



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

**DISEÑO DE UN CAMPO DE ABSORCIÓN PARA LA DISPOSICIÓN DE LAS AGUAS
RESIDUALES DEL SECTOR 1 DE LA URBANIZACIÓN ARCOS DE SANTA MARÍA,
ALDEA SANTA MARÍA CAUQUÉ, SANTIAGO SACATEPÉQUEZ, SACATEPÉQUEZ**

Jorge Oswaldo Galindo Morales

Asesorado por el Ing. Jorge Mario Monzón Noriega

Guatemala, septiembre de 2012

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

DISEÑO DE UN CAMPO DE ABSORCIÓN PARA LA DISPOSICIÓN DE LAS AGUAS RESIDUALES DEL SECTOR 1 DE LA URBANIZACIÓN ARCOS DE SANTA MARÍA, ALDEA SANTA MARÍA CAUQUÉ, SANTIAGO SACATEPÉQUEZ, SACATEPÉQUEZ

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA
POR

JORGE OSWALDO GALINDO MORALES

ASESORADO POR EL ING. JORGE MARIO MONZÓN NORIEGA

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

INGENIERO CIVIL

GUATEMALA, SEPTIEMBRE DE 2012

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	Ing. Miguel Ángel Dávila Calderón
VOCAL IV	Br. Juan Carlos Molina Jiménez
VOCAL V	Br. Mario Maldonado Muralles
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

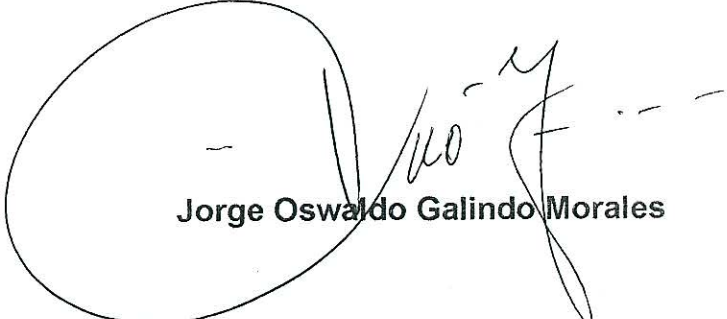
DECANO	Ing. Roberto Mayorga Rouge
EXAMINADOR	Ing. José Eduardo Ramírez Saravia
EXAMINADOR	Ing. Rafael Ángel Bolaños Escobar
EXAMINADOR	Ing. Salvador Augusto Mejía Pardo
SECRETARIO	Ing. René Andrino Guzmán

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:

DISEÑO DE UN CAMPO DE ABSORCIÓN PARA LA DISPOSICIÓN DE LAS AGUAS RESIDUALES DEL SECTOR 1 DE LA URBANIZACIÓN ARCOS DE SANTA MARÍA, ALDEA SANTA MARÍA CAUQUÉ, SANTIAGO SACATEPÉQUEZ, SACATEPÉQUEZ

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Civil, con fecha noviembre de 2009.



Jorge Oswaldo Galindo Morales

Guatemala, 24 de junio de 2012.

Ingeniero
Pedro Antonio Aguilar Polanco
Jefe del Departamento de Hidráulica
Facultad de Ingeniería
Universidad de San Carlos de Guatemala
PRESENTE:

Ingeniero Aguilar:

Tengo el agrado de dirigirme a usted con el propósito de presentarle el trabajo de graduación titulado **DISEÑO DE UN CAMPO DE ABSORCIÓN PARA LA DISPOSICIÓN DE LAS AGUAS RESIDUALES DEL SECTOR 1 DE LA URBANIZACIÓN "ARCOS DE SANTA MARÍA", ALDEA SANTA MARÍA CAUQUÉ, SANTIAGO SACATEPÉQUEZ, SACATEPÉQUEZ**, elaborado por el estudiante Jorge Oswaldo Galindo Morales.

En mi calidad de asesor, considero que el trabajo presentado por el estudiante Galindo Morales es un valioso aporte para nuestra Universidad sobre el tema de los campos de absorción como solución a la disposición de las aguas residuales, y que podrá ser consultado por cualquier persona interesada en el tema.

En tal virtud, ruego a usted se sirva dar el visto bueno al presente trabajo para que sea presentado ante las máximas autoridades de la Facultad, a fin de que emitan el correspondiente dictamen y si así lo consideran, procedan a extender el título de ingeniero civil al estudiante Jorge Oswaldo Galindo Morales.

Agradeciendo su atención a la presente, aprovecho para reiterarle las muestras de mi consideración.

Atentamente,



Ing. Jorge Mario Monzón Noriega
COLEGIADO No. 331
Jorge Mario Monzón Noriega
INGENIERO CIVIL
COLEGIADO No. 331



UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL
www.ingenieria-usac.edu.gt



Guatemala,
24 de agosto de 2012

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

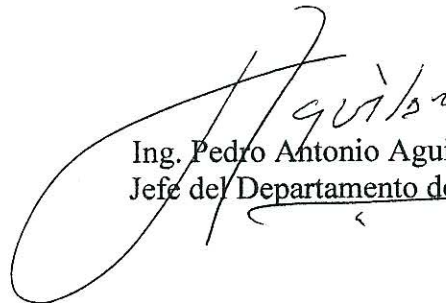
Estimado Ingeniero Montenegro.

Le informo que he revisado el trabajo de graduación **DISEÑO DE UN CAMPO DE ABSORCIÓN PARA LA DISPOSICIÓN DE LAS AGUAS RESIDUALES DEL SECTOR 1 DE LA URBANIZACIÓN "ARCOS DE SANTA MARÍA", ALDEA SANTA MARÍA CAUQUÉ, SANTIAGO SACATEPÉQUEZ, SACATEPÉQUEZ**, desarrollado por el estudiante de Ingeniería Civil Jorge Oswaldo Galindo Morales, quien contó con la asesoría del Ing. Jorge Mario Monzón Noriega.

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

Atentamente,

ID Y ENSEÑAD A TODOS


Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
Jefe del Departamento de Hidráulica



FACULTAD DE INGENIERIA
DEPARTAMENTO
DE
HIDRAULICA
USAC

/bbdeb.



UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL
www.ingenieria-usac.edu.gt



El director de la Escuela de Ingeniería Civil, después de conocer el dictamen del Asesor Ing. Jorge Mario Monzón Noriega y del Jefe del Departamento de Hidráulica Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco, al trabajo de graduación del estudiante Jorge Oswaldo Galindo Morales, titulado **DISEÑO DE UN CAMPO DE ABSORCIÓN PARA LA DISPOSICIÓN DE LAS AGUAS RESIDUALES DEL SECTOR 1 DE LA URBANIZACIÓN ARCOS DE SANTA MARÍA, ALDEA SANTA MARÍA CAUQUÉ, SANTIAGO SACATEPÉQUEZ, SACATEPÉQUEZ**, da por este medio su aprobación a dicho trabajo.


Ing. Hugo Leonel Montenegro Franco **DIRECTOR**



Guatemala, octubre de 2012.

/bbdeb.

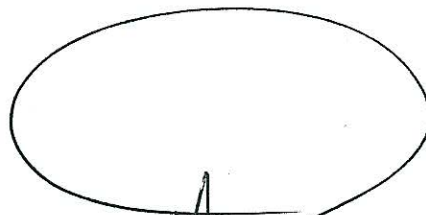
Más de **130** ^{Años} de Trabajo Académico y Mejora Continua





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: **DISEÑO DE UN CAMPO DE ABSORCIÓN PARA LA DISPOSICIÓN DE LAS AGUAS RESIDUALES DEL SECTOR 1 DE LA URBANIZACIÓN ARCOS DE SANTA MARÍA, ALDEA SANTA MARÍA CAUQUÉ, SANTIAGO SACATEPÉQUEZ, SACATEPÉQUEZ**, presentado por el estudiante universitario **Jorge Oswaldo Galindo Morales**, autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE:



Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
Decano

Guatemala, 4 de octubre de 2012

/gdech



AGRADECIMIENTOS A:

La Santísima Virgen Por estar siempre a mi lado.
María

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	VII
GLOSARIO	XI
RESUMEN.....	XV
OBJETIVOS.....	XVII
INTRODUCCIÓN	XIX
1. MONOGRAFÍA DE SANTIAGO SACATEPÉQUEZ Y SANTA MARÍA CAUQUÉ.....	1
1.1. El municipio de Santiago Sacatepéquez	1
1.1.1. Marco jurídico del municipio	1
1.1.2. Origen etimológico.....	2
1.1.3. Historia de Santiago Sacatepéquez.....	3
1.1.4. Ubicación geográfica	6
1.1.5. Límites y colindancias de Santiago Sacatepéquez.....	7
1.1.6. Topografía del lugar.....	9
1.1.7. Vías de acceso	9
1.1.8. Aspectos climáticos	9
1.1.9. Aspectos demográficos	12
1.1.10. Actividades socioeconómicas.....	13
1.1.11. Series de suelos de Santiago Sacatepéquez	14
1.1.12. Recursos hídricos	16
1.1.13. Servicios públicos e infraestructura existente	17
1.1.13.1. Condiciones de vivienda.....	17
1.1.13.2. Servicio de agua potable	18

