



Universidad de San Carlos de Guatemala
Facultad de Ingeniería
Escuela de Ingeniería Civil

**PLANIFICACIÓN PARA EL APROVECHAMIENTO DE AGUA
SUBTERRÁNEA PERFORANDO POZO MECÁNICO EN RESIDENCIALES
ENSENADA DE SAN ISIDRO ZONA 16 CIUDAD DE GUATEMALA**

Víctor Manuel Tzunux González

Asesorado por el Ing. José Fernando Samayoa Roldán

Guatemala, septiembre de 2013

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**PLANIFICACIÓN PARA EL APROVECHAMIENTO DE AGUA
SUBTERRÁNEA PERFORANDO POZO MECÁNICO EN RESIDENCIALES
ENSENADA DE SAN ISIDRO ZONA 16 CIUDAD DE GUATEMALA**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA
POR

VÍCTOR MANUEL TZUNUX GONZÁLEZ
ASESORADO POR ING. JOSÉ FERNANDO SAMAYOA ROLDÁN

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

INGENIERO CIVIL

GUATEMALA, SEPTIEMBRE DE 2013

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA



NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

DECANO	Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
VOCAL I	Ing. Alfredo Enrique Beber Aceituno
VOCAL II	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
VOCAL III	Inga. Elvia Miriam Ruballos Samayoa
VOCAL IV	Br. Walter Rafael Véliz Muñoz
VOCAL V	Br. Sergio Alejandro Donis Soto
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

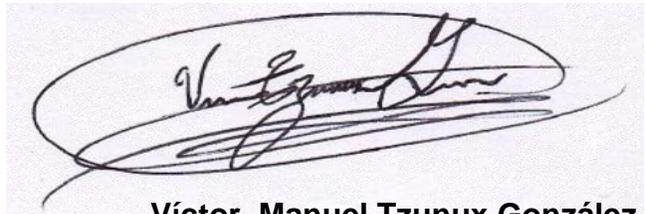
DECANO	Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
EXAMINADOR	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
EXAMINADOR	Ing. Fernando Amílcar Boiton Velásquez
EXAMINADOR	Ing. Wuilliam Ricardo Yon Chavarría
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

En cumplimiento con los preceptos que establece la ley de la Universidad de San Carlos de Guatemala, presento a su consideración mi trabajo de graduación titulado:

**PLANIFICACIÓN PARA EL APROVECHAMIENTO DE AGUA
SUBTERRÁNEA PERFORANDO POZO MECÁNICO EN RESIDENCIALES
ENSENADA DE SAN ISIDRO ZONA 16 CIUDAD DE GUATEMALA**

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Civil, con fecha septiembre de 2012.

A handwritten signature in black ink, enclosed within a large, hand-drawn oval. The signature is cursive and appears to read 'Victor Manuel Tzunux Gonzalez'.

Víctor Manuel Tzunux González

Guatemala 30 de mayo de 2013

Lic. Manuel María Guillén Salazar
Coordinador del Área de Planeamiento
Escuela de Ingeniería Civil
Facultad de Ingeniería

Estimado licenciado:

Atentamente me permito presentar a usted el trabajo de graduación
**"PLANIFICACIÓN PARA EL APROVECHAMIENTO DE AGUA
SUBTERRÁNEA PERFORANDO POZO MECÁNICO EN RESIDENCIALES
ENSENADA DE SAN ISIDRO ZONA 16 CIUDAD DE GUATEMALA"**,
elaborado por el estudiante Víctor Manuel Tzunux González, el cual reúne el
rigor, la coherencia y calidad requerida, por lo cual doy por finalizado.

Agradeciendo la atención de la presente, me suscribo

Atentamente,

José Fernando Samayoa Roldán
Ingeniero Civil e Hidrogeólogo
Colegiado No. 2299



Ing. Civil e Hidrogeólogo
José Fernando Samayoa Roldan
Colegiado No. 2299



USAC
TRICENTENARIA
Universidad de San Carlos de Guatemala

<http://civil.ingenieria.usac.edu.gt>



Universidad de San Carlos de Guatemala
FACULTAD DE INGENIERÍA
Escuela de Ingeniería Civil

Guatemala,

21 de agosto de 2013

Ingeniero
Hugo Leonel Montenegro Franco
Director Escuela Ingeniería Civil
Facultad de Ingeniería
Universidad de San Carlos

Estimado Ingeniero Montenegro.

Le informo que he revisado el trabajo de graduación **PLANIFICACIÓN PARA EL APROVECHAMIENTO DE AGUA SUBTERRÁNEA PERFORANDO POZO MECÁNICO EN RESIDENCIALES ENSENADA DE SAN ISIDRO ZONA 16 CIUDAD DE GUATEMALA**, desarrollado por el estudiante de Ingeniería Civil Víctor Manuel Tzunux González quien contó con la asesoría del Ing. José Fernando Samayoa Roldán.

Considero este trabajo bien desarrollado y representa un aporte para la comunidad del área y habiendo cumplido con los objetivos del referido trabajo doy mi aprobación al mismo solicitando darle el trámite respectivo.

Atentamente,

ID Y ENSEÑADA A TODOS

Lic. Manuel María Guillén Salazar
Jefe del Departamento de Planeamiento

Manuel María Guillén Salazar
ECONOMISTA

Mas de **134** años de Trabajo Académico y Mejora Continua

/bbdeb.

FACULTAD DE INGENIERIA
DEPARTAMENTO
DE
PLANEAMIENTO
USAC





USAC
TRICENTENARIA
Universidad de San Carlos de Guatemala

<http://civil.ingenieria.usac.edu.gt>

Universidad de San Carlos de Guatemala
FACULTAD DE INGENIERÍA
Escuela de Ingeniería Civil



El director de la Escuela de Ingeniería Civil, después de conocer el dictamen del Asesor Ing. José Fernando Samayoa Roldán y del Jefe del Departamento de Planeamiento, Lic. Manuel María Guillén Salazar, al trabajo de graduación del estudiante Víctor Manuel Tzunux González, titulado **PLANIFICACIÓN PARA EL APROVECHAMIENTO DE AGUA SUBTERRÁNEA PERFORANDO POZO MECÁNICO EN RESIDENCIALES ENSENADA DE SAN ISIDRO ZONA 16 CIUDAD DE GUATEMALA**, da por este medio su aprobación a dicho trabajo.


Ing. Hugo Leonel Montenegro Franco



Guatemala, septiembre de 2013.

/bbdeb.

Mas de **134** años de Trabajo Académico y Mejora Continua





El Decano de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Civil, al trabajo de graduación titulado: **PLANIFICACIÓN PARA EL APROVECHAMIENTO DE AGUA SUBTERRÁNEA PERFORANDO POZO MECÁNICO EN RESIDENCIALES ENSENADA DE SAN ISIDRO ZONA 16 CIUDAD DE GUATEMALA**, presentado por el estudiante universitario: **Victor Manuel Tzunux González**, autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE

Ing. Murphy Olimpo Paiz Recinos
Decano

Guatemala, septiembre de 2013



ACTO QUE DEDICO A:

- | | |
|------------------------------------|--|
| Dios | Padre de amor y misericordia de quien procede toda sabiduría a quien debo todo. |
| La Virgen María del Rosario | Por ser modelo de humildad y por acompañarme en todo momento de mi vida. |
| Mis padres | Santos Tzunux Yax y Bertha González de Tzunux, con todo mi amor por su ejemplo y apoyo incondicional. |
| Mis hermanos | Rosa Tzunux de Escobar, Miguel, Juan, Eryvn, Eduardo, Ricardo y Daniel, por su apoyo y cariño incondicional. |

AGRADECIMIENTO A:

Dios	Por darme todo, pues sin Él nada es posible.
Mi familia	Por su amor y apoyo incondicional.
Asesor	Ing. José Fernando Samayoa Roldán. Por su amistad, enseñanzas y apoyo incondicional durante la realización de este trabajo y a lo largo de mi vida académica.
Inga. Anabella Mayorga	Por su apoyo a lo largo de mis estudios universitarios.
Mis compañeros y amigos	Por los momentos compartidos y ser parte incondicional en mi vida académica.
Catedráticos	Por sus enseñanzas y consejos.
La Facultad de Ingeniería	Por abrirme las puertas al conocimiento científico y permitir mi formación profesional.
La Universidad de San Carlos de Guatemala	<i>Alma mater.</i>

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	IX
LISTA DE SÍMBOLOS	XIII
GLOSARIO.....	XV
RESUMEN.....	XVII
OBJETIVOS.....	XIX
INTRODUCCIÓN	XXI
1. ANTECEDENTES.....	1
1.1. Histórico.....	1
1.2. Ciclo hidrológico	1
1.2.1. Atmósfera	3
1.2.2. Temperatura	4
1.2.3. Viento	5
1.2.4. Precipitación	7
1.2.4.1. Medición de la precipitación.....	9
1.2.5. Evaporación y transpiración.....	9
1.2.5.1. Evaporación.....	10
1.2.5.2. Medición de la evaporación	10
1.2.5.3. Transpiración	11
1.2.5.4. Evapotranspiración	11
1.2.6. Infiltración	12
1.2.6.1. Capacidad de infiltración	12
1.2.6.2. Factores de infiltración.....	13
1.2.6.3. Medición de la infiltración	14
1.2.6.4. Escorrentía	15

1.2.7	Circulación subterránea	17
1.2.7.1.	Distribución del agua en el subsuelo....	17
1.2.7.2.	Factores que afectan el agua subterránea	18
1.2.7.3.	Flujo del agua subterránea.....	20
1.3.	Agua de superficie o superficial	21
1.3.1.	Fuentes de abastecimiento	21
1.3.2.	Rio	22
1.3.3.	Lago	23
1.3.4.	Precipitación.....	23
1.3.5.	Manantial.....	24
1.4.	Agua subterránea.....	24
1.4.1.	Importancia del estudio de las aguas subterráneas	25
1.4.2.	Acuífero	25
1.4.3.	Acuícludos.....	26
1.4.4.	Acuítardo.....	26
1.4.5.	Acuífugo	26
1.4.6.	Detríticos	26
1.4.7.	Nivel freático.....	27
1.4.8.	Acuífero colgante	28
1.4.9.	Acuífero confinado	28
1.4.10.	Acuífero libre	29
2.	RECONOCIMIENTO HIDROGEOLÓGICO Y VULNERABILIDAD DE LOS ACUÍFEROS.....	31
2.1.	Geología.....	31
2.2.	Propiedades hidrogeológicas de las rocas.....	31
2.2.1.	Rocas ígneas	32

2.2.2.	Rocas metamórficas	32
2.2.3.	Rocas sedimentarias	33
2.2.4.	Controles estructurales	33
2.2.5.	Análisis de fallas geológicas	35
2.3.	Reconocimiento hidrológico.....	36
2.4.	Hidráulica subterránea.....	36
2.4.1.	Potencial hidráulico.....	36
2.4.2.	Régimen permanente	37
2.4.3.	Régimen variable	37
2.5.	Determinación de la calidad del agua subterránea.....	38
2.5.1.	Parámetros del agua potable.....	38
2.5.2.	Características físico-químicas	38
2.5.3.	Parámetro físico.....	38
2.5.3.1.	Aspecto.....	39
2.5.3.2.	Color	39
2.5.3.3.	Olor.....	39
2.5.3.4.	Temperatura	39
2.5.3.5.	Turbiedad.....	40
2.5.3.6.	Potencial de hidrógeno	40
2.5.4.	Parámetros químicos	40
2.5.4.1.	Cloruros	41
2.5.4.2.	Fluoruros.....	41
2.5.4.3.	Nitrógeno	41
2.5.4.4.	Alcalina total	42
2.5.4.5.	Dureza total	42
2.5.4.6.	Manganeso	42
2.5.4.7.	Hierro	42
2.5.4.8.	Yodo	43
2.5.4.9.	Sulfato	43

2.5.5.	Parámetros bacteriológicos	43
2.5.5.1.	Examen microbiológico	44
2.5.5.2.	Grupo coliforme	44
2.6.	Vulnerabilidad de los acuíferos	44
2.6.1.	Contaminación	45
2.6.2.	Minerales.....	45
2.6.3.	Orgánicos	45
2.6.4.	Biológicos	46
2.6.5.	Radioactivas.....	46
2.6.6.	Gaseosas	46
2.6.7.	Tipos de contaminación	47
2.6.7.1.	Contaminación directa.....	47
2.6.7.2.	Contaminación difusa	47
2.6.8.	Sobreexplotación de acuíferos	47
2.6.9.	Intrusión salina	48
2.6.10.	Amenazas naturales.....	48
2.6.10.1.	Erupción volcánica	48
2.6.10.2.	Huracanes	49
2.6.10.3.	Terremotos	49
2.6.10.4.	Deslizamiento.....	50
2.7.	Evaluación de vulnerabilidad y estrategias para la protección de los acuíferos	50
2.7.1.	Métodos de evaluación	50
2.7.1.1.	Método de simulación	51
2.7.1.2.	Métodos estadísticos.....	51
2.7.1.3.	Métodos de superposición.....	51
2.7.1.4.	Método Posh	52
2.7.2.	Métodos paramétricos	52
2.7.2.1.	Método God.....	52

	2.7.2.2.	Método Drastic.....	54
	2.7.2.3.	Método Galdit	55
2.7.3.		Estrategias para la protección de acuíferos.....	56
	2.7.3.1.	Métodos hidrogeológicos	56
	2.7.3.2.	Método de radio fijo	56
	2.7.3.3.	Método de Wyssling	57
2.7.4.		Métodos preventivos.....	57
	2.7.4.1.	Ordenación espacial de actividades	57
	2.7.4.2.	Normas de construcción de pozos.....	58
	2.7.4.3.	Impermeabilización	58
	2.7.4.4.	Drenaje somero	58
	2.7.4.5.	Vertido controlado.....	59
2.7.5.		Métodos contra la contaminación existente	59
	2.7.5.1.	Modificación de los bombeos existentes.....	60
	2.7.5.2.	Barrera de presión	60
	2.7.5.3.	Intercepción y extracción	61
	2.7.5.4.	Barreras subterráneas	61
3.		PLANIFICACIÓN PARA EL APROVECHAMIENTO DEL AGUA SUBTERRÁNEA PERFORANDO POZO MECÁNICO	63
3.1.		Planeamiento hidráulico	63
	3.1.1.	Generalidades	63
	3.1.2.	Componente objetivo	63
	3.1.3.	Componente subjetivo	64
	3.1.4.	Importancia del planeamiento hidráulico	64
	3.1.5.	Esquema de aprovechamiento hídrico	64
	3.1.6.	Necesidad y disponibilidad de recursos hídricos	64
	3.1.7.	Aprovechamiento del agua subterránea	64

3.2.	Planificación para la construcción de un pozo mecánico	65
3.2.1.	Programación	65
3.2.2.	Preinversión	65
3.2.2.1.	Estudios de prefactibilidad.....	66
3.2.2.1.1.	Necesidad	66
3.2.2.1.2.	Viabilidad.....	66
3.2.2.1.3.	Estudios técnicos	68
3.2.2.1.4.	Tipo de proyecto	68
3.2.2.1.5.	Métodos de perforación	69
3.2.2.2.	Estimación de recursos	69
3.2.2.2.1.	Financieros.....	69
3.2.2.2.2.	Humanos.....	70
3.2.2.2.3.	Físicos.....	70
3.2.2.2.4.	Materiales.....	70
3.2.3.	Inversión o ejecución.....	71
3.2.3.1.	Diseño de pozo	71
3.2.3.2.	Evaluación del subsuelo según muestras geológicas	72
3.2.3.3.	Limpieza y desarrollo	72
3.2.3.4.	Pruebas de bombeo	72
3.2.3.4.1.	Tipos de prueba	73
3.2.3.5.	Elección del tipo de bomba	73
3.2.4.	Operación y funcionamiento.....	74
4.	PERFORACIÓN DE POZO EN ENSENADA DE SAN ISIDRO ZONA 16, CIUDAD DE GUATEMALA	75
4.1.	Estudios de prefactibilidad	75
4.1.1.	Necesidad	75

4.1.2.	Viabilidad	75
4.1.3.	Estudios técnicos	78
4.1.3.1.	Tipo de proyecto	79
4.1.3.2.	Métodos de perforación	80
4.1.4.	Estimación de recursos	80
4.1.4.1.	Financieros	80
4.1.4.2.	Humanos	81
4.1.4.3.	Físicos	82
4.1.4.4.	Materiales	83
4.2.	Inversión y ejecución	84
4.2.1.	Diseño de pozo	84
4.2.1.1.	Propósito del aguas subterránea	86
4.2.2.	Evaluación del subsuelo según muestras geológicas.....	87
4.2.3.	Limpieza y desarrollo	92
4.2.4.	Pruebas de bombeo	94
4.2.4.1.	Tipo de prueba.....	94
4.2.5.	Elección del tipo de bomba.....	113
4.2.5.1.	Eficiencia del pozo.....	113
4.2.5.2.	Cálculos para seleccionar el equipo de bombeo.....	114
4.3.	Operación y funcionamiento	118
5.	ANÁLISIS DE RESULTADOS.....	119
5.1.	Comparación sin proyecto	119
5.2.	Comparación con proyecto.....	120
5.3.	Análisis teórico práctico	120
5.4.	Vida útil del proyecto	122

CONCLUSIONES..... 123
RECOMENDACIONES 125
BIBLIOGRAFÍA..... 127
ANEXOS..... 131

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1.	Ciclo hidrológico	3
2.	Atmósfera.....	4
3.	Isotaca de velocidad del viento promedio anual.....	6
4.	Isoyetas medias anuales.....	8
5.	Curva de la capacidad de infiltración.....	13
6.	Cuencas hidrográficas.....	16
7.	Tipos de permeabilidad	18
8.	Ubicación de ríos	22
9.	Distribución del agua subterránea.....	27
10.	Acuífero confinado	29
11.	Mapa geológico del departamento de Guatemala.....	34
12.	Cono de depresión.....	37
13.	Caracterización de la vulnerabilidad God.....	53
14.	Esquema de viabilidad	67
15.	Mapa geológico	76
16.	Mesa giratoria....	79
17.	Localización pozo D	82
18.	Mapa cobertura forestal	85
19.	Ubicación de los pozos	86
20.	Muestra de arcilla.....	87
21.	Columna litológica y registro eléctrico P. D.....	88
22.	Perfil armado del pozo	91
23.	Cubeta de limpieza.....	92

24.	Pistones.....	93
25.	Depresión- tiempo P. D.....	97
26.	Método Theis P. D.....	98
27.	Método Papadópulos y Cooper P. D.....	98
28.	Método Theis P. D.....	100
29.	Método Hantush P. D.....	100
30.	Método Boulton P. D.....	101
31.	Método Jacob P. D.....	102
32.	Evolución completa pozo D.....	104
33.	Método de recuperación de Theis.....	104
34.	Método Papadópulos y Cooper.....	105
35.	Método Neuman.....	105
36.	Evolución completa del pozo A.....	106
37.	Evolución completa del pozo B.....	107
38.	Evolución completa del pozo C.....	108
39.	Evolución de ascenso pozo A.....	109
40.	Evolución de ascenso del pozo B.....	110
41.	Evolución de ascenso del pozo C.....	111
42.	Columna litológica P. A.....	136
43.	Columna litológica y registro eléctrico P. B.....	138

TABLAS

I.	Porosidad de algunas rocas.....	19
II.	Permeabilidad de algunas rocas.....	20
III.	Índice de vulnerabilidad en Ensenada de San Isidro.....	54
IV.	Clasificación de la vulnerabilidad.....	55
V.	Personal.....	81
VI.	Maquinaria y equipo.....	83

VII.	Parámetros pozo P. D.....	87
VIII.	Datos de la prueba de bombeo P. D.....	94
IX.	Parámetros hidrogeológicos P. D	99
X.	Parámetros hidrogeológicos obtenido por intervalos P. D	99
XI.	Parámetros hidrogeológicos por interpolación P. D	102
XII.	Datos de recuperación pozo D.....	103
XIII.	Valores de T y K pozo D	106
XIV.	Parámetros hidrogeológicos pozo A	107
XV.	Parámetros hidrogeológicos pozo B	108
XVI.	Parámetros hidrogeológicos pozo C.....	109
XVII.	Valores de T y K pozo A	110
XVIII.	Valores de T y K pozo B	111
XIX.	Valores de T y K pozo C	112
XX.	Valores de la transmisividad	112
XXI.	Datos pozo D.....	114
XXII.	Curvas de rendimiento.....	116
XXIII.	Datos técnicos... ..	117
XXIV.	Análisis microbiológico P. A.....	131
XXV.	Análisis fisicoquímico P. A	132
XXVI.	Análisis fisicoquímico P. B	133
XXVII.	Análisis fisicoquímico P. C.....	134
XXVIII.	Análisis fisicoquímico P. D.....	135

LISTA DE SÍMBOLOS

Símbolo	Significado
h	Altura de la columna de agua
Δh	Carga de nivel dinámico a tanque
CDT	Carga dinámica total
A	Coefficiente de pérdida de carga en el acuífero
B	Coefficiente de pérdida de carga en el pozo
Q_{\min}	Caudal mínimo
Q	Caudal de bombeo
S	Coefficiente de almacenamiento
d_p	Depresión
d_s	Descenso
d_{real}	Descenso real
d_r	Descenso residual
$d_{\text{teórico}}$	Descenso total
AQ	Descenso teórico
\emptyset	Diámetro
Ef	Eficiencia
GPM	Galones por minuto
$^{\circ}\text{C}$	Grados centígrados
g	Gravedad
ha	Habitante
m	Metro
mm	Milímetro
MG/L	Miligramo por litro

N.E	Nivel estático
N.D	Nivel dinámico
K	Permeabilidad
P	Potencia
Φ	Potencial hidráulico
P. A	Pozo A
P. B	Pozo B
P. C	Pozo C
P. D	Pozo D
r	Radio de encamisado
Σf	Sumatoria de pérdidas por fricción y debido a los accesorios
t	Tiempo
t'	Tiempo después de parada la bomba.
T	Transmisividad
f_o	Valor máximo de la capacidad de infiltración
f_c	Valor constante de la capacidad de infiltración

GLOSARIO

Abatimiento	Diferencia entre el N.E y el N.D.
Buzamiento	Es el ángulo que forma el estrato con la horizontal, medido perpendicularmente al rumbo.
Colmatación	Acumulación de sedimentos.
Depresión	Descenso del nivel del agua.
Fragipán	Capas impermeables o de baja permeabilidad.
Franja capilar	Zona inmediatamente superior al nivel freático.
Isoyetas	Islíneas que unen los puntos, de un mapa, que representan la misma precipitación en la unidad de tiempo considerada.
Isotacas	Líneas que unen puntos, en un plano cartográfico, donde el viento sopla con la misma intensidad.
Lahar	Mezcla de fragmentos de roca y agua que fluye por las laderas de un volcán.
Macroporos	Son espacios vacíos y conductos naturales en el suelo.

Mineral	Cualquier solido inorgánico natural con una estructura interna ordenada y una composición química definida.
Rocas plutónicas	Se forman cuando el magma solidifica en el interior de la tierra.
Rocas volcánicas	Se forman a partir del enfriamiento de lava.
Seiche	Onda estacionaria en un cuerpo de agua delimitada.
Zona de aireación	Área superior al nivel freático en el cual los poros están parcialmente saturados.
Zona saturada	Área en el cual los poros e intersticios están completamente llenos de agua.

RESUMEN

En este trabajo de graduación se recopila una serie de información necesaria para el uso racional del agua subterránea, su relación e influencia en el entorno, como recurso limitado.

El primer capítulo presenta los antecedentes y una descripción general de los factores que intervienen en el ciclo hidrológico. Siendo el agua subterránea parte del ciclo hidrológico se hace una introducción sobre el mismo.

En el segundo capítulo se dan a conocer los factores geológicos como parte fundamental en la exploración y evaluación de recursos hídricos subterráneos; se describen los factores que determinan la calidad del agua subterránea; la vulnerabilidad de los acuíferos; en seguida se presentan los métodos de evaluación de la vulnerabilidad de los acuíferos, donde se aplica el método God; por último se presentan las estrategias para la protección de los acuíferos.

El tercer capítulo describe los factores involucrados en planificación para la perforación de pozo mecánico.

En el cuarto capítulo se aplica la planificación para la perforación de pozo mecánico en Ensenada de San Isidro; en la etapa de ejecución se realiza el diseño del pozo, utilizando los datos de la prueba de bombeo se determinan los parámetros hidrogeológicos mediante los cuales se obtiene la eficiencia del pozo, y las características del acuífero.

En el quinto capítulo se hace un análisis comparativo con proyecto y sin proyecto y la proyección de la vida útil del proyecto.

Por último se presentan las conclusiones respecto a la planificación y los resultados, así mismo se proporciona una serie de recomendaciones tanto para la optimización de los recursos utilizados en la perforación como el uso racional del agua subterránea en sí.

OBJETIVOS

Generales

Proporcionar una herramienta de planificación para el aprovechamiento del agua subterránea mediante la perforación de pozo mecánico, a la vez resaltar la importancia que tienen los ensayos de bombeo para obtener los parámetros hidrogeológicos y la incidencia de estos en la planificación hidráulica.

Específicos

1. Dar a conocer la importancia del estudio del agua subterránea.
2. Presentar los factores involucrados en la vulnerabilidad de los acuíferos.
3. Describir los factores involucrados en la planificación de perforación de pozos.
4. Aplicar el método God para obtener el índice de vulnerabilidad del agua subterránea en el área local.
5. Describir el tipo de acuífero mediante el análisis del perfil estratigráfico.
6. Determinar los parámetros hidrogeológicos del acuífero en la zona.
7. Verificar la eficiencia del P. D, y seleccionar el equipo de bombeo.

INTRODUCCIÓN

Por naturaleza el ser humano a lo largo de la historia siempre ha necesitado del agua para su existencia y desarrollo, por tal razón se han desarrollado varios métodos para aprovechar las diferentes fuentes de captación, entre estas están: captación superficial y de captación subterránea. Las superficiales fueron mermando debido al alto índice de contaminación, el aumento de las poblaciones, carencia de fuentes de agua superficiales cercanas, etcétera, en consecuencia surge la necesidad de aprovechar las aguas subterráneas mediante la perforación de pozos.

En el territorio guatemalteco es ya común el aprovechamiento del agua subterránea mediante pozos mecánicos, y como consecuencia surge la necesidad de planificar la explotación de dicho recurso, a fin de obtener resultados satisfactorios tanto en el aprovechamiento del agua subterránea, como en la construcción o perforación de pozos.

Para la construcción de un pozo mecánico es necesario realizar una serie de estudios entre los cuales está el estudio técnico para lo cual es necesario contar con toda la información que sea posible obtener del lugar del proyecto, como lo es el reconocimiento geológico, hidrológico, parámetros hidrogeológicos, etc. Más adelante se explica la forma de obtener los parámetros hidrogeológicos, los cuales permiten no solo conocer las características del pozo sino también las características del acuífero.

1. ANTECEDENTES

Donde hay agua hay vida, el agua es esencial para que exista vida en la tierra, los pueblos primitivos se asentaban en lugares cercanas a las fuentes de fácil acceso al agua tales como río, lago, manantiales etcétera, conforme fueron evolucionando y creciendo extensivamente, ya no fue posible tener acceso a las fuentes de agua superficial, surge entonces la necesidad de aprovechar el agua subterránea dando origen a la construcción de los primeros pozos.

1.1. Histórico

El aprovechamiento del agua subterránea para abastecimiento data desde la antigüedad, se uso la captación en la época paleolítica, los persas también realizaron obras de captación en el 8000 A.C.

En la Biblia se menciona el pozo que Jacob construyó en el 2000 antes de Cristo (A.C.) y se encuentra ubicado cerca de Nablus (Cisjordania) con un diámetro de tres metros con una profundidad de 32,00 metros.

1.2 Ciclo hidrológico

La hidrología es la ciencia que estudia el agua en su ocurrencia, circulación, y distribución en el espacio, así como su relación con el medio ambiente.

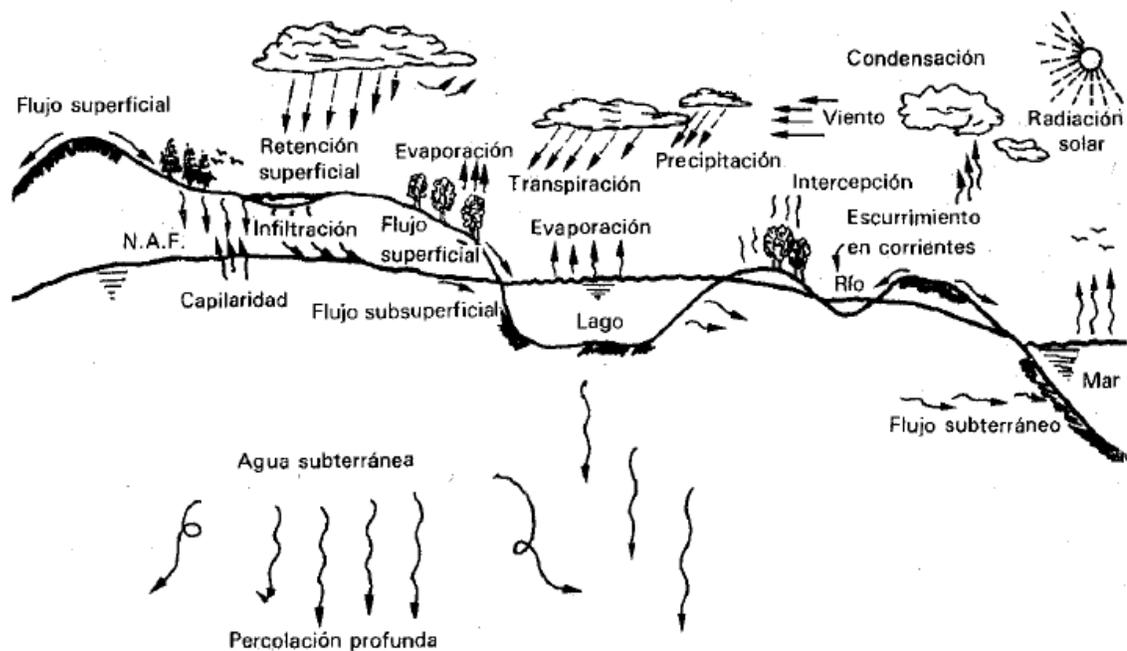
El agua no permanece en los depósitos de manera indefinida sino que puede cambiar rápidamente de un estado de materia a otra; al moviendo constante del agua entre la hidrosfera, la atmósfera, la tierra solida y la biosfera, se le conoce como ciclo hidrológico.

Existen numerosos esquemas del ciclo hidrológico, teniendo como objetivo ilustrar de manera sencilla las diferentes formas y estados del agua.

La principal fuente de energía que impulsa el ciclo hidrológico es el sol, la atmósfera funciona como enlace vital entre los océanos y los continentes, pues el agua evapora de los océanos y en menor grado de los continentes. Los vientos trasportan este aire cargado de humedad a largas distancias hasta que las condiciones hacen que la humedad se condense en nubes y caiga como precipitación.

La precipitación que cae en los océanos habrá completado su ciclo y estará listo para otro. El agua que cae en los continentes deberá regresar al océano por los diferentes medios o formas como se describe más adelante.

Figura 1. **Ciclo hidrológico**



Fuente: APARICIO MIJARES, Francisco J. Fundamentos de hidrología de superficie. p. 17.

1.2.1. **Atmósfera**

Es la capa gaseosa que rodea la tierra conocida comúnmente como aire, este manto de aire forma parte del ciclo hidrológico, pues se comporta como un gran depósito de vapor de agua, un sistema amplio de transporte de agua y un gran colector de calor, en ella ocurren básicamente todos los fenómenos del clima calor, frío y lluvia.

La atmósfera no solo proporciona el aire que respiramos sino también nos protege del intenso calor del sol y de las radiaciones ultravioletas. En la troposfera se encuentran más de las tres cuartas partes del aire de la atmósfera, además contiene mucho vapor de agua condensado en forma de nubes.

Figura 2. **Atmósfera**



Fuente: http://www.123rf.com/photo_10892164_south-america-earth-globe-planet-on-black-space-background-featuring-america-and-latin-american-coun.html. Consulta: 2 de enero de 2013.

1.2.2. Temperatura

Se define como temperatura a las nociones comunes de frío, tibio, caliente, es fundamental para el ciclo hidrológico ya que interviene en todas sus etapas.

Interviene como parámetro en las fórmulas para calcular la evaporación y en las fórmulas para calcular las necesidades de agua de riego de las plantas. Como prácticamente en todas partes hay registros de temperatura, su empleo está plenamente justificado. A la disminución de temperatura respecto a la altura se le conoce como gradiente vertical de temperatura. En la troposfera, la temperatura varía según las condiciones locales, en promedio es de 0.6 °C por cada 100,00m de ascenso.

En la ciudad de Guatemala la temperatura resulta entre los 12 y 28 °C dependiendo de la época del año.

1.2.3. Viento

Debido a la diferencia de temperaturas el aire caliente asciende y el aire frío ocupa el lugar de este y al movimiento del aire se conoce como viento.

Como consecuencia del movimiento giratorio de la tierra, los vientos tratan de moverse hacia la derecha del hemisferio norte y hacia la izquierda en el hemisferio sur, a esto se le conoce como efecto coriolis, los vientos pueden movilizarse a diferentes velocidades.

