Tepeyac 1	27
Figura 6. Estratigrafía pozo Tepeyac 2.....	28
Figura 7. Estratigrafía pozo Tepeyac 3.....	29
Figura 8. Relación entre pozos de Tepeyac.....	31
Figura 9. Estratigrafía pozo San Francisco 6.....	33
Figura 10. Estratigrafía pozo San Francisco 2.....	34
Figura 11. Relación Estratigráfica pozos San Francisco.....	35
Figura 12. Estratigrafía pozo Manglares 1.....	36
Figura 13. Estratigrafía pozo Manglares 2.....	37
Figura 14. Relación Estratigráfica pozos Manglares.....	38
Figura 15. Representación esquemática del ambiente de depositación fluvio-volcánico en donde los sedimentos de arenas se derivan de la cadena volcánica de donde son erosionados, acarreados y depositados aguas abajo por los principales ríos de la zona.....	39
Figura 16. Representación esquemática de un acuífero superficial (<i>perched water table</i>) delimitado en la parte inferior por un horizonte arcilloso (<i>clay layer</i>). Otro acuífero importante podría formarse en correlación directa al nivel basal de escorrentía de ríos o quebradas cercanas(<i>main water table</i>).....	40
Figura 17. Componentes del sistema de bombeo.....	47
Figura 18. Producción mensual promedio en GPM área Tepeyac.....	48
Figura 19. Producción mensual promedio en GPM área San Francisco.....	48
Figura 20. Producción mensual promedio en GPM área Manglares.....	49
Figura 21A. Finca Manglares.....	56
Figura 22A. Finca San Francisco.....	57
Figura 23A. Finca Tepeyac.....	58

INDICE DE CUADROS

CONTENIDO	PÁGINA
Cuadro 1. Datos de porosidad de varias rocas compilados por Fuller, citado por Maderey y Jiménez (2005).....	10
Cuadro 2. Análisis de agua de los pozos del área Tepeyac.....	41
Cuadro 3. Análisis de agua de los pozos del área San Francisco.....	43
Cuadro 4. Análisis de agua de los pozos del área de Manglares	45

1. INTRODUCCIÓN

Un alto porcentaje de los sistemas de riego agrícolas en la Planicie Costera del Pacífico de Guatemala se sustentan en la explotación de los acuíferos subterráneos someros o profundos. Esta es una región que ha sido conformada a lo largo del tiempo por la deposición de material fluvial originado en las partes altas de la zona montañosa y cadena volcánica central que dividen al país en dirección Este – Oeste.

En los últimos años en la mayor parte del territorio la presión sobre el recurso hídrico ha ido en aumento, principalmente para fines de riego y consumo humano, no siendo la excepción la zona costera del pacífico y específicamente la zona baja de la cuenca del río Acomé, en jurisdicción de los municipios de la Gomera y Puerto de San José donde existen una serie de pozos de los cuales se obtuvo información que sirve de base para esta caracterización preliminar de los acuíferos.

La profundidad de estos pozos varía entre los 45.73 y 91.46 metros a través de depósitos fluviales de origen volcánico, principalmente arenas de grano medio a fino derivadas de rocas de composición basáltica, piroclastos, pómez, y en menor cantidad, conglomerados, horizontes de ceniza volcánica y algunos pequeños horizontes arcillosos. En general, los caudales comerciales provienen de los estratos arenosos de grano medio indistintamente de la arena “basáltica” o arena “pomácea”. En promedio, estos pozos tienen una producción alrededor de 3,785 litros por minuto.

El trabajo está orientado a la caracterización de los acuíferos productivos en la parte baja de la cuenca Acomé, en los alrededores del municipio de La Gomera. Se utilizó información de 7 pozos ubicados en 3 sitios, de los cuales se recolectó información estratigráfica cada 3 mts, de caudales y calidad del agua. Se realizaron algunas correlaciones estratigráficas para evaluar la variación lateral de los acuíferos y sus implicaciones en los programas de perforación. Se integró la información de bombeo, caudales y propiedades físico-químicas del agua para emitir algunas conclusiones generales sobre la productividad y calidad hidro-geológica de los acuíferos.

Los pozos estudiados (Tepeyac, Manglares y San Francisco), se encuentran ubicados en un ambiente sedimentario tipo fluvio-volcánico en donde predominan los sedimentos derivados de la erosión y transporte a través de la red hidrológica de rocas volcánicas pertenecientes a la cadena volcánica al norte del área de estudio, estos ambientes de deposición se caracterizan por su alta heterogeneidad tanto en el tipo de depósitos como en su continuidad lateral y vertical. Los depósitos predominantes corresponden a arenas negras de composición basáltica (derivadas de lavas volcánicas) y arenas de colores claros (beige, café, blanca) de composición pomácea (derivadas de rocas volcánicas de caída). En ambos casos, por las características granulométricas y por la poca o nula consolidación de estos depósitos éstos constituirían los acuíferos que están aportando la producción de agua subterránea en los pozos estudiados.

Estos pozos perforados con fines de irrigación para el cultivo de Caña de azúcar, se les mide su rendimiento durante la temporada de riego con un medidor de flujo normalmente de 8" de diámetro instalado en la descarga de los mismos, están equipados con equipos de bombeo tipo Turbinas Verticales, para pozo profundo con ejes lubricados por agua, las acciona un motor de combustión interna diesel que oscilan de 80 a 100 hp

Los análisis físico químicos de las muestras de agua de los pozos en el área de influencia de Tepeyac y San Francisco, se puede concluir que el agua de acuerdo a su ph y C.E. son ligeramente alcalinas y en la zona de influencia de Manglares se incrementa el contenido de sales por lo que el agua es alcalina. En las tres zonas se encuentran dentro del rango de clasificación clase C 2 (aguas de salinidad media). Por la relación de adsorción de sodio (RAS), el agua proveniente de los pozos de la zona de Manglares presentan altos contenidos de sodio y está dentro del rango de clasificación S 3 (agua alta en sodio), a diferencia de la zona de influencia de los pozos de San Francisco y Tepeyac que por su índice de RAS se clasifican como agua clase S 1 (agua baja en sodio),

2. DEFINICIÓN DEL PROBLEMA

En Guatemala no se encuentran muchos estudios que caractericen acuíferos para el aprovechamiento en riego en la producción agrícola. El agua subterránea de los acuíferos representa un recurso de suma importancia para el desarrollo socio económico de su área de influencia, pudiendo ser utilizadas para el abastecimiento público, riego e industria. Varias son las razones que explican el importante y esencial papel de las aguas subterráneas, cuando se le compara con aguas superficiales especialmente por su disponibilidad bajo explotación actual y posibilidad de hacer un uso racional de las mismas. La información que se genera es de vital importancia y de beneficio para las actividades productivas que se encuentren dentro del área de estudio, ya que será la base para manejar adecuadamente los recursos hídricos disponibles en función de las características del potencial de las tierras con énfasis en la producción agrícola bajo riego.

3.1.2 Cuenca Hidrográfica

La cuenca hidrográfica se concibe como un sistema natural dinámico compuesto de elementos; biológicos, físicos y antrópicos que reaccionan dialécticamente entre sí, creando por lo tanto un conjunto único e inseparable en permanente cambio. Esto fundamentalmente nos ha conducido a entender que la cuenca hidrográfica puede distinguirse bajo dos marcos principales: Un marco biofísico que la define conceptualmente como tal, y un marco político referido fundamentalmente a su manejo, rehabilitación y ordenamiento (CATIE 1993) citado por Herrera (Herrera Ibáñez 1995).

3.1.3 Agua Subterránea

El agua subterránea es la que se encuentra dentro de la litosfera. A la parte de la hidrología que se ocupa del agua subterránea se le da el nombre de hidrogeología, y aunque algunos autores también la llaman geohidrología, cabe mencionar que ésta se dedica exclusivamente a la hidráulica subterránea (Herrera Ibáñez 1995).

La hidrogeología estudia al agua subterránea, desde su origen, su movimiento, su distribución debajo de la superficie de la Tierra y su conservación. Por lo que se refiere a la presencia del agua en el subsuelo, se ha comprobado que la mayor parte del agua subterránea se debe a la infiltración de agua de lluvia, aunque también hay agua subterránea debida a otros fenómenos como el magmatismo y el volcanismo (aguas juveniles) y las que resultan al quedar atrapadas en los intersticios de rocas sedimentarias en el momento en que se depositan éstas (aguas fósiles), pero su cantidad no es considerable en relación con las que provienen de la infiltración (Montaño Xavier 2006).

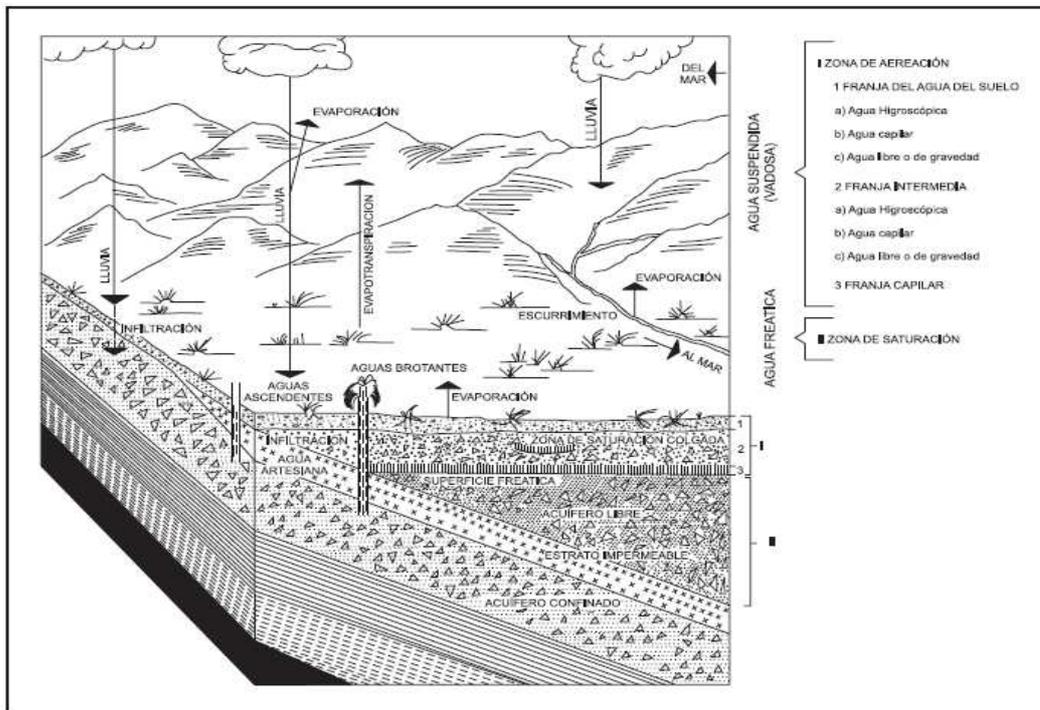
3.1.4 Relación entre agua subterránea y agua superficial

La relación entre el agua superficial con un acuífero subyacente es un componente importante de la caracterización de sistemas de agua subterránea. Es importante distinguir entre arroyos y ríos de los que depende un acuífero como fuentes significativas de su recarga total, y ríos que a su vez dependen significativamente de la descarga de un acuífero para mantener su flujo en estiaje (Fosterl et al, 2006).

3.1.5 Importancia de la reposición de un acuífero

El conocimiento de las tasas contemporáneas de recarga de los acuíferos es fundamental para la sustentabilidad del aprovechamiento de los recursos de agua subterránea. Además, es esencial para la gestión integrada de los recursos hídricos comprender los mecanismos de recarga de los acuíferos y su interacción con el uso del suelo (Fosterl et al, 2006).

No obstante, la cuantificación de la recarga natural está sujeta a dificultades metodológicas, deficiencias de datos e incertidumbres resultantes significativas debido a la gran variabilidad espacial y temporal de los eventos de precipitación y escurrimiento; la importante variación horizontal de los perfiles del suelo y de las condiciones hidrogeológicas. Sin embargo, para efectos prácticos, es suficiente hacer estimaciones y afinarlas posteriormente por medio del monitoreo y el análisis de la respuesta de los acuíferos a la extracción a mediano plazo (Cruz et al, 1998).



Fuente: Uso de aguas subterráneas, Cruz et al, 1998

Figura 2. Distribución del agua en el subsuelo

3.1.6 Distribución del agua en el subsuelo

En condiciones normales, la distribución de agua en el subsuelo ha sido dividida en dos zonas: la de aireación, también conocida como zona vadosa o no saturada y la de saturación (Cruz et al, 1998).

3.1.6.1 Zona de aireación

La *zona de aireación* comprende a su vez tres franjas: la del agua del suelo, la intermedia la capilar. Hay ocasiones en que esta primera franja no existe (Maderey et al, 2005).

A) En la *franja del agua del suelo* se encuentran tres tipos de agua:

- a) *Agua higroscópica*. Es la que el suelo absorbe y pasa a formar películas muy delgadas alrededor de las partículas que lo forman.
- b) *Agua capilar*. Es la que existe en los intersticios del suelo debido a fenómenos de capilaridad. Esta es el agua que aprovechan muchas plantas para satisfacer sus necesidades.
- c) *Agua libre o de gravedad*. Es la que se mueve bajo la influencia de la gravedad, una vez satisfecha la humedad del suelo.

B) En la *franja intermedia* el espesor varía desde cero hasta varios metros; es la que comunica a la franja del agua del suelo con la capilar. El agua aquí existente se debe a fuerzas higroscópicas, capilares y de gravedad.

C) La *franja capilar* es una capa humedecida por el agua que asciende de la zona de saturación debido a fenómenos capilares.

Al agua contenida en la zona de aireación se le conoce con el nombre de *agua suspendida*, ésta es el *agua vadosa*, es decir, agua infiltrada que se dirige hacia el manto freático (Maderey et al, 2005).

3.1.6.2 Zona de Saturación

En la *zona de saturación* se encuentra el agua subterránea propiamente dicha. En esta región el movimiento del agua es más lento debido a que todos los poros e intersticios se encuentran ocupados por ella, y es de aquí de donde se extrae el agua para los diversos usos que le da el hombre. La capa saturada es el *manto freático*, y la parte superior de ésta, es decir, el límite de la zona libre del agua que ocupa esta región, es la *superficie freática* que, por lo general, sigue débilmente las ondulaciones del terreno. Al agua que llega a esta zona se le llama *agua freática* (Maderey Rascón y Jiménez Román 2005).

La parte inferior de la zona de saturación está compuesta por una capa impermeable, la cual impide que el agua siga descendiendo. Puede suceder que haya otras zonas de saturación de menor extensión sobre la principal, en cuyo caso se les llama *zonas de saturación colgadas*. El agua se mueve hacia el manto freático por *filtración*, una vez en él, el movimiento lento que adquiere al llegar a la zona de saturación se llama *percolación*.

El movimiento del agua subterránea está controlado por tres fuerzas principales, la de gravedad, la de atracción molecular y la de diferencias de densidad, producto de variaciones importantes de temperatura que existen al interior del subsuelo, interviniendo de manera especial la estructura de las formaciones geológicas (Maderey Rascón y Jiménez Román 2005).

Las formaciones geológicas según su aptitud para contener y dejar pasar el agua a través de su masa reciben distintos nombres:

- a) *Acuíferos*. Son formaciones, partes de una formación o conjunto de formaciones geológicas, que permiten al agua moverse a través de ellas bajo condiciones ordinarias y son capaces de suministrarla por gravedad, o por bombeo en la calidad requerida.
- b) *Acuiclerres o acuitardos*. Son formaciones capaces de contener agua, pero incapaces de transmitirla en cantidades suficientes como para su captación o formación de manantiales importantes.
- c) *Acuífugos*. Son formaciones impermeables que no absorben ni transmiten agua (Maderey et al, 2005).

3.1.7 Factores que condicionan la presencia y el movimiento del agua subterránea

La presencia y el movimiento del agua subterránea están condicionados por ciertos factores entre los que se cuentan como más importantes la precipitación, la forma del terreno, la geología y la presencia o ausencia de vegetación (Martín et al, 2007).

3.1.7.1 Precipitación

Es importante considerar a la precipitación, si se toma en cuenta que la mayor parte del agua del subsuelo proviene de la infiltración de la lluvia. Las zonas lluviosas constituyen, en mayor o menor grado, zonas de alimentación del agua subterránea, por lo que en las zonas secas el agua subterránea no proviene de la infiltración directa, procede de regiones lejanas o cercanas, en donde la lluvia se infiltra y llega lentamente hasta ellas. La precipitación es muy importante en dos aspectos, en su cantidad y en su duración (Martín et al, 2007).