	1.1.13.3.	Servicios sanitarios	18
	1.1.13.4.	Desechos sólidos	18
	1.1.13.5.	Energía eléctrica	19
	1.1.13.6.	Telecomunicaciones.....	19
	1.1.13.7.	Salubridad	19
1.2.		La aldea Santa María Cauqué	21
	1.2.1.	Descripción geográfica.....	21
	1.2.2.	Antecedentes históricos	22
	1.2.3.	Topografía del lugar	24
	1.2.4.	Límites y colindancias de la aldea Santa María Cauqué.....	24
	1.2.5.	Clima	24
	1.2.6.	Vías de acceso.....	25
	1.2.7.	Demografía de Santa María Cauqué.....	25
	1.2.8.	Actividades socioeconómicas.....	25
	1.2.9.	Series de suelos de Santa María Cauqué	27
	1.2.10.	Servicios públicos e infraestructura existente.....	27
2.		MARCO TEÓRICO	29
	2.1.	Manejo y disposición de las aguas residuales	30
	2.1.1.	Situación de las aguas residuales en Latinoamérica.....	32
	2.2.	Tratamiento de aguas residuales	34
	2.2.1.	Base teórica de los sistemas de aguas residuales	35
	2.2.2.	Origen de las aguas residuales y de los desechos.....	38
	2.2.3.	Características de las aguas residuales	40
	2.2.3.1.	Características físicas	41

	2.2.3.1.1.	Contenido total de sólidos	41
	2.2.3.1.2.	Olores	42
	2.2.3.1.3.	Temperatura	43
	2.2.3.1.4.	Densidad	44
	2.2.3.1.5.	Color	44
	2.2.3.1.6.	Turbiedad	44
2.2.3.2.		Características químicas	45
	2.2.3.2.1.	Materia orgánica	45
	2.2.3.2.2.	Grasas, grasas animales y aceites	45
	2.2.3.2.3.	Medida del contenido orgánico	46
	2.2.3.2.4.	Potencial hidrógeno (pH)	48
	2.2.3.2.5.	Alcalinidad	48
	2.2.3.2.6.	Nitrógeno	49
	2.2.3.2.7.	Fósforo	49
	2.2.3.2.8.	Azufre	50
	2.2.3.2.9.	Compuestos tóxicos inorgánicos	50
	2.2.3.2.10.	Metales pesados	50
	2.2.3.2.11.	Gases	51
	2.2.3.2.12.	Oxígeno disuelto	51
	2.2.3.2.13.	Sulfuro de hidrógeno	52
	2.2.3.2.14.	Metano	53
2.2.3.3.		Características biológicas	53
	2.2.3.3.1.	Microorganismos	53
	2.2.3.3.2.	Bacterias	54

	2.2.3.3.3.	Hongos.....	54
	2.2.3.3.4.	Algas	55
	2.2.3.3.5.	Protozoos	55
	2.2.3.3.6.	Plantas y animales	56
	2.2.3.3.7.	Virus	56
	2.2.3.3.8.	Organismos patógenos	57
2.2.4.		Evacuación de las aguas residuales	57
	2.2.4.1.	Evacuación de aguas luego de tratamiento primario	58
2.3.		Tipos de suelos	60
	2.3.1.	Textura y clase textural de los suelos	64
2.4.		La infiltración y los tipos de suelos	70
	2.4.1.	Agua freática	71
	2.4.2.	Infiltración	71
	2.4.2.1.	Capacidad de infiltración	71
	2.4.2.2.	Porosidad	72
	2.4.2.3.	Permeabilidad	74
	2.4.2.3.1.	Medición de la permeabilidad.....	74
	2.4.2.3.2.	Valores teóricos de la permeabilidad.....	75
2.5.		Pozos de absorción.....	78
	2.5.1.	Prueba de infiltración para determinar la profundidad de pozo de absorción	82
	2.5.2.	Caudal a infiltrar en un pozo de absorción	85
	2.5.3.	Dimensiones y construcción de los pozos de absorción.....	87
2.6.		Colmatación	100

2.6.1.	Colmatación mecánica	102
2.6.2.	Colmatación biológica.....	104
2.6.3.	Colmatación debida a procesos químicos	104
2.6.4.	Acciones contra la colmatación	105
3.	MARCO NORMATIVO	107
3.1.	Normas y Leyes para el tratamiento de aguas residuales en Guatemala.....	107
3.2.	Constitución Política de la República de Guatemala	107
3.3.	Normas técnicas para el diseño y construcción de pozos de absorción.....	108
3.3.1.	Normas de planificación y construcción para casos proyectados del Instituto de Fomento de Hipotecas Aseguradas (FHA)	109
3.3.2.	Reglamento general de alcantarillados particulares, fosas sépticas, cámaras filtrantes, cámaras de contacto, cámaras absorbentes y letrinas domiciliarias	112
3.4.	Ley de protección y mejoramiento del medio ambiente (Decreto 68-86)	113
3.5.	Código de Salud	115
4.	METODOLOGÍA.....	117
4.1	Generalidades de la urbanización Arcos de Santa María.....	117
4.1.1.	Ubicación geográfica	117
4.1.2.	Vías de acceso	118
4.1.3.	Actividades socioeconómicas alrededor del proyecto.....	119
4.1.4.	Servicios públicos e infraestructura existente	119

4.1.4.1.	Agua potable	120
4.1.4.2.	Drenajes	120
4.2.	Topografía del terreno.....	120
4.3.	Análisis del entorno	122
4.4.	Determinación de las características del suelo	128
4.4.1.	Determinación del perfil estratigráfico del área	128
4.4.2.	Cálculo del coeficiente de absorción del suelo.....	130
4.4.3.	Determinación de niveles freáticos del área.....	133
5.	RESULTADOS.....	135
5.1.	Diseño del campo de absorción	135
5.1.1.	Geometría del campo de absorción	137
5.1.2.	Dimensionamiento de los pozos.....	139
5.1.3.	Cantidad de pozos dentro del campo.....	140
5.1.4.	Distancia mínima entre pozos	141
5.2.	Plan de contingencia en caso del colapso del sistema	144
5.3.	Plan de control y mantenimiento	144
5.4.	Costos del proyecto.....	145
CONCLUSIONES.....		155
RECOMENDACIONES		157
BIBLIOGRAFÍA.....		159
ANEXOS.....		163

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1.	Mapa de colindancias de Santiago Sacatepéquez.....	8
2.	Mapa de temperaturas de Santiago Sacatepéquez	11
3.	Mapa de aspectos climáticos de Santiago Sacatepéquez	12
4.	Santa María Cauqué y Santiago Sacatepéquez	22
5.	Tratamiento de aguas residuales	38
6.	Triángulo textural de USDA.....	65
7.	Guía para determinación manual de textura de suelos	69
8.	Pozo de absorción.....	81
9.	Curva para pozos absorbentes del ábaco del ensayo del índice de absorción.....	83
10.	Pozo de absorción construido con mampostería	85
11.	Pozo de absorción para terrenos suaves	93
12.	Pozo de absorción para terrenos semiduros.....	94
13.	Pozo de absorción para terrenos suaves	95
14.	Diseño de un pozo de absorción con elementos prefabricados de Polietileno de Alta Densidad (PEAD)	97
15.	Construcción de un pozo de absorción con elementos prefabricados de Polietileno de Alta Densidad (PEAD).....	98
16.	Construcción de un pozo de absorción con elementos prefabricados de Polietileno de Alta Densidad (PEAD).....	99
17.	Costra de colmatación.....	101
18.	Proceso de determinación del factor de seguridad variable	102
19.	Macrolocalización de la urbanización Arcos de Santa María	118

20.	Plano topográfico de la urbanización Arcos de Santa María	121
21.	Serie de fotografías del entorno de la urbanización Arcos de Santa María	122
22.	Plantaciones y cultivos.....	124
23.	Áreas forestales.....	125
24.	Aldea Santa María Cauqué.....	126
25.	Determinación del perfil estratigráfico del área	129
26.	Pozos perforados en Arcos de Santa María y sus alrededores	134
27.	Serie de fotografías de la excavación de pozo testigo en el sector I de la urbanización Arcos de Santa María	136
28.	Plano distribución de los pozos de absorción	138
29.	Plano del campo de absorción acotado con distancia entre pozos	143
30.	Presupuesto de un pozo de absorción construido con mampostería	146
31.	Presupuesto de un pozo de absorción construido con tubos de concreto perforados	149
32.	Conexión entre pozos	152