El viento puede influenciar en el relieve de la tierra a través de procesos eólicos. La velocidad del viento se puede conocer mediante los anemómetros y su dirección se mide con las veletas. De acuerdo a la fuerza y duración el viento adquiere diversos nombres.

Figura 3. Isotaca de velocidad del viento promedio anual



Fuente: http://www.insivumeh.gob.gt/hidrologia/ATLAS_HIDROMETEOROLOGICO/Atlas-Climatologico/viento.jpg. Consulta: 2 de enero de 2013.

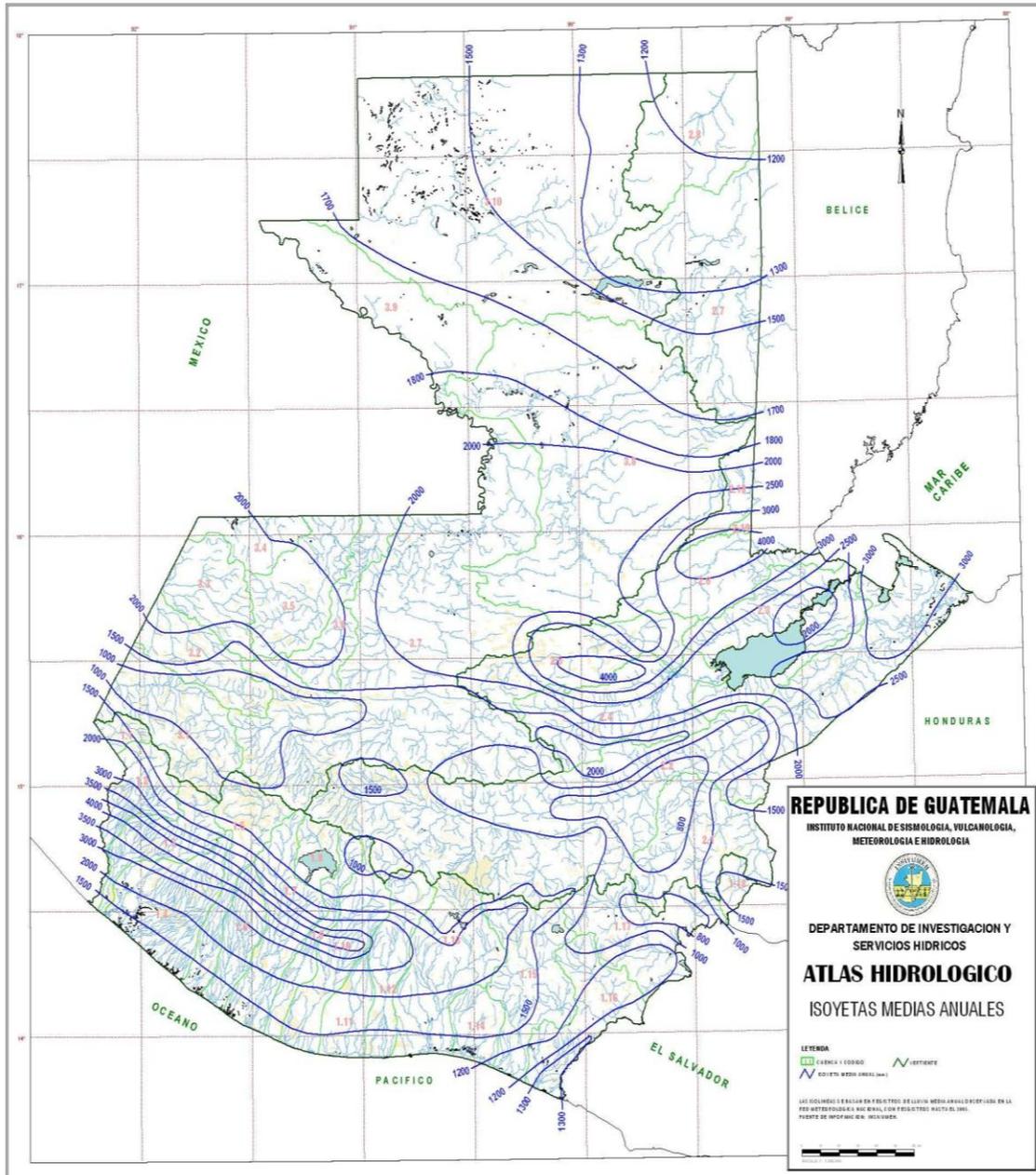
1.2.4. Precipitación

La precipitación es la causa primaria del agua de la superficie terrestre. Básicamente existen diez tipos de precipitación pero normalmente se distinguen tres, la lluvia, la nieve y el granizo, estados en los cuales el agua cae en los continentes y océanos.

El proceso de precipitación requiere la elevación de una masa de agua en la atmósfera de modo que se enfríe y parte de su humedad se condense. Los principales mecanismos para la elevación de masa de aire son:

- La elevación frontal, se produce cuando se encuentran dos masas de aire y el aire caliente es elevado sobre el aire frío por un pasaje frontal.
- La elevación orográfica, mediante la cual una masa de aire se eleva para pasar por encima de una cadena montañosa perdiendo su humedad y comienza a descender por la pendiente opuesta, calentándose adiabáticamente llegando al valle como un aire cálido y seco, y
- La elevación convectiva, donde el aire caliente es arrastra hacia arriba por una acción convectiva, debido a que es más liviana que el aire que la rodea como ocurre en el centro de una celda de una tormenta eléctrica, la precipitación asociada usualmente es aislada, intensa y de corta duración.

Figura 4. Isoyetas medias anuales



Fuente: <http://www.insivumeh.gob.gt/hidrologia/ATLAS-HIDROMETEOROLOGICO/Atlas-Hidrologico/isoyetas.jpg>. Consulta: 3 de enero de 2013.

1.2.4.1. Medición de la precipitación

Los instrumentos comúnmente utilizados para la medición de la lluvia y el granizo son los pluviómetros y pluviógrafos, estos últimos se utilizan para determinar las precipitaciones pluviales de corta duración y alta intensidad.

Un pluviómetro es un instrumento utilizado para medir la cantidad de agua precipitada en un determinado lugar. La confiabilidad del uso de este aparato se basa en el hecho de que la lluvia se mide por la cantidad de milímetros de espesor que alcanzaría el agua sobre un suelo perfectamente horizontal, e impermeable.

Los pluviógrafos son similares a los pluviómetros, con la diferencia de que los pluviógrafos pueden registrar cantidad total y la duración de la precipitación, permitiendo analizar la distribución de la lluvia en el tiempo para así calcular la intensidad de lluvia.

De acuerdo a los datos del mapa de la figura 4 proporcionado por el INSIVUMEH la precipitación acumulada anual se encuentra entre 939 a 2078mm.

1.2.5. Evaporación y transpiración

La consideración de estos dos factores es importante al realizar un balance hidrológico.

1.2.5.1. Evaporación

La evaporación es el proceso por el cual el agua pasa de su estado líquido a estado gaseoso luego de haber adquirido suficiente energía para vencer la tensión superficial. Usualmente se produce por el aumento de energía cinética que experimentan las moléculas de agua cercanas a las superficies tales como lagos, ríos, caminos, suelos o vegetación mojada, producido por la radiación solar, el viento y las diferencias en presión de vapor.

A medida que ocurre la evaporación, el aire circundante se satura gradualmente y el proceso se vuelve cada vez más lento hasta detenerse completamente si el aire mojado circundante no se transfiere a la atmósfera.

1.2.5.2. Medición de la evaporación

La evaporación puede medirse experimentalmente por medio de los denominados tanques de evaporación, que pueden ser enterrados, flotantes y de superficie, están conformados por un recipiente circular de chapa galvanizada o de acero inoxidable, el nivel del agua se mide mediante un milímetro de punta, que consiste en un vástago con tornillo graduado en milímetro.

Las circunstancias de evaporación en los tanques no son las mismas que en un área mayor por lo que es necesario corregir los valores registrados mediante un coeficiente de reducción que varía entre 0,60 y 0,80.

Para la ciudad de Guatemala se tiene según evaporación de tanque a la intemperie de la estación INSIVUMEH, una evaporación promedio anual entre 2,80 y 4,90mm.

1.2.5.3. Transpiración

Consiste en la vaporización del agua líquida contenida en los tejidos de las plantas, para después ser removido hacia la atmósfera. El flujo transpiratorio depende del gradiente de concentración de vapor de agua entre la hoja y la atmósfera circundante y es inverso a la resistencia de la atmósfera o de la hoja al movimiento del vapor de agua.

Los cultivos pierden agua predominantemente a través de los estomas y en menor grado a través de las cutículas. Los estomas son pequeños orificios localizadas en el envés de la hoja de las plantas a través de las cuales pasa el vapor de agua y otros gases a la atmósfera.

El agua, junto con algunos nutrientes, es absorbida por las raíces y transportada a través de la planta. La vaporización sucede dentro de la hoja, en los denominados espacios intercelulares, y el intercambio de vapor de agua con la atmósfera es controlado por la abertura estomática. Casi toda el agua absorbida del suelo se pierde por transpiración y solamente una pequeña fracción se convierte en parte de los tejidos vegetales.

1.2.5.4. Evapotranspiración

Dado que no es posible diferenciar claramente entre la cantidad de agua que se evapora y la cantidad que es transpirada por las plantas, se suele emplear el término evapotranspiración para definir el efecto combinado.

Cabe mencionar que la proporción de evaporación y transpiración en un cultivo cambia de acuerdo a las diferentes fases de desarrollo y crecimiento. En las primeras etapas del cultivo, el agua se pierde principalmente por evaporación directa del suelo, pero con el desarrollo del cultivo y finalmente

cuando este cubre totalmente el suelo, la pérdida de agua se deberá fundamentalmente a la transpiración.

1.2.6. Infiltración

La infiltración además de ser uno de los componentes principales del ciclo hidrológico, es el motor de la vida para la mayor parte de los organismos que habitan en un ecosistema terrestre.

En el proceso de la infiltración intervienen una serie de factores como la condición de la superficie del suelo y su cubierta vegetal, las propiedades del suelo, tales como la porosidad y la conductividad hidráulica, y el contenido de humedad presente en el suelo. Estratos de suelo con propiedades físicas diferentes pueden superponerse unos sobre otros formando horizontes.

Los suelos también presentan una gran variabilidad especial aun dentro de pequeñas áreas, como en un sembrado. Como resultado de estas grandes variaciones especiales y de las variaciones temporales de las propiedades del suelo que ocurren a medida que cambia el contenido de humedad de éste, la infiltración es un proceso difícil de medir y modelar lo cual dificulta su descripción mediante ecuaciones matemáticas.

1.2.6.1. Capacidad de infiltración

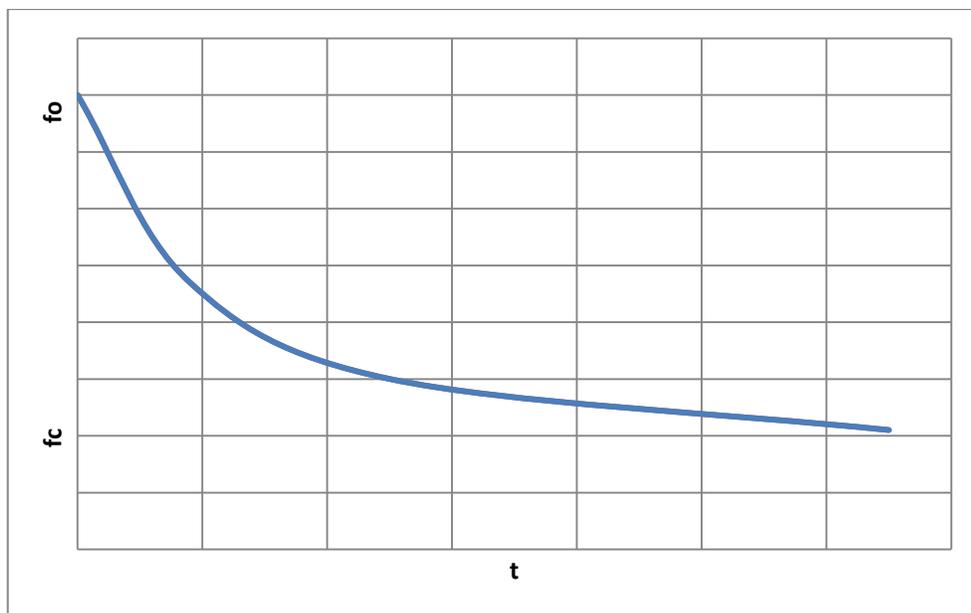
Debido a los fenómenos de infiltración y percolación, el agua de lluvia llega hasta el nivel del agua subterránea, pero no a un ritmo constante. La tasa de infiltración disminuye a medida que progresa la tormenta, debido a que se van llenando los espacios capilares del suelo.

La capacidad de infiltración es el límite superior de la tasa de infiltración. Incluye la infiltración en la superficie y la percolación, y se expresa en términos de profundidad por unidad de tiempo. Si el índice de precipitación es menor o igual a la capacidad de infiltración, no se produce escorrentía superficial.

1.2.6.2. Factores de infiltración

La infiltración depende de varios factores entre los más relevantes están, la textura del suelo, uso del suelo, humedad inicial, temperatura, el contenido de materia orgánica, el contenido de humedad, la cobertura vegetal y la época del año.

Figura 5. **Curva de la capacidad de infiltración**



Fuente: elaboración propia, con base en el Texto Hidrología I. p. 208.

De las características del suelo que intervienen en el proceso de la infiltración la porosidad es posiblemente la más significativa. La porosidad es un factor determinante en la capacidad de almacenamiento y de resistencia al flujo. El contenido de materia orgánica favorece la infiltración debido a que produce un aumento en la porosidad.

La infiltración varía en proporción inversa a la humedad del suelo, es decir, la infiltración es menor en un suelo húmedo que en un suelo seco y esta disminución es más notoria en los momentos iniciales. Este comportamiento se puede apreciar de mejor manera en la curva de la capacidad de infiltración.

La cobertura vegetal en la capacidad de infiltración estriba en que, cuando el suelo está cubierto por vegetación las plantas la protegen de la compactación por impacto de la lluvia, retardándose además el recorrido superficial del agua, que está así más tiempo expuesta a su posible infiltración, mientras que por su parte, las raíces de los vegetales abren conductos en el suelo que facilitan la penetración del agua. No así para las superficies desnudas, que se hallan expuestas al choque directo de las gotas de lluvia, lo que puede dar lugar a una compactación del mismo, con la consiguiente disminución de la infiltración.

1.2.6.3. Medición de la infiltración

Todos los factores que afectan a la infiltración, tienen un carácter eminentemente local. En consecuencia los métodos de campo empleados para su determinación, tiene un valor relativo y representan las características del lugar por tanto al realizar los ensayos debe escogerse un lugar representativo del área en cuestión, esto puede realizarse ya sea mediante, infiltrómetros, lisímetros o análisis de hidrogramas de escorrentía en cuencas pequeñas.

Al contrario de lo que sucede con la precipitación o la evaporación, la infiltración puede diferir considerablemente de una zona a otro relativamente cercano, por lo que las mediciones hechas con infiltrómetros sólo pueden considerarse representativas de áreas muy pequeñas.

Por tanto los infiltrómetros se utilizan para mediciones puntuales, y con ellos, la capacidad de infiltración se determina en forma directa, los valores obtenidos pueden aplicarse a cuencas pequeñas y homogéneas a fin de obtener datos fidedignos.

1.2.6.4. Escorrentía

Se puede decir que la escorrentía es aquella parte de la precipitación, que en vez de infiltrarse en el suelo, fluye hacia el cauce fluvial desplazándose sobre la superficie, también incluye el agua que llega al cauce fluvial con relativa rapidez justo debajo de la superficie del suelo, es decir el termino escorrentía abarca entonces tanto el flujo superficial como el interflujo. El flujo de superficie básicamente se divide en dos:

Flujo hortoniano que se produce en los suelos que no están saturados. Incluso el suelo puede estar seco pero debido a sus propiedades, exceso de lluvia en periodo corto o deshielo rápido, el suelo no es capaz de absorberla hasta el punto de saturación.

Flujo superficial del exceso de saturación, sucede cuando todos los poros e intersticios del suelo se saturan de tal manera que ya no queda espacio para que se infiltre más agua. Esto puede acaecer incluso en suelos que normalmente, en condiciones subsaturadas, permiten la infiltración de grandes cantidades de agua.

El interflujo o flujo subsuperficial es un flujo relativamente rápido que se produce debajo de la superficie, dependiendo de las características de la cuenca el interflujo puede ser un factor predominante para el análisis de crecidas, los factores que pueden favorecer este proceso son los macroporos, suelos poco profundos, capas de fragipán etc.

1.2.7 Circulación subterránea

Como se ha visto anteriormente cuando llueve, parte del agua escurre por la superficie, parte se evapora, transpira y el resto se penetra en el terreno. Esta última vía es la fuente primaria de prácticamente toda el agua subterránea.

1.2.7.1. Distribución del agua en el subsuelo

No todo el agua infiltrada viaja lejos sino parte de ella se evapora nuevamente a la atmósfera y otra parte es utilizada por las plantas, pero el agua que no es retenido en el cinturón de humedad del suelo se infiltra hacia abajo hasta que alcanza una zona donde todos los espacios libres del sedimento y la roca están completamente llenos de agua. El agua contenida en el interior se conoce como agua subterránea.

El límite superior de esta zona se conoce como nivel freático, y encima de este se encuentra la franja capilar, en la cual, el agua subterránea es mantenida por la tensión superficial en diminutos pasajes comprendidos entre los granos suelo o sedimento.

Normalmente, la distribución del agua en el subsuelo se divide en dos zonas: la de aireación, también conocida como zona vadosa o no saturada y la de saturación.

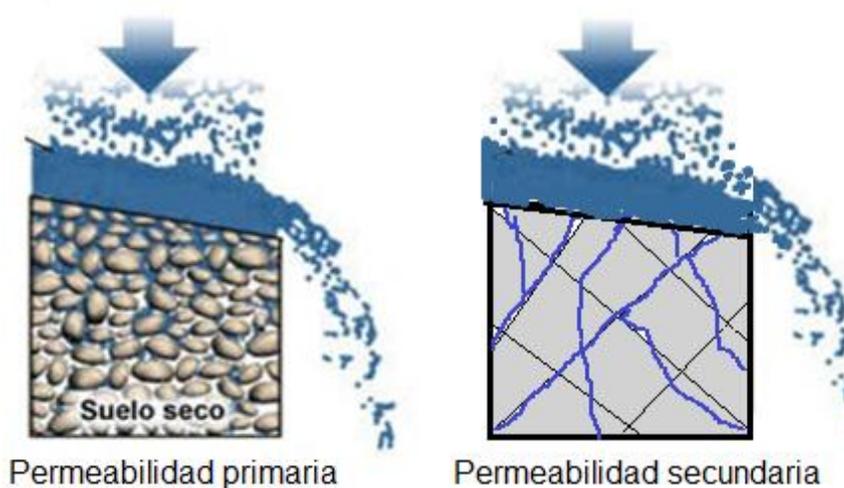
La zona de aireación, es el estrato superior al nivel freático que abarca la franja capilar y el cinturón de humedad del suelo, donde los poros o aberturas están sólo parcialmente llenos de agua.

Zona de saturación, en esta 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.

1.2.7.2. Factores que afectan el 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.

Figura 7. Tipos de permeabilidad



Fuente: elaboración propia y www.metod.ucar.edu. Consulta 5 de enero de 2013.

Precipitación; el agua subterránea es parte del ciclo hidrológico pues proviene de la lluvia y de la fusión de la nieve que percola hacia el interior de la tierra. Las zonas lluviosas constituyen, en mayor o menor grado, zonas de alimentación del agua subterránea, por lo que en las zonas secas el agua del subsuelo no proviene de la infiltración directa, procede de regiones lejanas o cercanas, en donde la lluvia se infiltra y llega lentamente hasta ellas.

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. 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.

Tabla I. **Porosidad de algunas rocas**

Roca	Porosidad media (%)	Tipo
Granito, esquisto, gneis	0,16	Fractura
Pizarra	3,95	Fractura
Carbonatada	53,00	Cárstico
Arena uniforme	35,00	Granular
Arena Mixta	38,00	Granular
Arcilla	45,00	Granular
Suelos	55,00	Granular

Fuente: MADEREY RASCÓN, Laura Elena. Principios de Hidrogeografía Estudio del Ciclo Hidrológico. p. 91.

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. En los cuadros de las tablas I y II se presentan las propiedades de porosidad y permeabilidad para algunas rocas.

Tabla II. **Permeabilidad de algunas rocas**

Roca	Porosidad primaria (%)	K(m/día)
Caliza Arcillosa	2	$8,3 \times 10^{-5}$
Caliza detrítica	16	$2,2 \times 10^{-3}$
Arenisca limosa	12	$1,2 \times 10^{-1}$
Arenisca de grano grueso	12	$9,2 \times 10^{-1}$
Arenisca	29	2,0

Fuente: MORA C. Sergio; VALVERDE G. Ronald. Geología proceso de la dinámica interna y externa. p. 309.

1.2.7.3. Flujo del agua subterránea

En el suelo el agua fluye a través de los poros interconectados que resultan de la disposición de las partículas individuales y su agregación. Para que se produzca el movimiento, se requiere energía y capacidad del medio poroso para transmitir agua. La energía que hace moverse el agua subterránea la proporciona la fuerza de la gravedad. Es decir el agua se mueve, a través de los poros, lentamente desde donde el nivel freático es elevado hacia zonas donde el nivel freático es más bajo.

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.

1.3. Agua de superficie o superficial

Son las aguas continentales es decir aquellas que se encuentran en la superficie de la tierra y pueden estar fluyendo constantemente o bien estar en reposo.

1.3.1. Fuentes de abastecimiento

En general las fuentes de abastecimiento pueden dividirse en fuentes superficiales y en fuentes subterráneas. Resulta interesante conocer el origen o fuente de abastecimiento ya que puede influir en la calidad del agua.

Las fuentes constituyen el elemento primordial en el diseño de un sistema de abastecimiento de agua y antes de dar cualquier paso es necesario definir su ubicación, tipo, cantidad y calidad.

De acuerdo a la ubicación y naturaleza de la fuente de abastecimiento así como a la topografía del terreno, se consideran dos tipos de sistemas, los de gravedad y los de bombeo.

- Análisis del agua; los análisis físico, químicos y bacteriológicos deben demostrar concentración máxima admisible recomendadas por la OMS.
- Caudal; el caudal mínimo en épocas de estiaje ($Q_{Min.}$) debe ser mayor al Caudal requerido ($Q_{Req.}$) por el proyecto.
- Fluctuaciones; las fluctuaciones de la red hidrográficas de la cuenca, no deben afectar el funcionamiento continuo de la fuente.

Cerca del área en cuestión están el río Monjitas y el riachuelo Santa Rosita tal como se muestra en la siguiente figura 8.

1.3.3. Lago

Existen varios conceptos respecto a lago aquí se considera lago a toda masa, de agua dulce o salada, acumulada de forma natural en el interior de los continentes, y de superficie y profundidad variables, entre amplios límites.

Existen cuerpos de agua que tienen afluentes, pero no efluentes, se encuentran en áreas rodeadas por cerros que no les permiten una salida y sólo evacuan sus aguas por evaporación. El aporte de agua a los lagos proviene de los ríos, de aguas freáticas y precipitación sobre el espejo de agua.

1.3.4. Precipitación

La precipitación es una solución a los problemas de escasez de agua, mediante la captación de agua de lluvia, lo que permite el incremento de su cantidad disponible durante los periodos secos.

La captación de agua de lluvia proporciona varios beneficios entre los cuales están los beneficios socioeconómicos y ambientales a parte de las ventajas que tiene contra un sistema tradicional de distribución.

1.3.5. Manantial

Es el afloramiento a la superficie terrestre de las aguas de circulación subterránea a través de una formación de estratos con arena, grava o roca fisurada.

Los estratos impermeables, bloquean el flujo subterráneo de agua y lo obligan aflorar a la superficie. Los manantiales pueden clasificarse de acuerdo a su ubicación y a su afloramiento.

La captación de manantiales se realiza mediante una estructura de captación que permite la recolección de agua, para luego transportarla a una cámara húmeda mediante las tuberías de conducción. El diseño hidráulico depende de la topografía, la textura del suelo y del tipo de manantial.

1.4. Agua subterránea

Usualmente el agua de origen subterráneo tiene mejor calidad, comparada con las fuentes de agua superficial, aunque como se ha mencionado anteriormente el agua subterránea en casi un 99% del total, proviene del agua meteórica, la cual ha alcanzado el acuífero después de infiltrarse a través del suelo, sobre el cual se precipitó en forma de lluvia o por haber circulado por el lecho de un río influyente. El resto del agua subterránea se ha generado a partir del agua magmática originada durante la cristalización de los magmas, o sea agua juvenil.

1.4.1. Importancia del estudio de las aguas subterráneas

El agua subterránea es empleada para el abastecimiento de agua potable, tanto en viviendas individuales, como en aglomeraciones urbanas, en proyectos agropecuarios para riego y para uso animal, así como en industrias consumidoras de grandes cantidades de agua.

La importancia del estudio del agua subterránea estriba en que su aprovechamiento ha venido incrementándose no solo en Guatemala sino también en otros países del mundo donde las fuentes de agua superficiales se están agotando o simplemente no existen. El agua subterránea tiene importancia también como componente esencial del ciclo hidrológico y como reserva fundamental.

La utilización desmedida de este recurso puede causar problemas de subsidencia entre otros, de ahí la importancia del estudio del movimiento y distribución del agua subterránea.

1.4.2. Acuífero

Es aquel estrato o formación geológica capaz de almacenar y transmitir agua de un punto a otro en gran cantidad que permite su desarrollo económico.

Básicamente un acuífero se compone de dos zonas, una zona de recarga que es por donde entra el agua, y la zona de descarga por la cual el agua sale.

1.4.3. Acuícludos

Se puede definir como aquella formación geológica que limita un acuífero, que puede contener agua en su interior incluso hasta la saturación, pero no la transmite en cantidades importantes y por lo tanto no es posible su explotación.

1.4.4. Acuíardo

Formación geológica que limita un acuífero en cualquier posición ya sea sobreyaciéndolo, subyaciéndolo o limitándolo literalmente. Estos sin embargo, pueden transmitir agua hacia o fuera del acuífero muy lentamente, por lo que no son aptos para el emplazamiento de captaciones de agua subterránea, no obstante bajo condiciones especiales permiten una recarga vertical de otros acuíferos.

1.4.5. Acuífugo

Es una formación geológica impermeable es decir no contiene ni transmite agua subterránea. Entre ellos tenemos las capas de lahar, granitos no fisurados, etc.

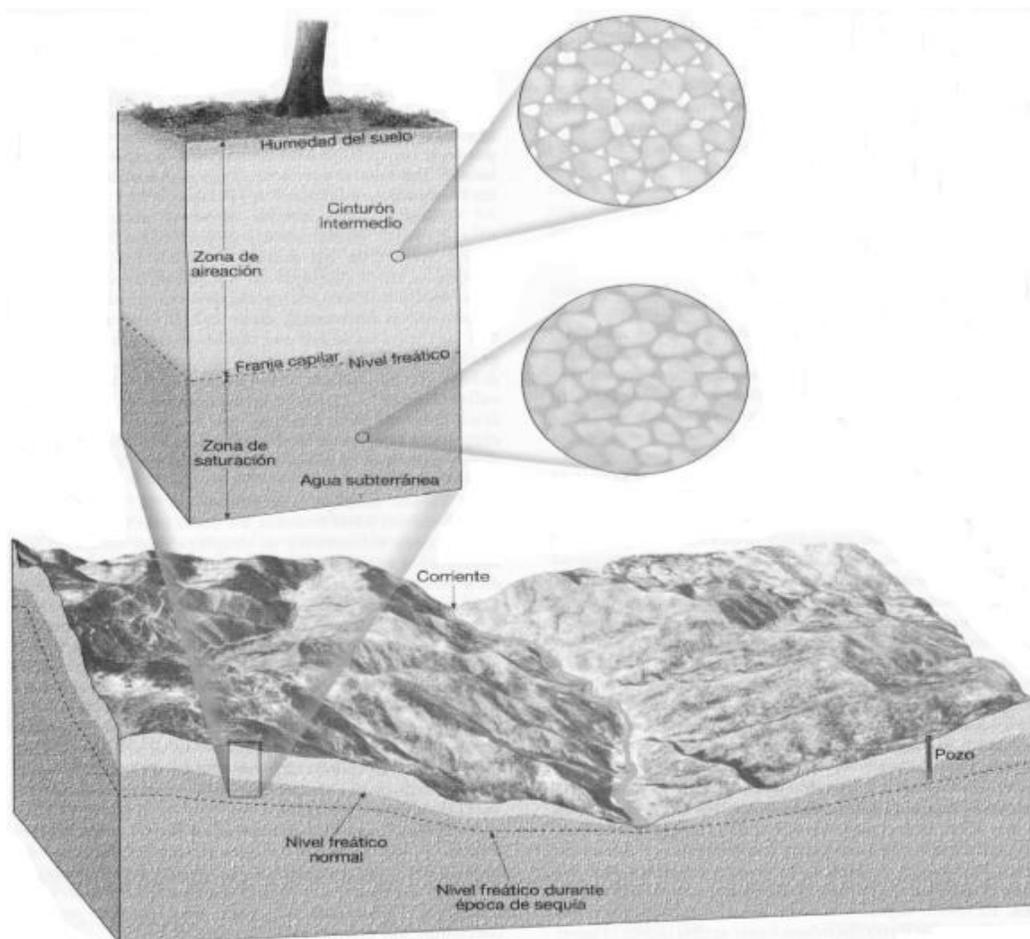
1.4.6. Detríticos

Las formaciones detríticas están instituidas por partículas de rocas preexistentes, es decir originadas a partir de la compactación de sedimentos sueltos, pueden o no constituir buenos acuíferos según del tamaño de las partículas, su grado de compactación y cementación. Entre estas tenemos las gravas, las calizas, las lutitas, etc.

1.4.7. Nivel freático

Es el límite superior de la zona de saturación y límite inferior de la franja capilar. El nivel freático resulta fundamental para la predicción de la productividad de los pozos e interpretación de los cambios de flujo de las corrientes y los manantiales, así como las fluctuaciones del nivel de los lagos.

Figura 9. Distribución del agua subterránea



Fuente: TARBUCK Edward J.; LUTGENS Federick K. Ciencias de la tierra una introducción a la Geología. p. 246.

Aunque no se puede observar directamente el nivel freático, su elevación puede cartografiarse y estudiarse en detalle allí donde los pozos son numerosos porque el nivel del agua en los pozos coincide con el nivel freático.

1.4.8. Acuífero colgante

En ocasiones se tienen estratos relativamente impermeables sobre los acuíferos freáticos. Consecuentemente se tiene la formación de acuíferos colgantes o colgados, en los cuales un volumen determinado de agua se encuentra separado de un cuerpo importante de agua subterránea debido a la capa impermeable o semipermeable, y normalmente tiene una extensión limitada sobre la zona saturada más próxima. A menudo se encuentran en formaciones sedimentarias, los llamados lentes de arcilla que mantienen volúmenes de agua colgados sobre el nivel freático.

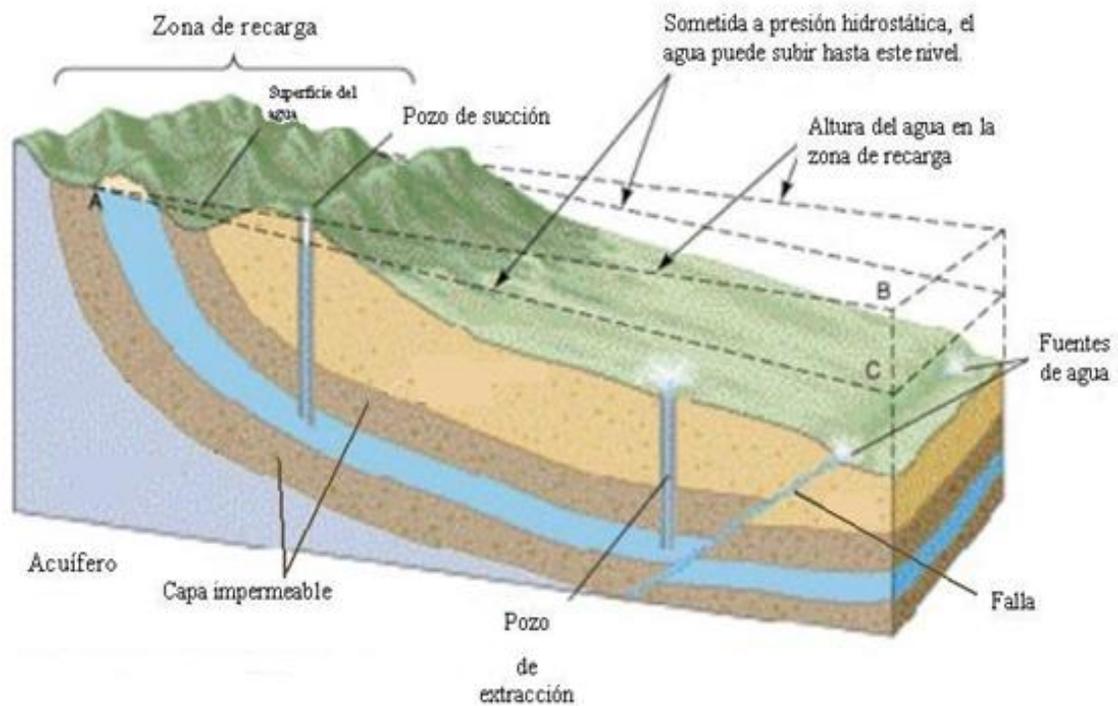
1.4.9. Acuífero confinado

También llamado acuífero artesiano, surgente o cautivo, se caracteriza por tener una fuente de recarga normalmente elevada y muy distante por lo que el agua desarrolla una mayor presión interna que la atmósfera. Por este motivo al perforar pozos que atraviesen el límite superior del material que constituye el acuífero, se observará que el nivel del agua asciende muy rápido hasta que se estabiliza en el nivel piezométrico.