3.1.7.2 Forma del terreno

Este aspecto interesa a la hidrología tanto superficial como subterránea, ya que el relieve da lugar a la formación de las cuencas hidrográficas, indicando así el camino que seguirá el agua al caer a la superficie.

Por lo que se refiere a la hidrogeología, la forma del terreno es importante, porque el agua tendrá mayor o menor oportunidad de infiltrarse y, además, porque el agua infiltrada va a seguir una trayectoria determinada por dicho factor; así, en una región montañosa la pendiente del terreno por una parte, dará más facilidad al agua para escurrir que para infiltrarse y, por otra, el agua que llegue a la zona de saturación tendrá un movimiento hacia las zonas más bajas en donde el movimiento del agua será más lento y facilitará su acumulación, o también, según la constitución del terreno, el agua puede salir en forma de manantiales en las laderas de las montañas. En una zona más o menos plana el agua tendrá mayor oportunidad de infiltrarse y habrá más facilidad de encontrar depósitos mayores de agua subterránea, ya que ahí se tiene tanto el agua infiltrada localmente como la descarga de regiones montañosas vecinas.

Las formas del terreno son fundamentales, pues en general las partes altas constituyen zonas potenciales de recarga y las bajas de descarga del flujo de agua subterránea. Las corrientes fluviales pueden influir en el aumento de agua del subsuelo, especialmente en la época de lluvia. Las zonas de descarga, además de manantiales, pueden estar representadas por cuerpos de agua, humedales, suelos salinos, entre otros (Martín et al, 2007).

3.1.7.3 Geología

El aspecto geológico desempeña un papel muy importante en la hidrogeología, ya que la velocidad de movimiento depende de la estructura y composición litológica de las formaciones, para que el agua pueda transitar por el subsuelo. Las diferentes formaciones poseen ciertas propiedades que son definitivas para poder constituir buenos acuíferos. Estas propiedades son la porosidad y la permeabilidad (o más estrictamente la conductividad hidráulica) (Martín et al, 2007).

La *porosidad* es la particularidad que tiene un material geológico de contener intersticios y su valor se da en porcentaje, que indica el volumen del material ocupado por dichos intersticios. Se ha considerado que una porosidad inferior al 5% es baja, entre el 5 y el 20% es media y más del 20% es alta. La porosidad se puede aplicar a material granular o a material fracturado, incluso existen materiales granulares compactos que se encuentran fracturados y presentan lo que se llama *doble porosidad*, como por ejemplo una toba de piroclastos consolidada y fracturada (Maderey et al, 2005).

Cuadro 1. Datos de porosidad de varias rocas compilados por Fuller, citado por Maderey y Jiménez (2005).

Roca	Porosidad media (%)	Tipo
Granito, esquisto, gneis	0.16	Fracturas
Pizarra	3.95	Fracturas
Carbonatada	53.00	Cárstico
Arena Uniforme	35.00	Granular
Arena Mixta	38.00	Granular
Arcilla	45.00	Granular
Suelos	55.00	Granula

La *permeabilidad* es la facilidad que tiene un material geológico para dejar pasar cualquier fluido, en este caso el agua, a través de los intersticios. Cuando el fluido es agua, se considera más adecuado emplear *conductividad hidráulica*, concepto que incorpora la densidad y viscosidad del agua. Se han diferenciado dos clases de permeabilidad: la *permeabilidad continua, en pequeño o conductividad hidráulica de medios granulares*, que es la que se presenta cuando los poros o intersticios están comunicados entre sí y la *permeabilidad localizada, en grande o de medios fracturados*, que se presenta cuando el agua se mueve a través de fisuras y grietas de las rocas (Maderey Rascón y Jiménez Román 2005).

Como se ve, no basta que las formaciones o materiales geológicos tengan un alto porcentaje de porosidad, sino además es necesario que sus poros o fracturas estén intercomunicados. En cuanto a usar permeabilidad como un adjetivo (Maderey et al, 2005).

A) Materiales permeables

Muy permeables: lavas cavernosas, gravas, arenas gruesas. Permeables: arenas finas, conglomerados, areniscas, calizas no muy fracturadas. Poco permeables: gravas con arcillas, margas, calizas margosas (Maderey et al, 2005).

B) Materiales impermeables

Aunque en forma estricta no hay materiales totalmente impermeables, pues dependen de la escala geográfica considerada, se puede anotar lo siguiente: Impermeables: pizarras cristalinas, areniscas antiguas, calizas cristalinas, calizas compactas no cavernosas, cuarcitas. Muy impermeables: granitos y rocas en masa, pizarras arcillosas, gneis, arcillas (Maderey et al, 2005).

3.1.7.4 Vegetación

Es un factor que en partes topográficamente altas influye en la infiltración y, por lo tanto, contribuye a la recarga del agua subterránea. El suelo, hidrogeológicamente hablando, está estrechamente ligado con la cubierta vegetal. Las raíces de las plantas y los animales propios del suelo lo horadan haciéndolo más poroso y dándole así oportunidad al agua para pasar a través de él. La vegetación puede facilitar la infiltración aun en los suelos duros y arcillosos (Maderey et al, 2005).

En lo que respecta a este factor, es interesante hacer alusión a la existencia de ciertos tipos de plantas que se alimentan de la descarga del agua subterránea, que no pertenecen a un género o familia en especial, sino que su única característica en común es que satisfacen sus necesidades extendiendo sus raíces hasta el manto freático. A este grupo peculiar de plantas se le ha dado el nombre de *freatofitas*, pueden servir como indicadores de la presencia de agua subterránea e inclusive de la calidad de la misma. Suelen presentarse en las márgenes de los ríos y son propias de regiones semiáridas, donde el agua subterránea aflora en forma permanente, no dependiendo de la precipitación directa en el área. Es muy grande la cantidad de agua que utilizan y, por tanto, la cantidad que se va a la atmósfera por evapotranspiración, pero no es conveniente eliminarlas por completo precisamente porque protegen al suelo de la erosión, sin embargo, se han ideado medios para reducir su metabolismo y evitar tanta pérdida de agua subterránea por evapotranspiración (Maderey et al, 2005).

3.1.8 Movimiento o flujo del agua subterránea

Un sistema hidrológico en el que se considera que el agua subterránea fluye en forma horizontal, y en el cual normalmente la información hidrológica se utiliza para describir un sistema estático en un medio geológico considerado equivalente a un medio granular con propiedades (porosidad y permeabilidad), cuyo valor es igual en todas direcciones; rara vez se presenta en el medio natural. Un sistema hidrológico subterráneo dinámico es más representativo de la realidad y las investigaciones en este campo toman en cuenta el movimiento vertical del agua subterránea.

En acuíferos de gran espesor (1 000 m o más), el flujo vertical controla el movimiento del agua subterránea, control que marca un comportamiento particular en las zonas de extracción por pozos, en especial en las zonas de recarga (hacia abajo) y en las de descarga (hacia arriba) (Krásny et al, 1998).

Si se detiene por un instante el flujo de agua subterránea, se puede estimar la forma de su movimiento en el plano horizontal y en el plano vertical, lo que resultará en la definición de áreas de recarga y áreas de descarga. Existen tres sistemas principales de flujo de agua subterránea que se establecen de acuerdo con la topografía y al marco geológico presente: local, intermedio y regional. Una topografía abrupta producirá varios sistemas locales, en cada topografía el agua entra y sale en el mismo valle. En algunos casos parte del agua de recarga podrá descargar en otro valle localizado a un nivel topográfico menor, esto definirá un sistema intermedio. Los sistemas regionales se desarrollan a mayor profundidad y van de las partes más altas a las zonas de descarga más bajas de la cuenca (Krásny et al, 1998).

Todos estos flujos, en un ambiente natural, mantienen un recorrido separado, al igual que las corrientes marinas o las aguas de dos ríos antes de confluir para formar otra. Las zonas de recarga y descarga están estrictamente controladas por un flujo vertical con una componente de movimiento hacia abajo y hacia arriba, respectivamente. El despreciar estas componentes de flujo vertical del agua subterránea ha generado impactos ambientales serios y algunas veces irreversibles (Krásny et al, 1998).

3.1.9 Prospección del agua subterránea

La prospección o búsqueda de sitios idóneos donde extraer el agua subterránea se hace por medio del estudio de las estructuras geológicas, de la vegetación, de los suelos, de la calidad del agua, de la posición de manantiales y de la topografía, y también a través de la perforación de pozos de prueba. Cuando en una zona se han agotado las posibilidades en cuanto a la mejor localización de un acuífero, se recurre a *métodos geofísicos*, métodos indirectos complementarios entre sí:

- a) *Eléctrico*. Se emplea desde la superficie en forma de sondeos de resistividades. Con solo introducir adecuadamente una corriente eléctrica al suelo, se pueden determinar los lugares de mayor probabilidad para alumbrar agua y la profundidad de las capas que por su resistividad sean aparentemente mejores como unidad acuífera (Causapé Valenzuela 2007).
- b) *Gravimétrico*. Es de gran aplicación cuando se trata de grandes extensiones de terreno, ya que determina unidades geológicas con una densidad contrastante. No es muy empleado en estudios hidrogeológicos por su carácter de estudio de gran extensión. Se basa en la medida, desde la superficie, de las variaciones o anomalías de la gravedad, reflejo del material que se encuentra a profundidad (una caliza presentará más densidad que una arena sin compactar). Por medio de mediciones gravimétricas se calcula la densidad de las rocas, que variará de más densa a menos densa (Causapé Valenzuela 2007).
- c) *Método sísmico*. Es el método más costoso. Identifica, igual que el anterior, estructuras, anticlinales, sinclinales, etc., pero con mucha mayor precisión y además determina profundidades de las rocas, tipo de roca, etc. Consiste en producir, bajo la superficie, un foco de energía sísmica por explosión de una carga de dinamita. Las interpretaciones se basan en la onda longitudinal que es la más rápida y se refleja contra unas capas y se refracta al encuentro de otras. Las velocidades sísmicas identifican las rocas con las que chocan las ondas (Causapé Valenzuela 2007).

3.1.10 Rendimiento seguro de un acuífero

Todo el flujo de agua subterránea tiene que descargar en alguna parte, y la extracción reducirá estas descargas, pero la fuente del agua subterránea que se bombea puede ser compleja. El llamado 'rendimiento seguro' está claramente acotado por la tasa promedio de recarga actual a largo plazo de los acuíferos, aunque también debe considerarse juicios de valor sobre la importancia de mantener algunas de las descargas naturales del sistema acuífero, y el uso consuntivo y la exportación a otras cuencas, a diferencia de usos locales no consuntivos que generan un efluente a nivel local (Miranda 1999).

3.1.11 Acuífero sobreexplotado

El término “sobreexplotación de acuíferos” es una expresión emotiva que no representa una definición científica rigurosa, pero también es un término que los gerentes de recursos hídricos deben seguir usando, pues es ampliamente conocido a nivel público y político. Algunos consideran que un acuífero está sobreexplotado cuando sus niveles de agua subterránea muestran pruebas de descenso continuo a largo plazo (Montaño Xavier 2006).

3.2 Marco Referencial

3.2.1 Ubicación geográfica

La cuenca baja del río Acomé, está situada en jurisdicción del departamento de Escuintla. Pertenece a la vertiente del océano pacífico, está delimitada por las coordenadas geográficas 13°54'00'' y 14°22'00'' de latitud Norte; 91°57'00 y 91°13'00'' de longitud Oeste, la altitud se encuentra entre los 0 – 625 msnm aproximadamente. El área total de la cuenca es de 821.26 km². Se encuentra entre las cuencas de los ríos Achiguate y Coyolate (Salguero Barahona 2002).

3.2.2 Hidrografía y relieve

La cuenca del río Acomé está ubicada en la vertiente del Océano Pacífico y el cauce principal es el río del mismo nombre, aunque cabe mencionar que paralelo a este se ubica el río Coyolate, que tiene longitud similar al Acomé, pero con menos cauces tributarios y que se une al Acomé en la parte baja de la cuenca. La desembocadura del sistema de cauces de agua superficial de esta cuenca es en su gran mayoría, el Canal de Chiquimulilla, el cual colecta toda la escorrentía para luego desembocar en el Océano Pacífico (Salguero Barahona 2002).

Los cauces superficiales de esta cuenca, se caracterizan por desplazarse en pendientes fuertes desde su nacimiento, lo cual determina que en época lluviosa tomen régimen torrencial, y a la vez transporten gran cantidad de sedimentos, principalmente materiales volcánicos recientes.

A una altura de 300 msnm aproximadamente, existe un cambio de pendiente donde esta pasa fuerte a moderada, en todo este trayecto se ha producido erosión del cauce principal, con arrastre de materiales de origen volcánico de gran tamaño. A partir de la altura de 100 msnm la pendiente sufre un cambio y pasa de moderada a leve y desde este punto hasta su desembocadura del río arrastra materiales de menor tamaño y el hecho del río es preferentemente arenoso. Además del relieve del área, el cual es plano en la parte baja, con pendiente de 0 – 1% y la parte alta es moderadamente inclinada, con pendientes 3 – 7% (Salguero Barahona 2002).

3.2.3 Zonas de Vida y Clima

En la cuenca del río Acomé se encuentran 3 zonas de vida según la clasificación de Holdridge, las zonas de vida a nivel de reconocimiento de la República de Guatemala son: Bosque seco subtropical (bs-S), Bosque húmedo subtropical (cálido) (bh-st)(c)), Bosque muy húmedo subtropical (cálido) (bmh-st (c)). Las características climáticas de la región contemplan una temperatura media anual del 27 a 28 grados centígrados, con una precipitación promedio de 2000 a 4000 mm anuales (Holdridge 1979) (Salguero Barahona 2002).

3.2.4 Suelos

El material sobre el cual se han desarrollado los suelos de la zona cañera de Guatemala, está constituido principalmente por cenizas, lapilli, pómez y otros materiales piroclásticos, aportados por las erupciones volcánicas ocurridas en diferentes épocas, principalmente durante la Cuaternaria. Estos materiales de cenizas han sido transportados por el viento o removidos por las aguas de escorrentía y luego transportados por los ríos que descienden de la montaña, formando depósitos recientes o antiguos, gruesos o delgados, según como haya sido la dinámica eólica o aluvial durante el depósito y la relación con las emisiones volcánicas de los piroclásticos (MAGA, DIGESA Y DIRYA 1991).

Los suelos de la región según Simmons, pertenecen a los suelos del litoral del Pacífico, los cuales son suelos arenosos bien drenados de origen volcánico de la clasificación Mollisoles y Andisoles.

Los suelos de orden Mollisoles están asociados con los suelos Andisoles y se distinguen por su buen drenaje, por su textura franca a más gruesa y por sus subsuelos café; el suelo superficial, a una profundidad aproximada de 35 cm, es franco de café oscuro a café muy oscuro; el contenido de materia orgánica es alrededor del 5 al 10%; la estructura es granular fina poco desarrollada y la reacción es neutra, pH alrededor de 7.0 (Dell 1995) (MAGA, DIGESA Y DIRYA 1991).

3.2.5 Regiones Hidrogeológicas de Guatemala

Guatemala, desde el punto de vista hidrogeológico puede ser dividido en cuatro distintas regiones, aproximadamente coincidentes con las mayores provincias, que son:

- Llanuras aluviales de la Costa del Pacífico
- Altiplano Volcánico
- Tierras Altas Cristalinas
- Región sedimentaria septentrional

La parte baja de la cuenca del río Acomé se encuentra dentro de la región fisiográfica Llanuras aluviales de la Costa del Pacífico (MAGA, DIGESA Y DIRYA 1991).

3.2.5.1 Llanuras aluviales de la Costa del Pacífico

Están constituidas exclusivamente por depósitos aluviales cuaternarios, que se extienden a lo largo de toda la costa del Pacífico de Guatemala, por una longitud de unos 260 km y con un ancho de entre 10 y 60 km hasta una elevación máxima alrededor de 300 msnm en la parte más ancha. Esta región tiene un clima que la clasifica como zona calidad seca, con bosque seco subtropical en la parte Sur, donde hay precipitaciones anuales entre 500 y 1000 mm y temperaturas medias entre 19 y 26 grados centígrados, y zona cálida húmeda, con bosque húmedo subtropical cálido en la parte norte, donde hay precipitaciones anuales entre 1200 y 2000 mm y una temperatura de 27 grados centígrados promedio anual.