TABLAS

I.	Unidades fisiográficas de Santiago Sacatepéquez, Sacatepéquez	14
II.	Unidades geológicas de Santiago Sacatepéquez, Sacatepéquez	15
III.	Cuencas hidrográficas de Santiago Sacatepéquez, Sacatepéquez.....	16
IV.	Materiales de construcción de las viviendas de Santiago Sacatepéquez	17
V.	Constitución del suelo	60
VI.	Granulometría de las partículas	61
VII.	Densidad del suelo conforme a su textura	63
VIII.	Clasificación del suelo conforme su potencial Hidrógeno (pH)	64

IX.	Clases texturales de los suelos, con predominancia de una fracción textural	66
X.	Promedios aproximados de porosidad, rendimiento específico y permeabilidad de varios materiales	73
XI.	Valores teóricos de permeabilidad	75
XII.	Coeficientes de permeabilidad	77
XIII.	Condición de la vivienda dotación (litros/habitante/día)	86
XIV.	Resumen de pruebas de infiltración del terreno Altos de Santa Maria	130
XV.	Resumen coeficientes de absorción.....	132

GLOSARIO

Acuífero	Formación geológica de la corteza terrestre en la que se acumulan las aguas infiltradas, de afluencia o de condensación.
Agua freática	Agua que se encuentra en el subsuelo, a una profundidad que depende de las condiciones geológicas, topográficas y climatológicas de cada región.
Aguas residuales	Son las contaminadas por la dispersión de desechos humanos, procedentes de los usos domésticos, comerciales o industriales. Llevan disueltas materias coloidales y sólidas en suspensión.
Aguas servidas	Aguas de desechos de diferentes usos, sea industrial urbano etc., que pueden estar contaminadas.
Agua subterránea	Agua existente debajo de la superficie terrestre en una zona de saturación, donde los espacios vacíos del suelo están llenos de agua.
Aguas superficiales	Aguas situadas sobre la superficie terrestre, como por ejemplo lagos, ríos etc.

Calicata	Técnica de prospección empleada para facilitar el reconocimiento geotécnico, estudios edafológicos o pedológicos de un terreno. Son excavaciones de profundidad pequeña a media.
Capacidad de infiltración	La cantidad máxima de agua que puede absorber un suelo en determinadas condiciones y determinada área.
Colmatación	Proceso de acumulación de materiales sobre la superficie de infiltración del agua. Su efecto es una reducción de la capacidad de recarga.
Escorrentía	Fenómeno de escurrimiento de las aguas sobre el suelo cuando ésta supera la capacidad de infiltración.
Impacto ambiental	Es la repercusión de las modificaciones en los factores del medio ambiente, sobre la salud y bienestar humanos. Y es respecto al bienestar donde, se evalúa la calidad de vida, bienes y patrimonio cultural, concepciones estéticas, etc, como elementos de valoración del impacto.
Infiltración	Es el proceso mediante el cual el agua penetra al subsuelo y es gradualmente conducida a capas más profundas, pudiendo penetrar a través de las capas rocosas subterráneas y pasar entre sus pequeñas grietas.

Percolación	Movimiento de desplazamiento del agua lluvia desde la superficie del suelo hasta la capa freática. Su consecuencia es la materialización del suelo y el arrastre de iones solubles. Se opone a la escorrentía.
Manto freático	Se llama así al nivel más alto de un acuífero.
Medio ambiente	Conjunto de factores físico-naturales, sociales, culturales, económicos y estéticos que interactúan entre sí, con el individuo y con la sociedad en que vive, determinando su forma, carácter, relación y supervivencia.
Riesgo ambiental	Probabilidad de ocurrencia de un fenómeno que afecta directa o indirectamente al medio ambiente. Peligro (latente) ambiental al que puedan estar sometidos los seres humanos en función de la probabilidad de ocurrencia y severidad del daño.

RESUMEN

En el presente trabajo de graduación, se desarrolla el diseño de un campo de absorción para el tratamiento de las aguas residuales del sector 1 de la urbanización Arcos de Santa María, aldea Santa María Cauqué, Santiago Sacatepéquez, Sacatepéquez. Se encuentra dividido en cinco capítulos. En el primer capítulo se presentan aspectos descriptivos relacionados con el lugar del estudio, mediante las monografías del municipio de Santiago Sacatepéquez y de la aldea Santa María Cauqué.

El segundo capítulo se integra por el marco teórico, comenzando con el manejo, disposición y tratamiento de las aguas residuales; su origen, sus características físicas, químicas y biológicas. Luego, aspectos relacionados con la evacuación de las aguas residuales con enfoque hacia la utilización del suelo en la depuración del efluente, los tipos de suelos, sus texturas y características. Después la infiltración y los tipos de suelos y su permeabilidad. Por último se describe lo que son los pozos de absorción, la colmatación, sus efectos y las acciones para contrarrestarla.

En el capítulo tres se incluye el marco normativo relacionado con la disposición de las aguas residuales dentro de la legislación guatemalteca, haciendo referencia al Reglamento de las Descargas y Reuso de Aguas Residuales y Disposición de Lodos, la Constitución Política de la República de Guatemala, las normas técnicas para el diseño y construcción de pozos de absorción, la Ley de protección y mejoramiento del medio ambiente y el Código de salud.

Dentro del capítulo cuatro se incluye la metodología del trabajo de investigación, las generalidades de la urbanización “Arcos de Santa María” – ubicación, topografía, accesos, servicios, entre otros–, el entorno del proyecto, la determinación de las características del suelo –la determinación del perfil estratigráfico del área y de los niveles freáticos del área.

Por último en el capítulo cinco se presentan los resultados del trabajo de graduación, consistente en el diseño del campo de absorción, el plan de contingencia en caso del colapso del sistema, el plan de control y mantenimiento, así como también se presenta el presupuesto con los costos de construcción del campo de absorción.

OBJETIVOS

General

Diseñar un campo de absorción para el Sector 1 de la urbanización Arcos de Santa María, aldea Santa María Cauqué, Santiago Sacatepéquez, Sacatepéquez.

Específicos

1. Realizar pruebas de infiltración para determinar la capacidad de absorción del suelo en donde se ubica el Sector 1 de la urbanización Arcos de Santa María, aldea Santa María Cauqué, Santiago Sacatepéquez, Sacatepéquez.
2. Aplicar normas técnicas para el diseño de campos de absorción, de modo que puedan ejecutarse dentro de los lineamientos establecidos en el diseño.

INTRODUCCIÓN

Según las estimaciones más aceptadas, poco más del 97 por ciento del volumen de agua existente en el planeta es agua salada y está contenida en océanos y mares; siendo alrededor de un 3 por ciento el agua dulce o con salinidad baja. De este volumen de agua dulce, el cual se estima en unos 38 millones de kilómetros cúbicos, cerca del 76 por ciento está en los casquetes polares, nieves eternas y glaciares; el 21 por ciento está almacenado en el subsuelo; y el 3 por ciento restante corresponde a los cuerpos de agua superficial, lagos y ríos.

La cantidad de agua dulce almacenada en el subsuelo es muy superior a la existente en las corrientes superficiales, pero, debido a las limitaciones físicas y económicas, es aprovechable únicamente en parte. Gran parte del agua dulce útil transita y se almacena en los primeros 1 000 metros a partir de la superficie del terreno, donde se alojan los mantos acuíferos de mayor permeabilidad, de renovación más activa, económicamente accesibles y con agua de buena calidad.

Se ha convertido en una preocupación creciente la manera de conservar los recursos acuíferos tan necesarias para sostener a una población en aumento en el mundo. La demanda por agua potable de buena calidad que permita satisfacer las necesidades de las personas se ha venido a convertir en una preocupación creciente. La extracción de agua mediante pozos, a profundidades cada vez mayores, viene a ser la respuesta principal para esta problemática, haciendo que el manto freático sea el principal proveedor del vital líquido.

Pero la problemática no termina allí, ya que luego de que esta agua ha sido utilizada se presenta la situación de qué hacer con las aguas residuales domésticas. En muchos casos no se sabe qué hacer con ellas, por lo que generalmente luego de ser tratadas, son conducidas hacia un lugar de descarga en algún cuerpo de agua cercano. Estas aguas eventualmente llegan a los mares y océanos llegando a formar parte de la gran masa de agua salada que tiene el planeta y que lamentablemente no es apta para el consumo humano.

En lo referente a la calidad del agua, existe una gran tarea por realizar a fin de revertir el proceso de degradación, es decir, contaminación que se ha venido causando a los ecosistemas acuáticos. Con el crecimiento demográfico, el saneamiento ambiental y en particular el manejo de las aguas residuales es de gran importancia, debido al impacto que tiene el medio ambiente.

Hoy en día las aguas residuales domésticas generadas en las comunidades y en los complejos habitacionales se encauzan comúnmente a los sistemas municipales del drenaje y alcantarillado, perdiéndose gran cantidad de agua que normalmente va a dar a los ríos. En lugares donde no existe red sanitaria municipal cercana, normalmente se construyen campos de absorción que reciben las aguas residuales previamente tratadas y las conducen a los mantos freáticos, reabasteciéndolos.

El campo de absorción tiene como finalidad disponer de las aguas residuales que han sido tratadas en una planta de tratamiento y que corresponden al drenaje sanitario producido por las viviendas. El campo de absorción está formado por pozos de absorción que trabajan en serie.