En general, para que se tenga un sistema artesiano, el agua debe estar confinada a un acuífero inclinado, de modo que un extremo pueda recibir agua, y debe haber acuicludos, encima y debajo del acuífero, para evitar que el agua escape.

Podrán darse pozos artesianos surgentes si el nivel del agua queda por encima del nivel topográfico y pozo artesiano no surgente si la superficie piezométrica se localiza por debajo de la cota del terreno.

Figura 10. **Acuífero confinado**



Fuente: <http://virginiadiversificacionscarlatti.blogspot.com/2011/02/actividades-de-las-aguas-subterranas.html>. Consulta: 7 de enero de 2013.

1.4.10. **Acuífero libre**

Igualmente conocido como acuífero no confinado o acuífero freático y es aquel acuífero que muestra una superficie libre de agua que está en contacto directo con la atmósfera, sometida por lo tanto a la presión atmosférica.

La superficie del agua será el nivel freático y podrá estar en contacto directo con el aire o no, pero lo importante es que no tenga por encima ningún material impermeable. Son frecuentes en medios granulares y aluviales.

Este tipo de acuíferos son susceptibles a la contaminación debido a su gran facilidad de infiltración, por lo que es necesario controlar las fuentes potenciales de contaminación ya que aunque resulta un poco más difícil su contaminación los métodos para su regeneración son muy difíciles y costosos. Por lo general estos tienen mayor área de recarga.

Al perforar un pozo que atraviere total o parcialmente este tipo de acuíferos, el agua alcanza un nivel que sería el mismo que tendría dentro de la formación geológica, es decir el nivel freático coincide con el nivel piezométrico.

En este se tiene una zona impermeable que sirve de base a una zona permeable saturada de agua. Más arriba, existe una franja permeable.

En Guatemala la mayoría de los acuíferos no se definen como cautivo o libre es decir son semiconfinados. Las fronteras de este tipo de acuíferos no son totalmente impermeables sino que son acuitardos, por ende permiten la filtración vertical es decir puede recargar o perder agua a través del techo o base.

2. RECONOCIMIENTO HIDROGEOLÓGICO Y VULNERABILIDAD DE LOS ACUÍFEROS

Dependiendo del tipo de acuífero y la cercanía que este tenga de la fuente contaminante se determinará la vulnerabilidad de la misma.

2.1. Geología

Es la ciencia que analiza la composición y estructura de la tierra buscando las causas de su estado actual. La Geología como ciencia se auxilia de otras disciplinas como la Física, la Química, la Matemática, la Hidrología, etcétera, a este conjunto de interrelaciones también se le conoce como Ciencias de la Tierra.

La Geología tiene una importancia fundamental en la exploración y evaluación de recursos hídricos subterráneos, ya que permite conocer el marco en la que se produce la circulación y almacenamiento del agua subterránea. La ubicación y clasificación de las formaciones con el auxilio de la Petrografía, Estratigrafía, y Geomorfología.

2.2. Propiedades hidrogeológicas de las rocas

Las propiedades de los materiales subsuperficiales tienen mucha influencia en la velocidad del movimiento y distribución del agua subterránea. La presencia del agua en las rocas está limitada a los espacios abiertos existentes en las mismas tales como fisuras y huecos. La disposición espacial de las fracturas en las rocas fisuradas es regularmente discreta, no obstante a

menudo una orientación espacial preferente puede inducir a una permeabilidad anisótropa. Los huecos son con mayor frecuencia espacios que quedan entre las partículas sedimentarias, pero también son comunes las cavidades formadas por disolución de rocas solubles, como la caliza, y las vesículas.

2.2.1. Rocas ígneas

La mayor parte de la corteza terrestre está constituida por rocas ígneas. Las rocas ígneas ya sean plutónicas o volcánicas son permeables en las zonas donde las fisuras están abiertas. Usualmente el ancho de las fisuras decrece en función de la profundidad.

Las rocas plutónicas o intrusivas, que son ricas en cuarzo, presentan mayor vulnerabilidad a sufrir fisuración. De ahí que al someterse a meteorización mecánica se crean aluviones arenosos que son permeables en la superficie, mientras que las rocas pobres en cuarzo están sujetas a la meteorización química, lo que implica una transformación química de la roca en uno o más compuestos nuevos, que a menudo obstruyen las fisuras de la roca subyacente.

Normalmente las rocas volcánicas presentan fracturas que se originan a partir del enfriamiento de la lava. Durante el flujo de lava se crean zonas fracturadas permeables que se extienden horizontalmente, tanto en la superficie como en el fondo.

2.2.2. Rocas metamórficas

Al igual que las rocas ígneas, son permeables en la zona donde las fisuras están abiertas. Las rocas metamórficas son el resultado de la transformación de

las rocas ígneas, rocas sedimentarias u otras rocas metamórficas al someterse a temperaturas y presiones muy altas a grandes profundidades, o sea a condiciones diferentes a las de su formación. Los gneis ácidos que contienen cuarzo están sujetos a meteorización, dando lugar a aluviones arenosos. Las calizas metamórficas cristalinas son propensas a sufrir karstificación, de manera que suelen contener agua subterránea kárstica.

2.2.3. Rocas sedimentarias

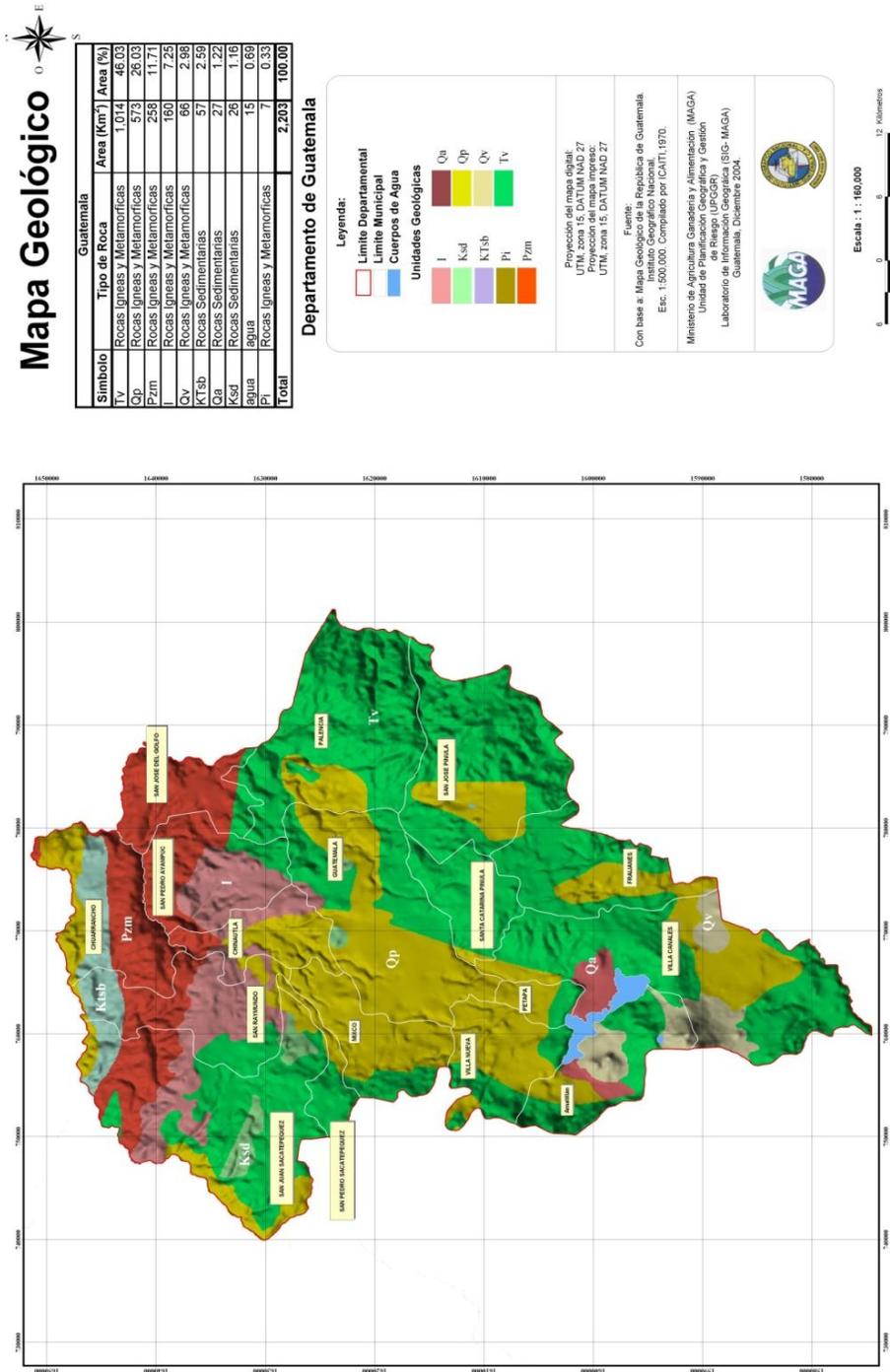
Los medios permeables de mayor interés están compuestos por depósitos sedimentarios no consolidados o pobremente consolidados. La litificación, la compactación y la cementación son procesos que afectan su permeabilidad y porosidad, por el contrario la disolución hace aumentarlos. En las rocas sedimentarias consolidadas el flujo subterráneo también depende del proceso de fisuración.

El flujo subterráneo en las rocas sedimentarias está en función de la disposición de la roca, la litología y las facies de la secuencia sedimentaria completa, esto es, del tamaño de grano y de la composición horizontal y vertical. Por lo general la permeabilidad del sedimento en la dirección vertical es menor comparado con la de la dirección horizontal.

2.2.4. Controles estructurales

Se puede decir que el control estructural se refiere a los cambios súbitos de dirección y buzamiento, debido a la interacción de las placas a lo largo de sus bordes, lo cual genera modificaciones en las características litológicas o morfológicas del subsuelo.

Figura 11. Mapa geológico del departamento de Guatemala



Fuente: Ministerio de Agricultura Ganadería y Alimentación.

En muchas regiones los estratos suelen deformarse, por efecto de movimientos de la tierra, quedando plegamientos irregulares. Los dos tipos de pliegues más comunes son los sinclinales, formados por pliegues cóncavos, con las rocas más jóvenes hacia el centro de la curvatura y anticlinales, que son pliegues convexos con las rocas más antiguas hacia el centro de la curvatura.

Dichos plegamientos introducen mucha incertidumbre en la localización de pozos productivos, siendo necesario obtener datos de campo en muchos puntos de un área dada, para obtener un mapa que muestre las unidades más permeables y la posición de los niveles piezométricos.

2.2.5. Análisis de fallas geológicas

Una falla, en geología, es una zona de fractura a lo largo de la cual hay desplazamientos diferenciales de la corteza terrestre. El movimiento responsable puede tener dirección vertical, horizontal o una combinación de ambas, de acuerdo a ello puede clasificarse en falla vertical, inversa y de rumbo.

Las fallas pequeñas afectan muy poco el agua subterránea a menos que como las fracturas, sirvan de pequeños lugares de almacenamiento. Las fallas de extensión, desplazamiento y profundidades considerables, afectan la distribución y posición de los acuíferos. Pueden actuar, ya sea como barreras o como conductos de agua. Las fallas afectan las condiciones del agua subterránea, no solamente desplazando unidades de alta permeabilidad, sino también modificando la altitud y topografía de la superficie en los lados opuestos de la falla.

2.3. Reconocimiento hidrológico

Los estudios hidrológicos, aportan información acerca del ciclo hidrológico, la cantidad de agua útil para la recarga de los acuíferos, de la facilidad con que se produce la misma y de la localización y cuantificación del volumen de agua que se descarga en la superficie.

2.4. Hidráulica subterránea

El agua subterránea está en constante movimiento, desplazándose desde las zonas de mayor a menor energía.

2.4.1. Potencial hidráulico

Esta energía también se conoce como potencial hidráulico, y queda reflejada precisamente por la altura de la columna de agua en ese punto.

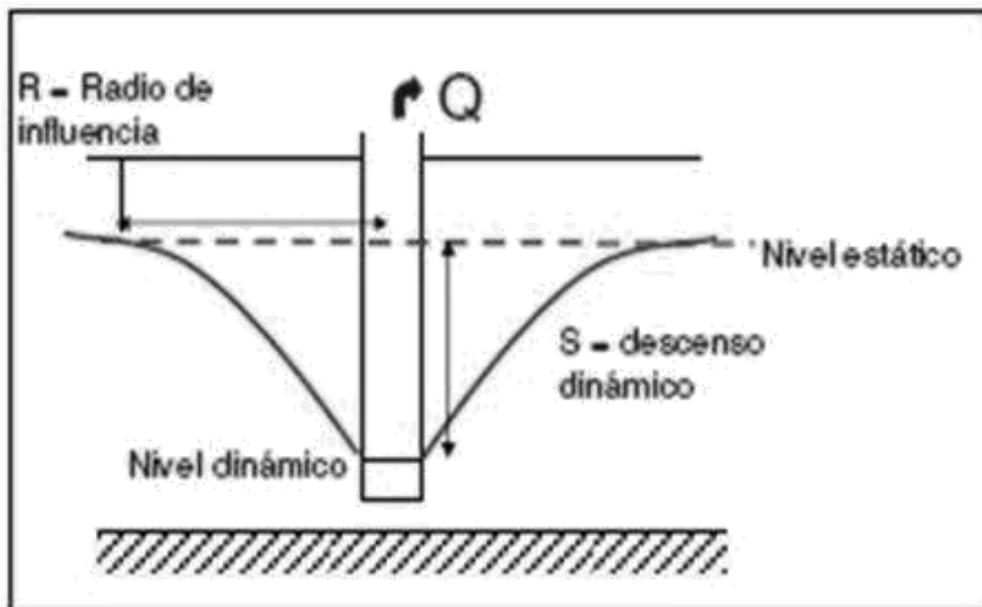
La energía mecánica total de una unidad de volumen de agua será la suma de la energía potencial, la energía cinética y la energía de presión. Como se ha dicho anteriormente la velocidad del agua subterránea es relativamente lenta, por lo que la energía cinética resulta despreciable, con relación a la energía potencial y la energía de presión.

Cuando la energía total se expresa por unidad de masa se le denomina potencial hidráulico, y es igual a la altura de la columna de agua multiplicada por la aceleración de la gravedad, esto es $\Phi = h \cdot g$

2.4.2. Régimen permanente

También conocido como régimen estacionario o en equilibrio, y es cuando un sistema de flujo no varía con el tiempo, es decir en régimen permanente, el acuífero ya no aporta agua por vaciado de poros o por descompresión, sino que solo transmite el agua radialmente hacia el sondeo que bombea.

Figura 12. Cono de depresión



Fuente: <http://www.monografias.com/trabajos75/hidraulica-captaciones-agua-subterranea/hidraulica-captaciones-agua-subterranea2.shtml>. Consulta 15 de enero de 2013.

2.4.3. Régimen variable

Cuando un flujo varía con el tiempo, se está en régimen no permanente o variable, es decir a medida que pasa el tiempo, el cono de descenso va aumentando tanto en profundidad como en extensión.

2.5. Determinación de la calidad del agua subterránea

La calidad del agua superficial o subterránea depende tanto de factores naturales como de la acción humana por lo cual es necesario establecer parámetros de potabilidad.

2.5.1. Parámetros del agua potable

El agua potable se define como aquella que por sus características organolépticas, físicas, químicas y bacteriológicas, no representa un riesgo para la salud del consumidor, es decir sanitariamente segura, por lo que no transmite enfermedades y cumple con lo establecido en la norma COGUANOR NGO 29001.

2.5.2. Características físico-químicas

En su paso por la superficie el agua se va cargando de sustancias, pero hay que recordar que cuando precipita en forma de lluvia o nieve puede arrastrar parte de las sustancias que se encuentran en la atmósfera. Debido a estos dos hechos es importante tener en cuenta los contaminantes tanto atmosféricos como terrestres.

2.5.3. Parámetro físico

Son los que definen las características del agua son detectables sensorialmente o por medios analíticos de laboratorio.

2.5.3.1. Aspecto

En esencia el aspecto físico del agua puede ser modificada para su consumo, entre ellos están los sólidos en suspensión, la turbidez, el color y la temperatura.

2.5.3.2. Color

Es la capacidad del agua para absorber ciertas radiaciones del espectro visible, en general el color natural en el agua existe debido al efecto de partículas coloidales cargadas negativamente. El agua presenta colores inducidos por materiales orgánicos de los suelos como el color amarillento debido a los ácidos húmicos. La presencia de hierro puede darle un color rojizo y la del manganeso, un color negro, etc.

2.5.3.3. Olor

Es la determinación organoléptica subjetiva, de interés en agua potable, esta característica se debe particularmente a pequeñas concentraciones de compuestos volátiles, algunas de las cuales se producen cuando se descompone la materia orgánica, algunos tipos de microorganismos y compuestos químicos volátiles.

2.5.3.4. Temperatura

Es el potencial calorífico referido a un cierto origen. Las aguas subterráneas tienen una temperatura muy poco variable, y responde a la media natural de las temperaturas atmosféricas del lugar, lo que se puede llegar a determinar por medio de termómetro o con un termistor.

2.5.3.5. Turbiedad

Es la medida de la opacidad del agua para transmitir la luz debido a materiales insolubles en suspensión, que varían en tamaño desde dispersiones coloidales hasta partículas gruesas, entre otras arcillas, limo, materia orgánica e inorgánica finamente dividida, organismos planctónicos y microorganismos. Para poder saber si esta turbidez presenta riesgos para el ser humano es necesario realizar el examen bacteriológico.

2.5.3.6. Potencial de hidrógeno

El potencial de hidrógeno o pH indica el grado de acidez o alcalinidad del agua, este coeficiente se puede determinar en laboratorio por medio de un pH-metro, también colorimétricamente disponiendo de una serie de indicadores.

La mayoría de las aguas naturales tiene un valor de pH 5.5-8.6 grados, en una escala de 14 grados, para la cual un pH con valor de 7 en el agua refleja neutralidad, y para un pH de valor mayor de 7 representa alcalinidad y lo contrario indica acidez.

2.5.4. Parámetros químicos

La muestra que se toma para efectuar un análisis químico no necesita refrigeración, normalmente se usa un embase plástico perfectamente limpia con capacidad de un galón. En seguida se presentan algunos de los parámetros que pueden determinarse mediante dicho examen.

2.5.4.1. Cloruros

Usualmente los cloruros se presentan con mayor frecuencia en las fuentes de abastecimiento de agua. Los contenidos de cloruros de las aguas son variables y se deben principalmente a la naturaleza de los terrenos atravesados.

Estos son componentes abundantes de las aguas subterráneas, no obstante son escasos en los minerales de la corteza, ya que son muy estables en solución y precipitan difícilmente. Se originan particularmente de la disolución de evaporitas y de los aerosoles marinos disueltos por el agua de lluvia.

2.5.4.2. Fluoruros

Estos corresponden a las sales de disolución muy limitada, pueden presentarse en forma natural en el agua subterránea o superficial. En las aguas que se utilizan para consumo humano conviene mantener un nivel óptimo de fluoruros para prevenir la caries dental, lo óptimo significa que depende de la nutrición de cada individuo.

2.5.4.3. Nitrógeno

Este elemento es de gran importancia debido a su presencia en las principales biomoléculas de la materia vegetal, generalmente es baja su concentración en el agua subterránea, dado que los nitratos por ser muy móviles y no ser retenidos por las arcillas se pierden fácilmente por lavado del suelo.

2.5.4.4. Alcalina total

La alcalinidad significa la capacidad del agua para neutralizar los ácidos. La alcalinidad estabiliza el agua en los niveles del pH alrededor de 7. No obstante, cuando la acidez es alta en el agua la alcalinidad disminuye y puede causar condiciones dañinas para la vida acuática. La alcalinidad total del agua es la suma de las tres clases de alcalinidad, alcalinidad del carbonato, del bicarbonato y del hidróxido.

2.5.4.5. Dureza total

La dureza determina la capacidad de un agua para consumir jabón. Es una propiedad del agua, debida esencialmente a su contenido en carbonatos, sulfatos y ocasionalmente nitratos y cloruros de calcio, magnesio y hierro, la dureza del agua se mide en grados. El agua es dura en aquellas regiones en cuyo subsuelo se encuentra calcio y yeso.

2.5.4.6. Manganeso

Generalmente las aguas claras de pozos profundos contienen mayores concentraciones de manganeso que las aguas superficiales, debido al bajo pH y al escaso contenido de oxígeno disuelto. Según normas guatemaltecas de calidad del agua potable, el límite máximo aceptable 0,05 mg/L y el límite máximo permisible 0.5mg/L.

2.5.4.7. Hierro

La presencia de hierro es un problema de calidad del agua muy común, pero en aguas de pozos profundos pueden aumentar debido a la disolución de

rocas ferrosas. El agua que contiene cantidades pequeñas de hierro puede parecer clara cuando recién es extraída, pero podrá rápidamente tornarse de un color rojizo, después de su exposición al aire. A este proceso se le conoce como oxidación.

2.5.4.8. Yodo

Es un elemento que sucede naturalmente y que en cantidades muy pequeñas es fundamental para la salud de seres humanos y animales. El agua de mar y ciertas rocas sedimentarias pueden contener pequeñas cantidades de este.

2.5.4.9. Sulfato

Al transitar el agua a través de formaciones rocosas y suelos que contienen minerales sulfatados, una parte del sulfato se disuelve en las aguas subterráneas. Las aguas provenientes de minas o efluentes industriales frecuentemente contienen altas concentraciones de sulfato debido a la oxidación de la pirita y el uso del ácido sulfúrico.

En el apéndice se podrá consultar los parámetros obtenidos de un análisis fisicoquímico realizado al pozo D en Ensenada de San Isidro zona 16, ciudad de Guatemala.

2.5.5. Parámetros bacteriológicos

Para determinar el contenido de bacterias presentes en el agua es necesario realizar un examen microbiológico. Para este examen la muestra debe refrigerarse.

2.5.5.1. Examen microbiológico

Usualmente la calidad microbiológica del agua varía en forma rápida y en gran medida. Pueden producirse aumentos súbitos de la concentración de agentes patógenos que pueden desarrollar considerablemente el riesgo de enfermedades y desencadenar brotes de enfermedades transmitidas a través del agua.

2.5.5.2. Grupo coliforme

Es la agrupación de todas las especies bacterianas que son bioquímicamente similares, cuya bacteria principal es la Escherichia Coli.

Este tipo de bacterias se encuentran esencialmente en el intestino de los individuos de sangre caliente, es decir, homeotermos. No todos los coliformes son de origen fecal, ya que también se encuentra ampliamente distribuida en la naturaleza, especialmente en suelos, semillas y vegetales, por lo que se hizo necesario desarrollar pruebas para diferenciarlos a efectos de emplearlos como indicadores de contaminación. Se distinguen, por lo tanto, los coliformes totales que comprenden la totalidad del grupo y los coliformes fecales que son los de origen intestinal.

2.6. Vulnerabilidad de los acuíferos

A diferencia de otros recursos minerales, el agua al ser explotado por el hombre no queda agotado irreversiblemente sino se renueva en el ciclo hidrológico, sufriendo algunas modificaciones tanto en cantidad como en calidad, en ocasiones, y especialmente en el caso de las aguas subterráneas,

se pueden considerar algunas formas de contaminación, virtualmente irreversible, pues el tiempo para su regeneración suele ser muy prolongado.

2.6.1. Contaminación

Se puede definir como la modificación de las propiedades físicas, químicas y/o biológicas del agua, debido a procesos naturales o artificiales que impliquen una alteración perjudicial de su calidad. Por su ubicación en el subsuelo las aguas subterráneas, tienen de modo natural un mayor grado de protección a la contaminación directa que las aguas superficiales, no obstante, cuando se produce su contaminación, resulta un proceso difícilmente reversible.

2.6.2. Minerales

Los contaminantes minerales pueden ser sustancias tóxicas como los metales pesados. Este tipo de contaminación es más frecuente en las fuentes cercanas a las industrias. Otro tipo de contaminación mineral es la causada por sales que se disuelven cuando los cuerpos de agua atraviesan diferentes tipos de formaciones.

2.6.3. Orgánicos

Son compuestos formados por enlaces largos, generalmente de carbono. La mayoría de compuestos orgánicos son tejidos básicos de los organismos vivos.

El comportamiento de los compuestos orgánicos estriba en su estructura molecular, tamaño y forma y de la presencia de grupos funcionales que son determinantes importantes de la toxicidad. Básicamente las sustancias

orgánicas que afectan la calidad de los acuíferos se clasifican en degradables, poco degradables y en no degradables.

2.6.4. Biológicos

La contaminación biológica del agua generalmente es causada por agentes patógenos, como pueden ser hongos, bacterias y virus, que entran en contacto con el agua y que provienen en su mayoría de residuos orgánicos.

2.6.5. Radioactivas

Se refiere a sustancias o elementos derivados de la energía nuclear o de radiaciones ionizantes presentes tanto en el aire, como en suelo y el agua, este efecto se produce por el uso de sustancias radioactivas de origen natural o artificial que son perjudiciales para la salud de los seres vivos.

2.6.6. Gaseosas

La contaminación gaseosa es aquella constituida por sustancias en estado de gas a la temperatura y presión ordinarias o como vapores, los que se presentan en estado gaseoso en los materiales líquidos.

Una de las propiedades más importantes de los contaminantes gaseosos es su capacidad para mezclarse con el aire. Pueden cambiar su estado físico por una combinación de presión y temperatura. Es evidente que las emisiones gaseosas contaminan primero la atmósfera, pero durante el transporte, generalmente termina cayendo sobre el suelo o el agua. Básicamente existen dos fuentes de contaminación, natural y artificial.

2.6.7. Tipos de contaminación

La alteración perjudicial de las propiedades del agua subterránea puede ser directa o indirecta tal como se describe a continuación.

2.6.7.1. Contaminación directa

Esta forma de contaminación sucede cuando las sustancias contaminantes se introducen en el subsuelo y alcanzan directamente el acuífero, es decir el contaminante alcanza la zona saturada sin haber atravesado otro medio físico, tal es el caso de vertederos de las aguas de desecho en pozos negros.

2.6.7.2. Contaminación difusa

Es cuando el contaminante alcanza la zona saturada tras haber circulado la zona no saturada o de aireación. Usualmente en la agricultura se utilizan diversas sustancias para mejorar el rendimiento del cultivo, pero afectando el medio ambiente, como los nitratos, fosfatos y pesticidas, los cuales se infiltran en el suelo y pueden llegar a los acuíferos y fuentes superficiales de agua.

2.6.8. Sobreexplotación de acuíferos

Se considera un acuífero sobreexplotado o en riesgo de estarlo, cuando están en peligro los aprovechamientos existentes en el mismo como consecuencia de realizar extracciones anuales superiores o muy próximas al volumen medio de los recursos anuales renovables, o que produzcan un deterioro grave de la calidad del agua. Como efecto inmediato de la sobreexplotación se tiene el descenso continuado del nivel freático. Aunque la

definición y caracterización de la sobreexplotación sigue siendo un tema muy complejo como lo expresan algunos autores.

2.6.9. Intrusión salina

Es el fenómeno de penetración de la cuña de agua salada hacia el interior de islas o continentes, debido al rompimiento del equilibrio dinámico entre las masas de agua dulce y salada en el subsuelo, esto como consecuencia de la sobreexplotación del agua subterránea.

Este proceso se debe a que el agua dulce es menos densa que el agua salada, de manera que la presión en el fondo de una columna de agua salada es mayor que la de una columna de agua dulce de la misma altura.

La contaminación de los acuíferos de agua dulce por agua salada no es un problema únicamente de las zonas costeras sino también puede afectar las zonas no costeras.

2.6.10. Amenazas naturales

Son todas aquellas formas de contaminación las cuales no dependen de la intervención del hombre.

2.6.10.1. Erupción volcánica

Los volcanes son una fuente natural de contaminación del aire que incluye el dióxido de azufre, el cual se combina fácilmente con el agua para formar ácido sulfúrico. El agua proveniente de manantiales o ríos situados sobre un

volcán puede contaminarse como consecuencia de la actividad en el interior del volcán.

Básicamente la contaminación de las fuentes de aguas subterráneas es relativamente difícil, a menos que la caída de ceniza sea tan abundante y/o contenga materias muy contaminantes.

2.6.10.2. Huracanes

Es un término meteorológico usado para referirse a vientos fuertes, lluvias abundantes y tormentas eléctricas. Los efectos del viento, pueden causar daños a infraestructura aledaña a cursos de agua es decir ruptura de tuberías, en pasos expuestos, tales como ríos y quebradas, debido a correntadas, ruptura y desacople de tuberías en zonas montañosas, etcétera.

2.6.10.3. Terremotos

Un terremoto es la vibración de la tierra debido a una liberación súbita de energía acumulada. Lo más frecuente es que los terremotos se produzcan por el deslizamiento de la corteza terrestre a lo largo de una falla. La intensidad del impacto se relaciona con la magnitud de la energía liberada, la distancia y ubicación del epicentro del terremoto en relación con el elemento expuesto.

Algunas de las consecuencias de los terremotos son los incendios, subsidencias del terreno, tsunamis, seiches y en áreas donde los materiales no consolidados están saturados con agua, pueden generar un fenómeno conocido como licuefacción.

2.6.10.4. Deslizamiento

Se puede decir que los deslizamientos se producen como consecuencia de cambios súbitos o graduales en la composición, estructura, hidrología o vegetación en un terreno en pendiente. La gravedad del impacto se relaciona con el volumen del material deslizado, la velocidad y trayectoria de la masa en movimiento, el tamaño de las rocas y el tipo de movimiento, todo esto en función a la ubicación geográfica del sistema de agua.

De acuerdo a la profundidad a la que se encuentre la superficie de deslizamiento el movimiento en masa puede ser superficial, y que afecta a poco volumen, o profundo, y que afecta a grandes volúmenes. Los deslizamientos son más comunes en ciertos tipos de geografía y menos comunes en otros según el tipo de terreno.

2.7. Evaluación de vulnerabilidad y estrategias para la protección de los acuíferos

Para apreciar y/o estimar la vulnerabilidad se presentan algunos métodos, que nos proporcionan información, para la toma de decisiones.

2.7.1. Métodos de evaluación

Son todos aquellos métodos utilizados en la valoración de la vulnerabilidad de un acuífero a la contaminación. En general, la mayoría de analistas coinciden en determinar la vulnerabilidad de los acuíferos en función de las características intrínsecas del medio.

2.7.1.1. Método de simulación

Este utiliza ecuaciones numéricas que simulan los procesos de transporte por los que se rigen los contaminantes. El análisis de la vulnerabilidad mediante dicho método resulta difícil de realizar en Guatemala, así como en otros países en vías de desarrollo, debido a la gran cantidad de información necesaria. No obstante, resulta muy apropiado para analizar situaciones puntuales o con poca extensión espacial.

2.7.1.2. Métodos estadísticos

Los métodos estadísticos o de monitoreo se emplean para cuantificar la vulnerabilidad de la contaminación de la agua subterránea es decir no permiten determinar la vulnerabilidad, sino que se utilizan para realizar estudios probabilísticos que evalúen la posible dispersión del contaminante determinando la dependencia o la relación estadística entre la contaminación observada.

2.7.1.3. Métodos de superposición

Se basan en el hecho de que algunos parámetros influyen más que otros en la determinación de la vulnerabilidad del agua subterránea y la evalúan de manera cualitativa y relativa. Cada parámetro es puntuado cuantitativamente y se les pueden asignar distinto valor de ponderación para determinar el resultado final que es un índice numérico de vulnerabilidad.

2.7.1.4. Método Posh

El método Posh fue creado por Foster & Hirata en 1988. Con la aplicación del método se puede clasificar la carga contaminante del subsuelo y establecer criterios de protección del agua subterránea, a partir de la estimación de la vulnerabilidad del acuífero. El método se fundamenta en dos características fácilmente estimables como el origen del contaminante y su sobrecarga hidráulica. El método Posh genera tres niveles cualitativos de potencial de generación de una carga contaminante al subsuelo, en reducido, moderado y elevado.

2.7.2. Métodos paramétricos

Estos métodos requieren conocer la distribución de los elementos que integran la muestra y/o del objeto en estudio.