Las precipitaciones están distribuidas en un período de tiempo de aproximadamente seis meses, de mayo hasta noviembre (MAGA, DIGESA Y DIRYA 1991).

3.2.6 Unidad Hidrogeológica Aluviones Cuaternarios

Esta unidad está constituida por los depósitos aluviales cuaternarios (marcados Qa en el mapa geológico) que están bastante representados en todo el país. Los depósitos más importantes se encuentran en las llanuras del pacífico donde cubren prácticamente toda la región extendiéndose sobre una superficie de unos 7500 km² aproximadamente, formando una serie de abanicos interconectados entre ellos con terrazas de varias órdenes. Litológicamente los depósitos aluviales están formados por materiales de varios tamaños como gravas, arenas y arcillas, procedentes de la erosión de los depósitos volcánicos cuaternarios y terciarios del Altiplano. Los espesores son generalmente muy elevados, siendo reportados pozos que han llegado hasta 200 metros de profundidad (departamento de Escuintla) sin haber encontrado la base (MAGA, DIGESA Y DIRYA 1991).

Los depósitos aluviales cuaternarios constituyen casi siempre un acuífero con porosidad primaria, de muy buena productividad, con valores generalmente elevados de transmisibilidad y almacenamiento, la calidad de las aguas subterráneas contenida en los depósitos aluviales es generalmente buena, sea para fines potables como para riego (MAGA, DIGESA Y DIRYA 1991).

3.2.7 Potencial de Aguas Subterráneas por Cuencas Hidrográficas

El territorio de la República de Guatemala está subdividido en 38 cuencas hidrográficas que están distribuidas como sigue:

- a) Cuencas que drenan hacia el Océano Pacífico, (18 cuencas) con una superficie total de 23990 km² y que cubren en su totalidad la llanura aluvial de la Costa del Pacífico, abarcando también en sus cabeceras, parte del Altiplano Volcánico.
- b) Cuencas que drenan hacia el mar del Caribe, (10 cuencas) con una superficie total de 34,259 km², localizadas en una pequeña parte en la región del Altiplano Volcánico y de las Tierras Altas Cristalinas y en su mayoría en las Tierras Bajas del Petén.

- c) Cuencas que drenan hacia el Golfo de México, (10 cuencas) con una superficie total de 50,640 km², localizadas por una pequeña parte en el Altiplano Volcánico y en las Tierras Altas Cristalinas, y por su mayoría en la región de las Tierras Bajas del Petén. (MAGA, DIGESA Y DIRYA 1991).

3.2.7.1 Cuencas de la Vertiente del Pacífico

Todas las cuencas de la vertiente del pacífico tienen características hidrogeológicas bastante similares entre ellas, por lo que pueden ser tratadas todas conjuntamente. En efecto, la mayoría de estas cuencas están constituidas en la parte más alta, perteneciente al Altiplano Volcánico, por las unidades hidrogeológicas depósitos piroclásticos cuaternarios, lavas cuaternarias y, lavas y tobas terciarias; mientras que en las partes más bajas están constituidas casi exclusivamente por la unidad hidrogeológica aluviones cuaternarios, constituyendo las cuatro unidades acuífero de buena a muy buena potencialidad (MAGA, DIGESA Y DIRYA 1991).

En todas las cuencas hay muy buenas posibilidades de encontrar y desarrollar las aguas subterráneas, que pueden ofrecer la oportunidad real de ser utilizadas en gran cantidad, especialmente en las partes más bajas de las cuencas, donde el drenaje natural hace confluir gran parte de ellas. En la parte más alta de las cuencas, en el altiplano Volcánico, las mejores condiciones para la acumulación de grandes cantidades de aguas subterráneas explotables se realizan en los valles mayores, en donde hay extensos rellenos de depósitos piro clásticos que descansan, generalmente sobre lavas y tobas terciarias (MAGA, DIGESA Y DIRYA 1991).

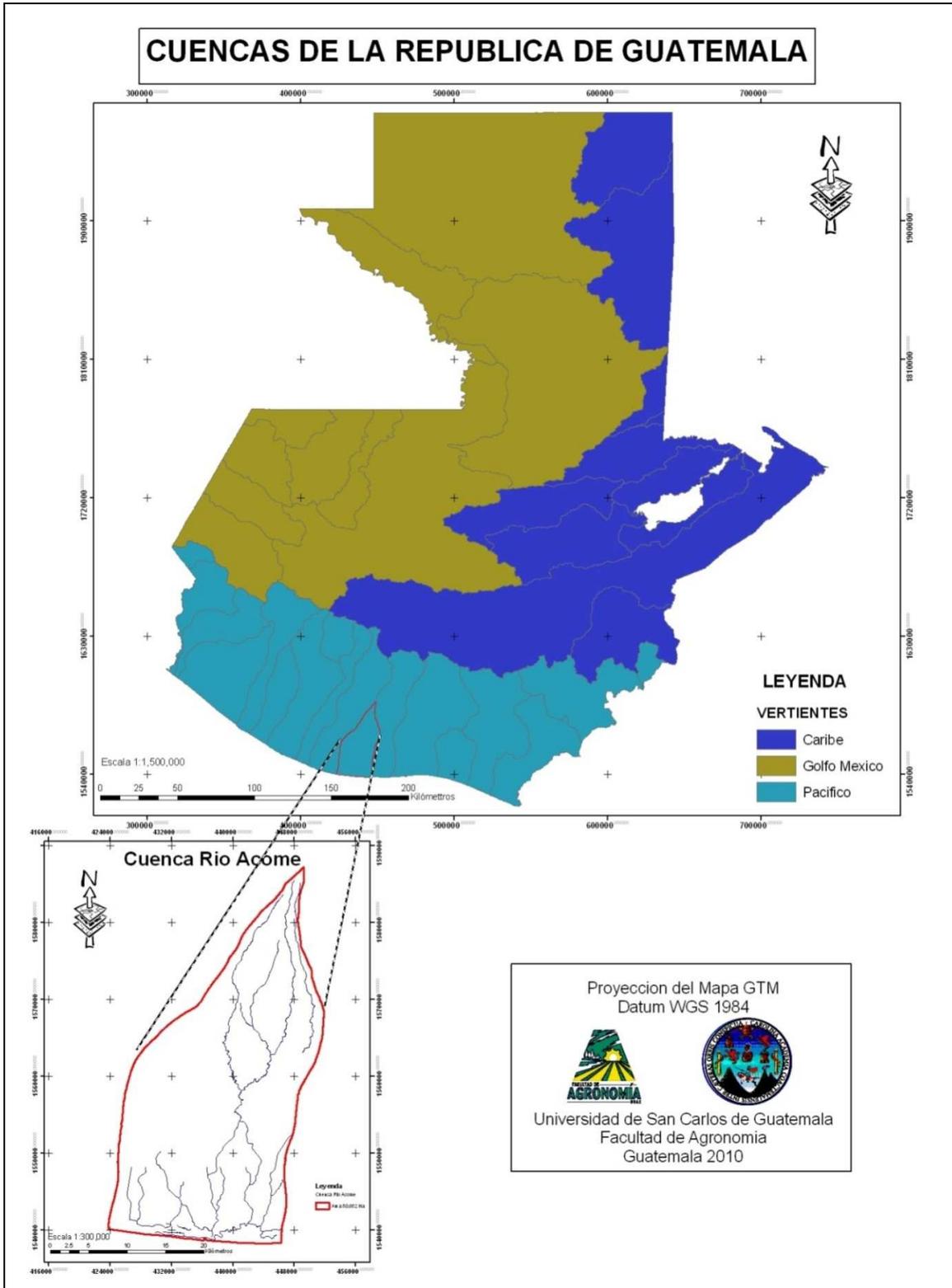


Figura 3. Ubicación geográfica de la cuenca Río Acomé (MAGA 2006).

4 OBJETIVOS

4.1 Objetivo General

Caracterización del acuífero para riego agrícola en la parte baja de la cuenca del río Acomé. La Gomera, Escuintla

4.2 Objetivo Específicos

- Describir geológica y estratigráficamente los pozos de estudio.
- Analizar los resultados físico-químicos de calidad del agua en los pozos de estudio.
- Caracterizar los acuíferos en los pozos de estudio desde el punto de vista hidrogeológico, estratigráfico y productivo.

5 METODOLOGÍA

5.1 Fase inicial de gabinete

En esta fase se recopiló toda información básica secundaria para llevar a cabo la elaboración del documento, principalmente del área de estudio (información geológica, hidrológica y fisiográfica). Ya con la recopilación de la información obtenida, se procedió al análisis respectivo para la elaboración de este documento.

5.2 Elaboración de base de datos geológica y estratigráfica

Se describieron las muestras de los pozos, obtenidas de los pozos de interés a un intervalo de cada 10 pies. Se puso en especial énfasis en el tipo de material, granulometría y características físicas. Con esta información se elaboró la tabla estratigráfica de cada uno de los pozos de interés. Esta información fue importante para el punto de partida, para los análisis de correlación estratigráfica entre pozos de la misma área.

5.2.1 Metodología para la elaboración de las tablas estratigráficas de pozos de agua

5.2.1.1 Datos de entrada

Se utilizan las muestras de canales obtenidas durante la perforación de cada uno de los pozos a intervalos de cada 10 pies de profundidad. Las muestras son recolectadas, lavadas y colocadas en bolsas plásticas rotulando la profundidad a la que corresponden.

5.2.1.2 Procedimiento de análisis.

Las muestras de canales son analizadas bajo la lupa de 10 a 20 X recalcando en la descripción y análisis de las principales características, entre éstas:

- **tipo de componentes:** fragmentos rocosos, materia orgánica, minerales, etc. estimando un porcentaje relativo de contenido de cada uno de los componentes principales,
- **color:** se describe el color y la textura de cada uno de los componentes principales,
- **granulometría:** estimando el tamaño de cada uno de los componentes en milímetros para clasificarlo como grano grueso, medio, fino o muy fino.

5.2.1.3 Elaboración de las tablas estratigráficas.

La información litológica de cada pozo se ordena en un formato predeterminado que incluye la profundidad a escala, la simbología para cada uno de los componentes y la descripción de cada componente. En el encabezado de cada tabla estratigráfica se consigna la información del nombre, ubicación y profundidad total del pozo, finca y proyecto al que pertenece y operadores de perforación. Para la elaboración de las tablas utilizadas en el presente estudio se ha utilizado el programa LogPlot v.7 de Rockware Utilities (<http://www.rockware.com/product/overview.php?id=176>).

5.2.2 Metodología para la correlación estratigráfica de pozos de agua.

5.2.2.1 Datos de entrada.

Se utilizan las tablas estratigráficas de los pozos de interés. Por la heterogeneidad en ambientes de depositación fluviales como las que se encuentran los pozos de la parte baja de la cuenca, se han elaborado correlaciones entre pozos ubicados a distancias no mayores de 10 kilómetros.

5.2.2.2 Procedimiento de análisis.

Los pozos se orientan a lo largo de una sección transversal cuyo largo depende de la distancia entre pozos. Se ubica una altitud o *datum* con referencia al cual se ubican en el plano vertical los pozos de interés. La distancia y ubicación de cada uno de los pozos sirve para determinar una escala adecuada para representar la sección transversal total.

Habiendo ubicado los pozos en ambos planos, horizontal y vertical, se procede a interpretar la presencia de unidades litológicas comunes o similares entre cada uno de los pozos en los diferentes niveles de profundidad. Las características litológicas y profundidades de estas unidades permiten interpretar la ubicación de los acuíferos primarios y secundarios.

5.2.2.3 Representación final.

Las tablas estratigráficas correlacionadas en la sección transversal se presentan en una sola figura incluyendo la información original de cada tabla, el *datum* vertical de referencia, las interpretaciones de los acuíferos y descripciones técnicas sobre las interpretaciones.

5.3 Fase de Campoⁱ

5.3.1 Elaboración de análisis físico-químicos de calidad del agua

5.3.2 Caracterización del acuífero cualitativamente

Se integró la información geológica, estratigráfica y físico-química para determinar las propiedades generales de los acuíferos en términos de su potencial hidrogeológico, su productividad y sus características estratigráficas. La información se compiló en formatos de registro (well logs) para su presentación gráfica y fácil entendimiento. Las correlaciones entre pozos se realizaron en forma manual con la información de cada pozo.

5.3.3 Caracterización del acuífero cuantitativamente

Durante el periodo de noviembre del 2009 a mayo del 2010 se monitoreo el caudal producido por los pozos en estudio por medio de un medidor de flujo de 203 mm (8") de diámetro el cual se puede ver el esquema de funcionamiento e instalación en la figura 17, este medidor a la vez es un totalizador de metros cúbicos por día, de esto se llevo un registro y se elaboraron graficas lineales para representar los resultados.

5.4 Fase de laboratorio

Las 11 muestras tomadas de los pozos bajo estudio (Tepeyac, Manglares y San Francisco) se procedieron a enviarlas a un laboratorio para que realizaran su respectivo análisis físico-químico, dichas muestras fueron tomadas durante el periodo de operación de estos sistemas de bombeo que es entre noviembre y mayo.

5.5 Fase final de gabinete

Se procedió a la tabulación de los resultados obtenidos en campo y en el laboratorio para realizar su discusión de los mismos en el período de Mayo a Octubre.

6 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

6.1 Descripción estratigráfica y correlaciones estratigráficas de los pozos de interés

6.1.1 Descripción del área de los pozos de Tepeyac

Como puede verse en la Figura 4. Mapa de Ubicación del área de interés, los pozos Tepeyac se encuentran ubicados aproximadamente a 10 kilómetros al oeste de La Gomera, Escuintla. La estratigrafía individual se describe a continuación.

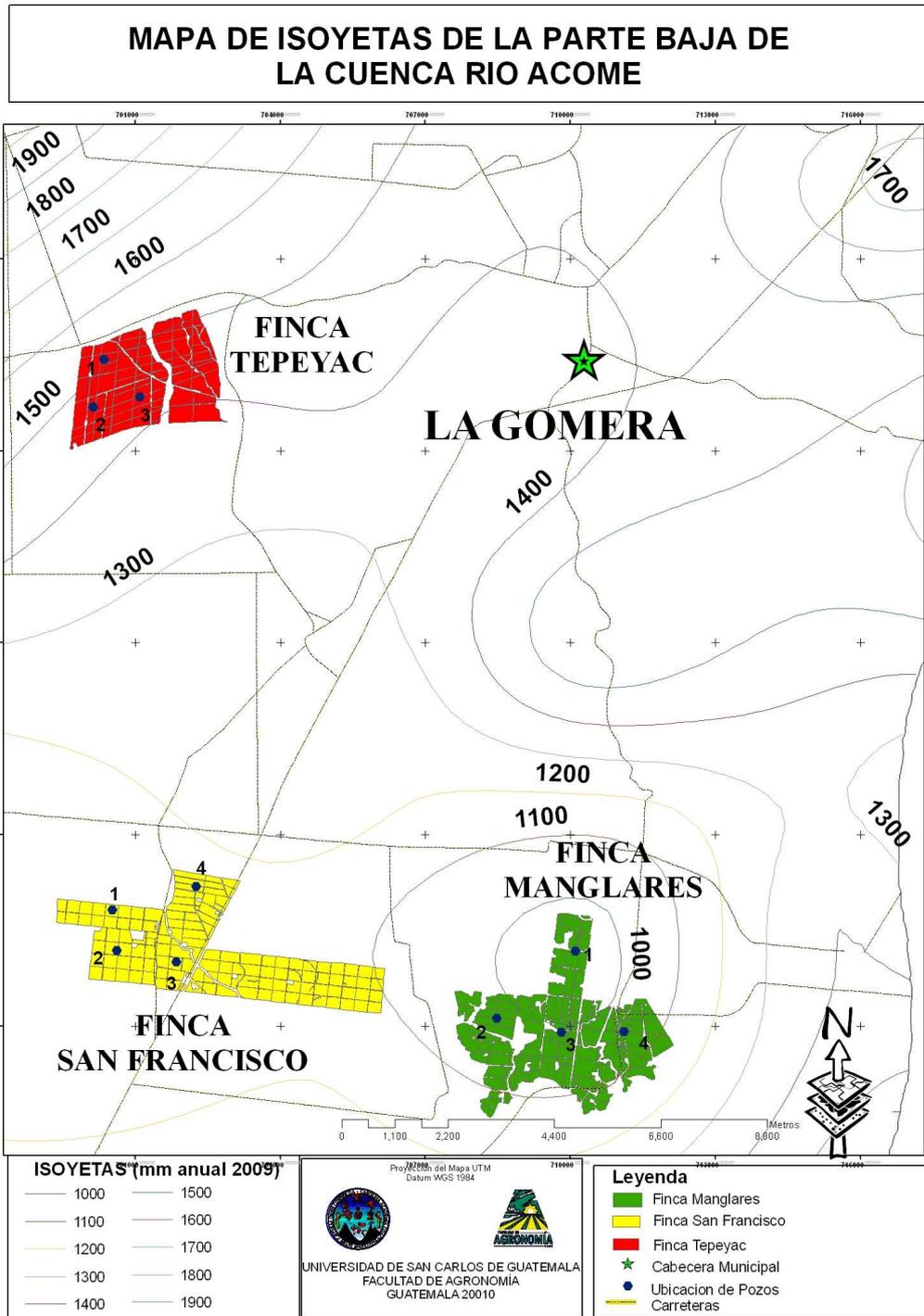


Figura 4. Ubicación de pozos analizados.