Para poder realizar el diseño de un campo de absorción es necesario tomar en consideración los siguientes elementos:

- Determinar la ubicación de acuerdo a las limitaciones físicas preexistentes que puedan verse afectadas con la construcción del campo de absorción.
- Determinación de las características topográficas de la o las posibles áreas para el campo de absorción.
- Determinar las características geológicas del suelo, en cuanto a su capacidad de absorción, y así establecer la zona más adecuada para ser usada como área de absorción de acuerdo con el análisis del perfil estratigráfico.
- Considerar el caudal de aguas residuales provenientes de la planta de tratamiento, que el campo de absorción deberá infiltrar, así como sus características, para que de esta manera se consideren los factores de seguridad por el riesgo de colmatación del campo.

De esta manera se puede establecer el número de pozos, sus dimensiones (en cuanto a diámetro, profundidad, características y materiales constructivos), así como la distribución de los mismos, para garantizar la adecuada infiltración de las aguas tratadas de vuelta al subsuelo.

El presente trabajo de graduación contiene el diseño de un campo de absorción para un sistema de tratamiento de aguas residuales en el sector 1 de la urbanización Arcos de Santa María, ubicada en la aldea Santa María Cauqué, Santiago Sacatepéquez, Sacatepéquez.

1. MONOGRAFÍA DE SANTIAGO SACATEPÉQUEZ Y SANTA MARÍA CAUQUÉ

Santiago Sacatepéquez (en honor a Santiago Apóstol) es un municipio del departamento de Sacatepéquez de la región sur-occidente de la República de Guatemala. No se tienen conocimientos claros de cuando se fundó exactamente, pero se dice que fue fundado a mediados del siglo XVI entre las décadas de 1540 a 1550.

1.1. El municipio de Santiago Sacatepéquez

Según se hace constar en la monografía del departamento de Sacatepéquez, editado por la Gobernación de este departamento, el municipio de Santiago Sacatepéquez fue reconocido con esta categoría a partir del 11 de octubre de 1825, fecha en que la Asamblea Constituyente del recién formado Estado de Guatemala, acuerda hacer la primera división territorial provisoria para el Estado.

1.1.1. Marco jurídico del municipio

En ocasión de realizar su primera Constitución Política, se acuerda la Ley 4ª, distrito No. 8 Sacatepéquez, que incluye a Santiago Sacatepéquez.

En la recopilación de leyes de Guatemala compuesta y arreglada por don Manuel de Pineda Mont, impresa en 1869 se establece el municipio de Santiago Sacatepéquez y estipula lo siguiente:

Ley 4ª

Artículo de la constitución política del estado de Guatemala, decretada por su asamblea en 11 de octubre de 1825, declarando los pueblos que comprenden el territorio del estado.

Sección 1ª distrito 8º. Sacatepéquez

Circuito de la antigua: antigua Guatemala, San Cristóbal Alto, San Miguel Milpas Altas, Santa Ana, Magdalena, San Juan Cascón, San Mateo, Santa Lucía, Santo Tomás, Embaulada, San Bartolomé, San Lucas, Santiago, Cauqué, Jocotenango, San Felipe, Ciudad Vieja, San Pedro Las Huertas, Alotenango, San Lorenzo, San Antonio, Dueñas, Zamora, Urías, Santa Catalina, San Andrés y San Bartolomé Aguas Calientes, San Dionisio Pastores, Santa María y San Juan Obispo.

El 9 de septiembre de 1839, se modifica la división territorial del estado de Guatemala formando siete departamentos y dos comandancias (Izabal y Petén), puesto que se desliga el estado de los altos formado por pueblos del occidente del país; sin embargo, Santiago Sacatepéquez siguió formando parte del departamento de Sacatepéquez.

1.1.2. Origen etimológico

Cuando los españoles conquistaron Guatemala al mando de don Pedro de Alvarado, traían como protectora su santo patrono el apóstol Santiago, el apóstol guerrero de España. Por la importancia que tenía la religión católica en la empresa de conquista y colonización, era común colocar a los poblados

obtenidos en repartimiento el nombre de algún patrono o del español que tomaba posesión de dicho poblado.

La primera capital del reino de Goathemala se llamó Santiago de los Caballeros de Goathemala, en honor precisamente al protector guerrero de los conquistadores españoles. De allí se puede deducir que el nombre de Santiago Sacatepéquez, proviene del nombre del Santo Patrono de España y de la voz náhuatl zacat que significa hierba y tepet que significa cerro, siendo el nombre de Sacatepéquez Cerro de Hierbas.

El nombre derivado de voces náhuatl de Sacatepéquez demuestra que antes de la conquista de Guatemala, los nativos náhuatl procedentes de México tenían relaciones de tipo comercial con los cakchiqueles de lo que hoy es Santiago Sacatepéquez.

1.1.3. Historia de Santiago Sacatepéquez

La historia de Santiago Sacatepéquez se remonta a la época precolombina, mucho antes de la venida de los españoles, cuentan los habitantes ancianos en tradición oral, que antiguamente se ubica el poblado en el lugar conocido como Las Tres Cruces, donde actualmente se encuentra la bifurcación entre los caminos que conducen a San Pedro Sacatepéquez (Guatemala), a la aldea San José Pacul (Santiago Sacatepéquez) y al poblado Santiago Sacatepéquez, distando tres kilómetros de la ubicación actual del poblado.

Debido al frío intenso decidieron buscar otro lugar cuyo clima fuera templado. Cuentan que varios indígenas encontraron el lugar indicado cierto día que salieron a buscar bejucos, y al caminar sintieron que el clima cambiaba, por

lo que esparcieron la noticia y en masa, la población se trasladó al lugar encontrado; donde el municipio se localiza actualmente.

El pueblo de Santiago Sacatepéquez era desde la época colonial sumamente importante, se conoce que fue fundado por los españoles con el nombre que actualmente tiene, aproximadamente entre 1540 a 1550. Varios cronistas escriben sobre la importancia del poblado en distintos aspectos.

Cuando Tomas Gage vino a Guatemala, entre 1625 a 1637, visito el pueblo de Santiago Sacatepéquez, escribiendo en su informe:

Hay cuatro pueblos considerables; el primero se llama Santiago, donde hay quinientas familias; el segundo San Pedro que tiene seiscientas; el tercero San Juan, que tiene otras tantas; y el cuarto Santo Domingo de Sinacao, donde puede haber cerca de 300 familias. Estos cuatro poblados son muy ricos; el clima es muy frío en los dos primeros, pero en los otros dos es más caliente. En sus alrededores hay muchas haciendas, donde se cosecha mucho trigo y maíz. Aquellos indios tienen más valor que los de otros pueblos, y en mí tiempo estuvieron cerca de sublevarse contra los españoles porque los trataban mal. Los españoles aquí son extremadamente ricos.

Francisco Antonio de Fuentes y Guzmán escribe con respecto al poblado de Santiago Sacatepéquez lo siguiente:

El curato de Santiago Sacatepéquez es uno de los más antiguos y de los primeros que se confirieron por el reverendo obispo don Francisco Marroquín a el celo vigilante de la religión de Santo Domingo, por el año 1543, antes que por el Santo Concilio de Trento se prohibiese a los religiosos semejantes administraciones y curatos, y el de los que tienen aprecio y estimación en la

común aceptación, porque así por su cercanía a Goathemala, que es de cuatro leguas, aunque de penoso y doblado camino, como por su temperamento, aguas y abundancia de bastimentos y congrua de grande obtención debe ser apreciable.

Después de habilitados los religiosos para semejante administración por la bula de San Pío Quinto... ha continuado con las doctrinas esta sagrada religión y en esta de Santiago Sacatepéquez se ha conferido siempre a uno de los sujetos graduados en la línea de la predicatura general. Los indios de este pueblo todos son dados a la cultura de los campos, de donde les procede largo recibo por las cosechas de trigo, maíz, frijoles y chile, produciéndoles y colmándoles no menos utilidad la ocupación en las labores de pan llevar, posesión de españoles, de que en el valle los indios que dan asistencias a ellas perciben por su trabajo a el año ciento y cuarenta y siete mil quinientos y cincuenta y dos pesos, de que consiguen la paga y satisfacción de sus tributos, servicio del tostón y manutención de cofradías, guachibales y otras de su cargo y obligación.

El temperamento de todo este curato es frío y destemplado, estando expuesto y descubierto a continuas brisas del rumbo de nordeste, situación del círculo de su posición. Es el lugar de Santiago que como cabecera del curato describimos primero de su pueblo, que aunque el padrón del Corregidor del Valle parece componerse de quinientos vecinos de la nación cacchiquel, me aseguran algunos religiosos ser su padrón eclesiástico de más de seiscientos feligreses.