2.7.2.1. Método God

Este método se considera como el primer paso para la determinación del riesgo de contaminación de aguas subterráneas con el fin de establecer prioridades y determina la vulnerabilidad intrínseca, por lo que no toma en cuenta el tipo de contaminante.

Fue desarrollado particularmente para emplearse en áreas donde no se cuenta con información suficiente acerca del subsuelo y sistemas de agua subterránea. El método God estima la vulnerabilidad de un acuífero, multiplicando tres fases discretas que son, distancia del agua, ocurrencia del agua subterránea y el substrato litológico, por lo que se tiene que vulnerabilidad = $G * O * D$, de donde:

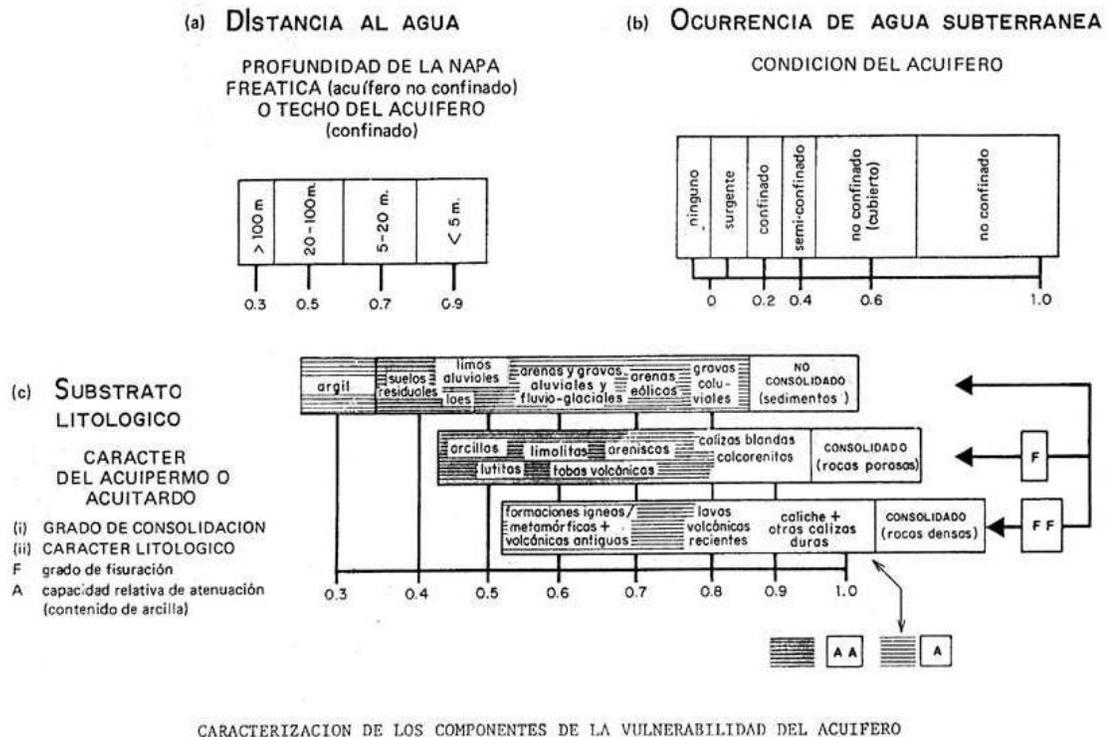
G es el índice por condición de confinamiento del acuífero u ocurrencia del agua subterránea.

O índice del substrato litológico en términos de grado de consolidación y características litológicas.

D índice por profundidad del nivel del agua o techo del acuífero confinado.

Cada uno de los factores posee valores entre cero y uno indicando vulnerabilidades desde despreciables a extremas respectivamente.

Figura 13. Caracterización de la vulnerabilidad God



Fuente: http://proceedings.esri.com/library/userconf/latinproc00/costa_rica/analisis_vulnerabilidad/vulnerabilidad_acuiferoscr.htm. Consulta: 25 de enero de 2013.

Para un análisis preliminar de vulnerabilidad del agua subterránea en la zona en estudio se ha adoptado esta metodología.

El índice de vulnerabilidad se obtiene a partir de los datos geológicos, profundidad de los niveles, conjuntamente con la clasificación de Foster para caracterizar la vulnerabilidad.

Tabla III. **Índice de vulnerabilidad en Ensenada de San Isidro**

Prof. Del nivel freático	Índice				
	G	O	D	Vulnerabilidad	Clasificación
>100m	0,7	0,4	0,4	0,11	Baja
20-100m	0,7	0,4	0,6	0,17	Baja

Fuente: elaboración propia.

Los resultados del análisis preliminar de vulnerabilidad poseen un grado de riesgo bajo, para evaluar la carga contaminante y determinar que parámetros influyen más que otros en la vulnerabilidad del agua subterránea es necesario aplicar otros métodos que requieren un estudio más profundo.

2.7.2.2. Método Drastic

Es un método empírico que busca sistematizar la determinación del potencial de los contaminantes de alcanzar la zona saturada. El modelo Drastic estima la vulnerabilidad a partir de un índice global que incorpora la contribución de los distintos parámetros a través de una valoración de 1 a 10 y se pondera su influencia dentro de la evaluación de la vulnerabilidad mediante la asignación de unos pesos de 1 a 5 que varía de acuerdo al contaminante en cuestión.

El índice Drastic es calculado mediante la sumatoria de la multiplicación de cada parámetro por su respectivo factor de ponderación. Los resultados pueden variar entre 23 a 230 de acuerdo a la vulnerabilidad.

2.7.2.3. Método Galdit

El método Galdit se utiliza para evaluar la vulnerabilidad del agua subterránea a la intrusión de agua de mar.

Los factores que emplea el método son, tipo de acuífero, conductividad hidráulica del acuífero, nivel del agua subterránea sobre el mar, distancia tierra dentro perpendicular a la línea de costa, impacto existente de la intrusión marina y espesor del acuífero, que abreviado es Galdit por sus siglas en inglés. El método permite clasificar la vulnerabilidad de los acuíferos costeros en tres grupos de rangos, como se muestra a continuación.

Tabla IV. **Clasificación de la vulnerabilidad**

Rango del índice de vulnerabilidad	Clasificación de la vulnerabilidad
≥ 7.5	Alta
5 – 10	Moderada
< 5	Muy baja

Fuente: VARGAS QUINTERO, María Consuelo. Propuesta metodológica para la evaluación de la vulnerabilidad intrínseca de los acuíferos a la contaminación. p. 29.

2.7.3. Estrategias para la protección de acuíferos

La protección de las aguas subterráneas, hace referencia a la conservación de las aguas del subsuelo, en cuanto a cantidad y calidad, que permita una explotación eficiente de los acuíferos a largo plazo, especialmente como fuente segura y confiable de abastecimiento de agua para las personas. Esto mismo se aplica a su uso para irrigación agrícola o producción industrial, pero en este caso, los requerimientos de calidad son menos rigurosos. Debe enfatizarse que la protección de las aguas subterráneas no significa conservación absoluta frente a un uso legal debidamente planificado.

2.7.3.1. Métodos hidrogeológicos

La delimitación de perímetros de protección empleando métodos hidrogeológicos exclusivamente se basa en el análisis de los límites del acuífero captado, cartografía hidrogeológica en el entorno de las captaciones, análisis de las isopiezas y direcciones de flujo, relación entre el acuífero y los ríos y arroyos que lo surcan, zonas de emergencia del agua subterránea, entre otros factores.

La aplicación de métodos hidrogeológicos, exclusivamente, delimita el área de alimentación de cada captación, pero no permite su subdivisión en diferentes zonas, como si posibilita el empleo de métodos que consideran el tiempo de tránsito.

2.7.3.2. Método de radio fijo

El método de radio fijo se fundamenta en un análisis bidimensional del balance de agua asumiendo un flujo ambiental despreciable. Si se asume un flujo radial hacia el pozo en un acuífero con espesor saturado constante, el

cilindro que corresponde a una isócrona de tiempo de tránsito tiene un radio fijo tal que cualquier partícula que entre en ese cilindro, o ya esté dentro, tardará un máximo de t días antes de ser bombeada en el pozo.

2.7.3.3. Método de Wyssling

Este método consiste en el cálculo de la zona de llamada de una captación, o sea, de la parte del área de alimentación en la cual puede apreciarse un descenso piezométrico consecuencia del bombeo y las líneas de corriente se dirigen a la captación, y la búsqueda posterior del tiempo de tránsito deseado.

Fue diseñado para el dimensionamiento de perímetros de protección en acuíferos porosos y homogéneos pero presenta el inconveniente de no tener en cuenta las heterogeneidades del acuífero por lo que es menos preciso para las zonas más alejadas de la captación.

2.7.4. Métodos preventivos

Los métodos preventivos de alguna manera tienen la ventaja de ser sencillos y menos costosos que tratar de recuperar una fuente ya contaminada.

2.7.4.1. Ordenación espacial de actividades

Sí la contaminación es causada por el ejercicio de una actividad, el método más sencillo desde el punto de vista técnico y el más eficaz, es la implantación o desarrollo de la misma en zonas donde no existen acuíferos utilizables, o bien donde éstos se encuentren protegidos por capas impermeables de terreno que eviten la infiltración. Cuando se dispone de la

capacidad para planificar el uso del suelo y de la información hidrogeológica lo suficientemente detallada como para realizar una evaluación fiable de la vulnerabilidad de los acuíferos, es cuando el métodos alcanza su mayor eficacia.

2.7.4.2. Normas de construcción de pozos

La protección de los sondeos existentes mediante perímetros de protección, debe completarse con unas normas para el acondicionamiento de los mismos, que eviten contaminaciones no ya del acuífero en sí, sino del propio sondeo. Es importante tener en cuenta que una perforación abandonada y abierta puede ser vehículo de contaminación directa del acuífero, por lo que las reglas de acondicionamiento de sondeos deberían extenderse también a ellas, estableciéndose las normas adecuadas para evitar que sean la causa de contaminación de los acuíferos.

2.7.4.3. Impermeabilización

Existe un método sencillo y generalizado en el caso de vertidos o almacenamiento de residuos sobre zonas vulnerables, es la impermeabilización artificial y deliberada del terreno sobre el que se va a verter, o del fondo y paredes de las balsas o depósitos donde se viertan o almacenen residuos o productos potencialmente contaminantes a fin de evitar la infiltración de lixiviados en el suelo.

2.7.4.4. Drenaje somero

Se aplica principalmente en zonas de contaminación difusa, generado por el empleo excesivo de fertilizantes nitrogenados, es prácticamente imposible

crear una barrera impermeable en el terreno que detenga los nitratos en su camino hacia el nivel freático, que es como se conoce al nivel o profundidad a la que se alcanza el agua subterránea en los pozos o sondeos.

Un método utilizado con éxito en algunos países es la instalación bajo el suelo de una red de tubos perforados que recogen la mayor parte del agua de retorno en el regadío y la conducen a un colector de drenaje general. No sólo se evita así el paso de nitratos al acuífero sino también de aguas muy concentradas en sales que se recogen y envían al mar a través de canales especiales de drenaje. El método es sólo aplicable en determinados casos, de acuerdo a la economía, geografía y el comportamiento de suelos y terrenos.

2.7.4.5. Vertido controlado

En lo que se refiere a vertido controlado de los residuos sólidos urbanos se combinan varios aspectos a tener en cuenta, por una parte, el sistema de recubrir periódicamente los residuos evita la producción excesiva de lixiviado y, por otra, un adecuado diseño de drenaje consigue reducir la infiltración del mismo en el suelo. Si a se agrega que el terreno puede impermeabilizarse previamente al vertido, y que el sitio del vertedero puede escogerse de antemano en una zona donde el acuífero esté bien protegido, se reúnen en un solo caso varios de los métodos preventivos anteriores, que, como se observa, no son excluyentes los unos de los otros.

2.7.5. Métodos contra la contaminación existente

Tratar la contaminación del agua subterránea es relativamente difícil y costoso adicionalmente requiere un tiempo muy largo para su regeneración.

2.7.5.1. Modificación de los bombeos existentes

La extracción de manera exorbitante de agua de un acuífero puede acelerar su contaminación. Esto se comprueba de forma evidente en el caso de la intrusión de agua de mar en acuíferos costeros o en el caso de aquellos que están en contacto con ríos contaminados. La solución eficaz, que puede ser considerada como preventiva o curativa según el grado de contaminación del acuífero, pasa por reducir los bombeos existentes o modificar su distribución geográfica.

La clausura de pozos y la perforación de otros nuevos en zonas no contaminadas es la solución que se adopta con mayor frecuencia en el caso de un acuífero contaminado puntualmente por un vertido localizado.

2.7.5.2. Barrera de presión

Los agentes contaminantes se movilizan siempre en el mismo sentido en que circula el agua subterránea. Una línea de pozos, sondeos o balsas donde se recarga el acuífero con agua limpia, producirá una especie de cordillera en el nivel freático, de tal forma que se detenga el movimiento del agua contaminada desde el foco de contaminación hacia los puntos donde se extrae aquella cuya calidad quiere protegerse.

El método es, en teoría, relativamente simple, sin embargo, su eficacia en la práctica depende de muchos factores entre los cuales el económico es el fundamental. Una barrera es muy cara, tanto en su instalación como en su mantenimiento.

2.7.5.3. Intercepción y extracción

Este procedimiento presenta varios inconvenientes, independientemente de los económicos ocasionados por el coste elevado de los bombeos: en primer lugar, es necesario eliminar o tratar el agua contaminada que se extrae de los sondeos; por otra parte, y según el tipo de agente contaminante, el vaciado de una parte del acuífero produce una zona no saturada en la que puede quedar retenido parte del agente nocivo, que vuelve a contaminar el agua cuando el nivel freático sube de nuevo. Una operación de extracción de esta clase puede prolongarse durante meses sin conseguir eliminar por completo el problema.

2.7.5.4. Barreras subterráneas

Se basa en crear verdaderas barreras físicas subterráneas impermeables para aislar una zona de agua dulce de la fuente de contaminación. Barreras de esta naturaleza pueden crearse bien por excavación de una zanja profunda que se rellena con material impermeable, bien mediante una serie de sondeos próximos en los que se inyecta un material que posteriormente coagula y obtura los poros de la formación permeable.

Este método, no solo es costoso, sino en varias ocasiones es técnicamente inviable, debido a la dificultad de crear una verdadera barrera y la de vigilar y controlar los resultados.

Como se ha visto todos los métodos para regenerar la calidad del agua subterránea es ciertamente costoso y sin garantía, por ello en la sección 2.7.4 se presentaron algunos métodos de prevención los cuales resultan menos costosos y se tiene una mejor efectividad.

3. PLANIFICACIÓN PARA EL APROVECHAMIENTO DEL AGUA SUBTERRÁNEA PERFORANDO POZO MECÁNICO

El agua subterránea como todo recurso natural es limitada, por ende se hace necesario un uso racional del mismo.

3.1. Planeamiento hidráulico

La planificación hidráulica se puede definir como un conjunto de estudios que se realizan en una región determinada para planificar los medios y métodos necesarios para la utilización racional de los recursos hídricos. Tiene dos componentes, uno objetivo y otro subjetivo los cuales se definirán más adelante.

3.1.1. Generalidades

Se entiende por planificación al proceso metódico que sirve para seleccionar metas y determinar objetivos, así como la mejor manera de alcanzarlos; básicamente consiste en determinar lo que se debe hacer, cómo, cuándo y dónde debe hacerse, que acciones deben tomarse, quién es el responsable y por qué, por lo que la planificación resulta aplicable y necesaria en todas las disciplinas.

3.1.2. Componente objetivo

Es la representación gráfica o simbólica del aprovechamiento hídrico que puede alcanzarse en una cuenca hidrográfica.

3.1.3. Componente subjetivo

Es el planeamiento hidráulico, que representa la actividad ingenieril de los especialistas.

3.1.4. Importancia del planeamiento hidráulico

Radica en que está relacionado con las esferas del desarrollo socioeconómico del país para lograr la utilización racional del agua en una región dada.

3.1.5. Esquema de aprovechamiento hídrico

Es una representación grafo analítica que permite trazar estrategias para el aprovechamiento del agua en una zona determinada.

3.1.6. Necesidad y disponibilidad de recursos hídricos

El desarrollo adecuado del planeamiento hidráulico requiere del conocimiento de los recursos hídricos disponibles en una zona determinada así como necesidades de los consumidores, de tal manera que se logre una distribución satisfactoria.

3.1.7. Aprovechamiento del agua subterránea

Como se ha mencionado anteriormente el origen de las aguas subterráneas provienen de aguas superficiales que se han infiltrado en épocas de lluvia. Debido a que el agua subterránea discurre a velocidades muy lentas en los espacios intersticiales de los sedimentos del subsuelo, se forman los

yacimientos de agua subterránea o acuíferos, es en este punto donde el hombre puede buscar las formas para poder aprovechar este importante recurso. Estas aguas se pueden aprovechar en épocas de sequía, gracias a los pozos.

3.2. Planificación para la construcción de un pozo mecánico

La planificación de la perforación de pozos para el aprovechamiento de agua subterránea requiere de la integración de los principios ingenieriles, procesos estándares y del factor experiencia.

Aunque los métodos de planificación de pozos pueden variar, el resultado último debe ser un pozo al costo mínimo y que satisfaga los requerimientos de ingeniería para el aprovechamiento de los acuíferos.

3.2.1. Programación

Planear las actividades que se van a realizar permite obtener buenos resultados en el trabajo y aumentan las probabilidades de que un trabajador cumpla correctamente con sus tareas. Un programa de trabajo es útil para los puestos administrativos y técnicos especializados o para quienes tienen responsabilidades altas.

3.2.2. Preinversión

Abarca los estudios de evaluación de proyectos, es decir la conveniencia del mismo considerando tamaño, localización, beneficios, costos y resultados esperados.

3.2.2.1. Estudios de prefactibilidad

Verifica la alternativa propuesta, con énfasis a la propuesta técnica (diseño de la obra) y a su rentabilidad ingresos mayores o iguales a los egresos.

3.2.2.1.1. Necesidad

Existen varios conceptos respecto al término necesidad, en este caso se puede decir que la necesidad es la carencia de un bien específico, dado que el agua es uno de los recursos imprescindibles para la existencia del ser humano.

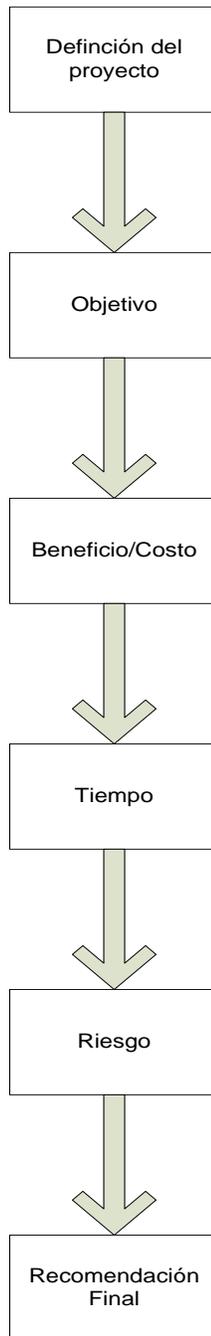
La necesidad del agua es calculable y medible, su cantidad y calidad dependerá exclusivamente del uso que se le dará, para el consumo humano la calidad es uno de los parámetros que exige mayor control, mientras que para cualquier otro uso este será menos riguroso.

3.2.2.1.2. Viabilidad

La viabilidad es el estudio que se realiza para concretar un proyecto considerando los recursos disponibles, los necesarios, y la capacidad para conseguirlos.

Antes de iniciar un proyecto es importante realizar un estudio técnico, económico y operacional para determinar su rentabilidad. Analizar el problema desde sus aspectos más esenciales sirve de base para decidir si es abordable, así mismo permitirá conocer los riesgos que puedan presentarse durante la ejecución del mismo.

Figura 14. **Esquema de viabilidad**



Fuente: elaboración propia.

3.2.2.1.3. Estudios técnicos

En el estudio técnico se verifica la posibilidad técnica del proyecto mediante la reunión y análisis de la información, que permita hacer un uso eficiente de los recursos disponible.

Provee información que permite cuantificar el monto de la inversión y los costos de operación, pertinentes al área, además de demostrar técnicamente la factibilidad o no del proyecto.

A través de la topografía es posible conocer las vías de acceso al pozo, resulta de vital importancia tener en cuenta que se debe disponer de una vía de acceso que esté capacitado para ser transitada en toda época del año, de modo que la maquinaria pueda llegar sin mayor dificultad al lugar que se ha predeterminado para la perforación del pozo mecánico. La ubicación de la línea de conducción eléctrica, ubicación del tanque, estudio geológicos, hidrológicos, clima, impacto ambiental y estimación del caudal necesario son algunos de los factores técnicos a ser considerados.

3.2.2.1.4. Tipo de proyecto

La extracción del agua subterránea para suplir la necesidad del mismo, es cuantificable, es decir su cantidad necesaria dependerá del uso que se desee hacer de ella, esto hace único cada perforación de pozo mecánico puesto que también depende de otros factores como la geología, hidrología, clima, etcétera propio del lugar.

Entre los tipos de proyectos más comunes se tiene el residencial, municipal, gubernamental, riego, proyectos de ingeniería y minería.

3.2.2.1.5. Métodos de perforación

Como se mencionó en el capítulo uno, el aprovechamiento del agua subterránea aparece desde tiempos remotos. Durante el transcurso del tiempo se han desarrollado varios métodos de perforación, aplicándose la que más se ajuste a las necesidades de acuerdo al diámetro y profundidad del pozo así como la geología del lugar y recursos disponibles, los tipos o métodos de perforación más utilizados en el medio son:

- Método de Percusión
- Método del Sistema Rotatorio
- Método de RotoperCUSión

De acuerdo al método utilizado en la perforación del pozo mecánico en cuestión se ampliará la descripción sobre el mismo, mas adelante en el capítulo cuatro.

3.2.2.2. Estimación de recursos

Los recursos constituyen el conjunto de elementos tangibles e intangibles que a menudo se emplean para generar bienes y servicios. Algunos autores afirman que los recursos son dinámicos y variables, es decir su valor depende de la abundancia o escasez, del lugar, del tiempo y de la cultura de las comunidades que deseen explotarla.

3.2.2.2.1. Financieros

La estimación financiero es una actividad que permite la evaluación cuantitativa de los costes probables de los recursos ineludibles para completar

las actividades del cronograma del proyecto. Una evaluación como este puede presentarse en forma detallada o abreviada. Este tipo de estimación integra el coste de los recursos, involucrados en el desarrollo del proyecto.

3.2.2.2. Humanos

El recurso humano es uno de los factores determinantes en la calidad y eficiencia del proyecto, por lo que su estimación permite conocer el número adecuado de personas, en el momento adecuado, en el lugar adecuado, con la cualificación adecuada, con el fin de realizar las labores de operación y/o servicios de forma estratégica, contribuyendo de esta manera a alcanzar las metas y objetivos.

3.2.2.3. Físicos

Se puede decir que un recurso físico son todos aquellos agregados inanimados de átomos y moléculas, como el agua subterránea, que es un recurso físico y natural indispensable para la supervivencia del hombre.

Este tipo de recurso comprende todos los bienes tangibles que se emplean para desarrollar cualquier proyecto.

3.2.2.4. Materiales

Está integrada por maquinarias, herramientas, inmuebles, en general todo lo físico e indispensable para la producción de un bien o servicio que satisfaga las necesidades del ser humano.

3.2.3. Inversión o ejecución

Abarca la realización de las actividades contempladas en la etapa de pre-inversión para lograr al final de la misma, el proyecto propuesto, es decir la fase de inversión está integrada por las etapas de diseño y ejecución. En esta etapa se concretan los proyectos que pasaron exitosamente el filtro de la pre-inversión.

Es aquí donde se comienza con la realización del diseño, referido a la elaboración de la ingeniería de detalle de la alternativa seleccionada en la etapa anterior. En esta etapa además debe considerarse la realización del estudio ambiental y la compra de terrenos, requisitos necesarios para postular la etapa de ejecución de la obra. La fase de ejecución se trata sobre la construcción de las obras definidas en la etapa de diseño del proyecto, y que finalmente dan solución al problema detectado.

3.2.3.1. Diseño de pozo

Consiste en determinar los parámetros, y elementos constructivos del pozo, con el objeto de tener una buena producción.

En esta etapa se determina el propósito del agua del pozo, lo cual permite una estimación del gasto, localización del pozo, diámetro del pozo, profundidad de perforación, diámetro y longitud de revestimiento, diseño de los elementos de la entrada del agua al pozo, métodos de limpieza o desarrollo del pozo, diseño y colocación de bomba.

3.2.3.2. Evaluación del subsuelo según muestras geológicas

Las muestras obtenidas durante la perforación permiten determinar la estratigrafía la cual varía en los pozos.

En algunos casos resulta difícil identificar con exactitud el origen de las muestras extraídas debido al cambio o transformación que sufren durante el proceso de perforación.

3.2.3.3. Limpieza y desarrollo

Seguidamente de la perforación, entubado o encamisado y colocado el filtro de grava se procede con la limpieza del pozo.

Consiste en la extracción del resto de lodos, detritus producto de la perforación y estabilizar la formación acuífera en lo que respecta a las arenas y arcillas al mismo tiempo intentar obtener el máximo caudal específico posible.

La limpieza y desarrollo del pozo no es efectuada únicamente en esta etapa sino también debe realizarse como medida de mantenimiento para evitar la obstrucción de las rejillas.

3.2.3.4. Pruebas de bombeo

Las pruebas de bombeo se realizan para evaluar el comportamiento del pozo, se utilizan para poder analizar la producción en determinadas condiciones, conocer el caudal máximo de extracción y observar el cambio resultante en el nivel de agua en el pozo. Una prueba de bombeo es una

herramienta común utilizada en hidrogeología para determinar parámetros de interés en el acuífero.

Se debe llevar un registro del descenso del nivel para poder determinar el abatimiento del pozo y con ello conocer el caudal específico, y al finalizar se debe hacer un monitoreo sobre el tiempo de recuperación del acuífero que está siendo explotado.

3.2.3.4.1. Tipos de prueba

Caudal constante; este método consiste en regular el caudal y mantenerlo constante.

Caudal constante en escalones; consiste en realizar bombeos a diferentes caudales en distintos periodos, conservando el mismo caudal en cada escalón. Como mínimo se usaran tres escalones cuya duración no tiene por qué coincidir pero debe ser suficiente para poder utilizar la aproximación de Jacob para la ecuación de Theis. Esta prueba permite estimar las propiedades hidrogeológicas de un mismo punto del acuífero, sin tener que usar información de otros puntos.

Descenso constante y caudal variable; en la práctica son difíciles de realizar porque requieren una regulación continua del caudal para mantener un descenso continuo.

3.2.3.5. Elección del tipo de bomba

Para seleccionar un equipo de bombeo se deberá tener un conocimiento completo del sistema en que trabajará la bomba y motor, caso contrario puede

hacer una selección errónea que causará el mal funcionamiento de la bomba, lo que a su vez afectará a la eficiencia y eficacia del sistema. Los pasos para la elección de una bomba:

1. Determinar el caudal de bombeo.
2. Calcular la carga dinámica total (CDT).
3. Elegir la clase y tipo de bomba.

3.2.4. Operación y funcionamiento

En esta etapa se da el funcionamiento u operación en el que se espera alcanzar los objetivos y metas que dieron origen al proyecto de acuerdo a los planes previstos en los estudios de pre inversión. Con el inicio de ésta fase se dice que finaliza el proyecto, e inicia la nueva unidad productiva a funcionar.

Esta fase se caracteriza por la vida productiva y operativa del proyecto así mismo por el mantenimiento del sistema.

El mantenimiento periódico y rutinario es fundamental para el buen funcionamiento del proyecto, de igual manera se evita con este cualquier imprevisto que puede interrumpir su funcionamiento, por ende se evitan costos adicionales.

4. PERFORACIÓN DE POZO EN ENSENADA DE SAN ISIDRO ZONA 16, CIUDAD DE GUATEMALA

Para lograr un pozo eficiente y no exponer el acuífero a una sobreexplotación es importante conocer las características del mismo tal como se expone más adelante.

4.1. Estudios de prefactibilidad

Como se dijo en el capítulo anterior, se verifica la alternativa propuesta, dándole énfasis a la propuesta técnica del proyecto (diseño de la obra) y a la rentabilidad (ingresos iguales o mayores a los egresos).

4.1.1. Necesidad

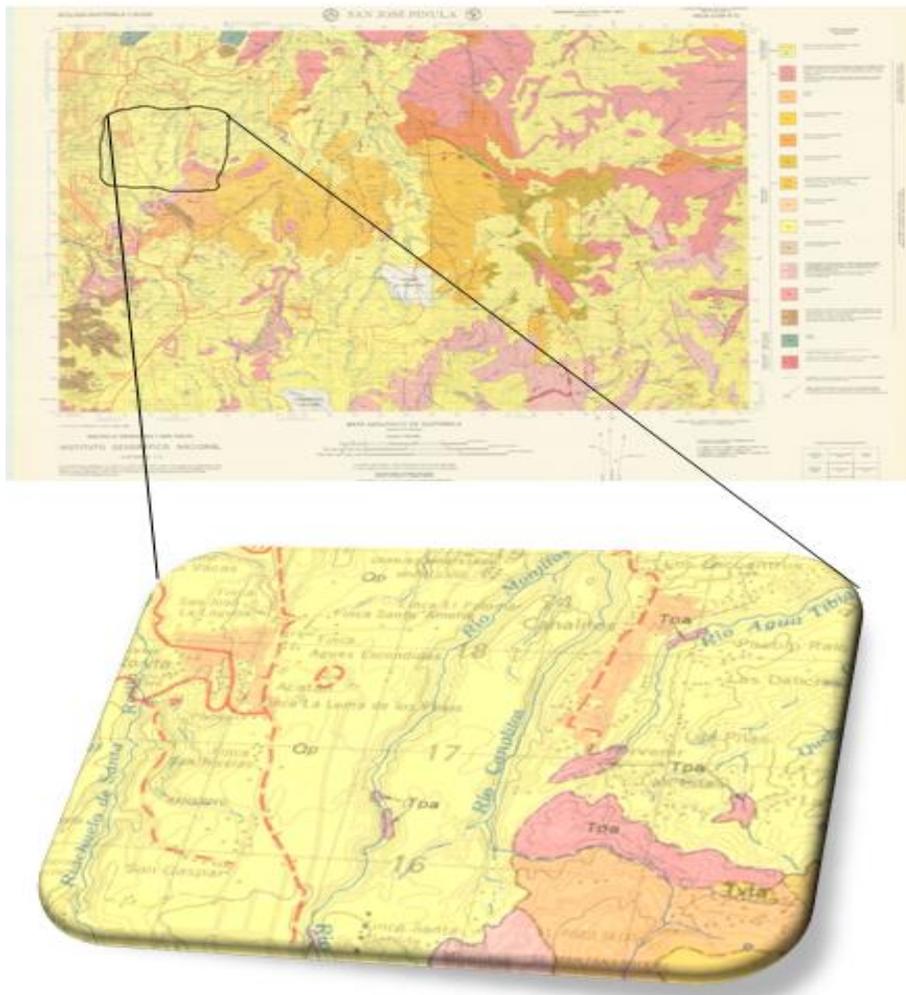
Para satisfacer la demanda del complejo residencial se necesita un caudal superior a los 150,00 GPM. En 2007 se construyó un pozo cuya producción de explotación era de 66,00 GPM, en consecuencia se hace necesario la construcción de un segundo pozo para lograr satisfacer la demanda, de la población actual a servir de trescientas cincuenta casas cuya densidad promedio es de 4,00 ha/casa con una dotación de 1,00 metro cubico diario (1/2 paja al mes).

4.1.2. Viabilidad

De acuerdo al esquema presentado en el capítulo anterior como primer punto se tiene que el proyecto consiste en la construcción de un pozo mecánico

que tiene como objetivo, auxiliar al pozo ya existente a fin de satisfacer las necesidades de la población demandante. El tiempo necesario para su construcción depende básicamente de las formaciones geológicas que se encuentren durante su ejecución, los posibles riesgos durante la perforación sería, la inestabilidad en paredes. El proyecto es técnicamente viable de acuerdo al análisis técnico preliminar realizado.

Figura 15. **Mapa geológico**



Fuente: Instituto Geográfico Nacional.