6.1.1.1 Tepeyac-1

Los primeros 90 pies de este pozo están constituidos por arenas basálticas de color principalmente gris a negro con tamaños de fino a medio (1 a 2 mm), fragmentos sub-angulosos y en menor proporción arenas pomáceas. En los primeros 15.24 mts se observan algunos horizontes delgados con altos niveles de meteorización con formación de materiales con aspecto arcilloso. En los 12.20 mts más profundos no se observan ninguna meteorización.

A partir de los 27.44mts y hasta la profundidad total (48.78 mts) (figura 5) se observa una secuencia formada principalmente por horizontes de arena pomácea blanca a beige y en mucho menor cantidad arena basáltica con fragmentos gruesos (3 a 4 mm) entre angulosos a sub-redondeados.

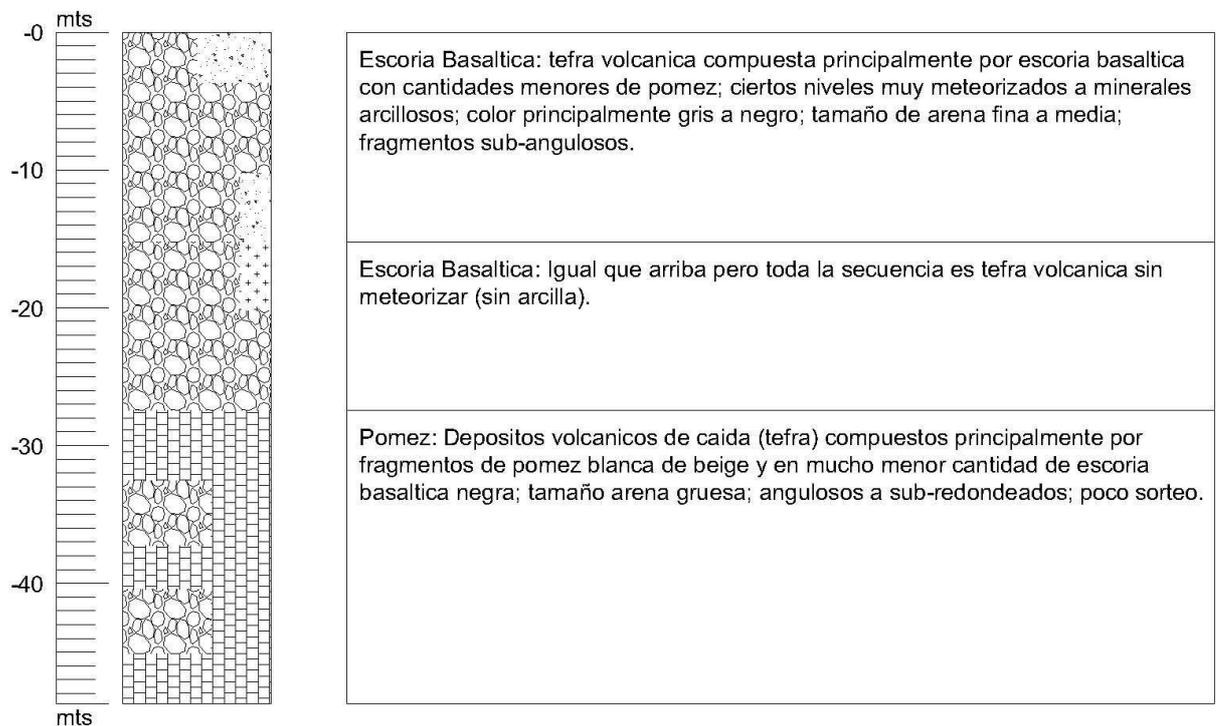


Figura 5. Estratigrafía pozo Tepeyac 1

6.1.1.2 Tepeyac-2

Los primeros 27 mts. de este pozo están constituidos por arenas basálticas de color negro con cantidades menores de arena pomácea gris a beige y algunos fragmentos de cuarzo cristalino; los fragmentos son sub-angulosos a sub-redondeados. Luego, se presentan 3 mts de un horizonte arcilloso de grano muy fino, pastoso, entre los 9 a 12 mts de profundidad.

Entre los 12 y 21 mts de profundidad se presenta un horizonte mayoritariamente formado por arena pomácea blanca con poco contenido de arena basáltica; los fragmentos de las arenas varían entre arena gruesa (3 a 4 mm) a arena fina (1 a 2 mm); los fragmentos son sub-angulosos.

Finalmente, entre los 21 mts y la profundidad total del pozo (49 mts) se tiene un paquete de arena basáltica negra con poco contenido de arena pomácea blanca a gris o beige; estos fragmentos de arena son finos (1 a 2 mm) con formas sub-angulosas a sub-redondeadas.

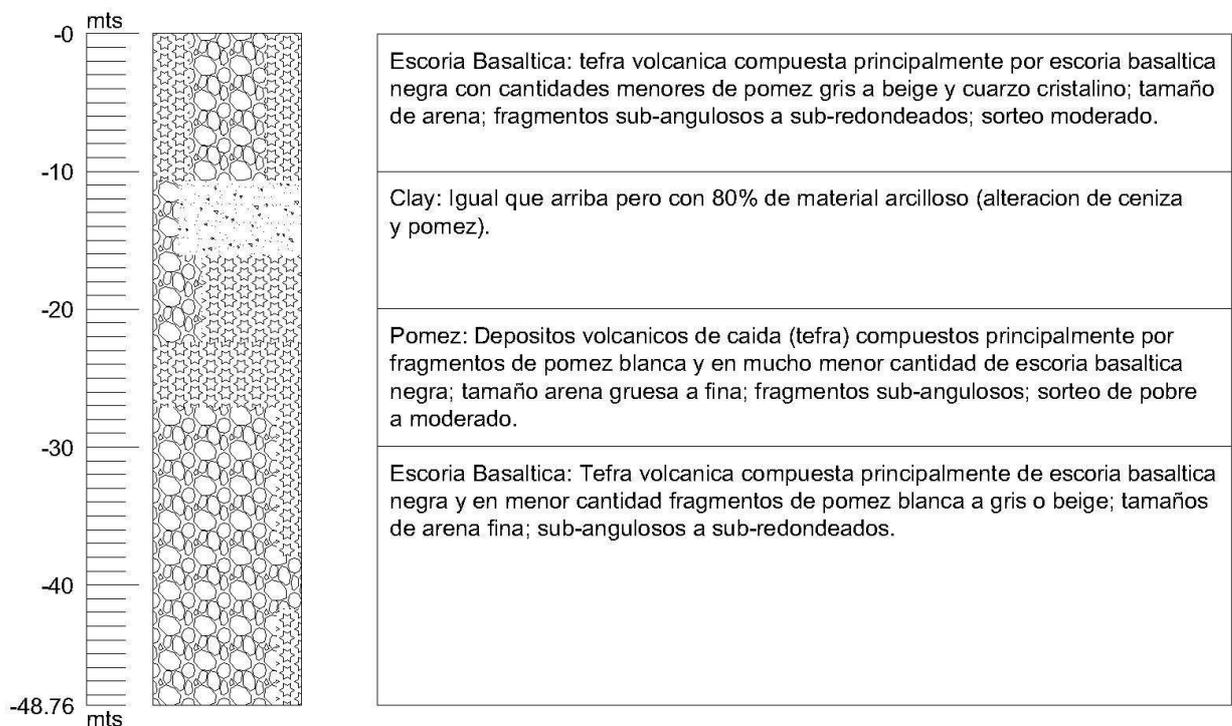


Figura 6. Estratigrafía pozo Tepeyac 2

6.1.1.3 Tepeyac-3

Este pozo presenta una secuencia de arenas basálticas en la parte superficial y arenas pomáceas en la parte basal. En los primeros 9 mts se observan grandes cantidades de cristales de cuarzo principalmente cristalino. El paquete de arenas basálticas más prominente se encuentra entre los 12 y 21 mts de profundidad. Se observa un nivel de contenido arcilloso entre los 9 y 12 mts y entre los 36 y 39 mts de profundidad.

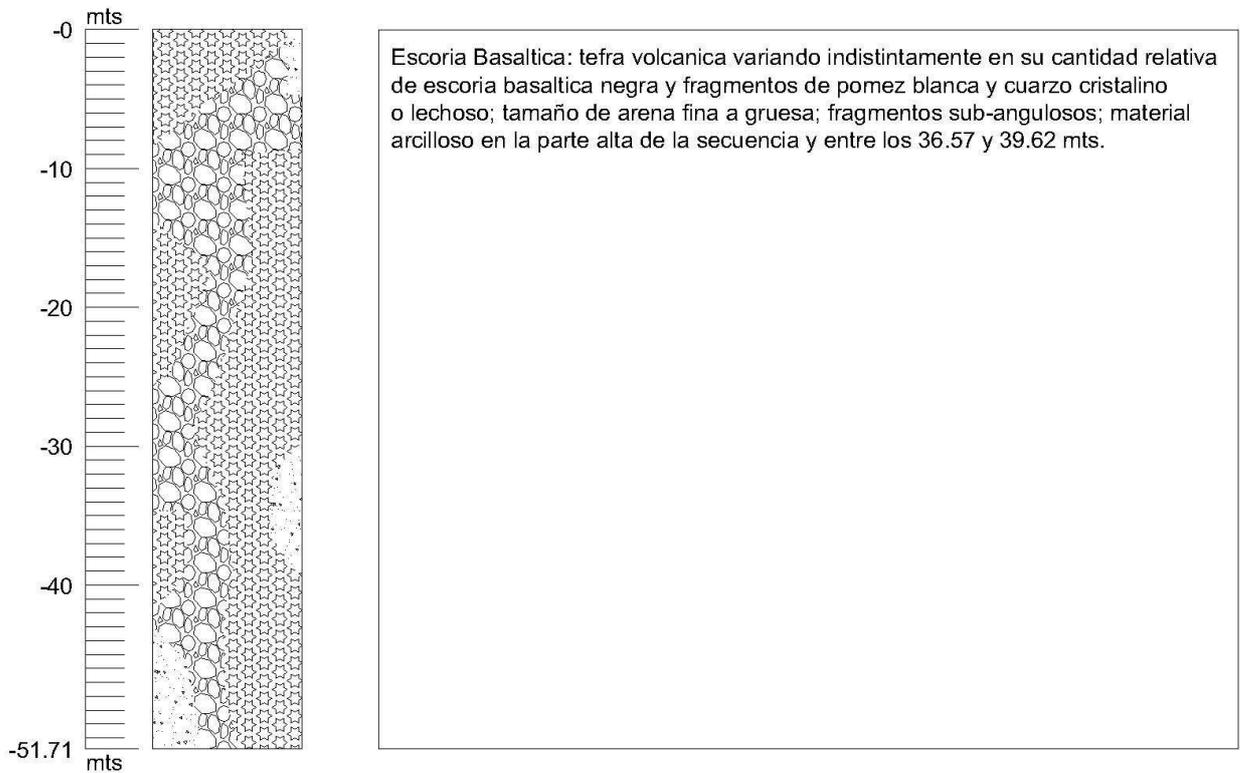


Figura 7. Estratigrafía pozo Tepeyac 3

6.1.1.4 Relación estratigráfica:

A simple vista, se observa que el pozo Tepeyac-1 presenta una mayor cantidad de arenas basálticas en la parte superior y arenas pomáceas en la parte inferior; el pozo Tepeyac-2 es presenta una mayor cantidad de arenas pomáceas en la parte superior y las arenas basálticas se encuentran en la parte inferior; el pozo Tepeyac 3 no muestra una tendencia marcada de ubicación de las arenas aunque a lo largo de su estratigrafía se observa una mayor proporción de arenas pomáceas que de arenas basálticas.

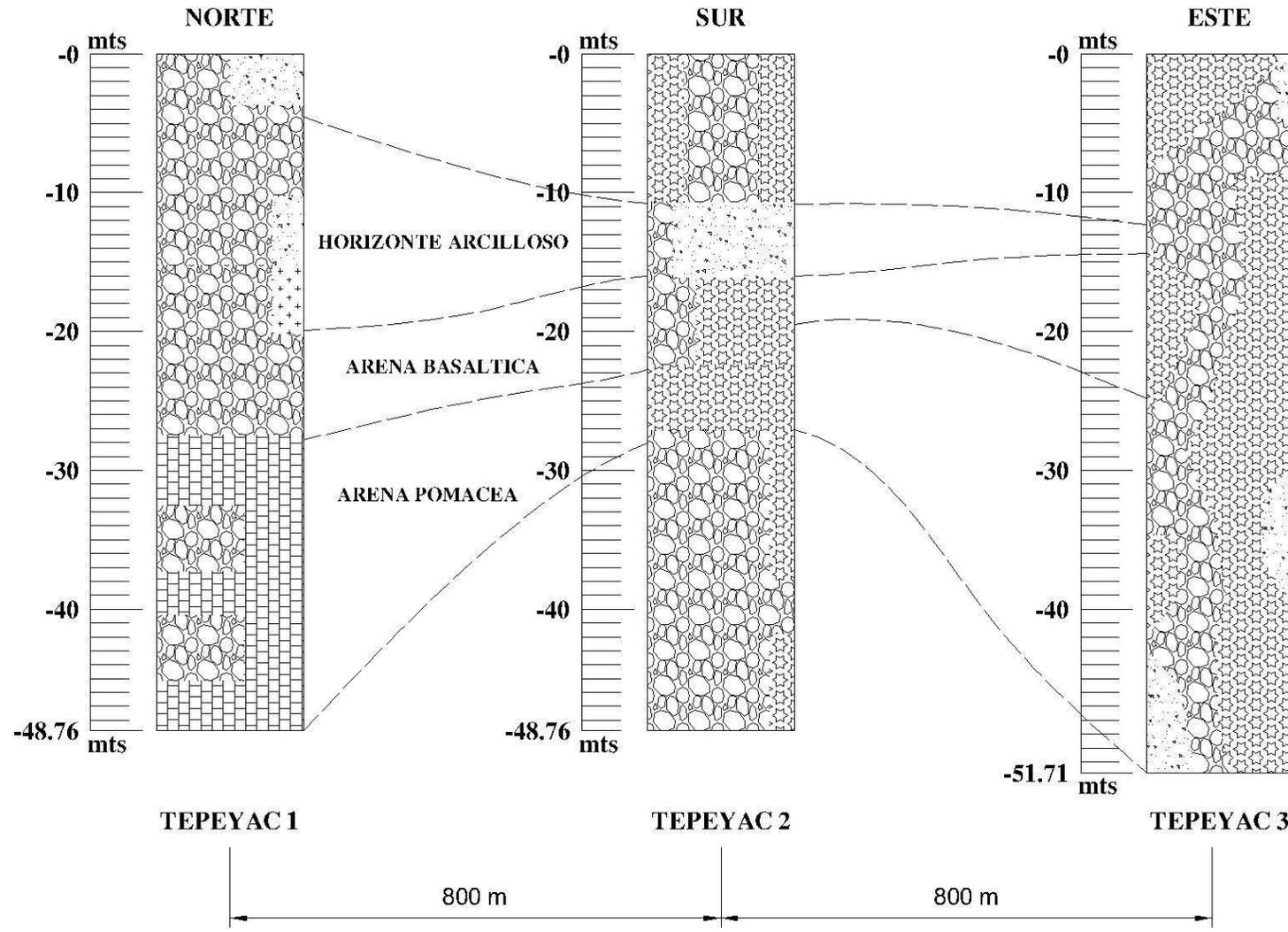


Figura 8. Relación entre pozos de Tepeyac

Se presenta un horizonte arcilloso alrededor de los 12 mts de profundidad que es más definido en el pozo Tepeyac-2 donde presenta 3 mts de espesor. Por debajo de este horizonte arcilloso se ubica un paquete de arena basáltica negra y hacia la profundidad le sigue un paquete de arena pomácea, ambos paquetes son más abundantes en el Tepeyac-1. El paquete de arena pomácea es más delgado en el Tepeyac-2 (6 mts) y hacia abajo muestra nuevamente una secuencia de arenas basálticas negras decreciendo en contenido pomáceo.