El arzobispo don Pedro Cortés y Larraz realizó una visita parroquial a la diócesis del reino de Goathemala entre los años 1768 y 1770, elaborando un informe de los aspectos que observó durante dicha visita, dibujando de igual

forma un mapa de la Diócesis de Goathemala. Con respecto al pueblo de Santiago Sacatepéquez, el arzobispo Cortés señalaba:

Desde el pueblo de Alotenango al de Santiago Sacatepéquez hay seis leguas, rumbo como de sur a norte; el camino es bueno, a reserva de cómo una legua de subida bastante violenta y de mal camino. Como a legua y media que se salió de Alotenango se pasa por el pueblo de Ciudad Vieja; desde éste a una legua larga, o legua y media se da en Goathemala y se cruza por dentro de algunos barrios, que están a uno de los extremos de la ciudad; luego que se sale de ésta se da con la cuesta sobredicha; luego en un sitio llamado Las Ventillas ... El pueblo de Santiago Sacatepéquez, está situado en llanura, sin dejar de tener algunas barrancas, como las tienen en toda la diócesis, aún los pueblos puestos en las mayores llanuras y a sus alrededores hay también varios cerros. Es la cabecera de curato con cinco pueblos anexos. El idioma que se habla en esta parroquia es el kacchiquel; los frutos que produce su terreno son maíces y frijoles en abundancia.

Debido a la riqueza de la tierra de Santiago, los cronistas coloniales coincidieron al describir el poblado como una región rica y altamente productiva, características que conserva hasta el día de hoy.

1.1.4. Ubicación geográfica

Santiago Sacatepéquez que es un municipio del departamento de Sacatepéquez, tiene una extensión territorial de 15 kilómetros cuadrados. Está ubicado geográficamente entre los ríos Chinimayá y Chiplátanos y se encuentra a una la altitud de 2 040 metros sobre el nivel del mar. Actualmente se ha establecido el área aproximada de Santiago Sacatepéquez a través de análisis y cálculos técnicos efectuados en la hoja cartográfica 1:50 000, realizados y

presentados por la Unidad Técnica de Ejecución Catastral (Utec-Sacatepéquez).

En su informe de avances de investigación, la Utec – Sacatepéquez toma en cuenta las colindancias que registra el municipio de Santiago Sacatepéquez, determinando que tiene treinta y dos y medio kilómetros cuadrados aproximadamente. Es importante indicar que esta extensión no es de carácter oficial, ya que es necesario que se verifique con la realización de trabajo de campo.

Las autoridades municipales están conscientes de la importancia que tiene el establecer los límites reales y la extensión verdadera del municipio, con el propósito de administrar e implementar de mejor forma sus políticas y sus programas de trabajo.

El Diccionario Geográfico de Guatemala en su edición de 1980, indica que el municipio de Santiago Sacatepéquez tiene un área de 15 kilómetros cuadrados y está distribuido en seis centros poblados: las aldeas San José Pacul, Santa María Cauqué y Pachalí; los caseríos El Manzanillo y Chixolís y el casco urbano del municipio (SEGEPLAN, 2009a).

1.1.5. Límites y colindancias de Santiago Sacatepéquez

Este municipio se encuentra ubicado a una altura de 2 040 metros sobre el nivel del mar, su ubicación georreferencial es la siguiente:

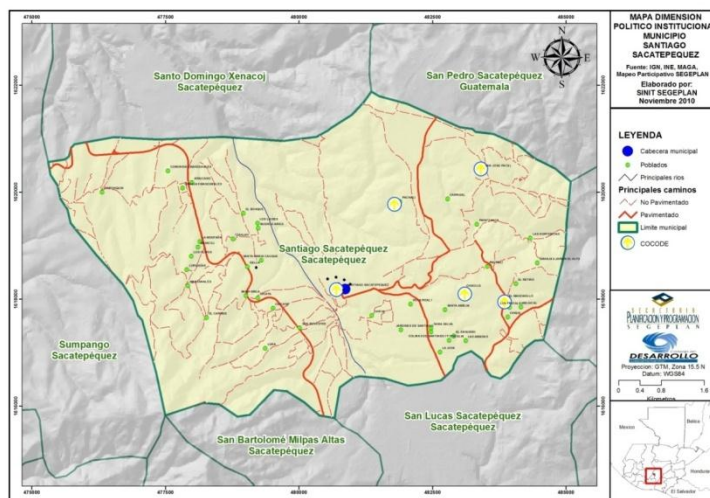
- Latitud: 14°36'26" - 14°40'12" Norte
- Longitud: 90°43'30" - 90°37'24" Oeste

En el mapa elaborado y publicado por el Instituto Geográfico Nacional, Santiago Sacatepéquez se encuentra ubicado en la hoja cartográfica No. 2 059 I con el de Ciudad de Guatemala.

Su nombre geográfico oficial es Santiago Sacatepéquez, y sus colindancias según la hoja cartográfica antes mencionada son las siguientes:

- Norte: Santo Domingo Xenacoj (Sacatepéquez) y San Pedro Sacatepequez (Guatemala).
- Sur: San Bartolomé Milpas Altas (Sacatepéquez) y San Lucas Sacatepéquez (Sacatepéquez).
- Este: Mixco (Guatemala).
- Oeste: Sumpango (Sacatepéquez).

Figura 1. **Mapa de colindancias de Santiago Sacatepéquez**



Fuente: SEGEPLAN, Plan de Desarrollo de Santiago Sacatepéquez, 2010.

1.1.6. Topografía del lugar

Está compuesto por la cuenca del río Achiguate, María Linda y Motagua, con una elevación de 2040 metros sobre el nivel del mar, su latitud es 14° 36' 26" - 14° 40' 12" Norte longitud 90° 43' 30" - 90° 37' 24" Oeste, la zona de vida es Bosque Húmedo Montano Sub-tropical.

1.1.7. Vías de acceso

Cuenta con 4,3 kilómetros de carreteras asfaltadas, 6 kilómetros de terracería, y 7 kilómetros de caminos vecinales de un total de 17,3 kilómetros, según fuente de la Dirección General de Caminos (DGC) al 2001.

El municipio cuenta con una carretera principal pavimentada CA-2, que conecta a la cabecera departamental. El resto de vías dentro del municipio son de terracería intransitables en la época seca (SEGEPLAN, 2009b).

1.1.8. Aspectos climáticos

La clasificación del clima es el proceso de ordenamiento de elementos como temperatura, humedad, lluvia, viento, presión atmosférica, incidencia solar, factores geográficos, latitud, altitud y vegetación, entre otros, que dan características climáticas propias de una región específica.

En el mundo existen aproximadamente 60 clasificaciones para el clima y en Guatemala se utilizan dos: clasificación climática según Thorntwaite y clasificación climática según Köppen. Para el municipio de Santiago Sacatepéquez las condiciones climáticas bajo estas clasificaciones son:

Sistema Thorntwaite: BB'2 (Bosque húmedo templado)

Sistema Köppen: Cwbig (Templado subhúmedo con invierno benigno, presencia de lluvias en verano, verano fresco, isoterma, con marcha de la temperatura tipo Ganges).

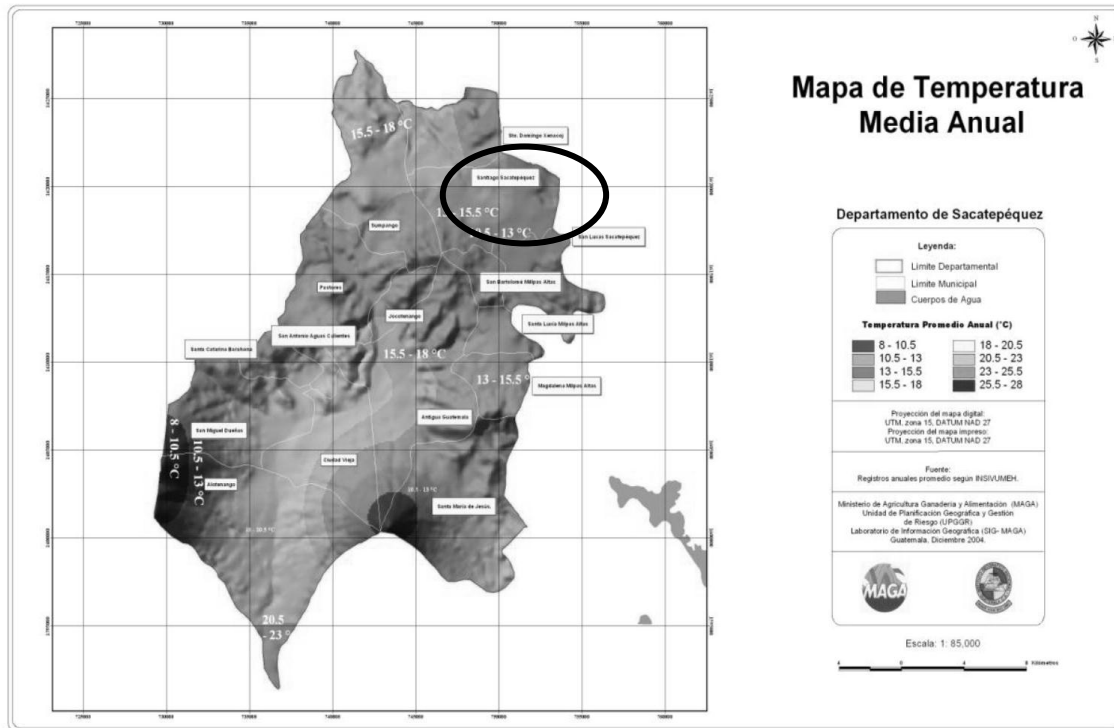
La temperatura es la proporción con respecto al nivel del mar, que se asocia al nivel del calor o frío que existe en ese lugar, en Guatemala varía 5 y 6 grados centígrados por cada 1000 metros que sube sobre el nivel del mar.