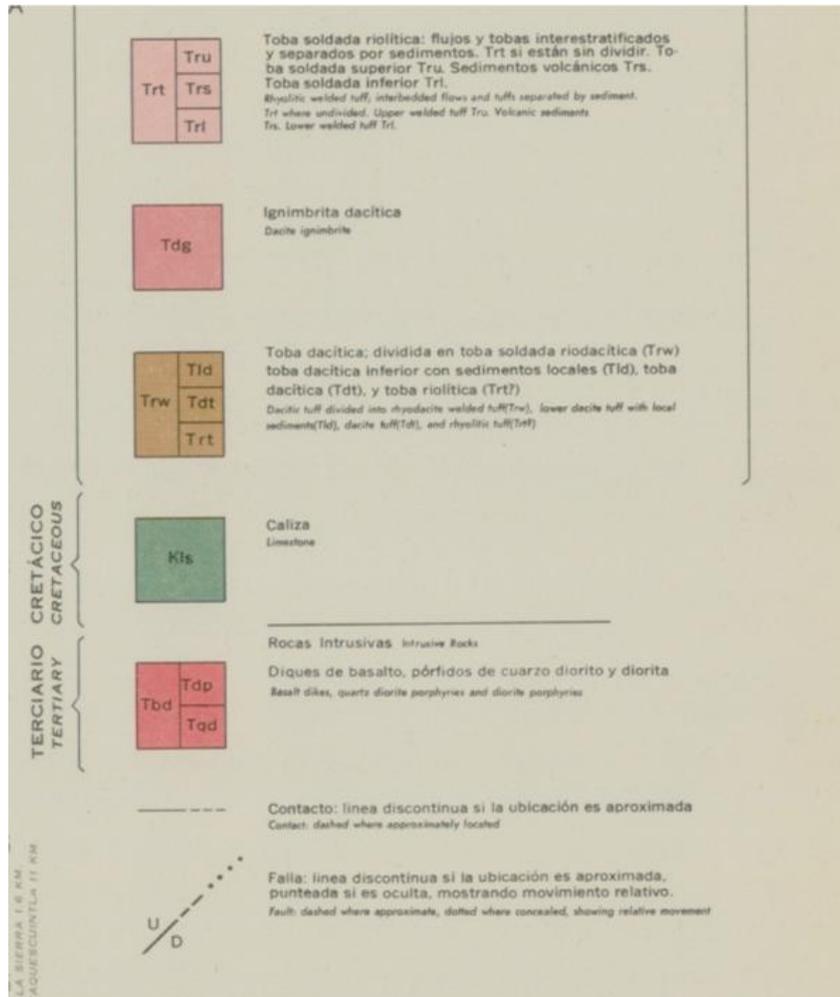
Continuación de la figura 15.

		EXPLICACIÓN EXPLANATION		
CUATERNARIO QUATERNARY	Qpal	Qs Qp	Pómez y aluvi6n con sedimentos y suelos <i>Pumice and alluvium with sediments and soil.</i>	
		Qal		
TERCIARIO TERTIARY	Tab	Tva	Andesita-basalto dividida en algunas partes en anf6bol (Taa), piroxeno (Tpa), olivino (Toa), andesita basalto-v6trica (Tva), lahar y sedimentos tobáceos (Tis); obsidiana (Tvo), y vidrio riolítico (Tvr). <i>Andesite basalt in places divided into amphibole (Taa), pyroxene (Tpa), olivine (Toa), vitric andesite-basalt (Tva), lahar and tuffaceous sediment (Tis), obsidian (Tvo), and rhyolite glass (Tvr).</i>	
		Tis Taa		
		Tpa Toa		
			Try	Riolita <i>Rhyolite</i>
			Tuv	Rocas volcánicas sin dividir <i>Undivided volcanic rocks</i>
			Tqb	Cuarzo-biotita toba soldada <i>Quartz-biotite welded tuff</i>
			Tpt	Toba pomécea endurecida <i>Indurated pumiceous tuff.</i>
		Tvt	Tvtp	Toba soldada vitrea en partes dividida en facies fanerética (Tvtp) y afanítica (Tvta) <i>Vitric welded tuff in places divided into phaneritic (Tvtp) and aphanitic (Tvta) facies</i>
			Tvta	
			Tvr	Riolita vitrea bandeada <i>Vitric banded rhyolite</i>
		Tud	Dacita superior toba soldada <i>Upper dacite welded tuff</i>	
		Tql	Cuarzo latita toba soldada <i>Quartz latite welded tuff</i>	

FORMACIÓN SANGUAYABA
SANGUAYABA FORMATION

FORMACIÓN SAN AGUSTIN LAS MINAS
SAN AGUSTIN LAS MINAS FORMATION

Continuación de la figura 15.



Fuente: Instituto Geográfico Nacional.

4.1.3. Estudios técnicos

Entre los estudios preliminares realizados se tiene un análisis paramétrico, de vulnerabilidad mediante el método God, así mismo se tiene un análisis geológico, mediante los mapas geológicos presentados en la figura 11 y 15 adicional a ello se cuenta con el perfil estratigráfico de los pozos A y B, de

acuerdo a esta información se puede apreciar que la mayoría de las formaciones corresponde a rocas ígneas y sedimentarias tales como pómez, riolita y aluviones con sedimentos y suelos.

4.1.3.1. Tipo de proyecto

El proyecto es de tipo residencial que consiste en la construcción de un pozo mecánico como una opción viable para poder suministrar agua potable de una manera adecuada al complejo residencial Ensenada de San Isidro zona 16.

Figura 16. **Mesa giratoria**



Fuente: Ensenada de San Isidro zona 16.

4.1.3.2. Métodos de perforación

El método utilizado para su perforación es el Rotativo, que consiste en una mesa giratoria, kelly, broca, lodo de perforación, etcétera. Se realiza mediante la rotación de la broca que tritura o rompe la formación, el material cortado es retirado de la perforación mediante una circulación continua de fluido, que permite tener un registro del tipo de material que se está atravesando.

La viscosidad del lodo de perforación oscila entre los 45,00 segundos, cabe destacar que la bentonita utilizada para su preparación no es perjudicial al medio ambiente dada sus propiedades. La pérdida de circulación del lodo se registro a los 128,00m (420,00pies) de perforación y se clasifica como una pérdida total del fluido ya que el lodo que se encuentra en el pozo fue desplazado en su totalidad hacia la formación.

4.1.4. Estimación de recursos

Como se mencionó en el capítulo III los recursos constituyen el conjunto de elementos tangibles e intangibles tal como se describe en seguida.

4.1.4.1. Financieros

El coste está regido principalmente por el lugar y el tiempo o época en que se ejecute el proyecto, en consecuencia únicamente se hace mención del coste de la mano de obra directa, y una descripción de las actividades que se consideran en la evaluación cuantitativa las cuales se mencionan a continuación.

Construcción de la vía de acceso al lugar designado, plataforma, costo de operación, ubicación de las líneas de conducción eléctrica, bomba y motor. Estas consideraciones son propias del proyecto en cuestión ya que para otros puede haber más factores o menos, dependiendo de la clasificación del tipo de proyecto.

4.1.4.2. Humanos

El recurso humano como se dijo anteriormente es uno de los factores más importantes para garantizar la calidad del proyecto. El personal involucrado de forma directa en la ejecución se muestra en la siguiente tabla.

Tabla V. **Personal**

Categoría	Descripción	Costes (Q)
Plomero	Encargado de proveer agua para el proyecto de perforación.	300,00
Operador del proyecto	Es el encargado de la construcción de la vía de acceso al lugar.	2500,00
Perforador	Operador principal del equipo de perforación	6000,00
Ayudante de perforación	Auxiliar del perforador	4000,00
Ingeniero	Inspector de perforación	22000,00
Soldador	Personal necesario para que suelde la unión de los tubos para el encamisado entre otros.	550,00
Operador	Es el operador encargado de la limpieza y desarrollo del pozo.	4300,00

Continuación de la tabla V.

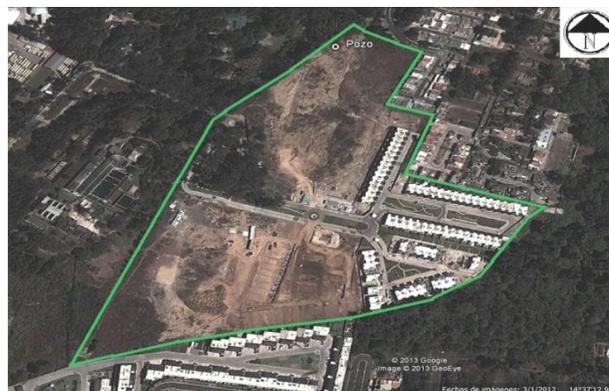
Categoría	Descripción	Costes (Q)
Ayudante	Son los auxiliares del operador.	2600,00
Seguridad	Personal encargado de velar por la seguridad del equipo.	4080,00
Electricista	Persona autorizada por la empresa eléctrica.	533,00
Técnico	Encargado de la instalación de la bomba.	600,00

Fuente: elaboración propia.

4.1.4.3. Físicos

Como recurso físico proporcionado por la unidad ejecutora se tiene el terreno donde se construirá el pozo mecánico, así como el camino de acceso.

Figura 17. **Localización pozo D**



Fuente. Google earth.

El lugar designado para su construcción forma parte del complejo residencial, lo que contribuyó a agilizar el proyecto.

4.1.4.4. Materiales

Los materiales empleados en el proyecto son las que se muestran a continuación.

Tabla VI. **Maquinaria y equipo**

Maquinaria y equipo	Descripción
Máquina perforadora	Sistema rotación
Desarenador	Utilizado para separar los sólidos del lodo.
Tubos de perforación	Son tubos huecos de 8 pulgadas
Broca	Tipo botón y tipo dientes
Bomba	Para la circulación del lodo
Drill collar	Utilizado como contrapeso
Mezcladora	Se emplea para preparar el lodo.
Máquina para limpieza	Sistema para limpieza del pozo
Cubeta	Utilizados para la limpieza del pozo.
Pistón	
Tubos	Para bombear el agua
Motor y bomba	
Cinta eléctrica	Para medir el N.E y N.D
Orificio calibrado	Medición de caudal
Cronómetro	
Llave	Utilizado para graduar el caudal

Fuente: elaboración propia.

4.2. Inversión y ejecución

Como se dijo en el capítulo anterior, contempla la realización de las actividades contempladas en la fase de preinversión, para lograr al final de la misma el proyecto propuesto (pozo mecánico).

4.2.1. Diseño de pozo

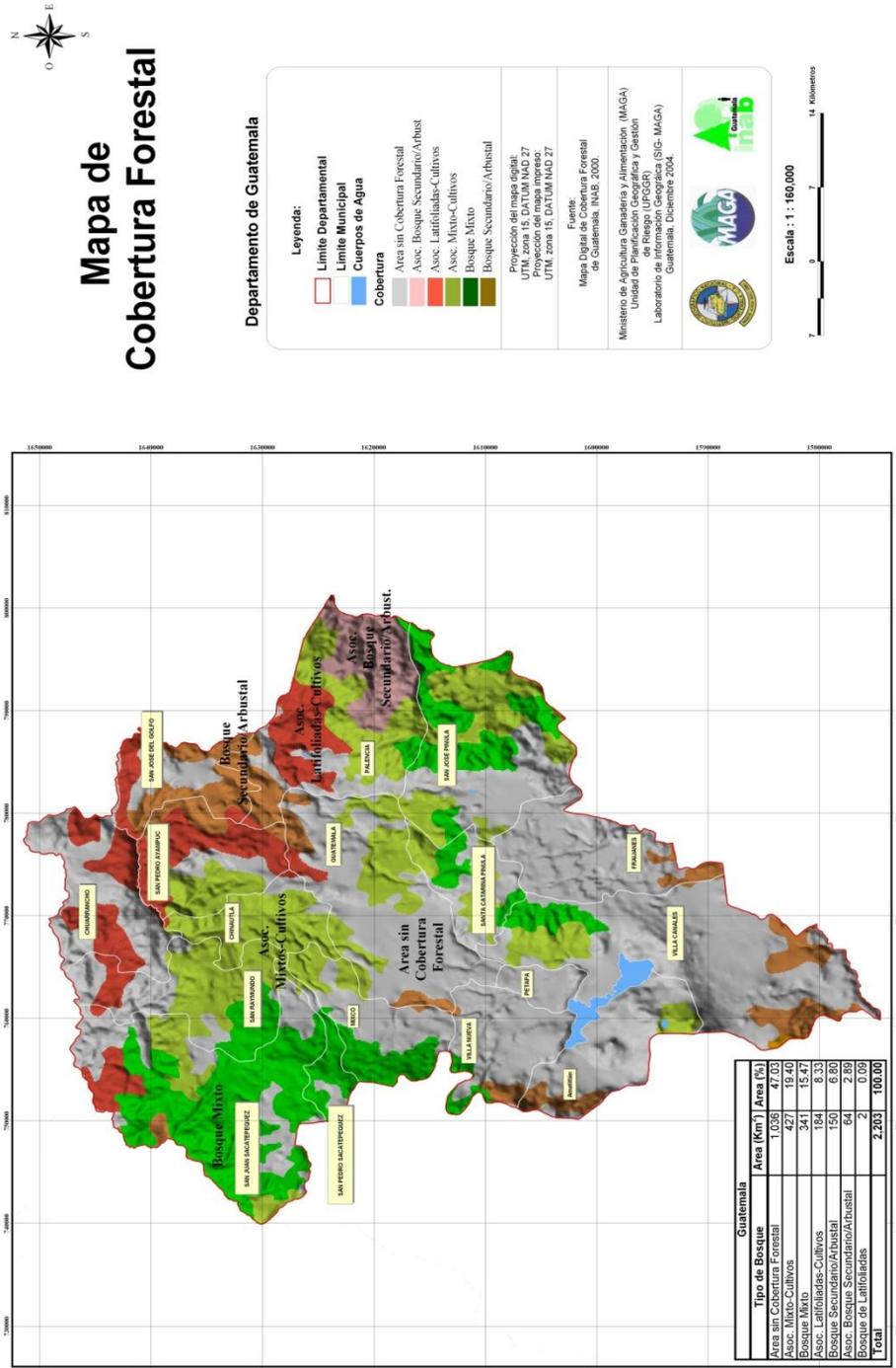
Para la planificación y diseño del pozo es necesaria conocer el entorno es decir posibles áreas de recarga, si se cuenta con pozos cercanos etc. En este caso se cuenta con información de la existencia de tres pozos a una distancia no mayor de un kilómetro del lugar de la perforación.

El pozo A es el de EMPAGUA con nivel estático igual a 104,24m (342,00 pies), nivel dinámico de 196,90m (646,00 pies), tiene una producción de 317,00 GPM y una profundidad de 457,32m (1500,00 pies) (Datos del 13 de septiembre de 2000).

Con una producción de 133,00 GPM el nivel estático del pozo B es de 122,00m (400,00 pies), el nivel dinámico es de 227,68m (746,80 pies), y una profundidad de 365,85m (1200,00 pies). (Datos del 11 de octubre de 2006).

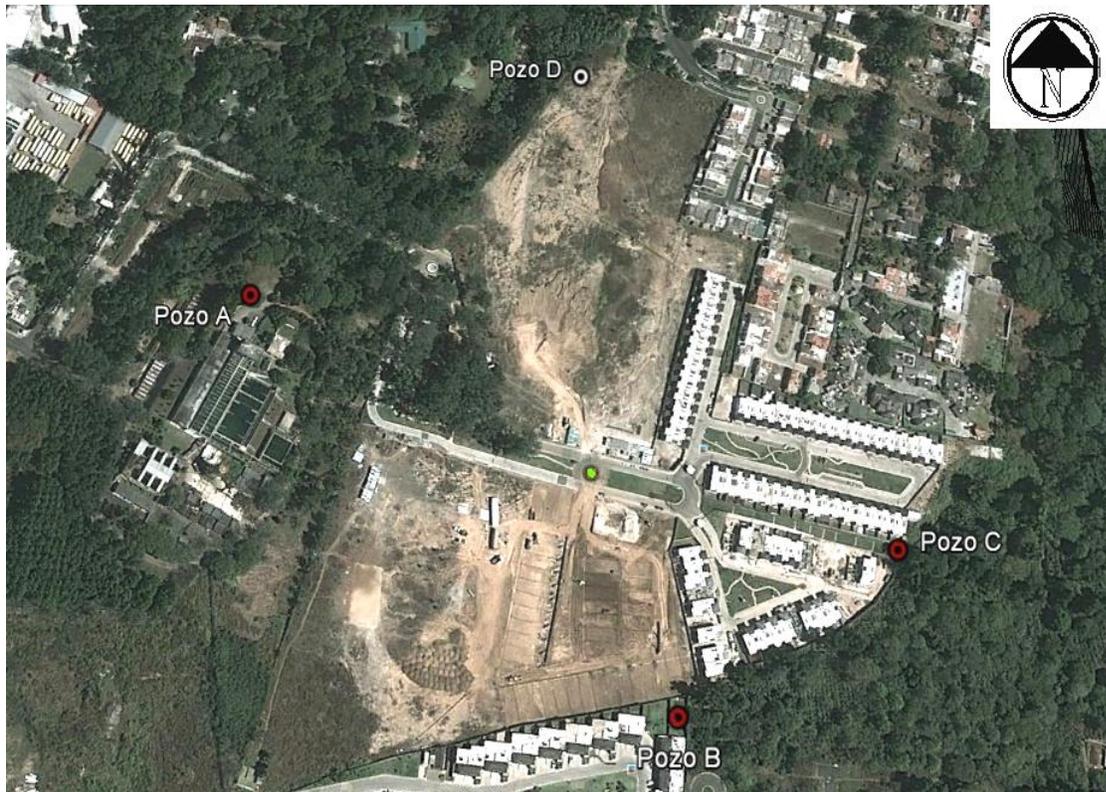
El pozo C se ubica en el mismo complejo residencial, cuyo nivel estático es de 154,35m (506,4 pies), nivel dinámico de 286,05m (938,5 pies) con una producción de 66,00 GPM y una profundidad de 365,85m (1200,00 pies) (Datos del 16 de julio de 2007).

Figura 18. Mapa cobertura forestal



Fuente: Ministerio de Agricultura Ganadería y Alimentación.

Figura 19. **Ubicación de los pozos**



Fuente. Google earth.

4.2.1.1. Propósito del aguas subterránea

El propósito del uso del agua es para el consumo humano y en general para uso doméstico.

En función de la información anterior, el pozo tendrá los parámetros mostrados en la tabla siguiente.

Tabla VII. **Parámetros pozo P. D**

Parámetro	Dimensión (m)	Dimensión (pulgadas)
Profundidad	365,76	14.400 (1200,00 pies)
Diámetro de la perforación	0,31	121/4
Diámetro de encamisado	0,20	8
Diámetro de tubería de equipo de bombeo	0,10	4

Fuente. elaboración propia.

4.2.2. Evaluación del subsuelo según muestras geológicas

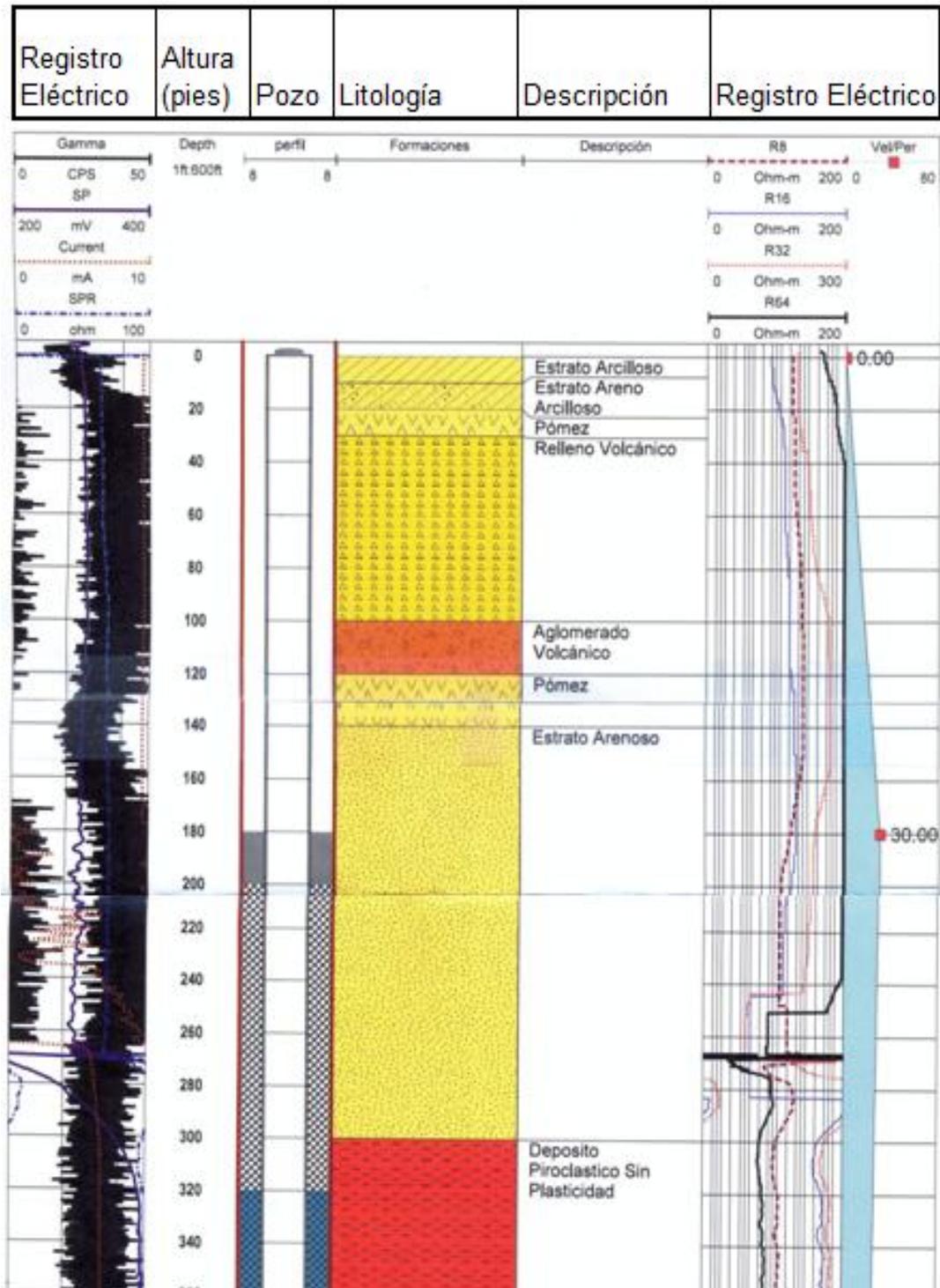
Como se mencionó anteriormente el método empleado es el de rotación, el cual permite obtener muestras de detritus de perforación, en este caso la muestra se recoge a cada 3,05m (10,00pies). En la figura 21 se muestra el perfil litológico del pozo.

Figura 20. **Muestra de arcilla**

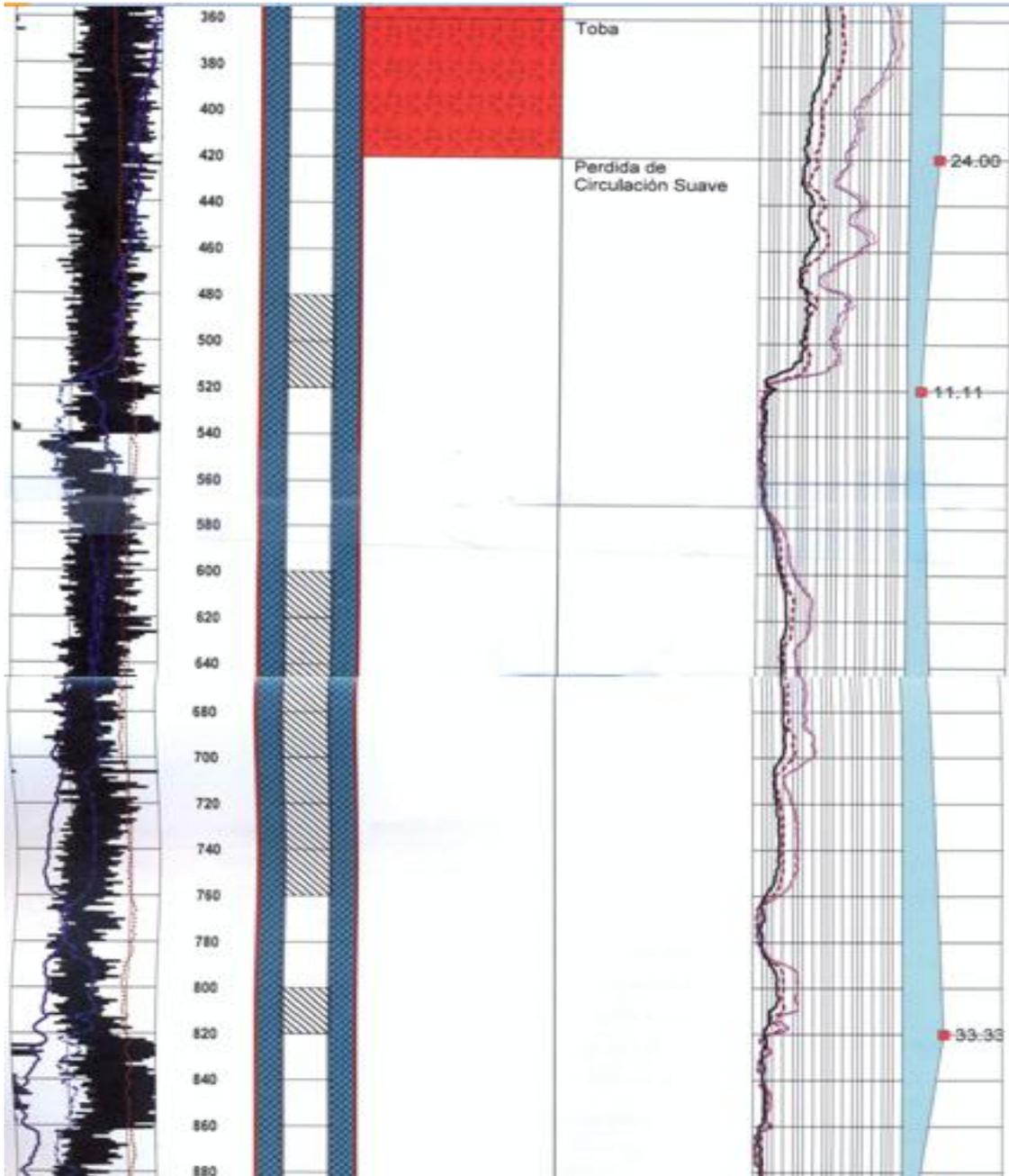


Fuente. Ensenada de San Isidro zona16.

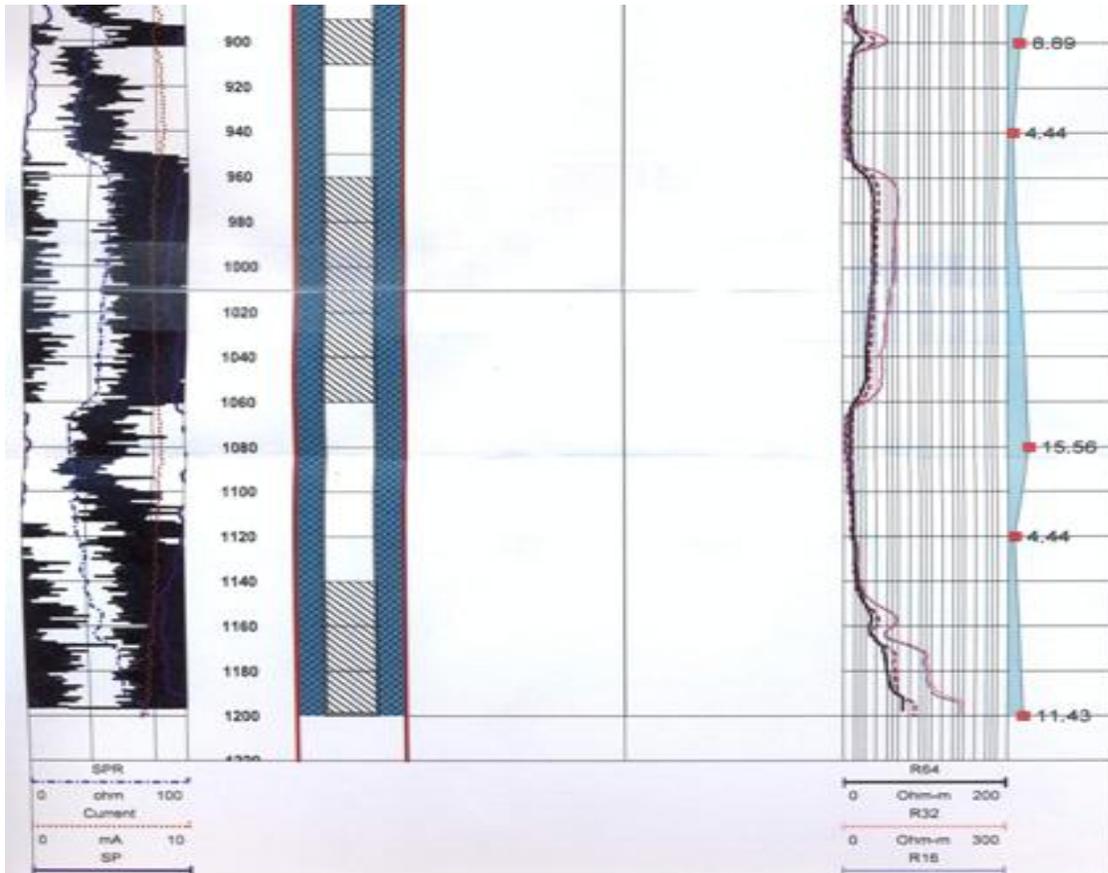
Figura 21. Columna litológica y registro eléctrico P. D



Continuación de la figura 21.



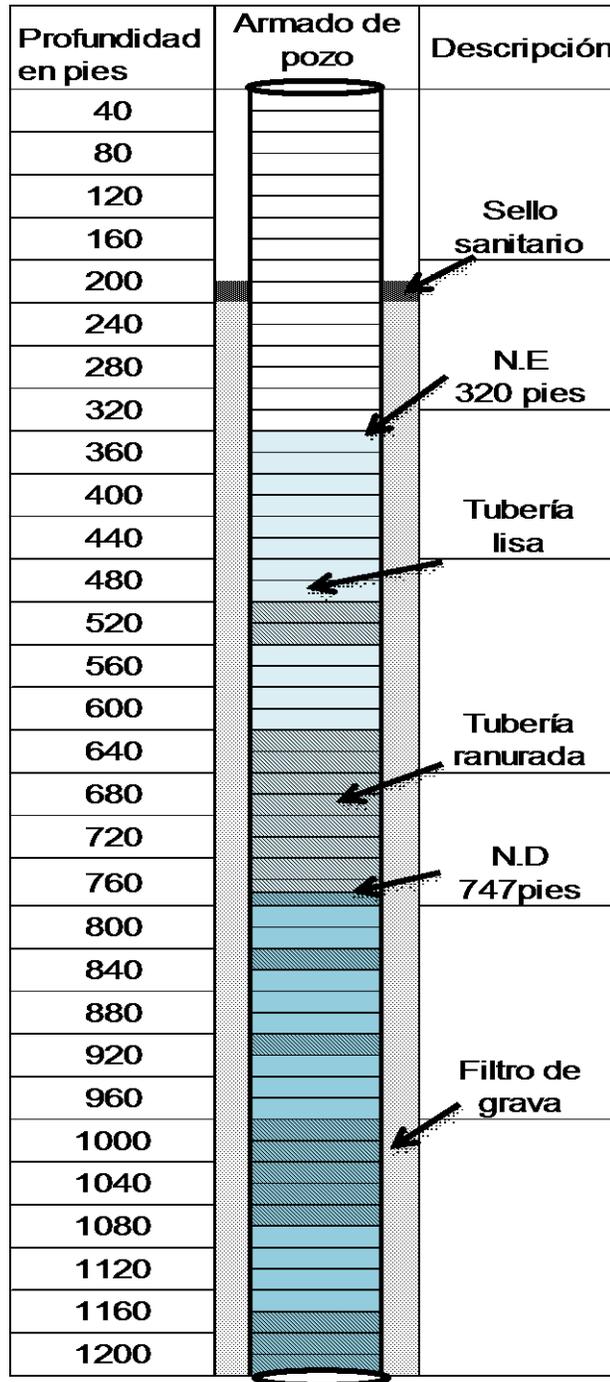
Continuación de la figura 21.



Fuente. Corporación Chichipate.

Como se indicó anteriormente la circulación se perdió a 128,02m (420 pies) por lo que no fue posible obtener más muestras, excepto que a 262,13m (860pies) se sabe que hay arcilla con roca ya que la velocidad de perforación fue más lenta y al extraer la broca se logro obtener muestras del mismo (ver figura 20), este tiene un espesor aproximadamente de 24,38m (80pies).

Figura 22. Perfil armado del pozo



Fuente. elaboración propia.

4.2.3. Limpieza y desarrollo

Como primer paso para realizar la limpieza y desarrollo del pozo se coloca una máquina de limpieza de pozo mecánica, en el lugar se procede a levantar la torre y a limpiar el pozo, en este caso la limpieza y desarrollo se efectúa mediante cubeteo y pistoneo.

Figura 23. **Cubeta de limpieza**



Fuente: Ensenada de San Isidro zona16.

Figura 24. **Pistones**



Fuente: Ensenada de San Isidro zona 16.

La limpieza del pozo es el siguiente paso después de la perforación, encamisado y colocación del filtro de grava. El relleno de pozo es extraído mediante una cubeta como el que se muestra en la figura 23, a continuación se emplea el pistoneo, este proceso se realiza hasta lograr destapar completamente el acuífero, limpiar las ranuras y acomodar la grava.

4.2.4. Pruebas de bombeo

La prueba de bombeo duró 24 horas, siendo este el tiempo mínimo para determinar las características y/o la comunicación del sistema pozo-acuífero.