6.1.2 Descripción del área de los pozos San Francisco.

En la Figura 4, Mapa de Ubicación del área de interés, se observa que los pozos San Francisco se encuentran ubicados aproximadamente a 12 kilómetros al suroeste de La Gomera, Escuintla, al oeste del río Acomé. La estratigrafía individual se describe a continuación.

6.1.2.1 San Francisco 1

Este pozo presenta una secuencia alternada, de la superficie hacia profundidad, compuesta de arena basáltica, arena arcillosa y arena pomácea. Sobresalen los primeros 80 pies en donde predomina la arena basáltica color negro de grano fino a medio (1 a 2 mm) la cual presenta un pequeño intervalo arcilloso entre los 15 y 18 mts, color café muy “pegajoso”. Entre los 24 y 42 mts de profundidad la secuencia es principalmente arena pomácea color gris, entre grano medio a grueso (> 3 mm) con fragmentos pomáceos de hasta 2 cms; a partir de los 33 mts de profundidad esta arena pomácea es evidentemente un depósito de pómez color beige de grano medio a grueso (2 a 4 mm), con algunos fragmentos grandes de pómez y poco contenido de arena basáltica. Entre los 42 y 45 mts de profundidad está un horizonte arcilloso café, “pegajoso” con algunos fragmentos de pómez el cual es subyacente por un paquete de arena basáltica de color negro como el que aparece en los niveles superiores.

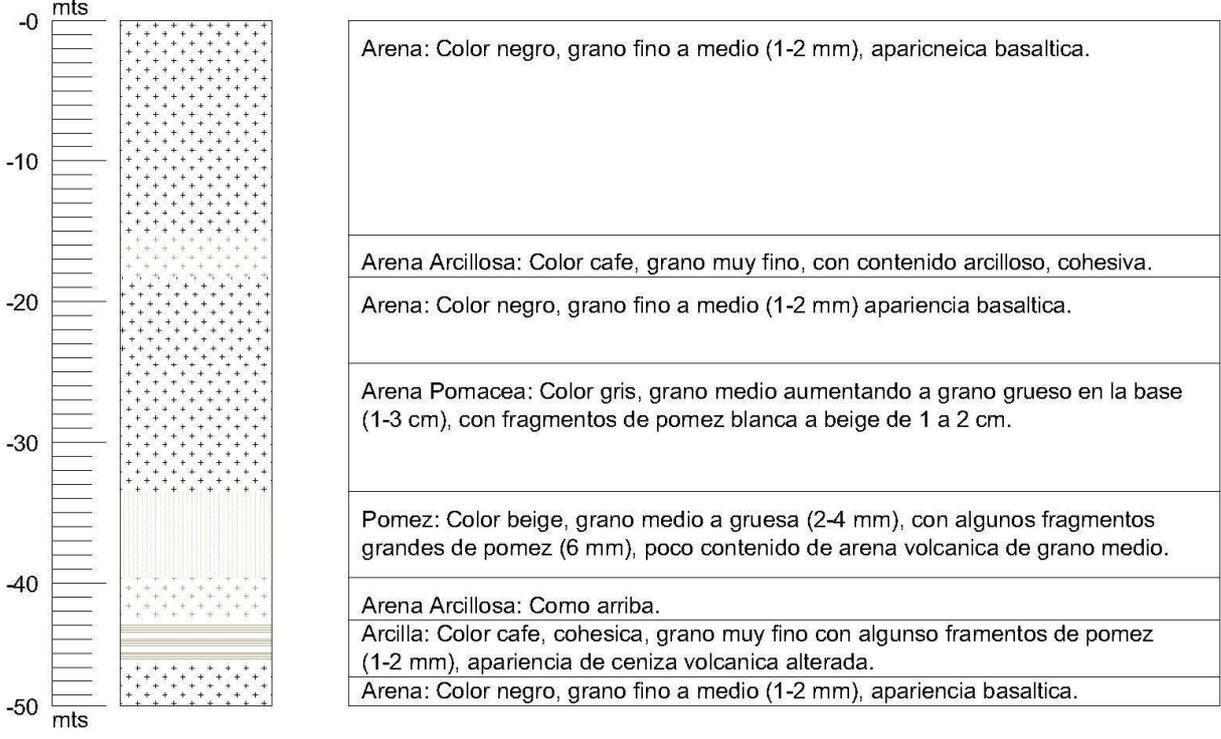


Figura 9. Estratigrafía pozo San Francisco 1

6.1.2.2 San Francisco 2

La estratigrafía de este pozo es dominada por la presencia de material pomáceo en su parte superior y arenas basálticas hacia la profundidad. Los primeros 9 mts están compuestos por una arena pomácea beige a gris con fragmentos gruesos (3 a 4 mm) sub-angulosos a sub-redondeados. Entre los 9 y 15 mts aparece una arena basáltica con poco contenido de cuarzo y pómez con una coloración general variando de beige a negro y tamaños de arena fina a muy fina (<1 mm). Este horizonte de arena basáltica presenta un alto contenido arcilloso a partir de los 12 mts. A profundidad, entre los 15 y 45 mts, se tiene un paquete de arena pomácea con intercalaciones de horizontes de ceniza notándose en algunas muestras cierta cantidad de material arcilloso.

La coloración general va de beige a gris ocasionalmente café. Los fragmentos tienen un diámetro de arena gruesa (>3 mm) con una forma angulosa a sub-redondeada. A lo largo de la secuencia se observan algunos fragmentos de pómez meteorizados con formación de material arcilloso. A partir de los 45 y hasta la profundidad total (60 mts) se tiene una secuencia de arena basáltica con fragmentos de cuarzo y pómez. En algunos niveles se observa gran cantidad de material arcilloso lo cual se acentúa entre los 42 y 55 mts en se tiene un depósito arcilloso de color gris verdoso. Hacia la base del pozo se observan muchos fragmentos de pómez y material meteorizado.

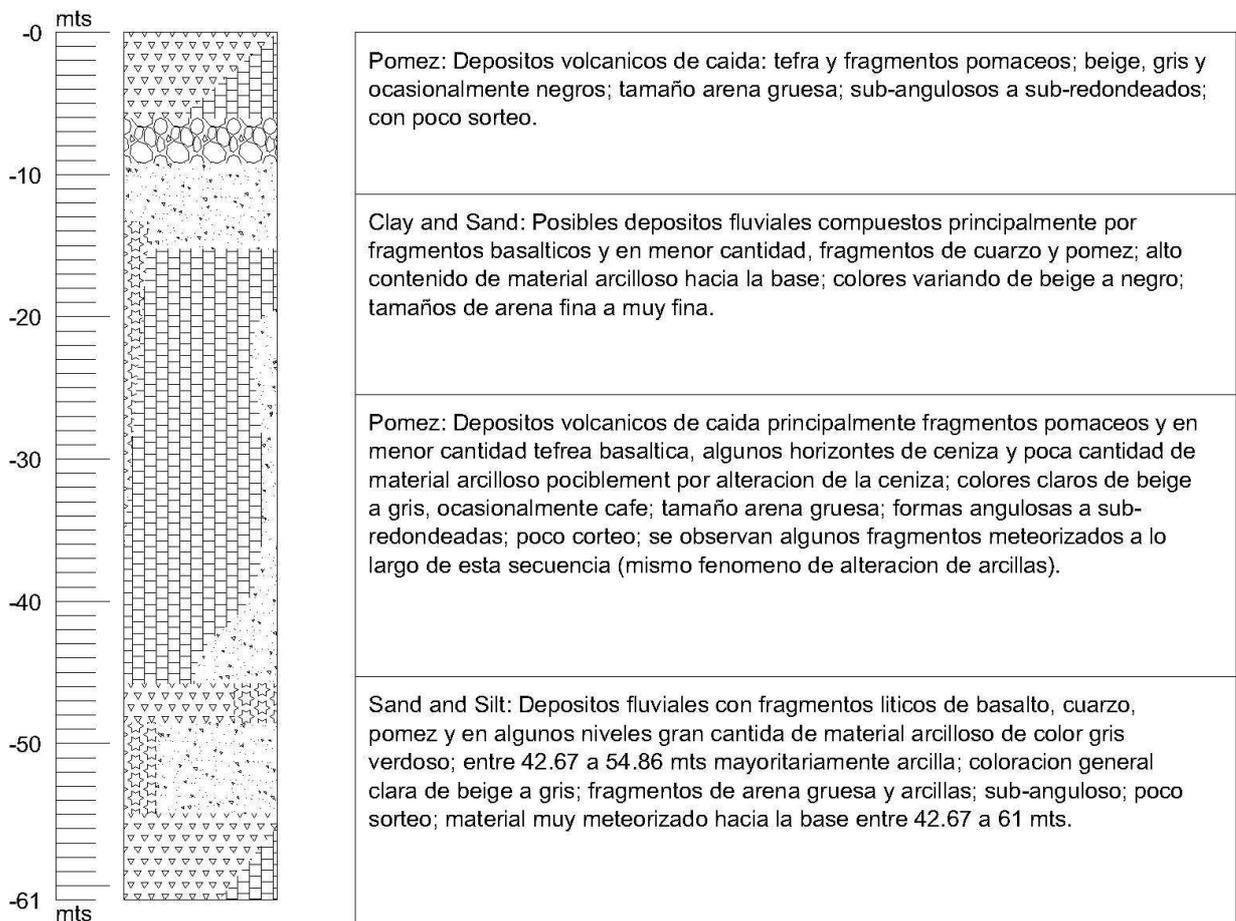


Figura 10. Estratigrafía pozo San Francisco 2

6.1.2.3 Relación estratigráfica:

En ambos pozos, se observa un primer nivel arcilloso entre los 9 y 15 mts de profundidad seguido, hacia abajo, por un potente horizonte de arena pomácea y pómez (promedio de 24 mts de espesor). Esta secuencia pomácea es limitada a profundidad por un horizonte arcilloso de al menos 6 mts de espesor.

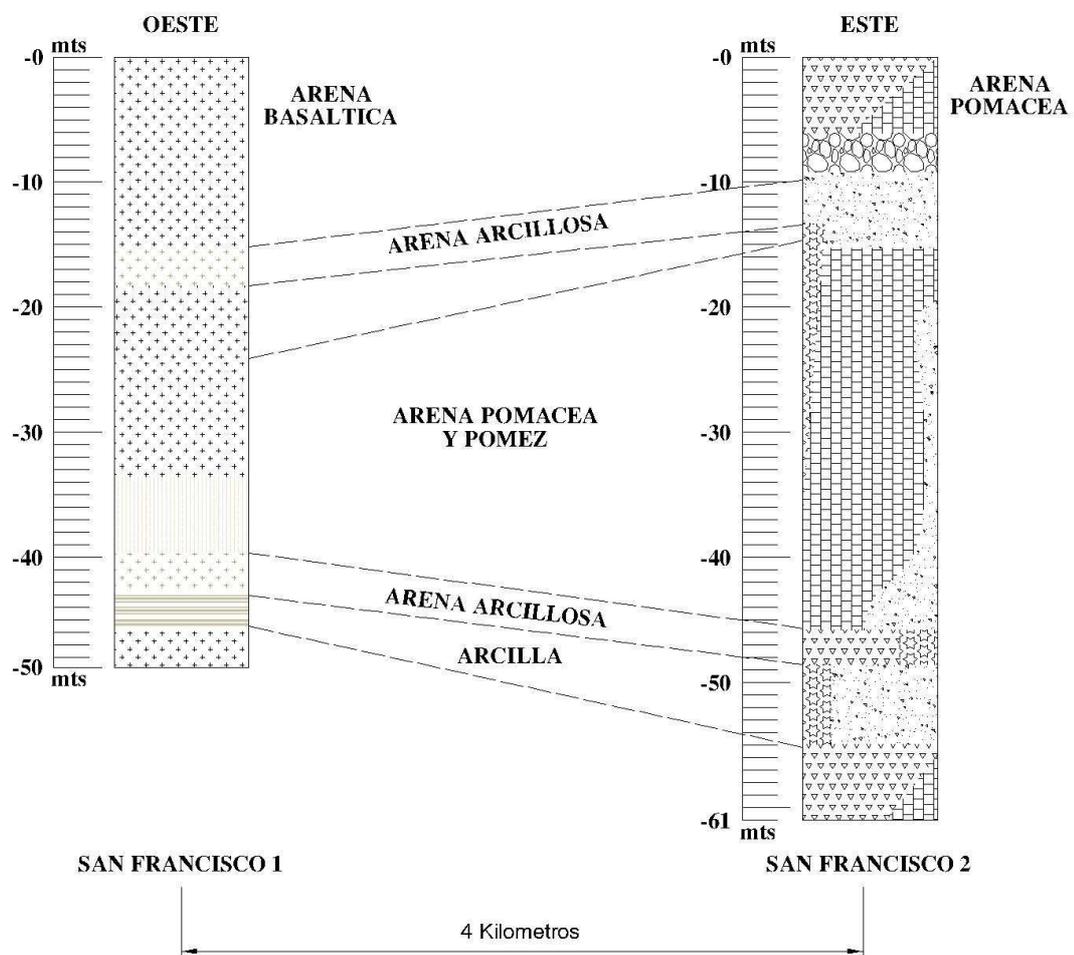


Figura 11. Relación estratigráfica pozos San Francisco

6.1.3 Descripción del área de los pozos de Manglares.

Estos pozos se encuentran ubicados 13 kilómetros al sur de La Gomera entre los ríos Sanchiniquihuité al este y el río Acomé y zanjón Malempatado al oeste. La estratigrafía individual se describe a continuación.

6.1.3.1 Manglares 1

Este pozo presenta únicamente dos unidades estratigráficas: en la parte superior, una capa de suelo orgánico variando de franco arenoso a arenoso, homogéneo, mayoritariamente color café y un nivel de suelo negro a los 15 mts, con contenido variado de materia orgánica y madera; y en la parte inferior, una unidad de arena basáltica de grano medio en el tope (2 a 3 mm) variando a grano fino hacia la base, muy saturada de agua y color general negra a café claro.