La estación meteorológica más cercana al municipio se encuentra ubicada en la finca Suiza Contenta, localizada en el municipio de San Lucas Sacatepéquez, por lo que los datos acerca de la temperatura promedio de 2002 que se presentan son aproximados; esta información se presenta de la siguiente manera:

La estratificación térmica y de altitud para Santiago Sacatepéquez, el cual, como ya se mencionó, está situado a 2 040 metros sobre el nivel del mar con latitud de 14°38'5" y una longitud de 90°40'45", le ofrece una temperatura media mensual que oscila entre los 9,2 grados centígrados en el mes de enero y va ascendiendo en la temporada de verano hasta los 15,5 grados centígrados en abril y mayo, para ir descendiendo paulatinamente en los meses de noviembre y diciembre con 11 grados centígrados.

Según el mapa abajo presentado oscila entre 13 grados – 15,5 grados centígrados en el área; la temperatura máxima promedio 21,2 grados centígrados y la temperatura mínima promedio 7,4 grados centígrados. A continuación se presenta la figura 2 que muestra el mapa de temperaturas de Santiago Sacatepéquez:

Figura 2. Mapa de temperaturas de Santiago Sacatepéquez



Fuente: INSIVUMEH, 2007.

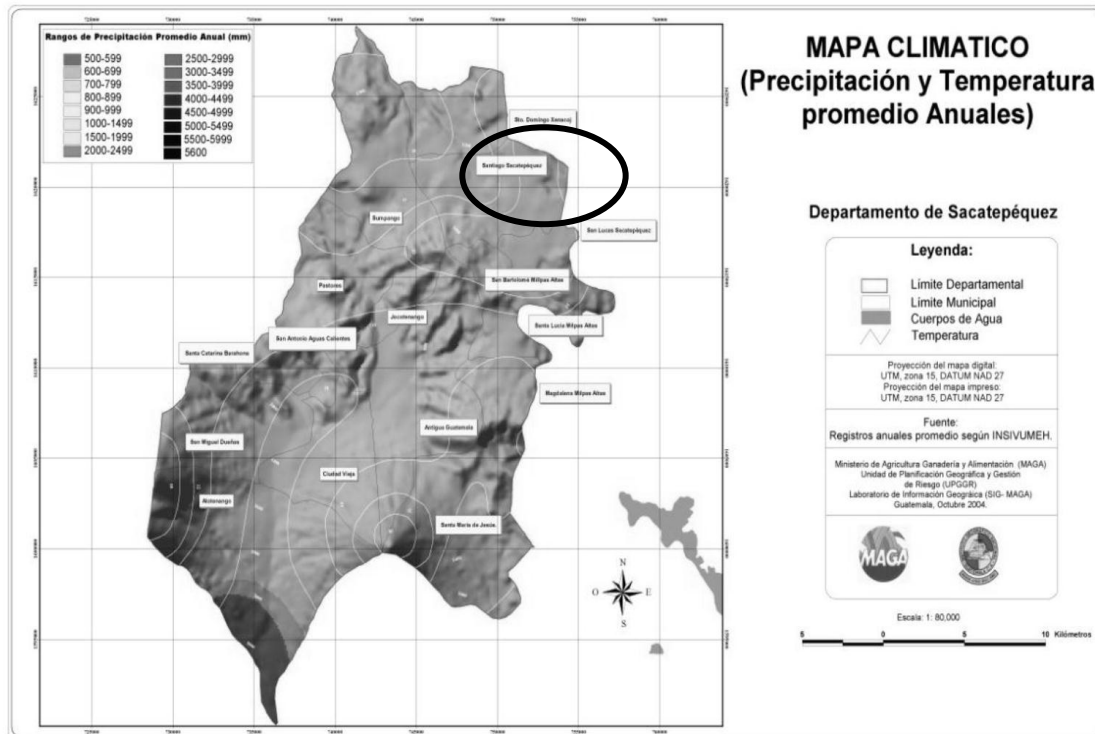
Santiago Sacatepéquez, se encuentra dentro del área de la estación meteorológica ubicada en la finca Suiza Contenta.

El régimen de las lluvias es de aproximadamente seis meses en el país, que va desde el mes de mayo a octubre con la precipitación producida por el enfriamiento del aire de la atmósfera al ascender, como parte del descenso en la temperatura de la masa de nubes de la atmósfera aumentando la humedad relativa y produciendo saturación del vapor de agua.

El promedio de precipitación para el área de Santiago Sacatepéquez para esta década es oscila alrededor de 1 000 – 1 499 milímetros, según el siguiente mapa. Por lo que la estratificación de sequedad o humedad de

acuerdo con esta precipitación define la característica del lugar como zona templada.

Figura 3. **Mapa de aspectos climáticos de Santiago Sacatepéquez**



Fuente: INSIVUMEH, 2007.

1.1.9. Aspectos demográficos

Según el XI Censo de Población y VI Censo de Habitación de Guatemala levantado por el Instituto Nacional de Estadística (INE), Santiago Sacatepéquez posee una población de 22 038 habitantes. Para el 2010, la población de Santiago está estimada en 28 167 habitantes.

El municipio tiene una tasa de crecimiento de 3,1 por ciento, situándose como un municipio de crecimiento medio (INE, 2002). La densidad poblacional actual del municipio es de 1 469 habitantes por kilómetro cuadrado, constituyéndose en un municipio altamente poblado y con un mayor número de habitantes por kilómetro cuadrado que el registro departamental y nacional que son estimados en 533 habitante por kilómetro cuadrado y 103 habitantes por kilómetro cuadrado respectivamente. Para el 2020, se estima que la densidad poblacional aumentará a 2 301 habitantes por kilómetro cuadrado.

1.1.10. Actividades socioeconómicas

Santiago Sacatepéquez posee alternativas para el empleo de mano de obra, entre ellas las industrias maquiladoras y la agricultura intensiva. La población económicamente activa es de 22 038 personas. La tasa de ocupación es del 98 por ciento y la de desocupación es de 2 por ciento; de éstas 11 036 son hombres y 4 933 son mujeres. La principal actividad económica que generar trabajo directo es la agricultura, empleando el 41,16 por ciento de la fuerza laboral del municipio; la segunda actividad económica generadora de empleo es la industria manufacturera, que está representada por maquilas, empleando el 21,67 por ciento de la fuerza laboral y que posee cierto grado de capacitación para el manejo de maquinaria.

Por último se encuentran los servicios comunales, el comercio informal y la construcción con índices de 9,36 por ciento, 8,71 por ciento y 7,9 por ciento respectivamente (INE, 2002).

1.1.11. Series de suelos de Santiago Sacatepéquez

De acuerdo con la clasificación de reconocimiento de suelos de Guatemala de Simmons, indica que para el municipio de Santiago Sacatepéquez la única serie de suelo presente en el 100 por ciento de su territorio es la serie Cauqué (Cq), que se caracteriza por presencia de ceniza volcánica pomácea de color claro, perteneciente de relieves ondulados a fuertemente inclinados; posee drenaje interno muy bueno; es de color café muy claros de textura franco arcillosa y profundidad de 75 centímetros.

El municipio de Santiago Sacatepéquez pertenece al gran paisaje de Tierras Altas Volcánicas y se encuentra dividido en dos regiones fisiográficas:

Tabla I. **Unidades fisiográficas de Santiago Sacatepéquez, Sacatepéquez**

Fisiografía	Porcentaje de área	Nomenclatura del mapa
Relleno piroclástico alrededor de la caldera de Atitlán	28,72	3.1.15
Montañas volcánicas del centro del país	71,28	3.2.1

Fuente: MAGA, 2005.

En cuanto a la geología del suelo, Santiago Sacatepéquez, forma parte de la cordillera central, del sistema de Guatemala, según el atlas Nacional, las rocas metamórficas disminuyen en abundancia hacia el norte al pasar las rocas cristalinas, gradualmente hacia las fajas de sedimentos plegados donde se ha reconocido rocas de edades desde el pensilvánico superior hasta el terciario. La faja plegada pasa a su vez hacia el norte a sedimentos mesozoicos.