4.2.4.1. Tipo de prueba

El tipo de prueba empleado en este caso es el de caudal constante en escalones. En el capítulo anterior se describe la importancia de esta etapa ya que mediante los datos que se obtienen aquí se puede describir las características y/o parámetros hidrogeológicos del acuífero, tema de gran interés en la planificación hidráulica.

Mediante los ensayos se obtuvieron datos de descenso y de recuperación, los cuales permiten realizar los trabajos de gabinete correspondientes para su interpretación.

Tabla VIII. Datos de la prueba de bombeo P. D

Minuto	Nivel en metros	Nivel del agua (pies)	Abatimiento (pies)	Caudal (GPM)
1	146,34	480,00	160,00	108,00
2	150,92	495,02	175,02	108,00
3	152,94	500,00	180,00	108,00
4	152,77	501,09	181,09	108,00
5	153,36	503,02	183,02	108,00
6	153,67	504,04	184,04	108,00
7	154,29	506,07	186,07	108,00
8	154,89	508,04	188,04	108,00

Continuación de la tabla VIII.

Minuto	Nivel en metros	Nivel del agua (pies)	Abatimiento (pies)	Caudal (GPM)
9	155,8	511,02	191,02	108,00
10	157,02	515,03	195,03	108,00
12	158,25	519,06	199,06	108,00
14	161,59	530,02	210,02	108,00
16	166,18	545,07	225,07	108,00
18	167,71	550,09	230,09	108,00
20	170,12	557,99	237,99	108,00
25	177,15	581,05	261,05	108,00
30	182,95	600,08	280,08	108,00
45	187,83	616,06	296,08	108,00
60	190,58	625,10	305,10	108,00
90	193,6	635,01	315,01	108,00
120	220,13	722,03	402,03	215,00
150	224,4	736,03	416,03	215,00
180	225,63	740,07	420,07	215,00
240	228,68	750,07	430,07	215,00
300	231,72	760,04	440,04	215,00
360	234,16	768,04	448,04	215,00
420	236,59	776,02	456,02	215,00
480	237,82	780,05	460,05	215,00
540	239,65	786,05	466,05	215,00
600	241,17	791,04	471,04	215,00
660	242,41	795,10	475,1	215,00
720	243,61	799,04	479,04	215,00

Continuación de la tabla VIII.

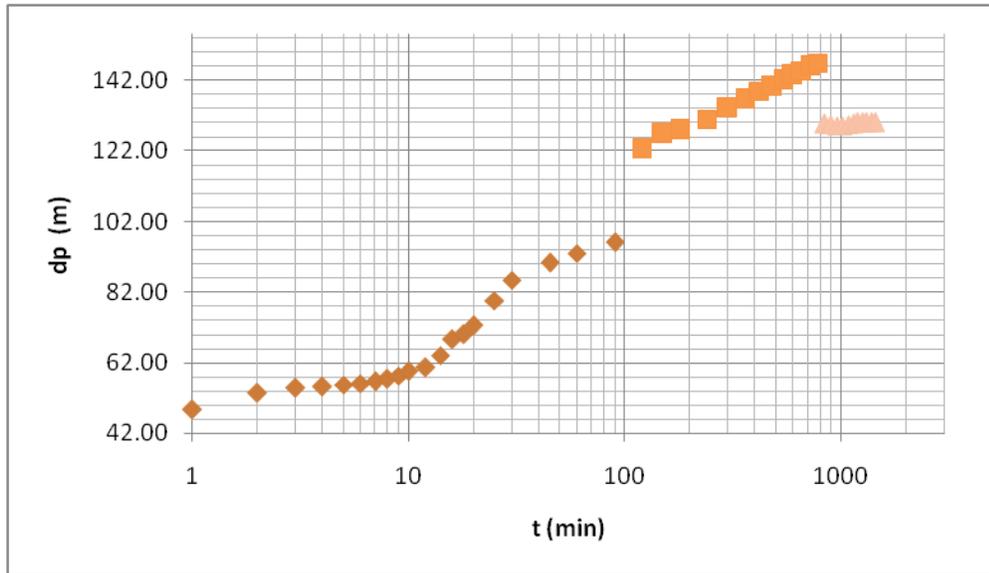
Minuto	Nivel en metros	Nivel del agua (pies)	Abatimiento (pies)	Caudal (GPM)
780	244,54	802,09	482,09	215,00
840	227,45	746,04	426,04	160,00
900	227,14	745,02	425,02	160,00
960	226,86	744,04	424,04	160,00
1020	227,16	744,10	424,1	160,00
1080	227,45	745,08	425,08	160,00
1140	227,75	746,04	426,04	160,00
1200	227,75	747,02	427,02	160,00
1260	227,75	747,02	427,02	160,00
1320	227,75	747,02	427,02	160,00
1380	227,75	747,02	427,02	160,00
1440	227,75	747,02	427,02	160,00

Fuente: Corporación Chichipate.

En la siguiente figura se presenta el gráfico tiempo- abatimiento del pozo D, la cual representa la relación entre la depresión (dp), en un punto dado del acuífero y el tiempo, a partir del comienzo de bombeo.

Como puede observarse el gráfico pertenece a un ensayo de bombeo escalonado sin recuperación, dada la forma de la curva es posible pensar que al inicio se tiene una importante pérdida de carga.

Figura 25. Depresión- tiempo P. D



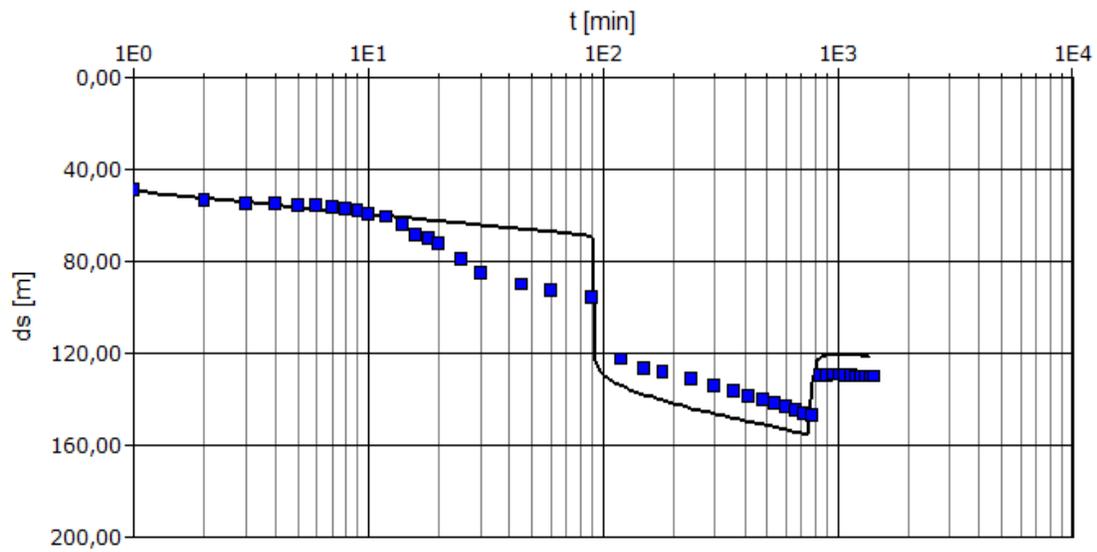
Fuente: elaboración propia.

Para procesar los datos se emplearon métodos gráficos y como herramienta se utilizó el software *Aquifer Test*, mediante el cual se aplicaron diferentes métodos de análisis a fin de comparar los resultados obtenidos mediante los mismos.

El ensayo de bombeo es escalonado por lo que se analizaron en primer lugar los datos como tal, luego se calculó el caudal medio ponderado y se interpolaron los datos para realizar un análisis con un caudal constante de bombeo.

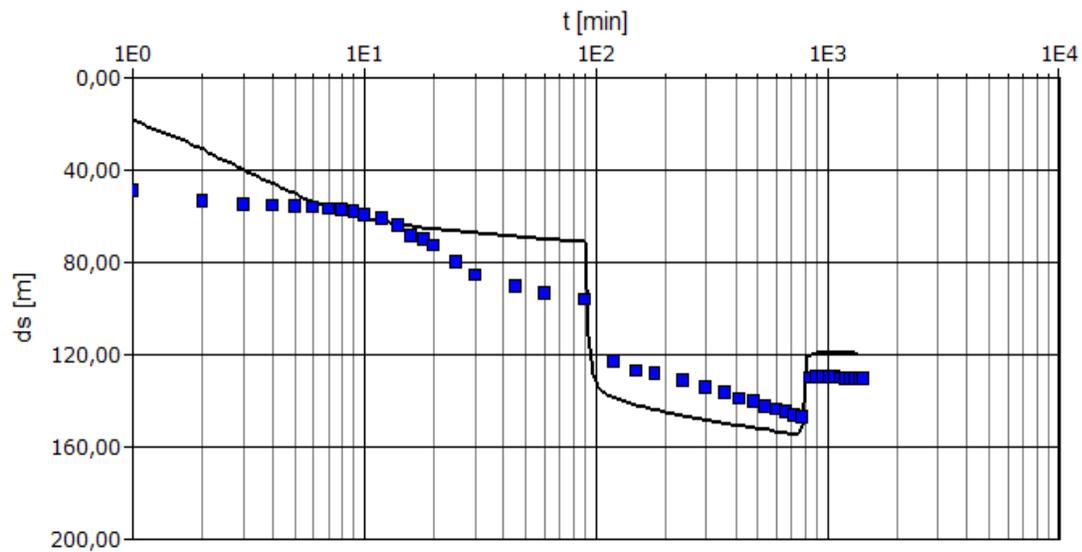
A continuación se presentan los gráficos descenso-tiempo teórico (línea continua) ajustados al gráfico de campo del pozo D a bombeos escalonado sin recuperación.

Figura 26. Método Theis P. D



Fuente: elaboración propia.

Figura 27. Método Papadópulos y Cooper P. D



Fuente: elaboración propia.

Los parámetros obtenidos se muestran en la siguiente tabla.

Tabla IX. **Parámetros hidrogeológicos P. D**

Método	T (m²/d)	K (m/d)
Theis	10,80	4,04E-02
Papadópulos y Cooper	14,90	5,56E-02

Fuente: elaboración propia.

Analizando por intervalos de tiempo es decir cada escalón por separado se tienen los siguientes valores de T.

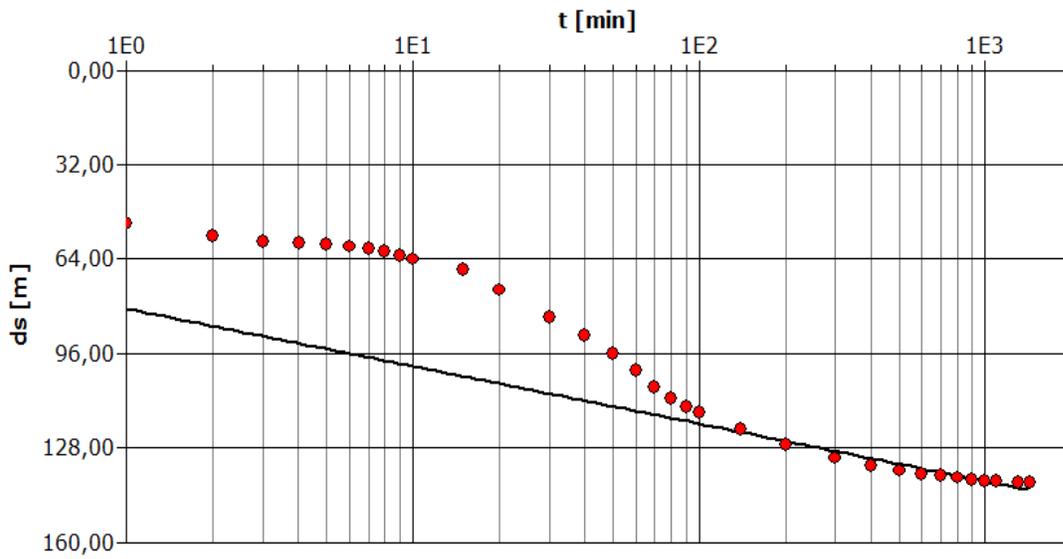
Tabla X. **Parámetros hidrogeológicos obtenido por intervalos P. D**

Método	Valores de T (m²/día)		
	t < 91	91 < t < 781	781 < t < 1441
Theis	6,61	9,41	-----
Papadópulos & Cooper	5,9	6,34	-----
Cooper y Jacob	6,67	6,2	----
Hantush	----	-----	7,58

Fuente: elaboración propia.

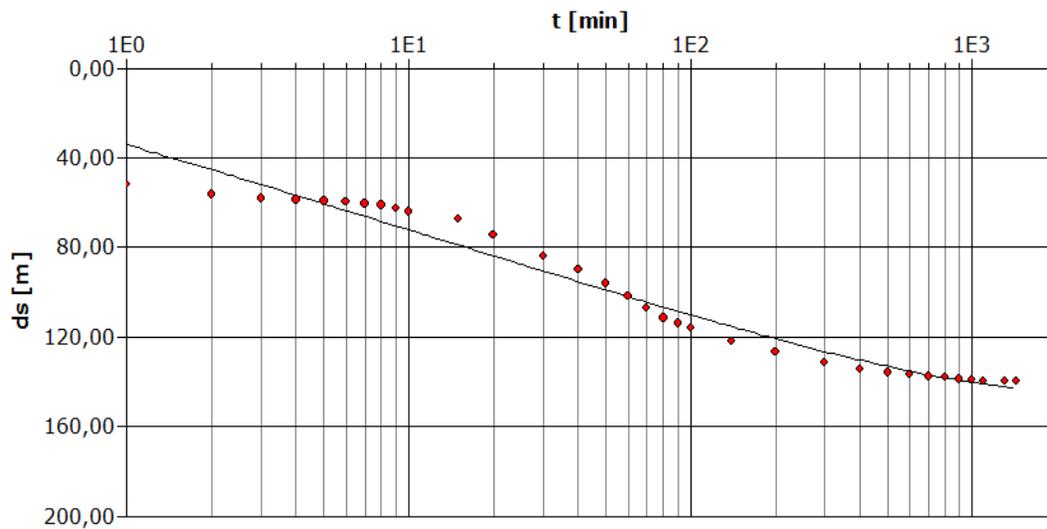
En seguida se presentan los gráficos descenso-tiempo, teórico (línea continua) ajustados al gráfico interpolado a caudal constante del pozo D.

Figura 28. Método Theis P. D



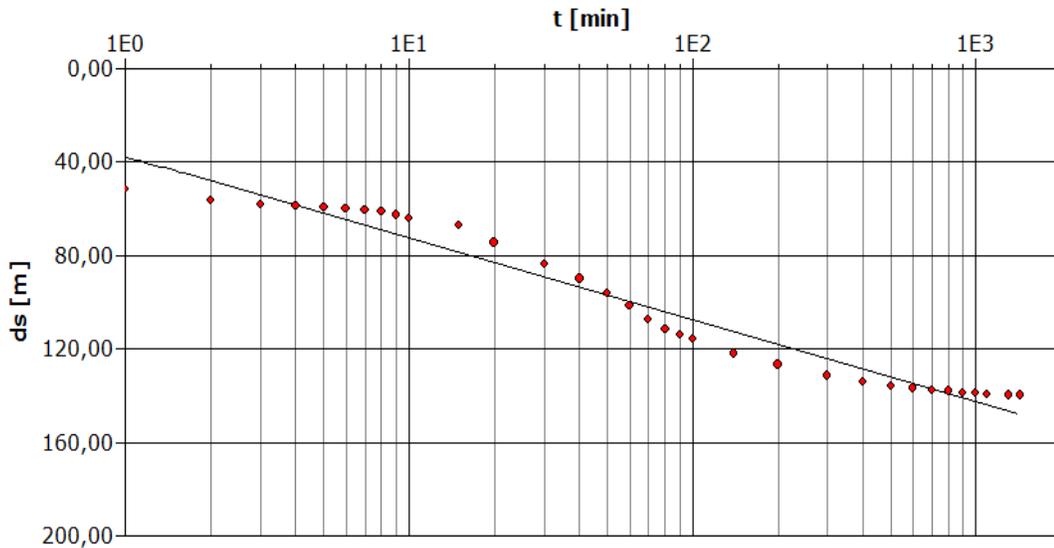
Fuente: elaboración propia.

Figura 29. Método Hantush P. D



Fuente: elaboración propia.

Figura 30. Método Boulton P. D



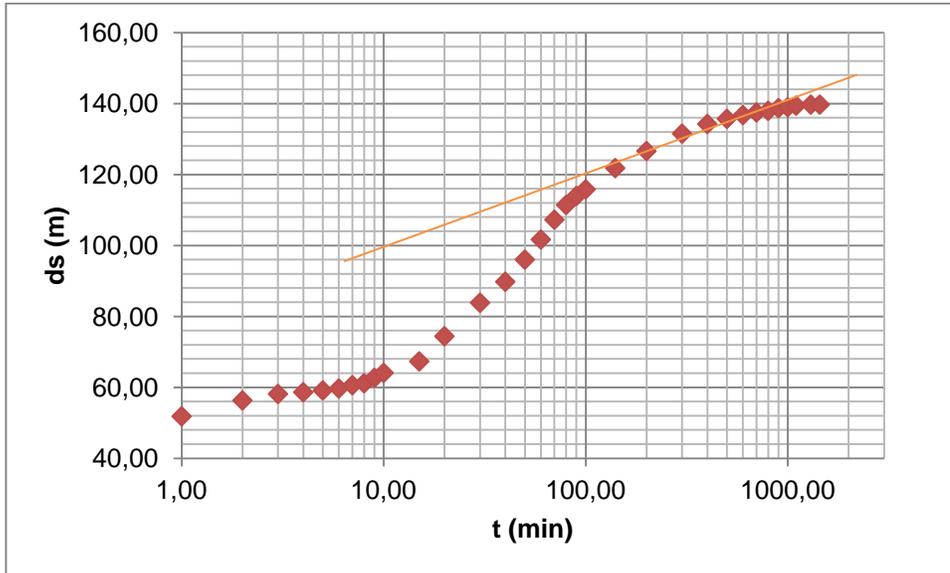
Fuente: elaboración propia.

Manualmente se obtiene la transmisividad mediante el método de Jacob que es una particularización del método de Theis, el método se basa en el ajuste de una recta a los puntos obtenidos. Cabe mencionar que el método de Jacob es siempre aplicable cuando las depresiones se miden en el pozo de bombeo.

De acuerdo al gráfico de la figura 31 se puede observar que la caída por ciclo es aproximadamente $\Delta d = 20,50\text{m}$ aplicando la ecuación de Jacob que es $T = 0,183 \cdot Q / \Delta d$ donde Q es el caudal medio ponderado, sustituyendo los datos en la ecuación se tiene:

$$T = (0,183 \cdot 998 \text{m}^3/\text{d}) / 20,50\text{m} \quad \rightarrow \quad T = 8,90 \text{ m}^2/\text{d}$$

Figura 31. **Método Jacob P. D**



Fuente: elaboración propia.

Tabla XI. **Parámetros hidrogeológicos por interpolación P. D**

Método	T (m ² /d)	K (m/d)
Theis	9,39	3,50E-4
Hantush	4,66	1,74E-2
Boulton	5,21	1,94E-2
Jacob	8,90	-----
Promedio	8,95	12,38E-3

Fuente: elaboración propia.

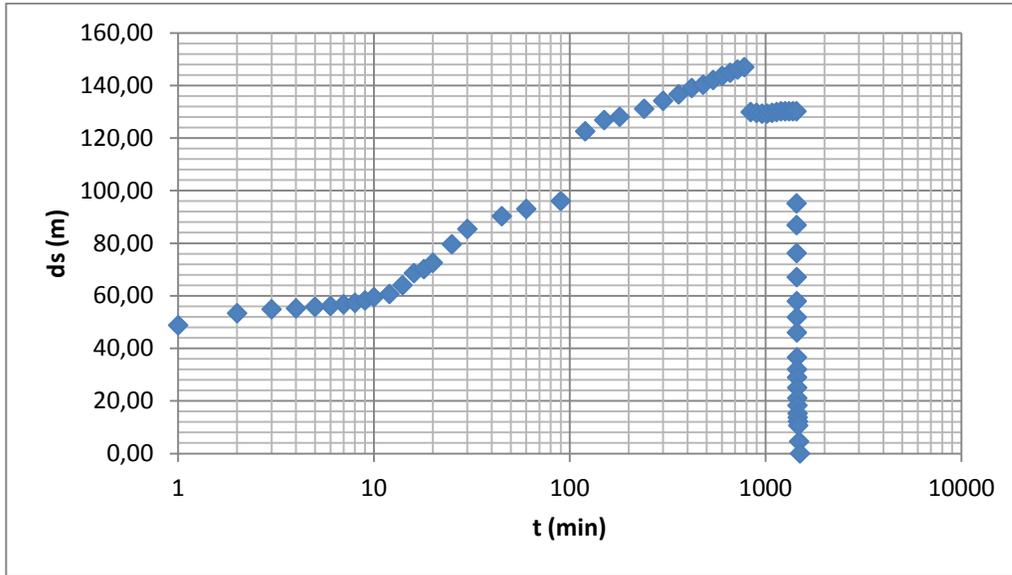
En los siguientes gráficos se presenta la evolución de los niveles después de parada la bomba.

Tabla XII. Datos de recuperación pozo D

Minuto	Nivel en metros	Nivel del agua (pies)	Abatimiento (pies)
1	192,70	632,66	312,06
2	184,46	605,03	285,03
3	173,79	570,03	250,03
4	164,66	540,08	220,08
5	155,49	510,01	190,01
6	149,39	490,00	170,00
7	143,61	471,04	151,04
8	134,15	440,01	120,01
9	129,58	425,02	105,02
10	126,55	415,08	95,08
12	122,59	402,10	82,10
14	118,63	389,11	69,11
16	115,86	380,02	60,02
18	112,82	370,05	50,05
20	111,29	365,03	45,03
25	109,77	360,05	40,05
30	108,23	354,99	34,99
45	102,14	335,02	15,02
60	97,58	320,06	0,06

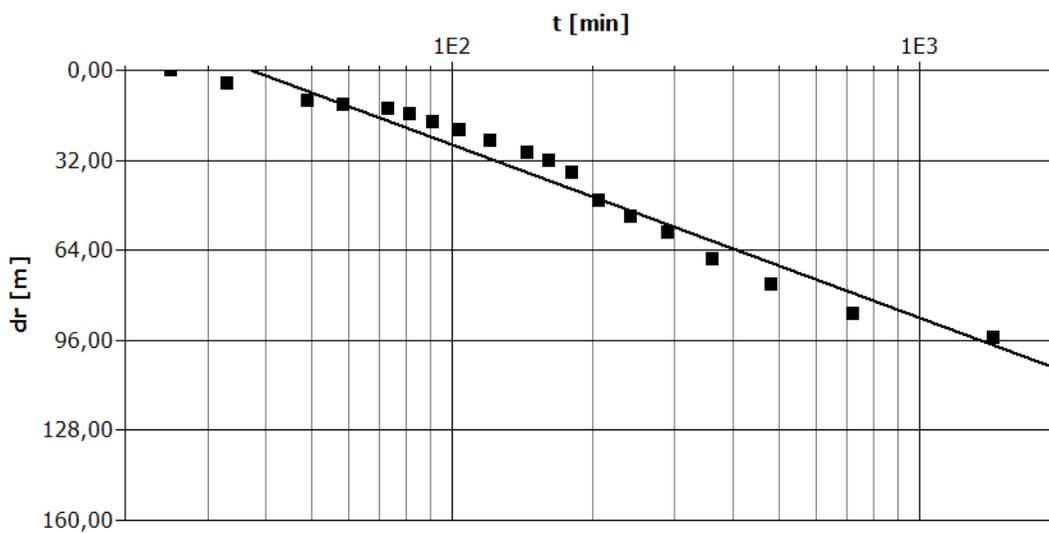
Fuente: Corporación Chichipate.

Figura 32. Evolución completa pozo D



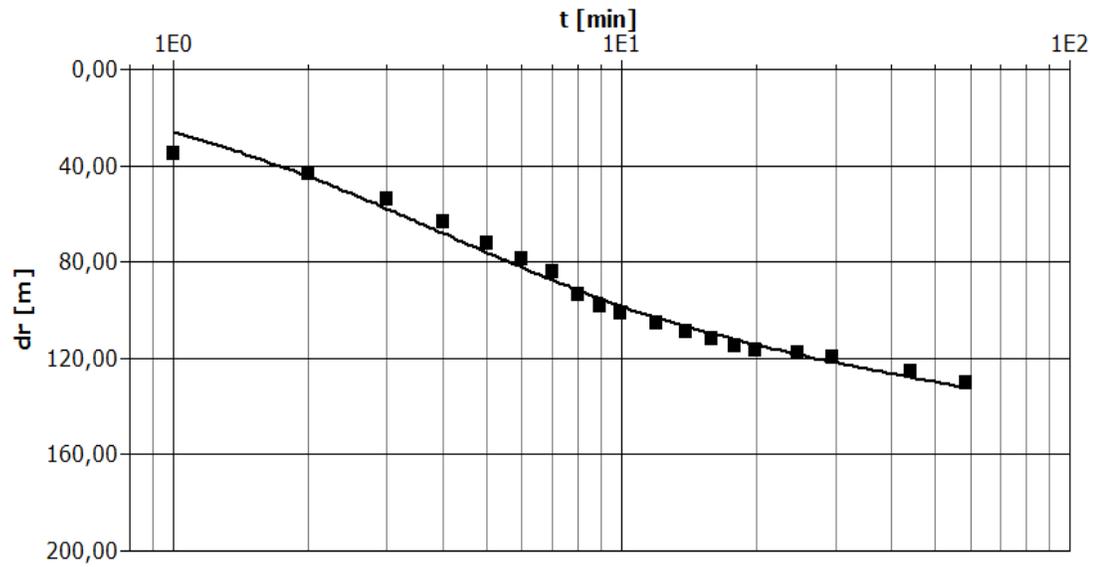
Fuente: elaboración propia.

Figura 33. Método de recuperación de Theis



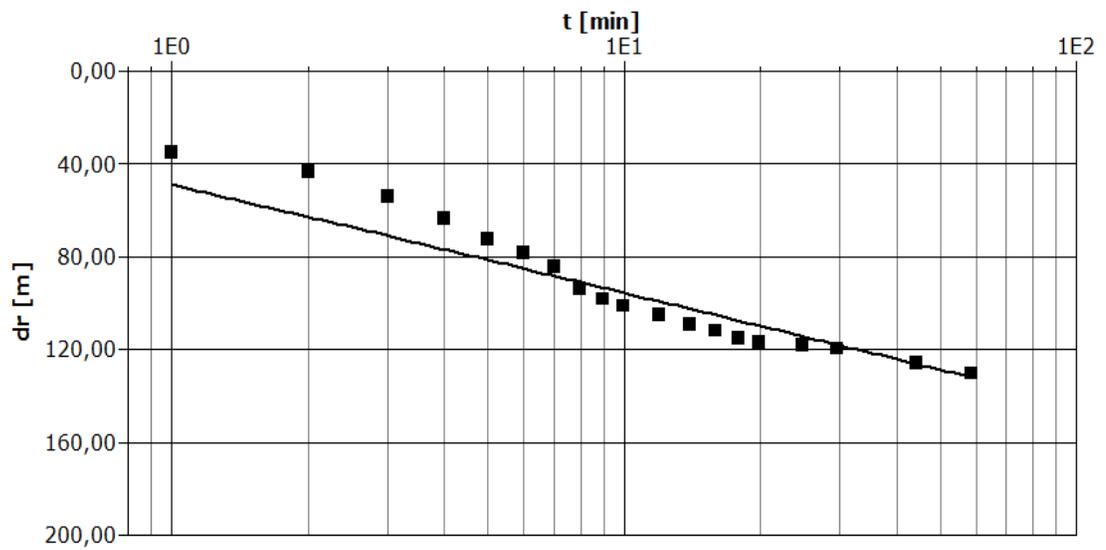
Fuente: elaboración propia.

Figura 34. Método Papadópulos y Cooper



Fuente: elaboración propia.

Figura 35. Método Neuman



Fuente: elaboración propia.

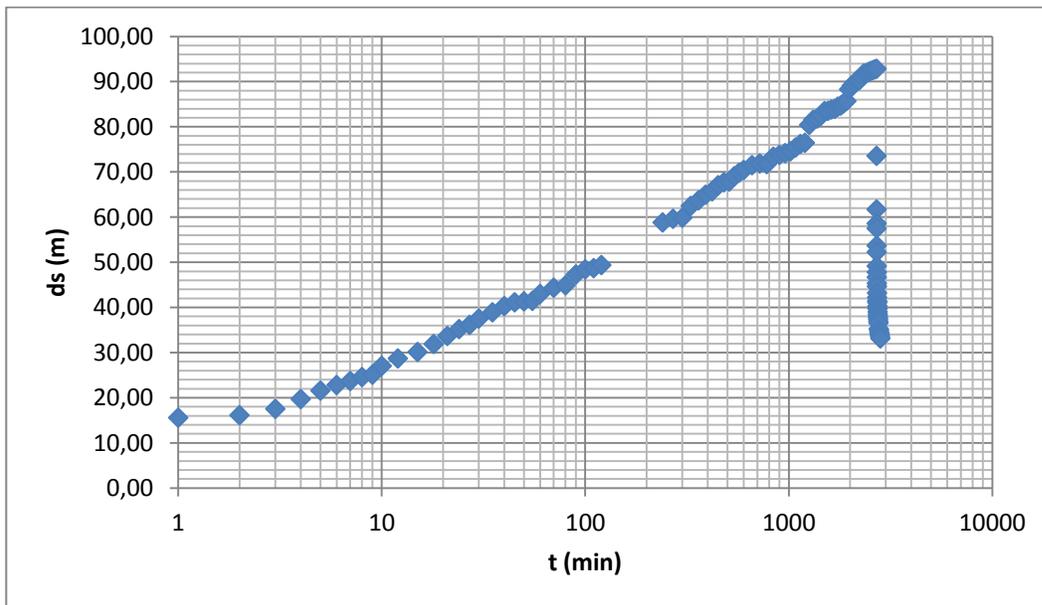
Tabla XIII. Valores de T y K pozo D

Método	T (m ² /d)	K (m/d)
Recuperación de Theis	2,96	1,10E-02
Papadópulos y Cooper	5,52	2,06E-02
Neuman	3,36	1,25E-02

Fuente: elaboración propia.

En las siguientes figuras se muestra el abatimiento de los pozos A, B y C, de igual manera en las tablas se presentan los parámetros hidrológicos obtenidos mediante los datos de descenso.

Figura 36. Evolución completa del pozo A



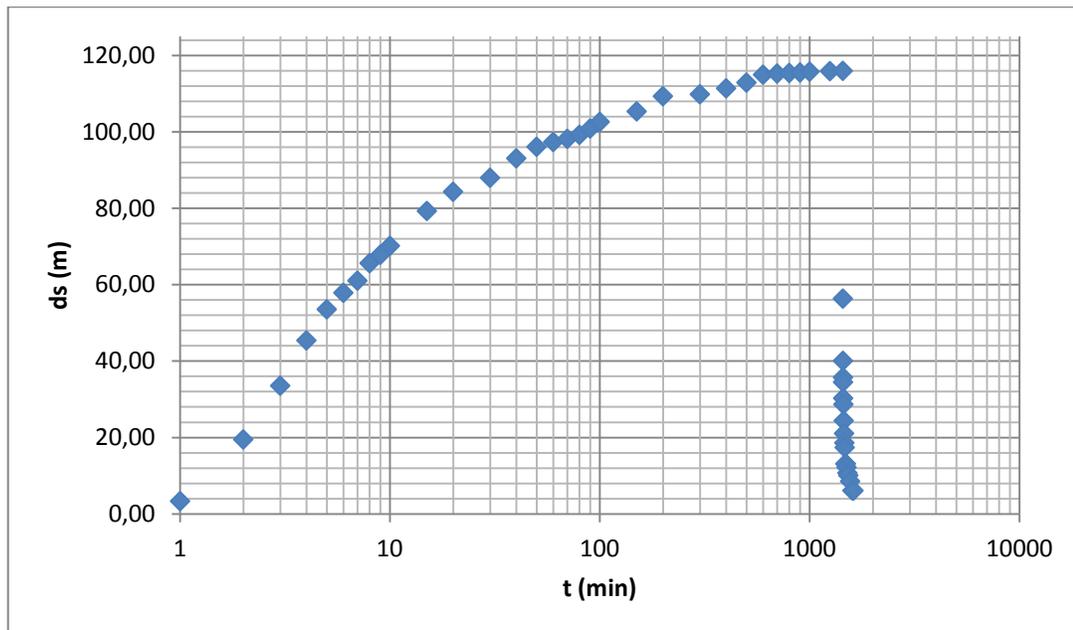
Fuente: elaboración propia.

Tabla XIV. **Parámetros hidrogeológicos pozo A**

Método	T (m ² /d)	K (m/d)
Theis	12,70	3,60E-02
Boulton	12,50	3,54E-02
Neuman	17,8	5,05E-02
Doble Porosidad	10,6	2,99E-02

Fuente: elaboración propia.