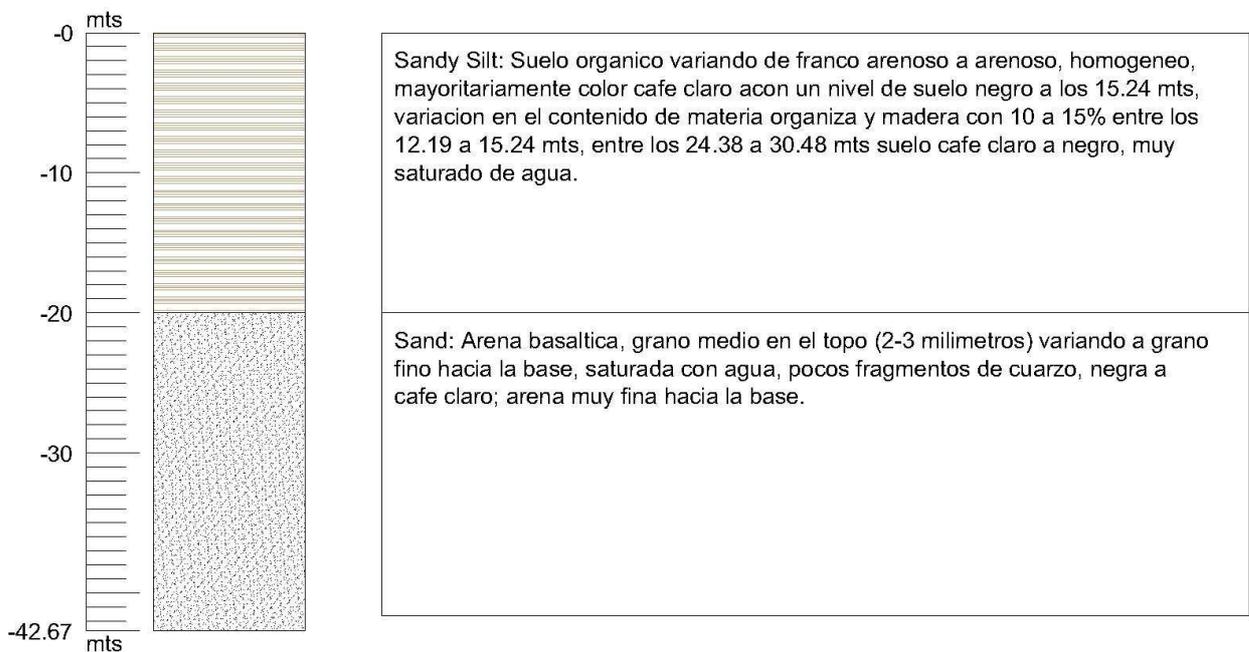


Figura 12. Estratigrafía pozo Manglares 1

6.1.3.2 Manglares 2

Este pozo presenta un único paquete estratigráfico de arena basáltica café claro en la parte superior y negro en la parte inferior. Hay una variación en el tamaño de los fragmentos arenosos desde lo fino en la parte superior hasta grano medio en la parte inferior (2 a 3 mm).

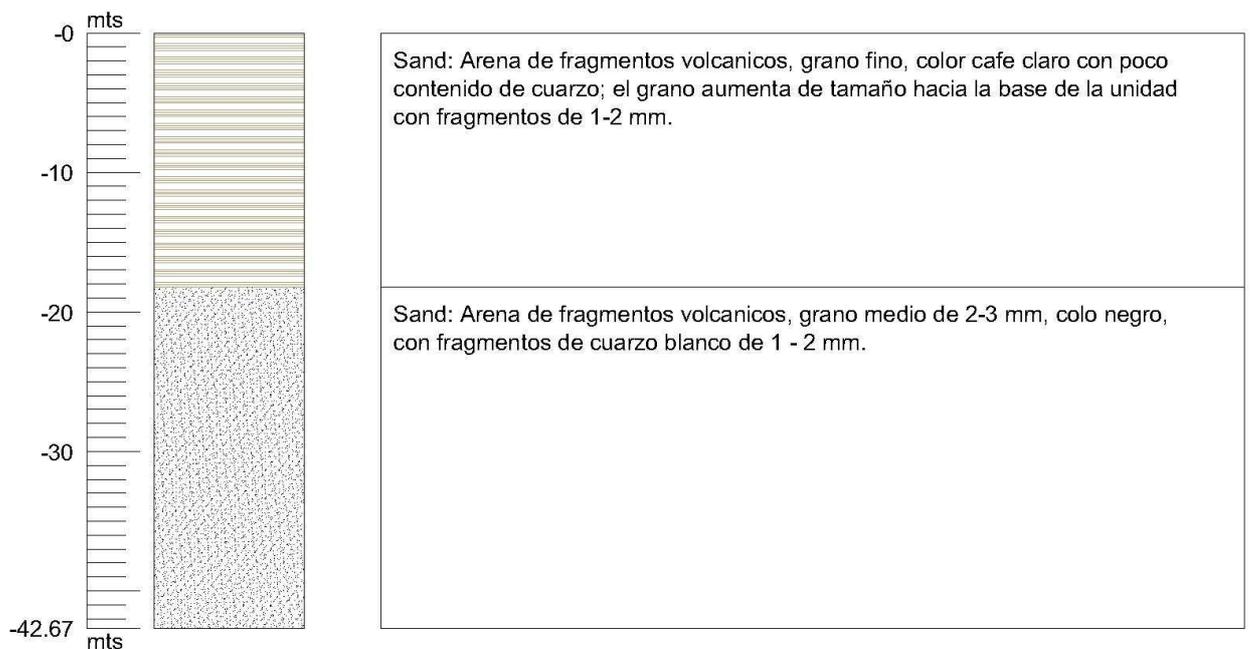


Figura 13. Estratigrafía pozo Manglares 2

6.1.3.3 Relación estratigráfica

No existen más de dos unidades estratigráficas en los pozos Manglares por lo que la única unidad correlacionable es la de arenas basálticas que se encuentra presente en ambos pozos con un espesor de al menos 24 mts.

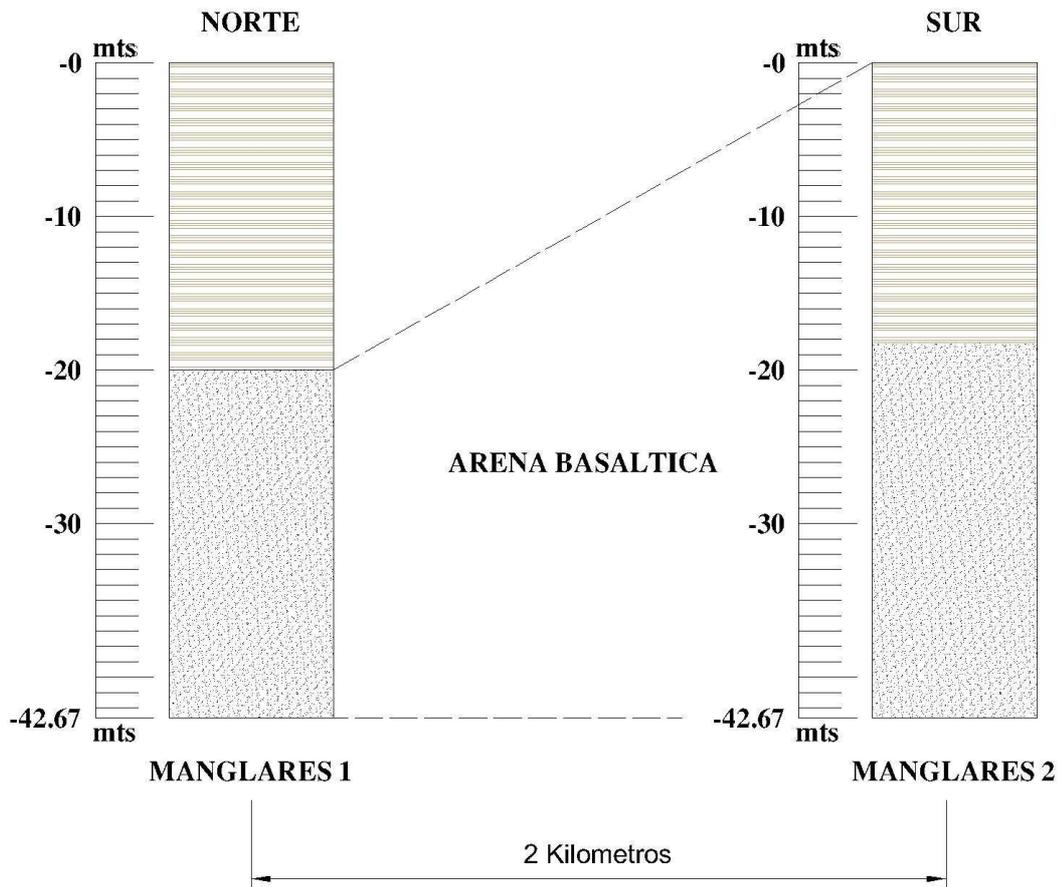


Figura 14. Relación Estratigráfica pozos Manglares

6.1.4 Discusión

Los pozos estudiados se encuentran ubicados en un ambiente sedimentario tipo fluvio-volcánico en donde predominan los sedimentos derivados de la erosión y transporte a través de la red hidrológica de rocas volcánicas pertenecientes a la cadena volcánica al norte del área de estudio.

Como puede verse en la Figura 15, estos ambientes de deposición se caracterizan por su alta heterogeneidad tanto en el tipo de depósitos como en su continuidad lateral y vertical.

Los depósitos predominantes corresponden a arenas negras de composición basáltica (derivadas de lavas volcánicas) y arenas de colores claros (beige, café, blanca) de composición pomácea (derivadas de rocas volcánicas de caída). En ambos casos, por las características granulométricas y por la poca o nula consolidación de estos depósitos éstos constituirían los acuíferos que están aportando la producción de agua subterránea en los pozos estudiados. Como se observa en la Figura 16, los acuíferos podrían ser de poca extensión lateral, incluso delimitados a profundidad por horizontes arcillosos como los que se han encontrado en los pozos San Francisco.

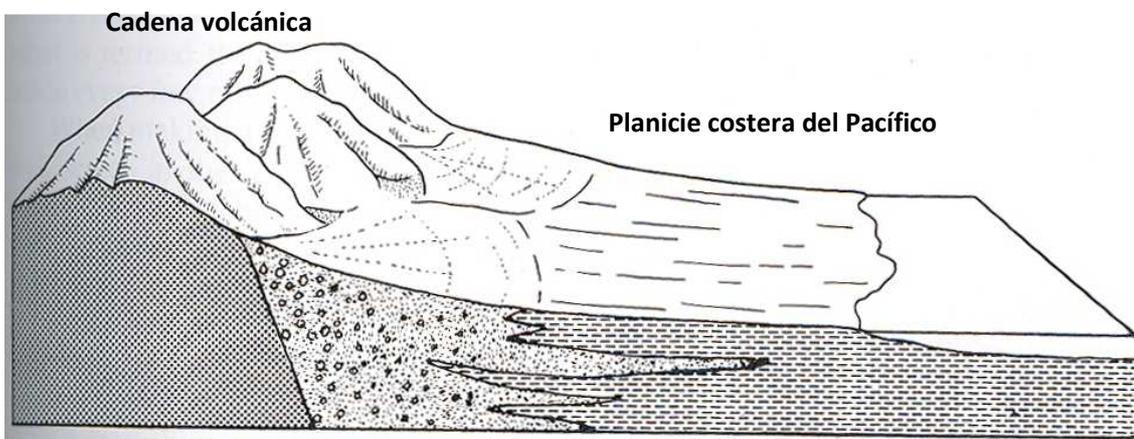


Figura 15. Representación esquemática del ambiente de depositación fluvio-volcánico en donde los sedimentos de arenas se derivan de la cadena volcánica de donde son erosionados, acarreados y depositados aguas abajo por los principales ríos de la zona (Fetter, 2001).

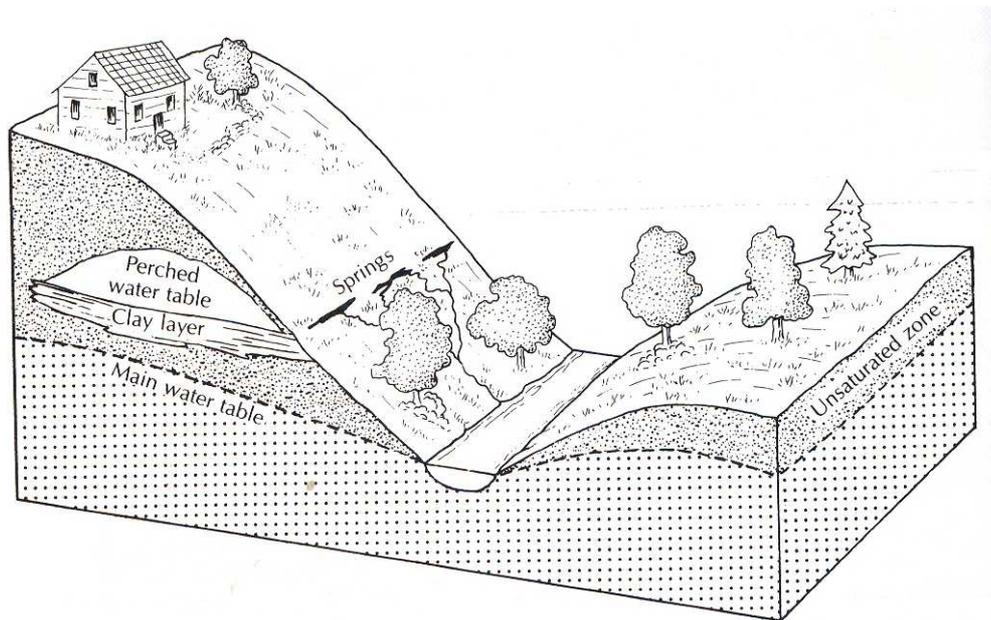


Figura 16. Representación esquemática de un acuífero superficial (*perched water table*) delimitado en la parte inferior por un horizonte arcilloso (*clay layer*). Otro acuífero importante podría formarse en correlación directa al nivel basal de escorrentía de ríos o quebradas cercanas (*main water table*) (Fetter, 2001).

6.2 Análisis físico-químicos y calidad del agua para riego de los pozos en estudio.

El resultado de la caracterización del agua, permite visualizar los riesgos que podrían enfrentarse al utilizarla para riego, bajo condiciones medias con respecto a las características del suelo. Las características más importantes a tomar en cuenta son: a) La concentración total de sales solubles, expresada en términos de Conductividad Eléctrica (C.E.); b) La concentración relativa del Sodio con respecto a otros cationes, mediante el parámetro de la Relación de Adsorción de Sodio (RAS), que indica el peligro de sodificación del suelo con el uso del agua en riego; c) La concentración de Boro, como elemento que puede ser tóxico para las plantas y d) La concentración de bicarbonatos con relación a la concentración de calcio + magnesio.

A continuación se presentan los resultados obtenidos del análisis de agua de los pozos en las tres áreas definidas en el estudio

6.2.1 Área Tepeyac Los resultados de los análisis de laboratorio realizados en las muestras obtenidas de los 3 pozos caracterizados en el esta área del estudio, se muestran en el Cuadro 2.

Cuadro 2. Análisis de agua de los pozos del área Tepeyac

		Tepeyac 1	Tepeyac 2	Tepeyac 3
pH		7.4	7.8	7.4
C.E. (dS/m)		0.35	0.36	0.28
R.A.S.		1.01	0.92	0.77
Ppm	Dureza	145.4	156.4	126.7
	Alcalinidad	205.8	230.3	186.2
	N-NO ₃	0.8	0.8	0.7
	P	0.4	0.3	<0.1
	K	5.1	5.9	4.2
	Ca	21.3	22.4	18.7
	Mg	22.4	24.4	19.4
	B	0.2	0.1	0.2
	Cu	<0.1	<0.1	<0.1
	Fe	0.1	0.2	0.3
	Mn	<0.1	<0.1	0.2
	Zn	<0.1	<0.1	<0.1
	Na	27.9	26.5	19.9
	CO ₃	<5.0	<5.0	<5.0
HCO ₃	248.2	278.1	224.2	
Clasificación agua p/riego		C2-S1	C2-S1	C2-S1

El pH de las muestras oscilan entre 7.4 a 7.8, en la época seca, cuando se obtuvieron las muestras, con una tendencia a ligeramente alcalina. Esto podría dar problemas en las mezclas de productos agroquímicos sensibles a la alcalinidad, respecto a la eficiencia en su aplicación.

La Conductividad Eléctrica expresada en dS/m, varía entre 0.28 y 0.36, equivalente a 2.8 y 3.6 milimhos/cm, lo cual permite inferir que existe una mediana concentración de sales en el agua, en términos de su uso para riego. De acuerdo a las normas del Manual de Agricultura No 60, del Departamento de Agricultura de Estados Unidos (USDA), el agua se clasifica con mediana salinidad, Clase C2.

La Relación de Adsorción de Sodio (RAS) es baja, de 0.77 a 1.01, lo cual indica que la proporción del Sodio en el agua es baja, con el predominio del Calcio y el Magnesio, siendo menor el peligro de sodificación del suelo, por el uso de la misma en riego. De acuerdo al índice de RAS, se clasifican como agua Clase S1.

El contenido de Bicarbonatos en el agua esta arriba de 224.2 ppm, siendo el rango normal de hasta 100 ppm, lo cual podría influir en el incremento de la alcalinidad en el suelo, si no se toman medidas de lavado, para evitar la acumulación de sales. En relación al uso del agua, por el contenido de Bicarbonatos, podrían provocarse problemas de taponamiento en los sistemas de riego de baja presión (riego por goteo) debido a la formación de sólidos.