También se encuentran depósitos minerales de rocas. Sedimentarias y volcánicas de cuaternario de los tipos:

- QV= rocas volcánicas principalmente de actividad volcánica relacionada con la formación de la fosa mesoamericana, rellenos de pómez mesetas de ignimoritas y depósitos laháricos.
- Tv 1 = rocas sedimentarias y volcánicas con rocas volcánicas del terciario mioceno superior a plioceno, actividad volcánica post-orogénica, coladas de lava, tobas, mesetas de ignimbrita, sedimentos volcánicos terrestres y lacustre.
- M zs1 = rocas sedimentarias del Mesozoico, principalmente rocas carbonáticas marinas sobre sedimentos clásticos terrestres en la base
- Qp = rellenos y cubiertas gruesas de cenizas pómez de origen diverso.

Según el mapa geológico de Guatemala, el municipio se encuentra dividido en dos regiones formadoras de suelo:

Tabla II. **Unidades geológicas de Santiago Sacatepéquez, Sacatepéquez**

Simbología	Descripción	Porcentaje de área
Tv	Rocas y ígneas y metamórficas del período cuaternario	59,48
Qp	Rocas ígneas y metamórficas del período terciario	40,52

Fuente: MAGA, 2005.

1.1.12. Recursos hídricos

En lo que se refiere a las fuentes de agua, dentro del municipio no existe ningún plan para el manejo del recurso hídrico con enfoque de cuenca. En su hidrografía se encuentran los ríos: Ciénaga, Chiplátanos, Paquitsotz y Chimajoel. Estos eran abastecimiento de agua al casco urbano de Santiago Sacatepéquez y al aldea Santa María Cauqué. El río Chixotz abastece de agua al municipio de Mixco. (SEGEPLAN, 2009a).

Con respecto a las cuencas hidrográficas, según el diagnóstico del MAGA de 2001, el territorio de Santiago Sacatepéquez está dividido por tres cuencas hidrográficas las cuales a su vez drenan a las dos vertientes diferentes: vertiente del Mar Caribe y vertiente del Mar Pacífico. (MAGA, 2005).

Tabla III. **Cuencas hidrográficas de Santiago Sacatepéquez, Sacatepéquez**

Cuenca hidrográfica	Porcentaje de cobertura
Río Achiguate	1,83
Río María Linda	6,97
Río Motagua	91,19

Fuente: MAGA, 2001.

En lo concerniente a zonas de recarga hídrica el municipio de Santiago no cuenta con ningún plan de congestión del recurso hídrico. No existe ningún plan de conservación de fuentes de agua ni de rehabilitación de las zonas de recarga idílica para los mantos acuíferos. El abastecimiento de agua se sirve de los ríos. Por la alta demanda de agua, la municipalidad ha perforado al menos 6 pozos para cumplir con la demanda actual.

Es importante hacer mención que dentro del municipio existen, según el Ministerio de Salud Pública y Asistencia Social (MAGA), cinco zonas de recarga hídrica, siendo éstas las principales tratadoras de agua de la precipitación pluvial. De aquí se recalca la importancia de la gestión del recurso hídrico para mantener los niveles freáticos de los pozos y el abastecimiento futuro de los manantiales existentes.

1.1.13. Servicios públicos e infraestructura existente

El municipio de Santiago Sacatepéquez cuenta con cobertura de determinados servicios públicos que ofrecen cierta calidad de vida a sus habitantes y los cuales se describen con mayor detalle a continuación.

1.1.13.1. Condiciones de vivienda

Las viviendas en el municipio son construidas en su mayoría con block, seguidas de las construidas con lepa y/o palos y las de adobe principalmente.

Tabla IV. **Materiales de construcción de las viviendas de Santiago Sacatepéquez**

Material	Total (%)
Adobe	10,17
Ladrillo	2,99
Bajareque	0,50
Block	54,12
Lepa, palos	18,64
Madera	7,70
Concreto	1,67
Lamina metálica	2,70

Fuente: INE, 2002.

1.1.13.2. Servicio de agua potable

El 93 por ciento de las viviendas son abastecidas con agua clorada de los nacimientos de agua y pozos mecánicos existentes en el municipio. El 7 por ciento restante obtienen el vital líquido de chorros comunales (SEGEPLAN, 2009a).

1.1.13.3. Servicios sanitarios

El 98,49 por ciento de las viviendas cuenta con servicio de recolección y conducción de las aguas servidas de tipo mixto. Con este sistema se procura evitar la contaminación en las descargas. El cien por ciento de los hogares posee letrina o inodoro (SEGEPLAN, 2009a).

No obstante, no se cuenta con un plan de tratamiento de aguas servidas, lo que provoca contaminación en los ríos donde descargan las aguas negras. Tampoco existen plantas de tratamiento de desechos líquidos, los cuales son delegados directamente a los cauces de los ríos cercanos (SEGEPLAN, 2009c).

1.1.13.4. Desechos sólidos

No existe actualmente en Santiago Sacatepéquez un tren de aseo eficiente que colecta los desechos sólidos generados dentro del municipio. Existe un número no determinado de basureros clandestinos, de los cuales la municipalidad no lleva registro actualizado. El problema de los basureros clandestinos es significativo dentro del casco urbano y en la aldea Santa María Cauqué. (SEGEPLAN, 2009a y SEGEPLAN, 2009C) Tampoco existe un tratamiento de desechos sólidos que esté vinculado al tren de aseo municipal o privado.

1.1.13.5. Energía eléctrica

Para la iluminación y la utilización de electrodomésticos y aparatos electrónicos se utiliza la energía eléctrica, en acometidas de 120 y 240 voltios, la cual le suministra al departamento por la Empresa Eléctrica de Guatemala, la cual forma el pliego tarifario que establece la Comisión de Energía Eléctrica. La cobertura de la red eléctrica en el municipio es del 94 por ciento. Se abastecen con energía solar 28 hogares (SEGEPLAN, 2009a).

1.1.13.6. Telecomunicaciones

Conforme la información obtenida, entre los recursos tecnológicos del municipio se encuentran 596 teléfonos de línea física, es decir, una línea telefónica por cada 36 habitantes, cobertura de la red de telefonía celular, servicio de televisión por cable y servicio de internet, el cual está conectado a casas particulares y en locales abiertos al público (INE, 2003c).

1.1.13.7. Salubridad

La cobertura de salud en el municipio durante 2008 según datos proporcionados por la Jefatura del Área de Salud fue del 100 por ciento, sin embargo de acuerdo al mapeo participativo, la cobertura es de 40 por ciento ya que existen debilidades en cuanto a medicamentos, equipamiento y personal especializado (SEGEPLAN, 2009a).

La infraestructura de salud en Santiago Sacatepéquez cuenta con un centro de salud, ubicado en el casco urbano, un puesto de salud en la aldea Santa María Cauqué y un centro de convergencia en San José Pacul, sin

embargo el incremento de la demanda produce movilizaciones hacia el municipio de San Lucas Sacatepéquez y hacia Antigua Guatemala.

La morbilidad en el municipio de Santiago Sacatepéquez se da principalmente por infecciones respiratorias en un 14 por ciento de los casos y con una frecuencia del 21 por ciento. Otras causas de morbilidad existentes son causadas por enfermedades de la piel y parasitismo intestinal. Según el Ministerio de Salud Pública, la esperanza de vida calculada para el municipio es de 68 años (MSPAS, 2008).

El departamento de Sacatepéquez no presenta mortalidad materna, situación que se refleja en el municipio de Santiago Sacatepéquez ya que durante 2009 no se reportó ningún caso relacionado. La atención materna para partos se da en un 59,03 por ciento con atención médica, un 40,30 por ciento con comadronas y de forma empírica en un 0,50 por ciento. La tasa de mortalidad de niños menores a cinco años es de 0,68 por ciento lo que sitúa al municipio en el punto más bajo respecto a la media departamental, contrastando con los niños menores a un año donde la tasa de mortalidad es de 5,19 por ciento.

La morbilidad infantil dentro del municipio se da principalmente por infecciones respiratorias agudas en un 55,24 por ciento de los casos, enfermedades de la piel en 22 por ciento, y neumonía y bronconeumonía en un 10,85 por ciento (MSPAS, 2008).

En el municipio de Santiago Sacatepéquez se han ejecutado jornadas para la prevención de enfermedades de transmisión sexual en las escuelas, sin embargo estas inducciones carecen de material y equipo didáctico para lograr impacto requerido.

La jefatura del área de salud de Sacatepéquez reporta que en Santiago Sacatepéquez existen dieciocho comadronas adiestradas que atienden al 40 por ciento de los partos de la población rural, mientras que el 59,03 por ciento es atendido en el centro de salud del casco urbano.

En lo concerniente a seguridad alimentaria y nutricional, según la Secretaría de Seguridad Alimentaria y Nutricional (SESAN) en el tercer censo de talla-edad de 2008, se sitúa a Santiago Sacatepéquez con un estado nutricional de 51,0 por ciento, en la categoría de vulnerabilidad alta, debido a que presenta una prevalencia en el retardo de talla del 49 por ciento.