Figura 37. **Evolución completa del pozo B**



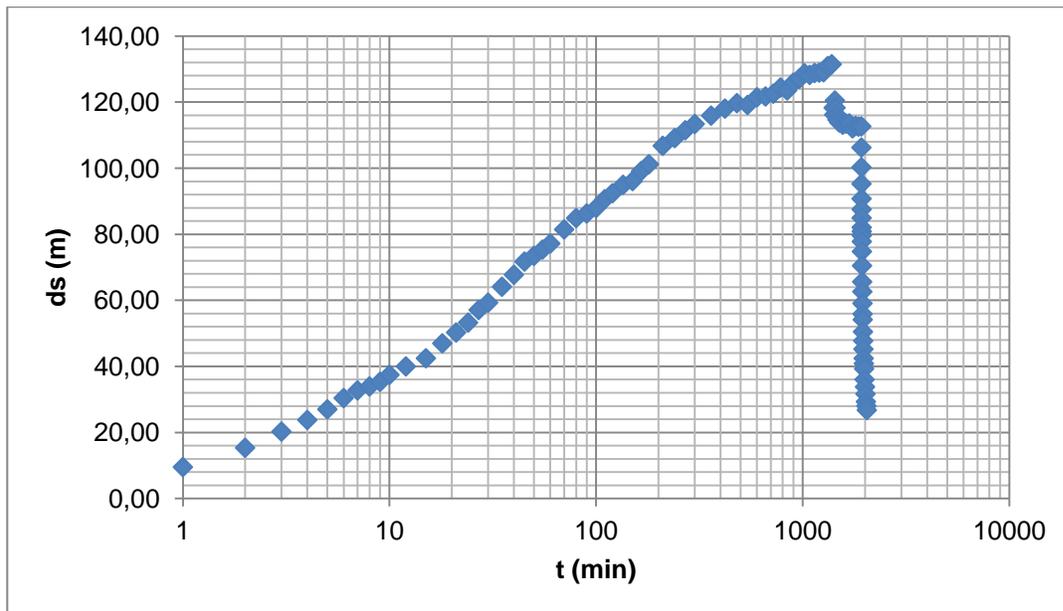
Fuente: elaboración propia.

Tabla XV. **Parámetros hidrogeológicos pozo B**

Método	T (m ² /d)	K (m/d)
Theis	4,96	2,04E-02
Boulton	4,97	2,04E-02
Neuman	5,22	2,14E-02
Doble porosidad	4,97	2,04E-02

Fuente: elaboración propia.

Figura 38. **Evolución completa del pozo C**



Fuente: elaboración propia.

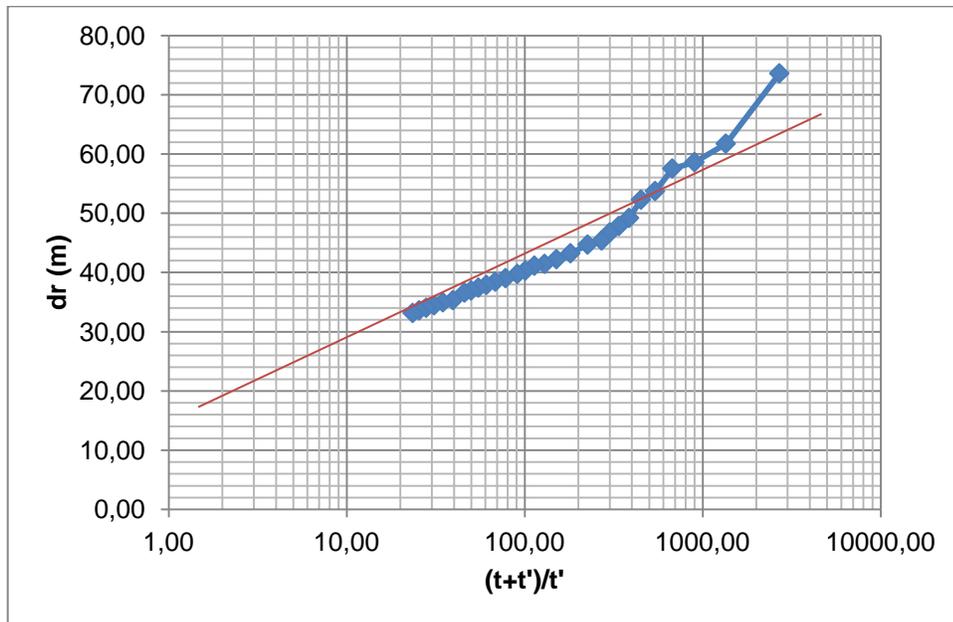
Tabla XVI. **Parámetros hidrogeológicos pozo C**

Método	T (m²/d)	K (m/d)
Theis	1,44	6,86E-03
Boulton	1,44	6,86E-03
Neuman	2,07	9,85E-03

Fuente: elaboración propia.

En seguida se presentan los parámetros obtenidos mediante el análisis de los datos de recuperación de los pozos A, B, y C.

Figura 39. **Evolución de ascenso pozo A**



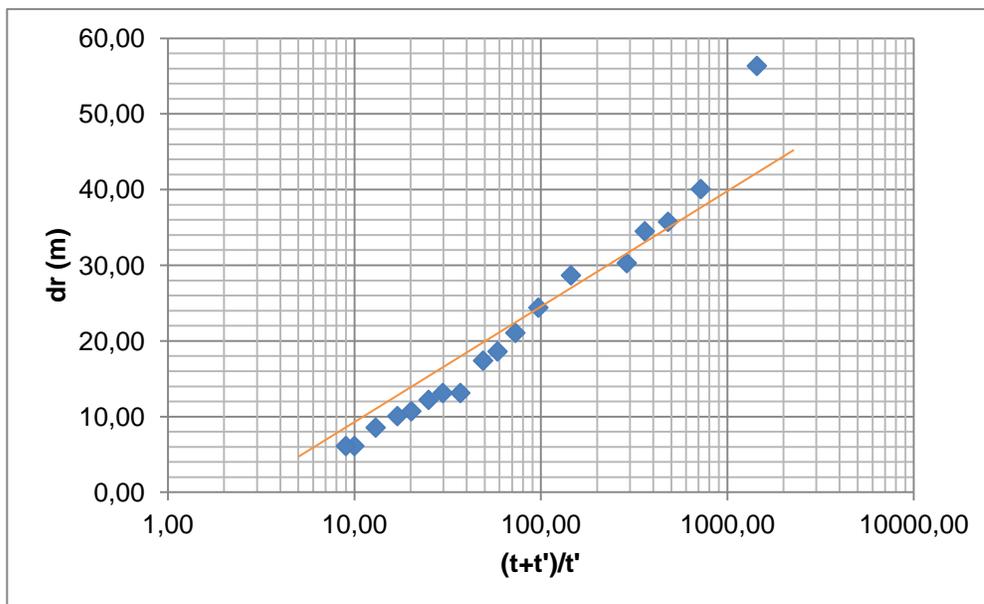
Fuente: elaboración propia.

Tabla XVII. **Valores de T y K pozo A**

Método	T (m ² /d)	K (m/d)
Recuperación de Theis	18,5	5,24E-02
Hantush	11,5	3,27E-02
Neuman	18,5	5,25E-02
Theis y Jacob	21,5	6,10E-02
Jacob	22,38	-----

Fuente: elaboración propia.

Figura 40. **Evolución de ascenso del pozo B**



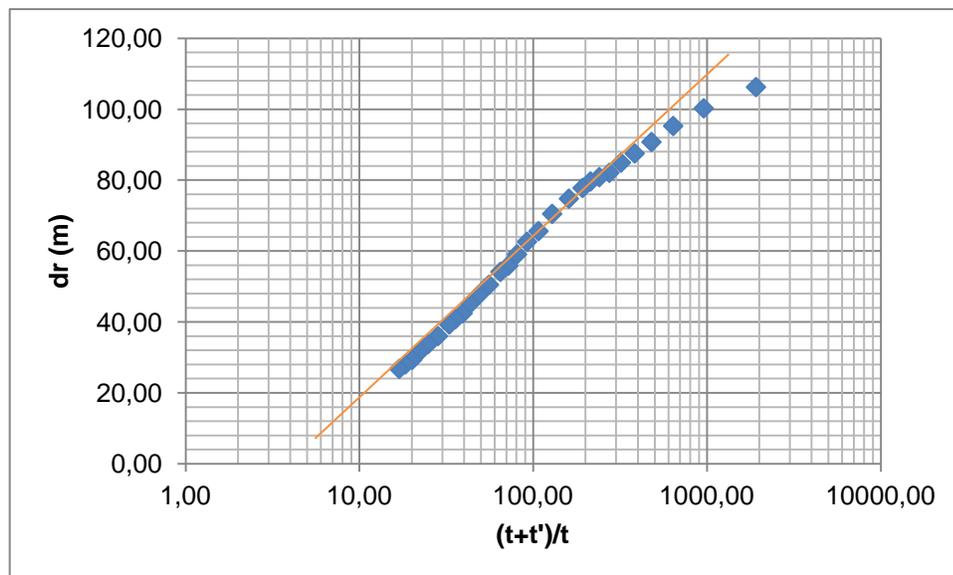
Fuente: elaboración propia.

Tabla XVIII. Valores de T y K pozo B

Método	T (m ² /d)	K (m/d)
Recuperación de Theis	6,66	2,73E-02
Hantush	5,39	0,02,21
Neuman	6,66	2,73E-02
Papadópulos y Cooper	12,6	5,18E-02
Jacob	8,16	-----

Fuente: elaboración propia.

Figura 41. Evolución de ascenso del pozo C



Fuente: elaboración propia.

Tabla XIX. **Valores de T y K pozo C**

Método	T (m²/d)	K (m/d)
Recuperación de Theis	1,48	7,01E-03
Hantush	1,18	5,58E-03
Neuman	1,88	8,92E-03
Boulton	1,15	5,42E-03
Jacob	1,48	-----

Fuente: elaboración propia.

De acuerdo a la tabla XX la transmisividad tanto del pozo D como la de A, B y C tienen una calificación estimativa de baja lo cual se esperaba dado la geología del lugar, así mismo el comportamiento de las graficas no son tan definidas debido a recargas exteriores es decir a efectos de goteo vertical u horizontal.

Tabla XX. **Valores de la transmisividad**

T (m²/día)	Calificación estimativa	Posibilidades del acuífero
T < 10	Muy baja	Pozos de menos de 1 l/s con 10 m de depresión teórica.
10 < T < 100	Baja	Pozos entre 1 y 10 l/s con 10 m de depresión teórica.
100 < T < 500	Media a alta	Pozos entre 10 y 50 l/s con 10 m de depresión teórica.
500 < T < 1.000	Alta	Pozos entre 50 y 100 l/s con 10 m de depresión teórica.
T > 1.000	Muy alta	Pozos superiores a 100 l/s con 10 m de depresión teórica.

Fuente: VILLANUEVA M., Manuel; IGLESIAS L., Alfredo. Técnicas de evaluación mediante ensayos de bombeo. p. 21.

4.2.5. Elección del tipo de bomba

Conociendo la pérdida necesaria para la estabilización del nivel dinámico se puede proceder a los cálculos correspondientes para determinar el equipo y establecer la altura al cual debe colocarse.

4.2.5.1. Eficiencia del pozo

Antes de iniciar con los cálculos para seleccionar el equipo de bombeo se va a estimar las características hidráulicas del pozo usando T obtenido por el método de Papadopulos y Cooper de la tabla X y se considera un coeficiente de almacenamiento de 0,16 dadas las características del acuífero.

El coeficiente de descenso teórico está dada por:

$$A = \frac{0,183}{T} * \text{Log} \frac{2,25 * T * t}{S * r^2}$$

$$A = \frac{0,183}{5,52\text{m}^2/\text{dia}} * \text{Log} \frac{2,25 * 5,52\text{m}^2/\text{dia} * (11/24)\text{dia}}{(0,1016\text{m})^2 * 0,16} = 0,12 \text{ día/m}^2$$

Con el coeficiente de descenso teórico calculado se puede estimar la eficiencia del pozo.

$$\begin{aligned} Ef &= (d_{\text{teorico}}/d_{\text{real}})*100 && \rightarrow && Ef = (AQ/d_{\text{real}})*100 \\ Ef &= [(0,12(\text{día/m}^2)(160*5,4504)(\text{m}^3/\text{día})/130,16\text{m})* 100 = 80\% \end{aligned}$$

La eficiencia del pozo no es la mejor pero aun es aceptable. Conociendo el descenso teórico y el descenso total se puede obtener las pérdidas de carga como sigue:

$d_{\text{real}} = AQ + BQ^n$ sustituyendo valores se tiene:

$$BQ^n = 130,16\text{m} - 0,12\text{día}/\text{m}^2 * (160 * 5,4504) \text{ m}^3/\text{día} = 25,51\text{m}.$$

Se tiene entonces que la pérdida de carga en el pozo es de 25,51m la cual podría reducirse al utilizar otro tipo de rejillas como la tipo Johnson.

4.2.5.2. Cálculos para seleccionar el equipo de bombeo

Se necesita abastecer a 350,00 casas con una dotación de 264,00 galones por casa, por lo que en un día son $350,00\text{m}^3$ de agua. Como primer paso para calcular la bomba sumergible, se calcula el diámetro de la tubería luego la carga dinámica total, para lo cual se cuenta con los siguientes datos.

Tabla XXI. Datos pozo D

Descripción	Dimensión (pies)	Dimensión (metros)
Diámetro del pozo	8/12	0,20
Profundidad del pozo	1200,00	365,85
Nivel estático	320,00	97,56
Nivel dinámico	747,02	227,75
Caudal de explotación	160,00 GPM	872,06 m ³ /día
Distancia de pozo a tanque	603,00	183,84
Altura pozo-tanque	86,00	26,22
Profundidad bomba	840,00	256,10

Fuente: elaboración propia.

Calculo del diámetro de la tubería.

$$\varnothing = \sqrt{((0,4085 * Q)/6)}$$

$$\varnothing = \sqrt{((0,4085 * 160)/6)} = 3,30 \text{ pul.} \quad \rightarrow \quad \varnothing \approx 4,00 \text{ pul.}$$

Carga Dinámica Total = $\Delta h + \Sigma f$

$$\Delta h = 747,02 + 86 = 833,02 \text{ pies}$$

$$\Delta h = 253.97 \text{ m}$$

$$\text{Perdidas por fricción en la tubería HG} = (840/100)*2,91 = 24,44 \text{ pies}$$

$$\text{Perdidas por fricción en la tubería PVC} = (603/100)*1,71 = 10,31 \text{ pies}$$

$$\text{Pérdidas debido a los accesorios} = (24,44 + 10,31)*0,10 = 3,47 \text{ pies}$$

$$\Sigma f = 24,44 + 10,31 + 3,47 = 38,22 \text{ pies}$$

$$\text{CDT} = 833,02 + 38,22 = 871,24 \text{ pies}$$

Al calcular la bomba sumergible, se conoce el caballaje necesario para el motor, pues el modelo de la bomba indica el motor a usar. No obstante también puede calcularse los caballos de fuerza de un motor sumergible mediante la siguiente ecuación.

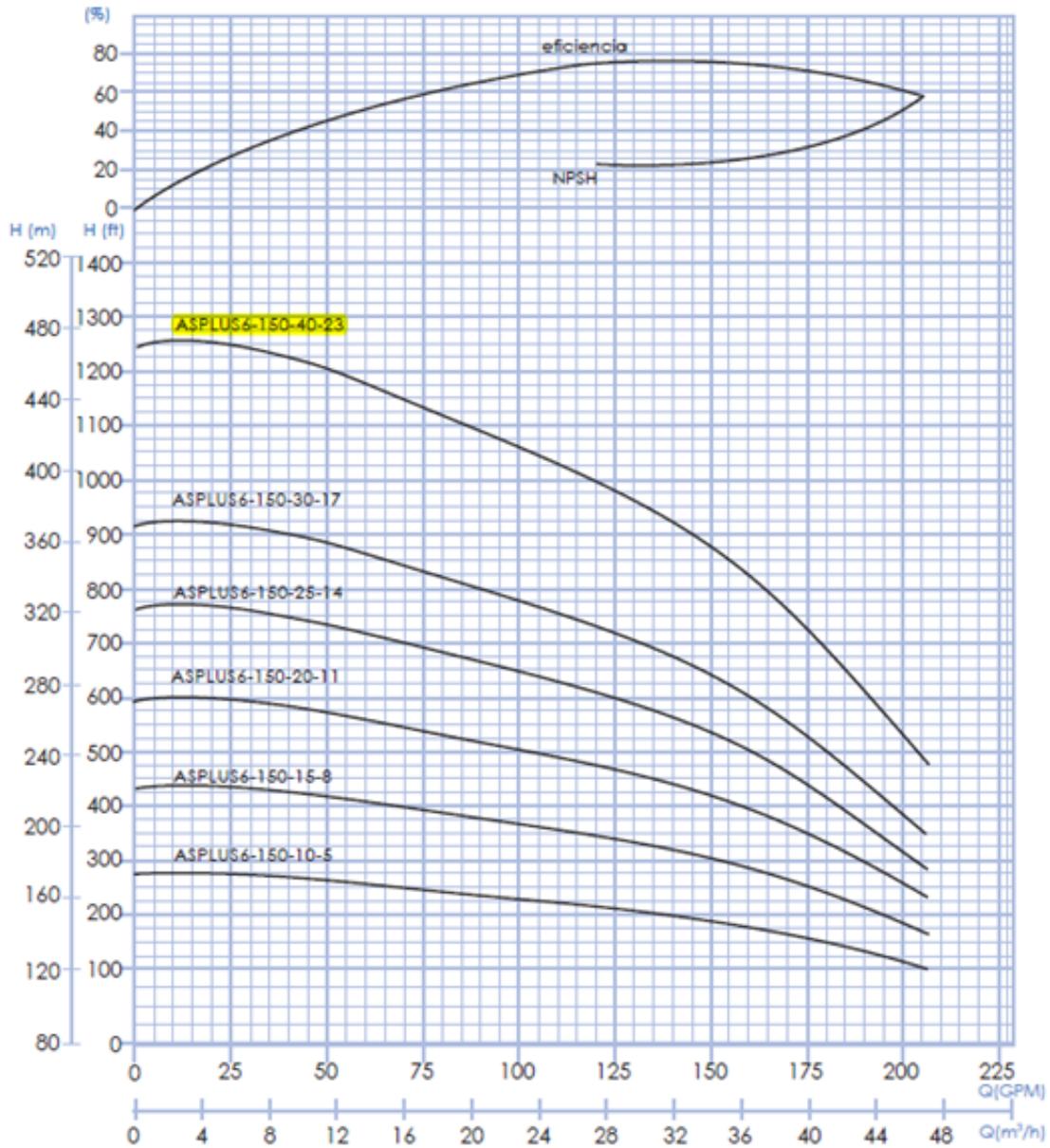
$$P = (Q * \text{CDT}) / (3960 * E_f \text{ del motor})$$

$$P = (160 * 871,24) / (3960 * 0,75) = 46,93 \text{ HP}$$

El motor puede ser de mayor caballaje que la bomba, ya que en estas circunstancias, el motor trabaja con menos carga y se alarga su tiempo de servicio.

Teniendo la carga dinámica total se busca en la tabla XXII las curvas de rendimiento y el caudal de explotación, para calcular la bomba.

Tabla XXII. **Curvas de rendimiento**



Fuente: <http://aftpumps.com/wp-content/uploads/downloads/2012/07/ASPLUS6-1501.pdf>.

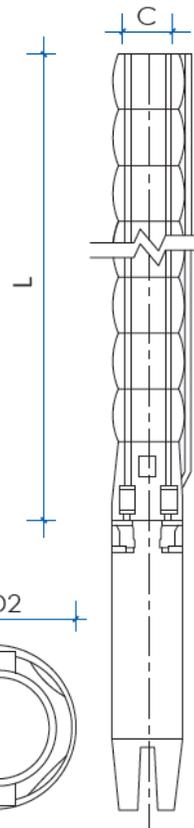
Consulta 21 de marzo de 2013.

Al interceptar la gráfica a 871,00 pies en el eje de la ordenada, y se baja al eje de las abscisas en 160,00 GPM que es lo que se necesita, la curva de la bomba que mejor se ajusta es la de ASPLUS6-150-40-23.

Tabla XXIII. Datos técnicos

Modelo AFT	Motor		Amperios		CDT en Pies															
	kw	hp	230V	460V	150	200	300	400	500	600	700	800	900	1000	1100	1200	1300	1400	1500	
ASPLUS6-150-10-5	7.5	10	32.2	16.1	180	137														
ASPLUS6-150-15-8	11	15	47.4	23.7		194	150	69												
ASPLUS6-150-20-11	15	20	60.6	30.3			189	159	103	19										
ASPLUS6-150-25-14	18.5	25	75	37.5			202	183	161	125	70									
ASPLUS6-150-30-17	22	30	90.4	45.2				197	180	161	131	90	40							
ASPLUS6-150-40-23	30	40	124	62					204	192	173	165	145	119	86	52				

Modelo AFT	L	Dimensiones			Peso Bomba
		C	D1	D2	
ASPLUS6-150-10-5	733 mm	RP 76.2/3"	5.16" (131 mm)		94.6 lb (43 kg)
ASPLUS6-150-15-8	1037 mm	RP 76.2/3"	5.59" (142 mm)	5.59" (142 mm)	138.6 lb (63 kg)
ASPLUS6-150-20-11	1325 mm	RP 76.2/3"	5.59" (142 mm)	5.59" (142 mm)	165 lb (75 kg)
ASPLUS6-150-25-14	1613 mm	RP 76.2/3"	5.59" (142 mm)	5.59" (142 mm)	189.20 lb (86 kg)
ASPLUS6-150-30-17	1901 mm	RP 76.2/3"	5.59" (142 mm)	5.59" (142 mm)	213.40 lb (97 kg)
ASPLUS6-150-40-23	2477 mm	RP 76.2/3"	5.67" (144 mm)	5.70" (145mm)	266.20 lb (121 kg)



Fuente: <http://aftpumps.com/wp-content/uploads/downloads/2012/07/ASPLUS6-1501.pdf>.

Consulta: 20 de marzo de 2013.

4.3. Operación y funcionamiento

El complejo residencial cuenta con un pozo (pozo C) construido en el 2007. El caudal específico del pozo D es de 0,37 galones/pies con una producción de 160,00 galones por minuto, que es suficiente para abastecer los 350,00m³ requeridos por día, el equipo de bombeo funciona alrededor de 10 horas diarias.

La bomba a utilizar en el pozo es sumergible marca AFT de 40 HP para 160,00 GPM de 23 etapas y un motor sumergible marca GRUNDFOS de 50 hp 460 voltios trifásico 60 HZ.

El proyecto que es el pozo D, surtirá de agua potable a la comunidad Ensenada de San Isidro zona 16 ya que los 350,00m³ por día hacen 10.500,00m³ al mes, suficientes para abastecer a las 350 familias beneficiarias con media paja (30,00m³).

De acuerdo al análisis físico-químico (ver tabla XXVIII) se tiene que el contenido de hierro total es de 1,13 MG/L, cuando el límite máximo permisible según la norma guatemalteca COGUANOR NGO 29001 para agua potable es de 1,00 MG/L por lo que el agua antes de ser distribuida pasa por unos filtros para reducir el contenido de hierro total y mejorar el color que casi alcanza el límite máximo permisible.

5. ANÁLISIS DE RESULTADOS

Para la construcción del pozo solo se contó con un análisis preliminar de las condiciones y/o factores del lugar, sin embargo con los datos obtenidos del ensayo de bombeo se logra estimar los parámetros hidrogeológicos y por ende la eficiencia del mismo.

5.1. Comparación sin proyecto

Sin un estudio técnico preliminar y/o riguroso resulta imposible tener un proyecto que satisfaga los requerimientos esperados, además el ahorro aparente podría ser la causa de desastres o fracaso del proyecto.

Resulta difícil estimar la eficiencia del pozo sin un reconocimiento geológico, un análisis de las condiciones hidrológicas y la topografía, ya que un análisis preliminar puede ayudar a detectar las áreas de recarga y posibles fuentes que amenazan el acuífero.

El caudal de extracción es medible según la población a servir y las condiciones climáticas, pero resulta que otro factor importante a ser considerado es la eficiencia del pozo. Este último resulta de gran interés ya que provee información respecto a las pérdidas de carga en el acuífero y en el pozo debido al material y el proceso de su construcción. Cuando no se cuenta con una programación, supervisión y control riguroso, los costos del proyecto podrían ser más elevados y no aprovecharse adecuadamente los recursos.

5.2. Comparación con proyecto

Tener una planificación respecto al proyecto coadyuva a determinar los factores que originan el mismo así como la mejor manera de alcanzar los objetivos trazados, así en este caso al contar con una meta clara, que es la de construir un pozo mecánico mediante el cual se aprovecha del agua subterránea; conocer el proceso de perforación, facilita la determinación de los parámetros hidrogeológicos que ayudan a interpretar la eficiencia tanto del acuífero como del pozo.

Teniendo los parámetros hidrogeológicos es posible determinar el caudal óptimo de explotación, el caudal de bombeo debe ser menor o igual a este a fin de evitar la sobreexplotación del acuífero, arrastre de finos, colmatar el entorno de las rejillas entre otros.

Con la aplicación del método God es posible conocer el índice de vulnerabilidad (ver tabla III), si el riesgo es alto es necesario aplicar otros métodos más rigurosos a fin de determinar la carga contaminante y tomar las decisiones adecuadas. Considerar estos factores implica un ahorro evidente respecto a daños e imprevistos que podrían surgir.

5.3. Análisis teórico práctico

En esencia un ensayo de bombeo es un método de análisis tanto del acuífero como del pozo de captación de agua subterránea.

De acuerdo a los datos obtenidos de la variación de los niveles del pozo en cuestión (P. D), se grafica el comportamiento de los niveles presentado en la figura 25 (pag. 97). A primera vista se puede apreciar que estamos frente a un

acuífero de régimen permanente, según las muestras estratigráficas presentadas en la figura 21 hasta antes de la pérdida de circulación se aprecia un perfil multicapas o heterogéneo. Para una mejor apreciación del comportamiento se interpolan los datos para un caudal constante, según el gráfico presentado en la figura 31 (pag. 102).

Por la forma de la gráfica se puede pensar que la comunicación del pozo con el acuífero no es franca, y se evidencia una importante pérdida de carga necesaria para lograr la adecuada comunicación. Los valores de T obtenidos en la tabla XI no presentan mayor variación respecto a los valores de la tabla XIII.

Es importante notar que los valores de la transmisividad obtenidos en recuperación tienen un grado de confianza mejor que los obtenidos en descenso. Debido a que no se contaban con pozos de observación; no fue posible obtener el coeficiente de almacenamiento.

Según el gráfico de la figura 39 (pag. 109), se puede ver que los niveles del pozo A no se han recuperado cuando ha transcurrido un tiempo suficientemente largo desde que se detuvo el bombeo. Según la curva de recuperación es posible que se produjeran descensos anormales, que ahora pueden interpretarse como efecto de vaciado.

Tanto la curva de la figura 40 (pag. 110) del pozo B como de la figura 41 (pag. 111) el pozo C, corta al eje de las abscisas lo que implica que el pozo ha recuperado su nivel en un tiempo menor al teórico necesario, lo cual indica la existencia de una recarga externa al sistema pozo-acuífero, los cual coincide con el perfil litológico representado en el anexo.

Cabe mencionar que los parámetros hidrogeológicos obtenidos son únicamente una estimación ya que en general no existe un acuífero que cumpla con todas las suposiciones de los métodos, tal es el caso de la suposición de que el diámetro del pozo es cero, el acuífero es infinito, etc. Así mismo la transmisividad obtenida de las graficar correspondientes a las figuras 39, 40 y 41 (pag. 109, 110 y 111) no es real, debido a que la recta no pasa por el origen de coordenadas. De todos modos la distorsión no es muy grande por lo que podría darse por buena.

5.4. Vida útil del proyecto

La vida útil del proyecto depende del mantenimiento pues como se vio en el capítulo anterior existe una pérdida de 25,51m que aumenta paulatinamente en función del tiempo y del caudal de extracción. Por lo que es necesario transcurrido dos a dos años y medio se extraiga el equipo de bombeo para realizar un mantenimiento del sistema. Así también la vida útil depende de las recargas del acuífero y de la restricción que este pueda tener de las fuentes de contaminación.

La erogación de presupuesto en mantenimiento preventivo del proyecto provee cierta seguridad de su buen desempeño y conservación de su vida útil para el cual fue construido y de esta manera evitar el desembolso de recursos para la corrección de fallos por falta de planificación y previsión.

CONCLUSIONES

1. Al planificar la perforación de un pozo mecánico es necesario tener un conocimiento preliminar de las características del lugar, es decir del clima, la geología, existencia de pozos vecinos, etc.
2. Al inicio del bombeo se tiene una importante pérdida de carga, por lo que se piensa que la comunicación del acuífero con el pozo no es franca.
3. Los valores de la transmisividad no son muy diferentes, es decir tanto los obtenidos mediante el bombeo así como los obtenidos después de apagada la bomba tienen la calificación estimativa de baja.
4. Para un caudal de 10,00 l/s se espera un descenso teórico de 10,00 m según la tabla XVI, y el descenso teórico obtenido para el pozo D es de 104,65m con un caudal de 10,09 l/s lo cual significa que los parámetros del acuífero son relativamente bajos lo que coincide con los valores obtenidos.
5. Según los parámetros hidrogeológico y el perfil estratigráfico, se tiene un multiacuífero, de formaciones geológicas semipermeables y permeables, característico de un acuífero en relleno volcánico, de regular capacidad de almacenamiento y baja transmisividad. Requiriéndose un aprovechamiento moderado, para no propiciar el abatimiento brusco al inicio de del bombeo que se reflejaría en una demanda alta de energía.

RECOMENDACIONES

1. Antes de perforar un pozo mecánico es necesario obtener toda la información posible relacionada con las características hidrogeológicas de pozos cercanos. Realizar un estudio hidrogeológico.
2. Realizar un estudio de vulnerabilidad para determinar el potencial contaminante que amenaza el acuífero.
3. Realizar por lo menos una vez al año un análisis físico-químico y bacteriológico para monitorear la calidad del agua.
4. Entre los tres y cinco años máximo, se sugiere dar mantenimiento al sistema pozo-bomba, como parte de un mantenimiento preventivo.
5. Instalar en los pozos mecánicos en operación, un piezómetro donde se pueda ir monitoreando en el tiempo (mensualmente) la evolución del nivel del agua subterránea de la zona.
6. Realizar un convenio entre empresas privadas y autoridades competentes a fin de tener un mejor conocimiento sobre el aprovechamiento del recurso hídrico. Que permita una mejor planificación.

7. Previo a equipar el pozo para su producción, deberá analizarse el resultado de los parámetros hidrogeológicos, determinándose el caudal de operación que pueda mantenerse constante desde el inicio, haciendo uso de equipo electrónico adecuado, que garantice esta operación, lo que disminuirá el fuerte consumo de energía durante el arranque del pozo y su operación.

8. Dejar un tiempo razonable para la recuperación de la zona del acuífero de donde se obtiene el agua para el proyecto. Lo que se podrá estimar por el análisis de la etapa de recuperación, que se monitorea al parar la prueba de bombeo de larga duración que se realiza en el pozo para la obtención de los parámetros hidrogeológicos.

BIBLIOGRAFÍA

1. AGUIRRE GONZÁLEZ, Fredy. *Manual para las oficinas municipales de planificación -omp- y corporaciones ediles para la toma de decisión en la selección de un pozo mecánico*. Trabajo de graduación de Ing. Mecánica. Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería, 2007. 224 p.
2. ARGUETA LÓPEZ, Adhemar Enrique. *Aprovechamiento del agua subterránea y manejo sostenible de los recursos hidráulicos, en el campus central de la Universidad de San Carlos de Guatemala*. Trabajo de graduación de Ing. Civil. Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería, 2009. 156 p.
3. Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente y la Organización Panamericana de la Salud. *Estrategias para la protección de aguas subterráneas, una guía para su implementación*. 2a ed. Perú: CEPIS, 1992. 91 p.
4. *Determinación del riesgo de contaminación de aguas subterráneas*. 2a ed. Perú: CEPIS, 1991. 80 p.
5. GUILLEN SALAZAR, Manuel María. *Folleto y apuntes del curso de Planeamiento*. Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería, 2012. 132 p.

6. LINSLEY, Ray K.; KOHLER, Max A.; PAULUS, Joseph L. *Hidrología para ingenieros*. 2a ed. Bogotá, Colombia: McGraw-Hill Latinoamericana, 1977. 386 p.
7. *Los componentes de una estación meteorológica*. [en línea] [Consulta: 4 de enero de 2013]. Disponible en Web: <http://www.insivumeh.gob.gt/meteorologia/estacion%20meteorologica.htm>.
8. MANRIQUE BROWN, Oscar. *Captación de fuentes de abastecimiento de agua*. Curso impartido en la Universidad de San Carlos de Guatemala, 2012. 250 p.
9. MOLERO, Jairo C. *Planificación de la Perforación de Pozos y selección de taladro*. [en línea]. [Consulta: 10 de febrero de 2013]. Disponible en Web: <http://es.scribd.com/doc/32468270/Planificaci%C3%B3n-de-la-Perforaci%C3%B3n-de-Pozos-y-Selecci%C3%B3n-de-Taladro>.
10. MONROY GONZÁLEZ, Luis Enrique. *Evaluación y complemento de estudio hidrogeológico de Mixco, a través de la perforación de pozos mecánicos profundos en sectores específicos del municipio*. Trabajo de graduación de Ing. Civil. Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería, 2003. 99 p.
11. MORA C., Sergio; VALVERDE G., Ronald. *Geología proceso de la dinámica interna y externa*. Cartago: Instituto Tecnológico de Costa Rica, 2005. 376 p.