El contenido de hierro (Fe) y Manganeso (Mn) las concentraciones son mayores de 0.1 y 1.5 ppm respectivamente, esto podría promover la formación de Oxido de hierro y de manganeso debido al crecimiento de bacterias lo cual provoca también la obstrucción de los emisores en sistemas de riego abaja presión.

6.2.2 Área de San Francisco

En esta área se obtuvieron muestras de agua de 4 pozos, y los resultados de su análisis se presentan en el cuadro siguiente:

Cuadro 3. Análisis de agua de los pozos del área San Francisco

	San Francisco 1	San Francisco 2	San Francisco 3	San Francisco 4	
pH	7.7	7.4	7.7	7.7	
C.E. (dS/m)	0.36	0.48	0.38	0.48	
R.A.S.	1.12	1.25	1.06	1.59	
Ppm	Dureza	143.5	199.4	154.4	158.4
	Alcalinidad	188.7	198.5	188.7	223
	N-NO₃	1	1.3	0.9	1.2
	P	<0.1	0.2	0.4	0.3
	K	3.8	5.3	3.9	5.8
	Ca	30.8	36.2	32.7	29.5
	Mg	16.2	26.5	17.7	20.6
	B	0.2	0.1	0.1	0.2
	Cu	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1
	Fe	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1
	Mn	0.4	0.3	0.2	0.2
	Zn	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1
	Na	30.9	40.7	30.4	46.1
	CO₃	<5.0	<5.0	<5.0	<5.0
HCO₃	227.2	239.2	227.2	269.1	
Clasificación agua p/riego	C2-S1	C2-S1	C2-S1	C2-S1	

El pH de las muestras oscilan entre 7.4 a 7.7, obtenidas en la época seca, y tienen la misma tendencia a ser ligeramente alcalina.

La Conductividad Eléctrica expresada en dS/m, varía entre 0.36 y 0.48, equivalente a 3.6 y 4.8 milimhos/cm, con mayor concentración de sales en el agua, aunque se considera mediana, en términos de su uso para riego. De acuerdo a las normas del Manual de Agricultura No 60, del Departamento de Agricultura de Estados Unidos (USDA), el agua se clasifica con mediana salinidad, Clase C2.

La Relación de Adsorción de Sodio (RAS) es baja, de 1.06 a 1.59, lo indica que la proporción del Sodio en el agua es baja, con un mayor predominio del Calcio y el Magnesio que la zona de Tepeyac, aunque el peligro de sodificación del suelo, no representa peligro significativo, por el uso de la misma en riego. De acuerdo al índice de RAS, se clasifican como agua Clase S1.

El contenido de Bicarbonatos en el agua está entre 227 y 269 ppm, siendo el rango normal de hasta 100 ppm, Esto sigue siendo un riesgo en el incremento de la alcalinidad en el suelo, si no se toman medidas de lavado, para evitar la acumulación de sales. En relación al uso del agua, por el contenido de Bicarbonatos, podrían crear también problemas de taponamiento en los sistemas de riego de baja presión (riego por goteo) debido a la formación de sólidos.

El contenido de hierro (Fe) las concentraciones son menores de 0.1 ppm y la concentración de Manganeso (Mn), es mayor a 1.5 ppm. El bajo contenido de Fe disminuye el riesgo de promover la formación de Oxido de hierro sin embargo el riesgo en el manganeso es mayor.

6.2.3 Área de Manglares.

Dentro de esta área se ubicaron 4 pozos, de los cuales se obtuvieron las muestras de agua, cuyos resultados de su análisis son los siguientes:

Cuadro 4. Análisis de agua de los pozos del área de Manglares

	Manglares 1	Manglares 2	Manglares 3	Manglares 4	
pH	8.5	8.4	8.4	7.4	
C.E. (dS/m)	0.41	0.53	0.42	0.36	
R.A.S.	16.14	17.2	12.9	17.35	
Ppm	Dureza	7.4	9	12.9	5.5
	Alcalinidad	225.6	230.4	240.6	176.4
	N-NO₃	1	1.6	1.1	0.6
	P	0.6	0.6	0.9	0.7
	K	3.4	5.9	7	3.9
	Ca	1	0.8	2.1	0.7
	Mg	1.2	1.7	1.8	1.1
	B	0.2	0.2	0.2	0.2
	Cu	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1
	Fe	<0.1	0.1	0.1	0.1
	Mn	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1
	Zn	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1
	Na	101.2	118.5	100.1	99
	CO₃	<5.0	<5.0	<5.0	<5.0
HCO₃	272.4	278.2	293.6	215.3	
Clasificación agua p/riego	C2-S3	C2-S3	C2-S2	C2-S3	

El pH de las muestras oscilan entre 7.4 a 8.5, obtenidas en la época seca, y tienen la tendencia a ser alcalina, por el alto contenido de sales.

La Conductividad Eléctrica expresada en dS/m, varía entre 0.36 y 0.53, equivalente a 3.6 y 5.3 milimhos/cm, con una mayor concentración de sales en el agua, se considera mediana, en términos de su uso para riego. De acuerdo a las normas del Manual de Agricultura No 60, del Departamento de Agricultura de Estados Unidos (USDA), el agua se clasifica con mediana salinidad, Clase C2.

Sin embargo, la Relación de Adsorción de Sodio (RAS) es de mediana a alta, de 12.9 a 117.3, lo que indica una mayor proporción del Sodio en el agua con mayor peligro de sodificación del suelo, por el uso de la misma en riego. De acuerdo al índice de RAS, se clasifican como agua Clase S3.

El contenido de Bicarbonatos en el agua está entre 215 y 293 ppm, con lo cual se incrementa en el incremento de la alcalinidad en el suelo, debiendo tomarse medidas de lavado, para evitar la acumulación de sales. En relación al uso del agua, por el contenido de Bicarbonatos, podrían crear mayores problemas de taponamiento en los sistemas de riego de baja presión (riego por goteo) debido a la formación de sólidos.

El contenido de hierro (Fe) y Manganeseo (Mn) con concentraciones menores de 0.1 y 1.5 ppm, disminuyen el riesgo de promover la formación de Oxido de hierro y de manganeseo.

6.3 Producción de caudales

Estos pozos perforados con fines de irrigación para el cultivo de Caña de azúcar, se les mide su rendimiento durante la temporada de riego con un medidor de flujo normalmente de 203 mm (8"), de diámetro instalado en la descarga de los mismos, están equipados con equipos de bombeo tipo TURBINAS VERTICALES, para pozo profundo con ejes lubricados por agua, las acciona un motor de combustión interna diesel que oscilan de 80 a 100 caballos de fuerza de potencia como se puede ver en la figura 17.



Figura 17. Componentes del sistema de bombeo.

6.3.1 Producción pozos Tepeyac

Los pozos perforados en la zona de influencia de Tepeyac son utilizados para sistemas de riego mecanizados, pivotes centrales, estos sistemas de riego cubren un área aproximada de 78.5 has. (ver anexo),. Operan en promedio de 21 a 22 horas por día, requieren un mínimo de mano de obra ya que se pueden automatizar totalmente, cuentan con un tanque de combustible de 2,200 litros de capacidad.

Con un promedio de caudal de 600 gpm Figura No.18 equivalentes a 2271 lts/min con un promedio de 22 horas de bombeo por día el sistema tiene una capacidad de aplicar una lamina bruta de riego de 3.84 mm/día. También se tiene la ventaja de que la frecuencia de riego se puede variar muy fácilmente, se puede reducir hasta 1.5 días entre riegos, pero estos operan dando un riego cada 7 días.

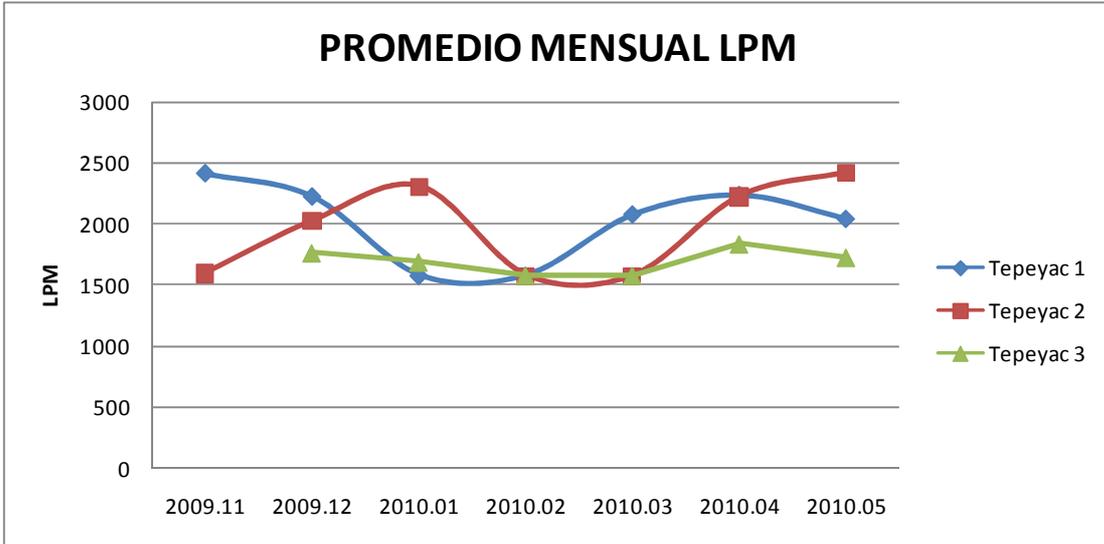


Figura . 18. Producción mensual promedio en LPM área Tepeyac

6.3.2 Producción pozos San Francisco.

En el caso del área de San Francisco los caudales promedio son de 700 gpm pero tienen una capacidad de 800 gpm equivalentes a 3,028 lts/min y el promedio de horas de bombeo por día es de 20 horas y cubren en promedio 120 has cada sistema, con este caudal es posible aplicar una lamina bruta diaria de 3.0 mm/día, Figura 19.

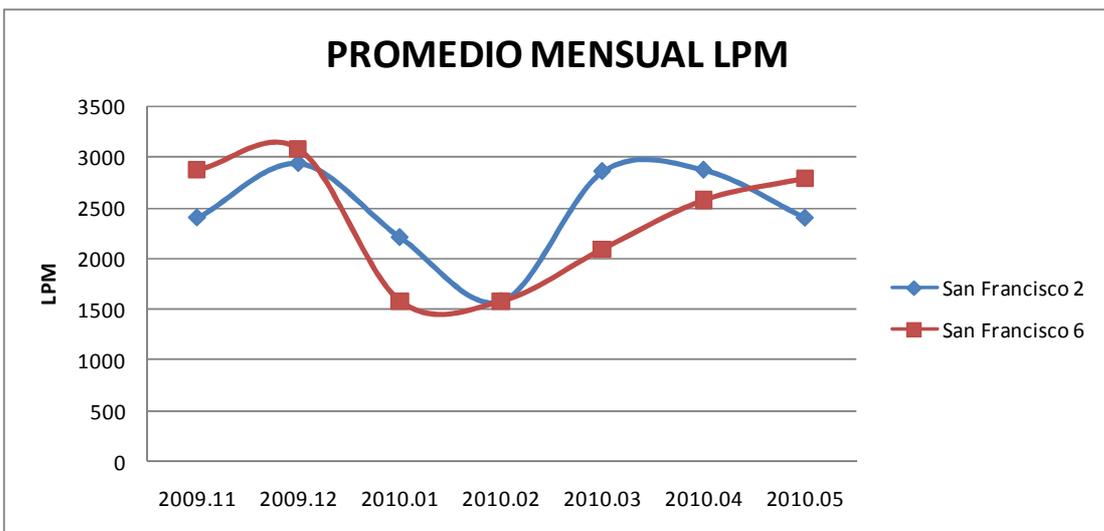


Figura 19. Producción promedio mensual en LPM en área San Francisco.

El sistema de riego utilizado en esta zona al igual que en el área de Manglares, es por ASPERSION SEMIFIJO, estos cuentan con tubería principal de conducción de pvc enterrada con hidrantes a cada 54 metros, utilizan laterales móviles con tubería de aluminio de 63 mm de diámetro con un espaciamiento entre laterales de 18 metros y entre aspersores de 12 metros, el lateral opera con 20 aspersores plasticos de un caudal de 16.6 lts/min c/u, el largo del lateral es de 240 metros y se tiene la capacidad de dar una frecuencia de riego de 12 días, en este sistema no es tan versátil para variar la frecuencia por que requiere más mano de obra que el sistema mecanizado, por lo mismo si se cierra la frecuencia de riego se tiene mayor tiempo perdido y por ende menor capacidad de lamina bruta. (ver anexo).

6.3.3 Producción de pozos área de Manglares

Para los pozos de la zona de Manglares el promedio de caudal es de 650 gpm equivalentes a 2,460 lts/min con un promedio de horas por día de 21 y en promedio cubren un área de riego de 130 has por lo que la capacidad de precipitación bruta diaria es de 2.4 mm/día.

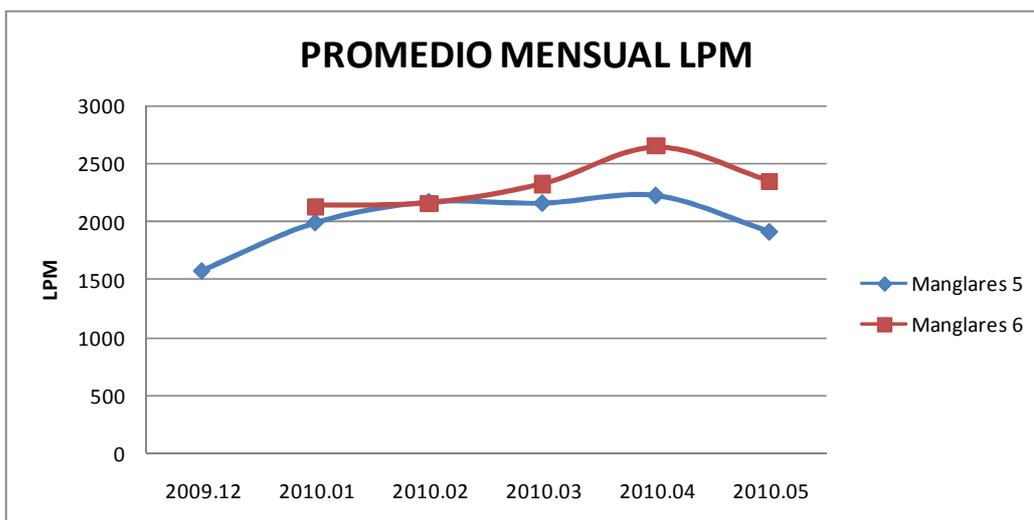


Figura 20. Producción promedio mensual en LPM en área de Manglares

7 CONCLUSIONES

- 7.1** Los depósitos encontrados en los pozos estudiados son del tipo clástico sedimentario derivado de la erosión, transporte y deposición de rocas volcánicas a lo largo de la red hidrográfica. Las características granulométricas, texturales y la poca consolidación de los depósitos los convierten en potenciales acuíferos, aptos para el almacenamiento y producción de agua subterránea.
- 7.2** Las unidades acuíferas son la arena basáltica (entre 15 27 mts de profundidad) en los pozos Tepeyac y en los pozos Manglares (entre 20 y 42 mts de profundidad); y la arena pomácea (entre 15 y 39 mts de profundidad) en los pozos San Francisco.
- 7.3** La información disponible se estima que los acuíferos productores serían de tamaño limitado vertical y lateralmente siendo acuíferos localmente productores y sin ninguna correlación lateral a nivel regional.
- 7.4** Los análisis físico químicos de las muestras de agua de los pozos en el área de influencia de Tepeyac y San Francisco, se puede concluir que el agua de acuerdo a su ph y C.E. son ligeramente alcalinas y en la zona de influencia de Manglares se incrementa el contenido de sales por lo que el agua es alcalina. En las tres zonas se encuentran dentro del rango de clasificación clase C 2 (aguas de salinidad media).
- 7.5** Por la relación de adsorción de sodio (RAS), el agua proveniente de los pozos de la zona de Manglares presentan altos contenidos de sodio y está dentro del rango de clasificación S 3 (agua alta en sodio), a diferencia de la zona de influencia de los pozos de San Francisco y Tepeyac que por su índice de RAS se clasifican como agua clase S 1 (agua baja en sodio),

- 7.6** El contenido de bicarbonatos del agua de los pozos en las tres zonas de influencia son arriba del rango normal (100 ppm), siendo mayor en la zona de los pozos de Manglares.
- 7.7** Las concentraciones del contenido de Fe y Mn en las tres zonas de estudio, existen riesgos de promover la formación de oxido ferroso y manganesos debido al crecimiento de bacterias lo cual puede provocar obstrucción de los emisores en los sistemas de riego de baja presión.
- 7.8** Los resultados de producción de caudales en el caso del área de Tepeyac es donde la capacidad de aplicación de lamina bruta es más alta, con 3.84 mm/día, para el caso de San Francisco la capacidad de tasa de aplicación es de 3.0 mm/día y en la zona de Manglares la tasa de aplicación máxima es de 2.4 mm/día.
- 7.9** Estas tasas de aplicación se considera que podrían estar por debajo del requerimiento hídrico del cultivo en mención, sin embargo las producciones de la zona no indican o manifiestan que se de dicho estrés hídrico, que puede ser producto de que dicho déficit sea cubierto por un aporte capilar por los altos niveles freáticos de la zona.
- 7.10** Todos los resultados geológicos, físico químicos del agua y la producciones de caudales de los pozos de la zona de estudio y el régimen de lluvia se puede determinar que es una zona con potencial alto de explotación hidrogeológico con fines de irrigación agrícola, ya que los flujos son constantes con pocas variaciones, sin embargo si pueden haber limitaciones más por la calidad de agua que por la cantidad en el caso de la zona más baja que presenta niveles altos de sodio.