12. *Planificación*. [en línea]. [Consulta: 15 de febrero de 2013] Disponible en Web: <http://www.monografias.com/trabajos34/planificacion/planificacion.shtml>.
13. TARBUCK, Edward J.; LUTGENS, Federick K. *Ciencias de la tierra una introducción a la geología*. 6a ed. Madrid: Prentice Hall, 1999. 616 p.
14. VÉLEZ OTÁLVARO, María Victoria. *Hidráulica de aguas subterráneas*. 2a. ed. Universidad Nacional de Colombia Sede Medellín, Facultad de Minas 1999. 134 p.
15. VILLANUEVA MARTÍNEZ, Manuel; IGLESIAS LÓPEZ, Alfredo. *Pozos y acuíferos técnicas de evaluación mediante ensayos*. España: Instituto Geológico y Minero, 1984. 426 p.
16. VILLÓN BÉJAR, Máximo. *Hidrología*. Costa Rica: Tecnológica de Costa Rica 2004. 474 p.

ANEXOS

Tabla XXIV. Análisis microbiológico P. A



Pag. (1) de (2)
**Reporte de análisis
 Microbiológico**

ATT: Ing. Mario Figueroa

Orden de Servicio No: 14,514
 Empresa: Servicios Hidráulicos Daho, S.A.
 Muestras captadas en: Santa Luisa, EMPAGUA
 Fecha de ingreso: 9 de septiembre del 2000
 Fecha de reporte: 19 de septiembre del 2000
 Tipo de Muestra: Agua
 Tipo de Envase: Vidrio esteril
 No. de Muestras 1
 Análisis efectuado: Microbiológico
 Método de Análisis: WPCF-AWWA-APHA.

*Water Pollution Control Federation.

Identificación y Resultados:		Recuento Aeróbico total	Coliformes Totales	<i>E. coli</i>	Cloro Residual
No. de Lab.	Identificación de la Muestra	UFC/ml	NMP/100 ml	-	mg/L
45132	Pozo No. 33	3920	9.1	Negativo	0.0
Límites permisibles de acuerdo a la norma COGUANOR NGO 29 001		500 UFC/ml	<2 NMP/100 ml	Negativo	0.3-1.0 mg/L

Muestra No captada por personal de LABIND.
 Resultados válidos unicamente para la muestra como fue recibida en el laboratorio.
 Los resultados de este informe no pueden ser reproducidos parcial o totalmente sin previa autorización del laboratorio LABIND.

POR LABIND:

LABIND
 LABORATORIO BIOLÓGICO INDUSTRIAL
 17 Calle 15-46, zona 10
 TELS.: 368-0347 Al. 39 - 368-0347

Teléfonos: 3680347
 3669435 al 39

17 Calle 15-46, zona 10.

Fuente: EMPAGUA.

Tabla XXV. Análisis fisicoquímico P. A

Pag. (2) de (2)



Resultado de Análisis Físico Químico

ATT: Ing. Mario Figueroa

No. de Servicio: 14,514
 Empresa: Servicios Hidráulicos Daho, S.A.
 Muestras captada en: Santa Luisa, EMPAGUA
 Fecha de ingreso: 9 de septiembre del 2000
 Fecha de reporte: 22 de septiembre del 2000
 Tipo de Muestra: Agua
 No. de Muestras: 1
 Análisis efectuado: Los abajo descritos
 Método de Análisis: ASTM

No. de Lab.
45,132
Identificación
Pozo No. 33

Límites máximos Admisibles y permisibles Norma COGUANOR

NGO 29001 para agua.

Parámetro	Dimensionales	Resultado	LMA	LMP
pH	unidades	7.11	7.0-8.5	6.5-9.2
Conductividad eléctrica	uSiemens/cm	244	500	1500
Temperatura	°C	-	18 - 30	No > 34
Salinidad	0/00	0.0		
Apariencia		Limpia		
Olor		Aceptable	No rechazable	No rechazable
Cloro residual	mg/L	-	0.3-0.5	0.6 -1.0
Alcalinidad pH 8.3	mg CaCO ₃ /L	18.0		
Alcalinidad pH 4.0	mg CaCO ₃ /L	119.2		
Cloruros	mg/L	8.04	200	600
Color	unidades	0.8	5	50
Calcio	mg/L	11.32	75	200
Dureza total	mg CaCO ₃ /L	80.28	100	500
Hierro total	mg/L	0.11	0.1	1
Manganeso	mg/L	0.20	0.05	0.5
Nitratos	mg/L	11.4		45
Nitritos	mg/L	0.0		0.01
Magnesio	mg/L	11.95	50	150
Ortofosfatos	mg/L	6.2		
Sulfatos	mg/L	92	200	400
Residuos Totales 104°C	mg/L	201	500	1500
Turbiedad	Unt	3	5	25

mg/L= Miligramos por litro = PPM = Partes por millón LMA= Límite máximo admisible

Unt=Unidades nefelométricas de turbiedad LMP= Límite máximo permisible

Resultados válidos únicamente para la muestra como fue recibida en el laboratorio.

Los resultados de este informe no pueden ser reproducidos parcial o totalmente sin previa autorización del laboratorio.

Muestra NO captada por personal de LABIND.

Por LABIND



7 Calle 15-46, zona 10.

Teléfonos 3680347
3689435 al 39

Fuente: EMPAGUA.

Tabla XXVI. Análisis fisicoquímico P. B



LABIND
LABORATORIO BIOLÓGICO INDUSTRIAL

Resultado de Análisis Fisicoquímico

Pg. 1-1

Área:
Química

Att: Sr. Sergio Godínez No. de orden de servicio: 1,717 Empresa: DAHO POZOS DE CENTROAMÉRICA, S.A. Dirección del Cliente: Calzada La Paz 6-30 zona 5 Lugar de Captación: San Isidro Fecha de Captación: 16 de Noviembre del 2006 Hora de Captación: 10:00 Horas Fecha de Ingreso: 16 de Noviembre del 2006	Hora de Ingreso: 16:20 Horas Fecha de Análisis: 17 de Noviembre del 2006 Fecha de Reporte: 22 de Noviembre del 2006 Tipo de Muestra: Agua Tipo de Envase: Polietileno No. de Muestras: 1 Muestra captada por: Cliente
---	---

No. de Laboratorio	Identificación
2,669	ODT -8790 F-1

Parámetro	Dimensionales	Resultado	LMA	LMP	Método de Referencia
pH	unidades de pH	6.86	7.0-7.5	6.5-8.5	SMEWW ¹ -4500H+B
Conductividad eléctrica	µSiemens/cm	189	-	<1500	SMEWW ¹ -2510 B
Salinidad	0/00	ND	-	-	SMEWW ¹ -2520 B
Temperatura	°C	No Determinado	15-25	34	SMEWW ¹ -2550 B
Apariencia	-	Ligeramente Turbia	-	-	SMEWW ¹ -2110
Color	unidades de color	1.0	5	35	SQM ² -Color
Turbidez	UNT	5	5	15	SQM ² -Turbidez
Cloro residual	mg/L	ND	0.5	1	MQM ³ -14978
Hierro total	mg/L	0.284	0.1	1	SQM ³ -14761
Manganeso	mg/L	0.141	0.05	0.5	SQM ³ -14770
Nitritos	mg/L	0.013	-	1	SQM ³ -14776
Sulfatos	mg/L	13	100	250	SQM ³ -14791
Nitratos	mg/L	0.6	-	10	SQM ³ -14773
Silice	mg/L	48.4	-	-	SQM ³ -14794
Fluoruros	mg/L	0.26	-	1.7	SQM ³ -14598
Dureza total	mg CaCO ₃ /L	62.15	100	500	SMEWW ¹ -2340C
Calcio	mg/L	12.91	75	150	SMEWW ¹ -3500Ca B
Magnesio	mg/L	12.02	50	100	SMEWW ¹ -3500-Mg B
Cloruros	mg/L	13.75	100	250	SMEWW ¹ -4500-Cl B
Alcalinidad pH 8.3	mg CaCO ₃ /L	ND	-	-	SMEWW ¹ -2320 B
Alcalinidad pH 4.0	mg CaCO ₃ /L	151.57	-	-	SMEWW ¹ -2320 B
Sólidos Disueltos Totales (TDS)	mg/L	50	500	1000	SMEWW ¹ -1030 E

*ND=No Detectable ¹Standard Methods For the Examination of Water and Wastewater, 20th ed. 1998, American Public Health Association (APHA), American Water Works Association (AWWA), Water Environment Federation (WEF). ² Microquant Merck ³Spectroquant Merck

LMA=Límite Máximo Admisible LMP=Límite Máximo Permisible

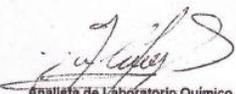
Según Norma guatemalteca Obligatoria COGUANOR NGO 29:001:99 1era. Revisión, abril 1999 para agua potable
 mg/L= miligramos por litro = ppm = partes por millón UNT=Unidades nefelométricas de turbiedad. 0/00 partes por mil

Resultados son válidos para el estado de la muestra recibida en el laboratorio. Los resultados de este informe no pueden ser reproducidos parcial o totalmente sin previa autorización del laboratorio. El tiempo almacenamiento de registro: 3 años. Tiempo de almacenamiento de muestra: 20 días desde fecha de ingreso.



LABIND
LABORATORIO BIOLÓGICO INDUSTRIAL

15 CALLE "A" 14-40 ZONA 10
TELS.: 2333-7347. 2333-7346


 Analista de Laboratorio Químico


 Gerente Técnico de Laboratorio Químico

Código: 01-19-11

15 Calle "A" 14-40 Zona 10 Guatemala, C. A. Tels.: (502) 2333 7346 - 2333 7347 - 2363 0670 - 2363 437
 www.labind.com • info@labind.com

Fuente: Jardines de San Isidro zona 16.

Tabla XXVII. Análisis fisicoquímico P. C



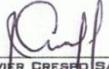
INFORME DE ANÁLISIS FISIQUÍMICO DE AGUA

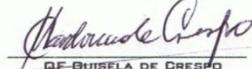
EMPRESA: HIDROTECNIA, S. A.	TAFAD3E316	DIRECCIÓN: AVENIDA LA CASTELLANA 3936 ZONA 8
NÚMERO DE MUESTRA: 16910	PROCEDENCIA DE LA MUESTRA: AGUA DE POZO, CORPORACIÓN CHICHIPATE	TIPO ENVASE Y VOLUMEN DE MUESTRA: PLÁSTICO, 1 LITRO
FECHA Y HORA DE CAPTACIÓN: 06-05-10; 16:15 HORAS	FECHA Y HORA DE RECEPCIÓN: 07-05-10; 11:30 HORAS	PUNTO DE MUESTREO: POZO
RESPONSABLE: JOSÉ VALDEZ		RESPONSABLE DE CAPTACIÓN: PERSONAL AJENO A HIDROAQUA
		FECHA DEL REPORTE: 13-05-10

PARÁMETRO	UNIDAD DE MEDIDA	RESULTADOS	LÍMITE MÁXIMO ACEPTABLE	LÍMITE MÁXIMO PERMISIBLE	MÉTODO DE ANÁLISIS
PH	UNIDADES DE PH	6.1	7.0-7.5	6.5-8.5	¹ SMEWW 4500-H
CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA	µSIEMENS/CM	190	-	<1,500	ELECTROQUÍMICO
SALINIDAD	G/L	0.0128	-	-	² HWAH 10073
TEMPERATURA	°C	-	15-25°C	34°C	SMEWW 2550-B
COLOR	UNIDADES PT-CO	306	5.0	35.0	HWAH 8025
APARIENCIA	VISUAL	TURBIA	-	-	SMEWW 2010
TURBIEDAD	UNT	47.7	5.0	15.0	HWAH 8237
COLOR RESIDUAL	MG/L	-	0.5	1.0	HWAH 10069
HIERRO TOTAL	MG/L	0.90	0.1	1.0	SMEWW 3500 Fe D
MANGANESO	MG/L	0.347	0.05	0.5	HWAH 8034
NITRITOS	MG/L	0.002	-	1.0	HWAH 8507
SULFATOS	MG/L	1	100.0	250.0	HWAH 8051
NITRATOS (COMO NITRÓGENO)	MG/L	0.6	-	10.0	HWAH 8039
FOSFATOS	MG/L	1.28	-	-	HWAH 8048
FLÚOR	MG/L	0.22	-	1.700	HWAH 8029
SODIO	MG/L	5.07	-	-	HWAH 8206-1
SÍLICE (SiO ₂)	MG/L	81	-	-	HWAH 8185
DUREZA TOTAL	MG/L (CaCO ₃)	52	100.0	500.0	SMEWW 2340 C
CALCIO	MG/L (CaCO ₃)	28	75.0	150.0	SMEWW 3500 Ca D
MAGNESIO	MG/L (CaCO ₃)	24	50.0	100.0	SMEWW 3500 Mg E
CLORUROS	MG/L	8	100.0	250.0	HWAH 8206
DIÓXIDO DE CARBONO	MG/L	44	-	-	HWAH 8205
POTASIO	MG/L	2.7	-	-	HWAH 8049
ALCALINIDAD POR BICARBONATOS	MG/L (CaCO ₃)	80	-	-	HWAH 8204
ALCALINIDAD POR CARBONATOS	MG/L (CaCO ₃)	0	-	-	HWAH 8204
ALCALINIDAD POR HIDRÓXIDOS	MG/L (CaCO ₃)	0	-	-	HWAH 8204
ALCALINIDAD TOTAL	MG/L (CaCO ₃)	80	-	-	HWAH 8204
TOTAL SÓLIDOS DISUELTOS (TDS)	MG/L	95	500.0	1000.0	ELECTROQUÍMICO
TANINOS	MG/L	0.1	---	---	HWAH 8193

1 = STANDARD METHODS FOR THE EXAMINATION OF WATER AND WASTEWATER 19TH EDITION, 1997.
 2 = HACH WATER ANALYSIS HANDBOOK
 UNT = UNIDADES NEFELOMÉTRICAS DE TURBIEDAD MG/L = MILIGRAMOS POR LITRO (PPM)
 -- = NO ESPECIFICADO EN LA NORMA

LÍMITES MÁXIMO ACEPTABLE Y MÁXIMO PERMISIBLE DE ACUERDO CON LA NORMA GUATEMALTECA COGUANDR NGQ 29 001 99 PARA AGUA POTABLE


QF JAVIER CRESPO SANTOS
 COLEGIADO 544


QF GUISELA DE CRESPO
 COLEGIADO 702

NOTAS:
 LOS RESULTADOS SE REFIEREN ÚNICAMENTE A LA MUESTRA ANALIZADA.
 ESTE INFORME SÓLO PUEDE SER REPRODUCIDO EN SU FORMA TOTAL Y CON APROBACIÓN DEL LABORATORIO.

17 CALLE 33-98 ZONA 7 VILLA LINDA II TELEFAX: 2434-9879
 INFOSERVICIOS@HIDROAQUA.COM / HIDROAQUA@GMAIL.COM
WWW.HIDROAQUA.COM

Fuente: Corporación Chichipate.

Tabla XXVIII. Análisis fisicoquímico P. D

INFORME DE ANÁLISIS FÍSICOQUÍMICO DE AGUA



EMPRESA: DAHO POZOS DE CENTROAMÉRICA, S.A.		DDT 10979 ENSENADA DE SAN ISIDRO		DIRECCIÓN: CALZADA LA PAZ 6-30 ZONA 5	
REGISTRO HIDROQUA: 43112-AFQ		TIPO ENVASE Y VOLUMEN DE MUESTRA: PLÁSTICO			
PROCEDENCIA DE LA MUESTRA: AGUA DE POZO, ENSENADA DE SAN ISIDRO ZONA 16		1 LITRO			
FECHA Y HORA DE CAPTACIÓN: 12-10-12 ; 14:30 HORAS		PUNTO DE MUESTREO: POZO			
FECHA Y HORA DE RECEPCIÓN: 12-10-12 ; 16:35 HORAS		RESPONSABLE DE CAPTACIÓN: CLIENTE			
RESPONSABLE: ALEXANDER LOPEZ		FECHA DEL INFORME: 18-10-12			
PARÁMETRO	UNIDAD DE MEDIDA	RESULTADOS	LÍMITE MÁXIMO ACEPTABLE	LÍMITE MÁXIMO PERMISIBLE	MÉTODO DE ANÁLISIS
PH	UNIDADES DE PH	6.99	7.0-7.5	6.5-8.5	¹ SMEWW 4500-H
CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA	µSIEMENS/CM	240	---	<1,500	ELECTROQUÍMICO
SALINIDAD	G/L	0.0128	---	---	² HWAH 10073
TEMPERATURA	°C	NO REGISTRADA	15-25°C	34°C	SMEWW 2550-B
COLOR	UNIDADES PT-CO	33	5	35	HWAH 8025
OLOR	SENSORIAL	NO RECHAZABLE	---	---	ORGANOLÉPTICO
APARIENCIA	VISUAL	CLARA	---	---	SMEWW 2010
TURBIEDAD	UNT	4.08	5	15	HWAH 8237
CLORO RESIDUAL	MG/L	0.0	0.5	1	HWAH 10069
HIERRO TOTAL	MG/L	1.13	0.1	1	SMEWW 3500 FE D
MANGANESO	MG/L	0.100	0.05	0.5	HWAH 8034
NITRITOS	MG/L	0.005	-	1	HWAH 8507
SULFATOS	MG/L	0	100	250	HWAH 8051
NITRATOS (COMO NITRÓGENO)	MG/L	0.5	---	10	HWAH 8039
FOSFATOS	MG/L	0.42	---	---	HWAH 8048
FLÚOR	MG/L	0.34	---	1.7	HWAH 8029
SODIO (COMO CLORURO DE SODIO)	MG/L	5.073	---	---	HWAH 8206-1
SÍLICE (SiO ₂)	MG/L	96	---	---	HWAH 8185
DUREZA TOTAL	MG/L (CaCO ₃)	80	100	500	SMEWW 2340 C
CALCIO	MG/L (CaCO ₃)	38	---	---	SMEWW 3500 CA D
MAGNESIO	MG/L (CaCO ₃)	42	---	---	SMEWW 3500 MG E
CALCIO (CA)	MG/L	15.21	75	150	SMEWW 3500 CA D
MAGNESIO (MG)	MG/L	10.20	50	100	SMEWW 3500 MG E
CLORUROS	MG/L	8	100	250	HWAH 8206
DIÓXIDO DE CARBONO	MG/L	42	---	---	HWAH 8205
POTASIO	MG/L	3.8	---	---	HWAH 8049
ALCALINIDAD TOTAL	MG/L (CaCO ₃)	115	---	---	HWAH 8204
ALCALINIDAD POR CARBONATOS	MG/L (CaCO ₃)	0	---	---	HWAH 8204
ALCALINIDAD POR HIDRÓXIDOS	MG/L (CaCO ₃)	0	---	---	HWAH 8204
ALCALINIDAD POR BICARBONATOS	MG/L (CaCO ₃)	115	---	---	HWAH 8204
TOTAL SÓLIDOS DISUELTOS (TDS)	MG/L	120	500	1000	ELECTROQUÍMICO
TANINOS	MG/L	0.0	---	---	HWAH 8193

¹ = STANDARD METHODS FOR THE EXAMINATION OF WATER AND WASTEWATER 21ST EDITION, 2005, USA

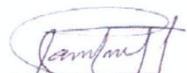
² = HACH WATER ANALYSIS HANDBOOK

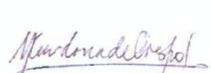
MG/L = MILIGRAMOS POR LITRO (PPM) < = MENOR DE

UNT = UNIDADES NEFELOMÉTRICAS DE TURBIEDAD

--- = NO ESPECIFICADO EN LA NORMA

LÍMITES MÁXIMO ACEPTABLE Y MÁXIMO PERMISIBLE DE ACUERDO CON LA NORMA GUATEMALTECA COGUANOR NGO 29 OD1 99 PARA AGUA POTABLE


QF JAVIER CRESPO SANTOS
 COLEGIADO 624


QF GUISELA DE CRESPO
 COLEGIADO 702

NOTAS:

LOS RESULTADOS SE REFIEREN ÚNICAMENTE A LA MUESTRA ANALIZADA.

ESTE INFORME SÓLO PUEDE SER REPRODUCIDO EN SU FORMA TOTAL Y CON APROBACIÓN DEL LABORATORIO.

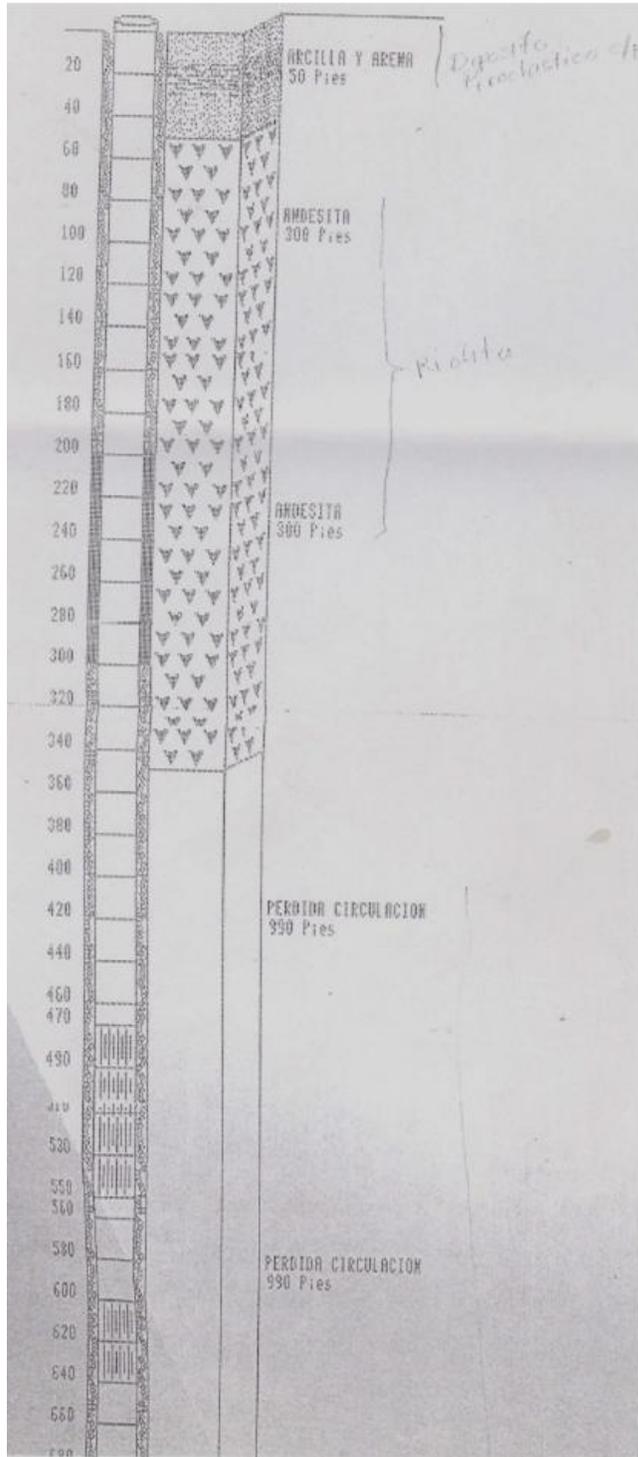
17 CALLE 33-98, ZONA 7 VILLA LINDA II TEL.: 2435-0167 • TELEFAX: 2434-9879

Hidroagua@gmail.com

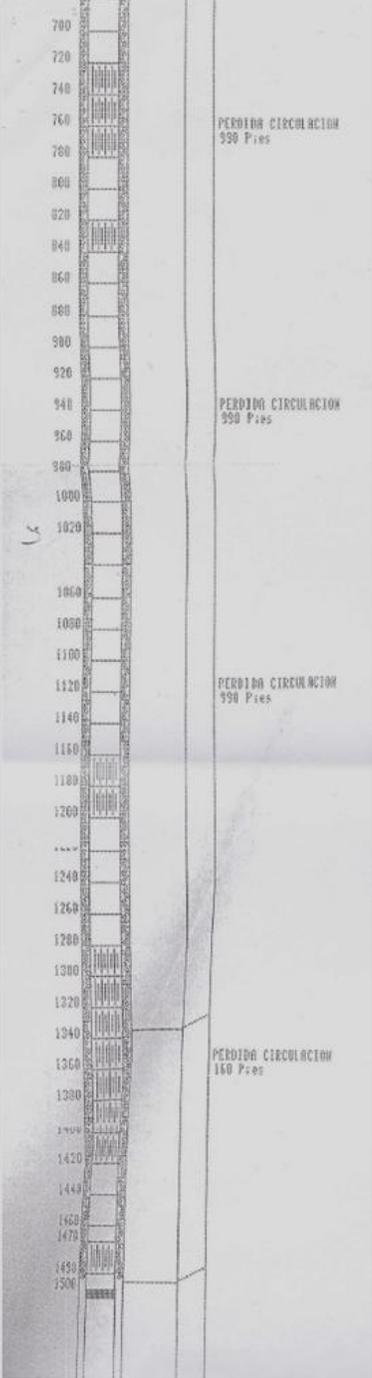
www.Hidroagua.com

Fuente: Corporación Chichipate.

Figura 42. Columna litológica P. A

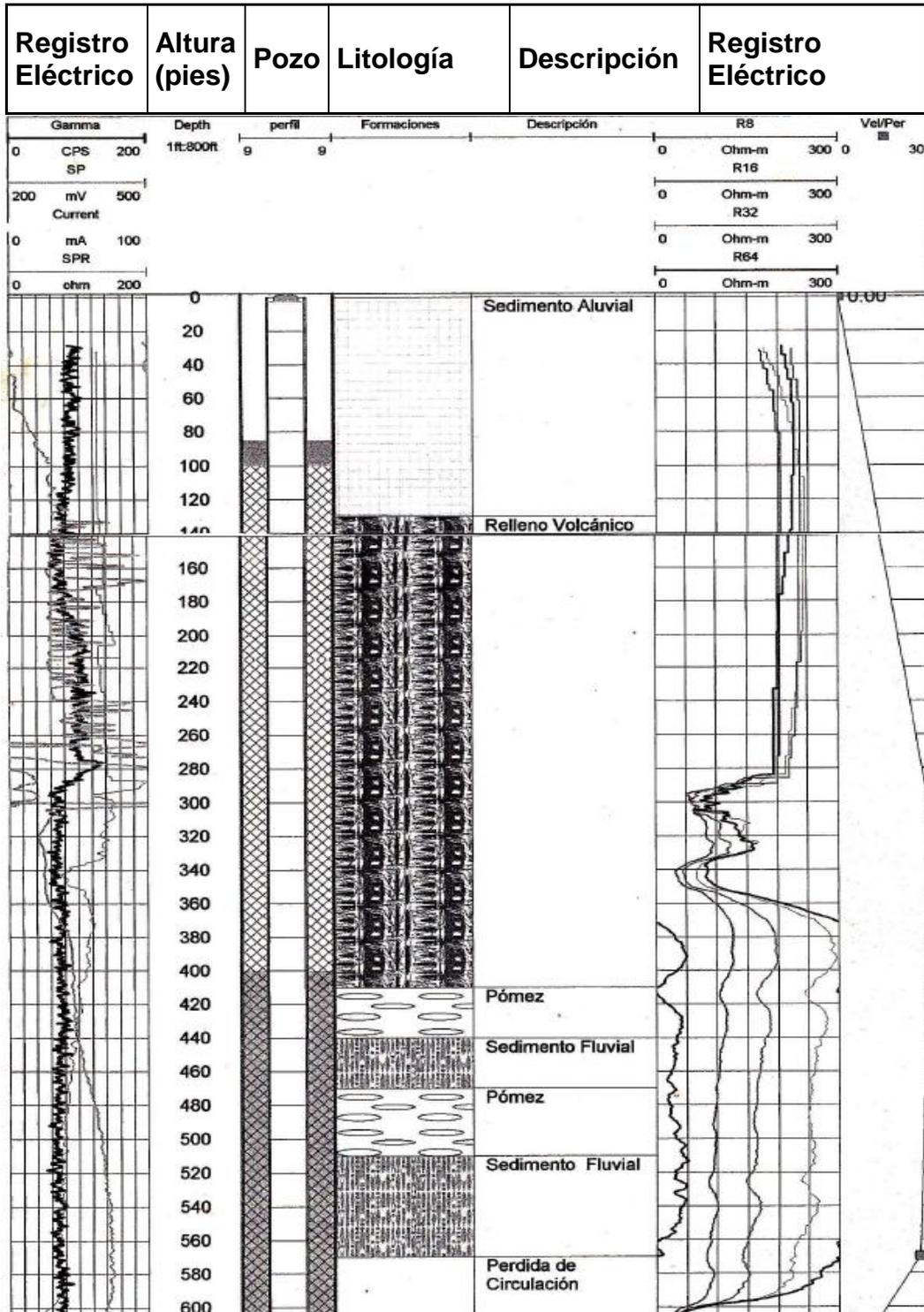


Continuación de la figura 42.

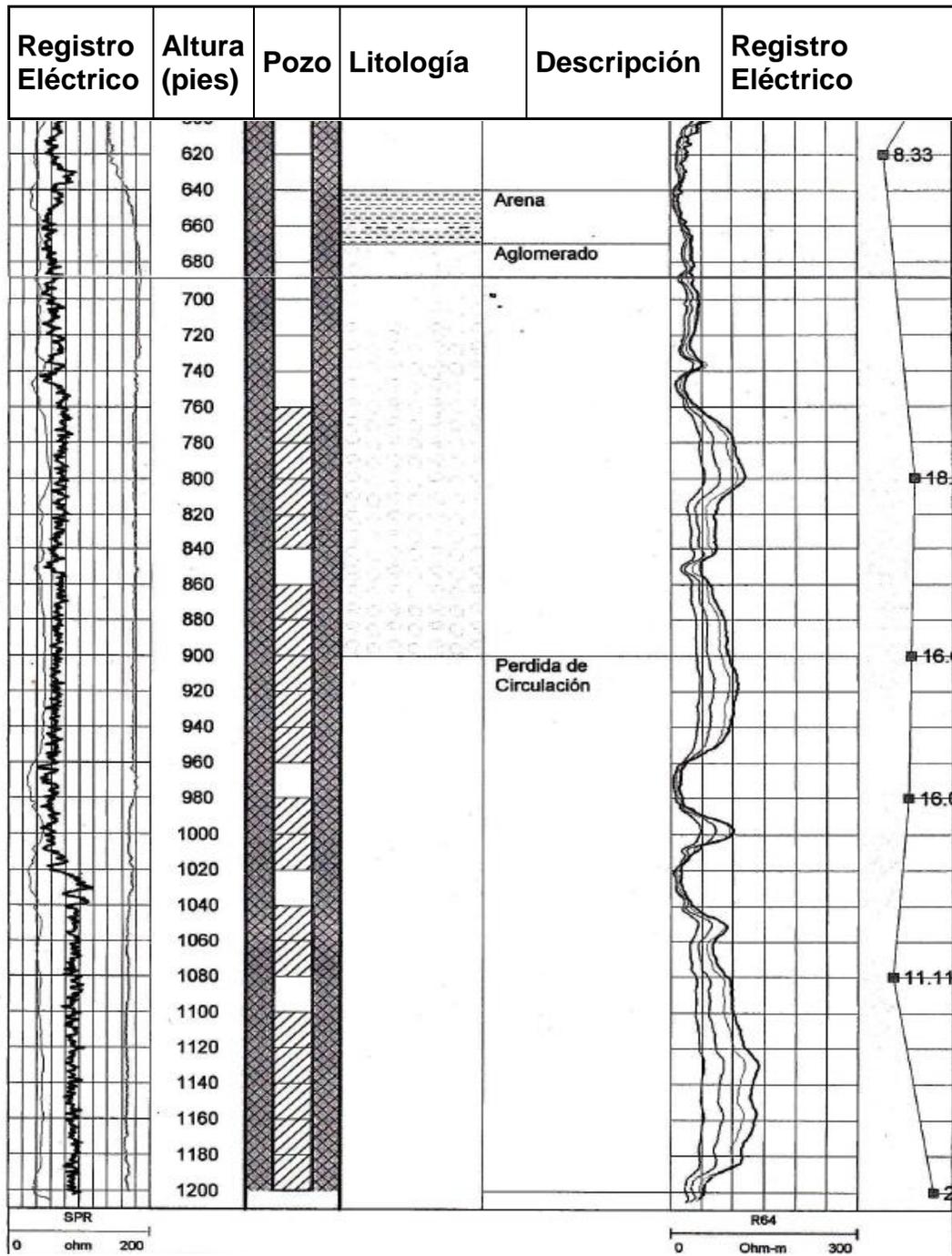


Fuente: EMPAGUA.

Figura 43. Columna litológica y registro eléctrico P. B



Continuación de la figura 43.



Fuente: Jardines de San Isidro zona 16.