8 RECOMENDACIONES

- 8.1** De acuerdo a la profundidad que se encuentran las unidades acuíferas de los pozos de la zona de Tepeyac se recomienda que la profundidad de perforación de los pozos no sea más allá de 150 pies. Y en la zona de Manglares y San Francisco la profundidad de perforación podría ser hasta 200 pies.
- 8.2** Las aguas provenientes de los pozos con salinidad media (C 2) se recomienda usarlas para riego siempre y cuando exista un grado moderado de lavado o bien el uso de cultivos moderadamente tolerantes a las sales sin necesidad de prácticas especiales para el control de la salinidad.
- 8.3** Las aguas bajas en sodio (S 1), pueden usarse para irrigación en la mayoría de los suelos con poca probabilidad de incrementar los niveles de sodio intercambiable a niveles peligrosos sin embargo.
- 8.4** Aguas altas en sodio (S 3), al usarlas para riego pueden producir niveles tóxicos de sodio intercambiable en la mayor parte de los suelos por lo que para su uso deberán establecerse buenos sistemas de drenaje que faciliten el lavado y adicionar materia orgánica.
- 8.5** Por el contenido de bicarbonatos que provocan taponamientos en sistemas de baja presión se recomienda hacer inyección de ácidos, puede usarse ácido Sulfúrico-urea o cítrico. El tipo de ácido más comúnmente usado en riego por goteo es el ácido sulfúrico de 98%. Esto si en caso se llega a usar o cambiar estos sistemas de riego usados actualmente a goteo.

8.6 En relación a las tasas de aplicación de las tres zonas estudiadas se recomienda evaluar y medir el aporte capilar del nivel freático a la zona radicular del cultivo y en base a esto evaluar la posibilidad de perforar pozos adicionales para el incremento de la tasa de aplicación de los sistemas de riego.

9. BIBLIOGRAFÍA

1. Causapé Valenzuela, J. 2007. Acuíferos mayoritariamente recargados por retornos del riego: problemática en su protección de la contaminación por nitrato. Zaragoza, España, Unidad de Investigación y Tecnología Agroalimentaria de Aragón, Unidad de Suelos y Riegos. 54 p.
2. Cruz, A; Levine, G. 1998. El uso de aguas subterráneas en el Distrito de Riego 017, región lagunera, México (en línea). México, Instituto Internacional del Manejo del Agua, IWMI. Serie Latinoamericana no. 3. Consultado 02 mar 2010. Disponible en www.iwmi.cgiar.org/publication/latin_american_series/pdf3.pdf
3. Fetter, CW. 2001. Applied hydrogeology. 4 ed. US, Prentice Hall. 598 p.
4. Fosterl, S; Tuinhof, A; Kemper, K; Garduñom, H; Nanni, M. 2006. Gestión sustentable del agua subterránea, conceptos y herramientas: caracterización de sistemas de subterránea (en línea). México. Consultado 02 mar 2010. Disponible en <http://web.worldbank.org/WBSITE/EXTERNAL/TOPICS/EXTWRM/0,,contentMDK:21210588~pagePK:210058~piPK:210062~theSitePK:337240,00.html>
5. Herrera Ibáñez, I. 1995. Manual de hidrología. Guatemala, USAC, Facultad de Agronomía. 223 p.
6. Krásny, J; Hecht, G. 1998. Estudios hidrogeológicos e hidroquímicos de la región del Pacífico de Nicaragua. Nicaragua, Ipasa. 154 p.
7. Maderey Rascón, L; Jiménez Román, A. 2005. Principios de hidrogeografía, estudio del ciclo hidrológico (en línea). México, UNAM. 95 p. Consultado 02 mar 2010. Disponible en <http://www.igeograf.unam.mx/instituto/publicaciones/libros/hidrogeografia/cp6.pdf>
8. MAGA (Ministerio de Agricultura, Ganadería y Alimentación, GT). 2006. Mapas temáticos digitales de la república de Guatemala a escala 1:250,000. Guatemala. 1 CD.
9. MAGA (Ministerio de Agricultura, Ganadería y Alimentación, GT); DIGESA (Dirección General de Servicios Agrícolas, GT); DIRYA (Dirección Técnica de Riego y Avenamiento, GT). 1991. Hidrogeología, disponibilidad de agua subterránea: plan maestro de riego y drenaje, documento 2. Guatemala. 76 p.
10. Martín, M; Garrido, L; Rebollo, L. 2007. Aguas superficiales y subterráneas (en línea). Guadalajara, España, Universidad de Alcalá. Consultado 02 mar 2010. Disponible en http://www.uah.es/universidad/ecocampus/documentos/5_Aguas.pdf

11. Miranda, O. 1999. Uso de agua subterránea para riego en los valles Sanjuaninos. Buenos Aires, Argentina, Agape. 24 p.
12. Montaña Xavier, J. 2006. El riego y las aguas subterráneas en el Uruguay (en línea). Uruguay. Consultado 02 mar 2010. Disponible en <http://www.unesco.org.uy/dspace/bitstream/123456789/431/1/0519.pdf>
13. Salguero Barahona, M. 2002. Estudio hidrogeológico con fines de riego de la cuenca del río Acomé: resumen de tesis MSc. Escuintla, Guatemala, USAC, ERIS. 21 p.
14. Sandoval Illescas, J. 1989. Principios de riego y drenaje. Guatemala, USAC, Facultad de Agronomía. 344 p.

10. ANEXOS

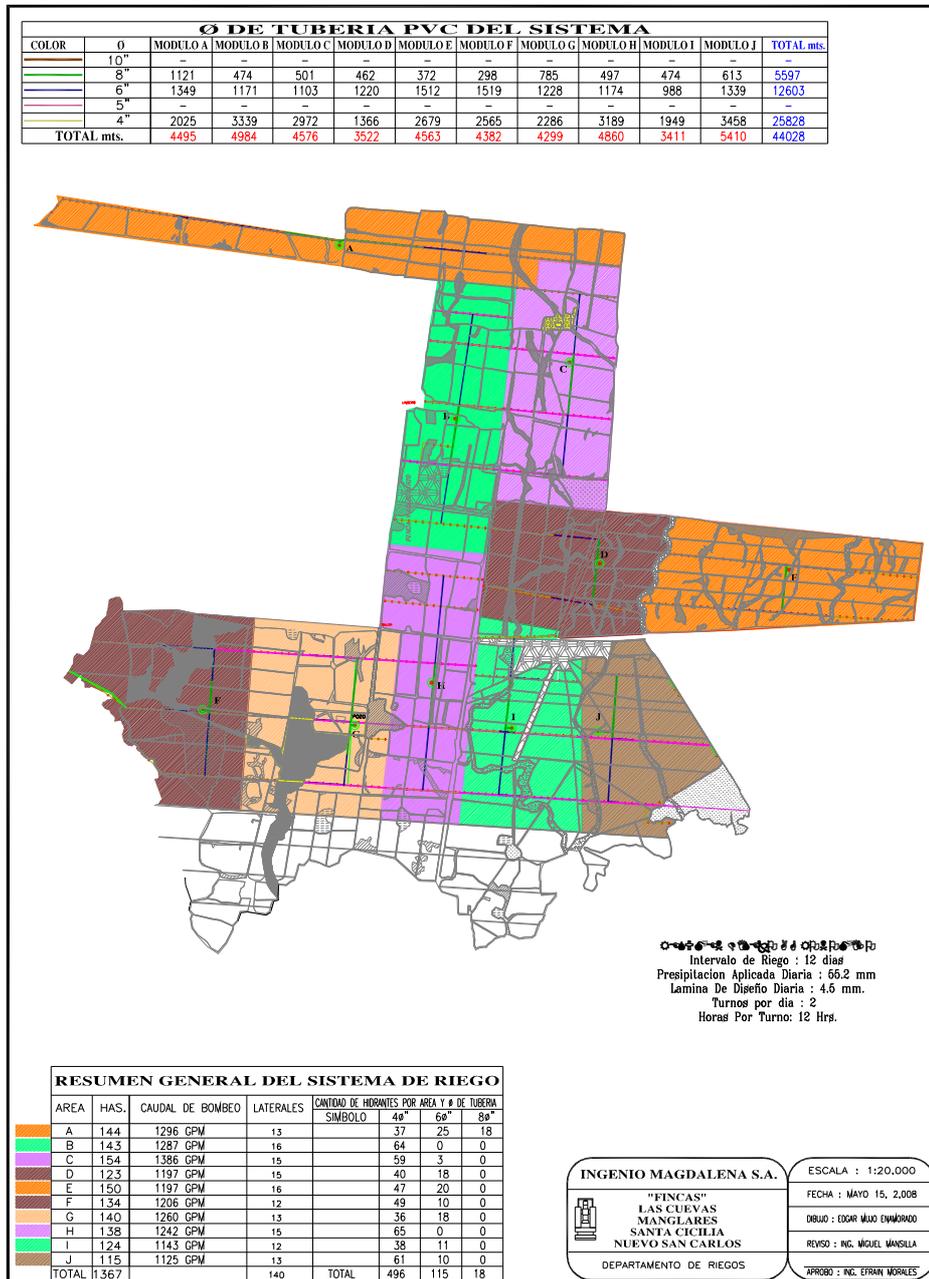


Figura. 21 Finca Manglares

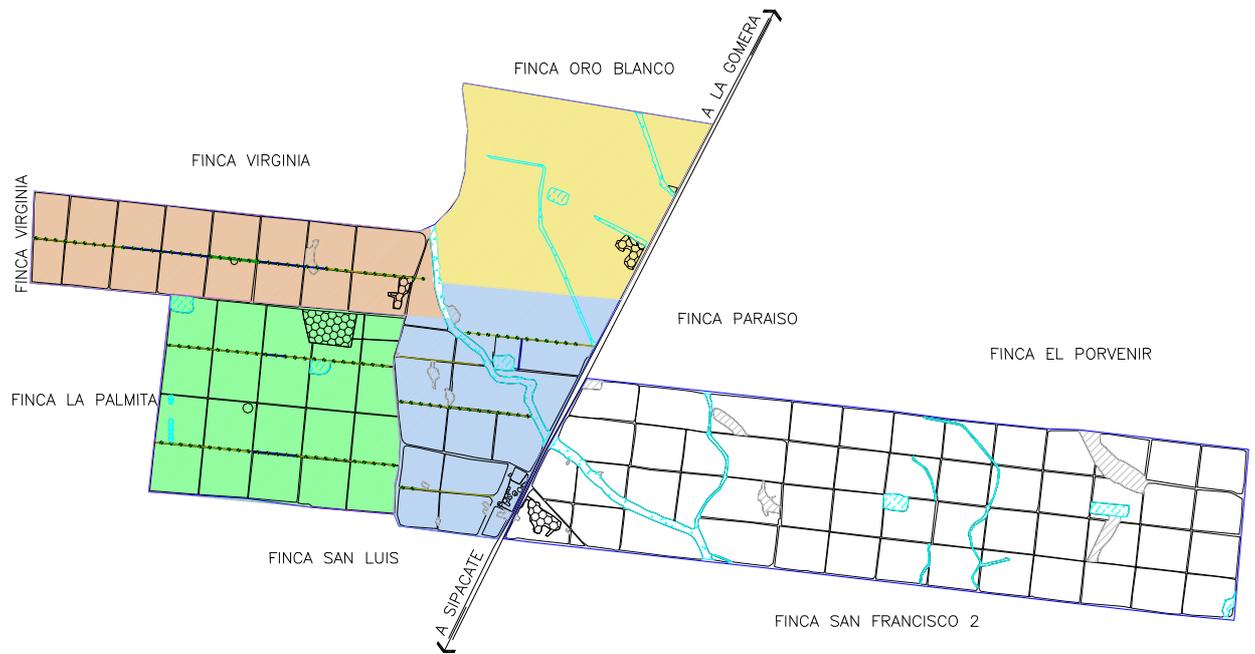


Figura. 22 Finca San Francisco

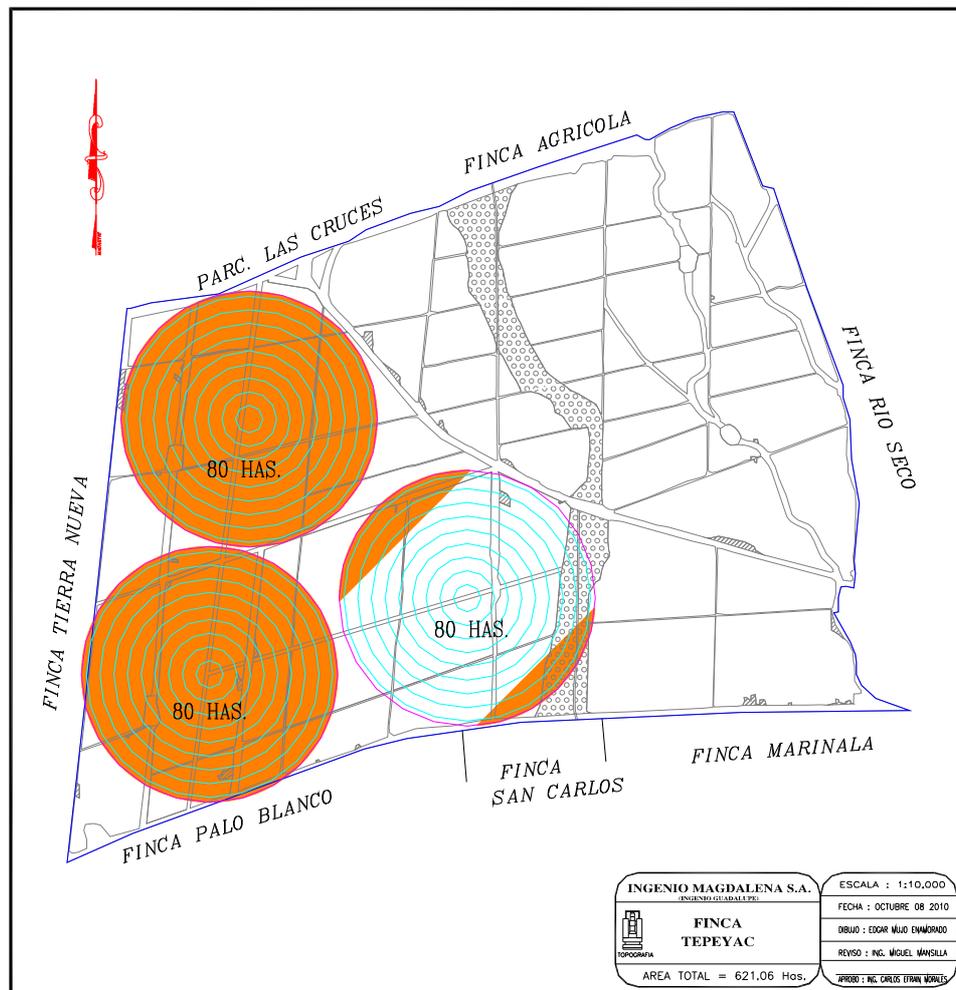


Figura . 23 Finca Tepeyac