1.2. La aldea Santa María Cauqué

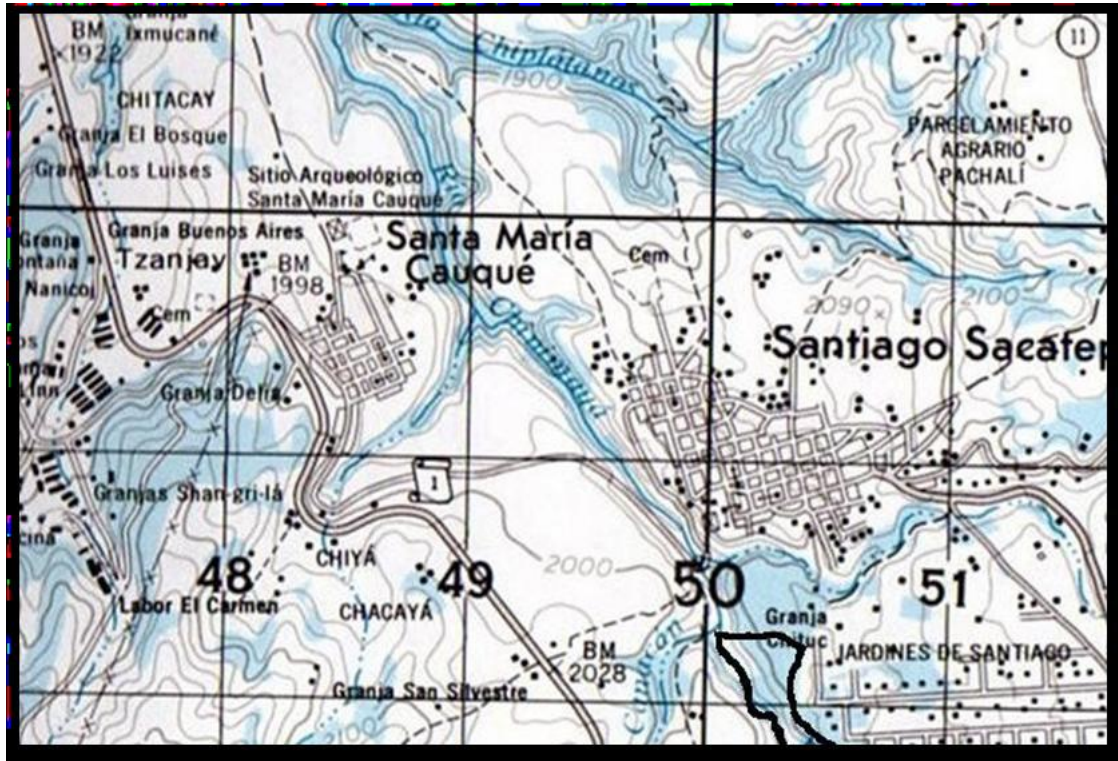
Santa María Cauqué es una aldea del municipio de Santiago Sacatepéquez del departamento de Sacatepéquez.

1.2.1. Descripción geográfica

Según la Constitución Política de la República de 1879 era uno de los 24 municipios del departamento de Sacatepéquez. Su extensión era muy pequeña y carecía de medios para satisfacer sus necesidades. Fue anexada al municipio de Santiago Sacatepéquez por Acuerdo Gubernativo del 23 de agosto de 1935 y desde entonces es reconocida como aldea del mencionado municipio.

En la figura 4 que se presenta en la página siguiente se muestran las poblaciones de Santiago Sacatepéquez y Santa María Cauqué, así como las poblaciones circundantes.

Figura 4. **Santa María Cauqué y Santiago Sacatepéquez**



Fuente: <http://santiagosacatepequez.blogspot.com/>. Consulta: abril, 2012

1.2.2. **Antecedentes históricos**

La historia de la fundación de la comunidad de Santa María Cauqué puede ser conocida por la tradición oral. Se cuenta que los primeros moradores probablemente provinieron de Santa María Joyabaj, del departamento de El Quiché. Era una comunidad nómada de aproximadamente dieciocho familias, con creencias católicas, pues llevaban consigo una imagen de la Virgen de la Asunción como protectora. Llegaron al territorio que hoy ocupa la aldea, acamparon, pero cuando decidieron retirarse no pudieron levantar la imagen, por lo que decidieron quedarse.

Otra versión recogida de una narración, en la entrevista de E. Carey en 1995, dice: “Según nos cuentan los ancianos cómo fue que la gente de Santa María Cauqué llegó a este lugar. Dicen los ancianos que llegaron de una de las montañas de allá cerca de Quetzaltenango. Pero esa montaña se llenó completamente de una mala yerba causando el nacimiento de los grandes animales tales como el tigre. Los tigres nacían allá y entraban donde vivía la gente y se la comía.

En aquellos días no había armas de fuego, ni rifles como hoy, para matar animales. En aquel entonces solo había flechas y hondas, también piedras y palos, pero no les hacían casi nada a esos animales tan grandes. La gente fue diezmada por causa de que los animales eran tan feroces.

Por eso la gente decidió que era mejor salir de allá, cargaron su santo, una virgen, que era su patrona. Dicen que anduvieron día y noche despacito, hasta que llegaron aquí, donde se llama Santa María Cauqué. Llegaron una tarde y descansaron en nuestra milpa que está entre Sumpango y Santiago Sacatepéquez.

Como no pudieron ver el camino porque ya era de noche, descansaron allí y en la mañana, cuando amaneció, dicen que trataron de llevar a la virgen más allá, pero ella, la Santa Patrona que tenían, no quiso moverse. Entonces los cauqueños trataron de mover el lado de un lado para otro, pero nunca pudieron levantarla. Y así que decidieron construir sus casas mero allá, y se quedaron y ya nunca salieron.

Y la virgen que traían se llamaba María. Hasta ese momento podemos ver a los cauqueños en el lugar que los ladinos llaman Santa María Cauqué. Sólo esto es lo que conozco, yo se los cuento”

1.2.3. Topografía del lugar

Está situada a una altura de 2 100 metros sobre el nivel del mar; y parte de los terrenos de Santa María Cauqué sólo una altiplanicie central ondulada y con pendientes (terrenos quebrados). Los terrenos para cultivos están situados tanto en partes planas como inclinadas.

La aldea cuenta con un río llamado Pach Omojel, utilizado para el sistema de mini riego de la comunidad y dos riachuelos: Chiyaa' que nace en el norte y el Xeleil que nace en el sur. También es de importancia mencionar el cerro de Cjiraxon y el sitio arqueológico Tz'anjay.

1.2.4. Límites y colindancias de la aldea Santa María Cauqué

Sus colindancias son: al Norte con el municipio de Santo Domingo Xenacoj (Sacatepéquez), al Sur y al Este con Santiago Sacatepéquez y al Oeste con el municipio de Sumpango (Sacatepéquez). Su principal vía de acceso es la Carretera Interamericana.

1.2.5. Clima

El clima es templado, cuya temperatura máxima es de 22,82 grados centígrados, una mínima de 11,98 grados centígrados y una media de 18,7 grados centígrados. Los vientos son del norte: Pa'jotol tew (cuando sube el frío), y Pa'xulan tew (cuando baja el frío).

1.2.6. Vías de acceso

Santa María Cauqué dista 4 kilómetros de Santiago Sacatepéquez por la Ruta Nacional 1 oeste; tiene acceso cercano por la Carretera Interamericana CA-1 Occidente.

1.2.7. Demografía de Santa María Cauqué

Según los datos del puesto de salud de Santa María Cauqué, la población estimada para 1999 era de 3 725 personas. La composición étnica muestra que el 82,39 por ciento son personas de origen indígena y el 17,61 por ciento son ladinos.

1.2.8. Actividades socioeconómicas

La ocupación de los hombres jefes de hogar de 31 años en adelante por etnicidad de posición laboral, muestra que el 70 por ciento se dedica a la agricultura y trabaja por su propia cuenta, es decir, no es patrono ni asalariado. Mientras que paralelamente aumenta el porcentaje (29,3 por ciento) que labora en la industria maquiladora y otras en la población masculina más joven, felices a 30 años, siendo asalariados.

Los datos cualitativos muestran que los jóvenes han ido abandonando los cultivos de producción agrícola no tradicionales de exportación, porque representan muchos riesgos; optando por los empleos en las fábricas maquiladoras donde devengan un buen salario para ellos, visten bien, no se asolean, no se mojan, no se esfuerzan mucho, es más seguro y contribuyen a mejorar la economía del lugar; o sea que actualmente representa una vía de

mejoramiento económico tal como tiempo atrás para sus padres se presentaban los cultivos tradicionales de exportación.

Dentro de las ocupaciones de las mujeres jefas del hogar predomina la agricultura con un 27 por ciento, los oficios domésticos con un 17 por ciento, el comercio de productos no agrícolas con un 9 por ciento, y la artesanía y servicios con un 2 por ciento.

En cuanto a las que se dedican a la agricultura y a los oficios domésticos, no reciben ningún salario, sino que lo consideran como una ayuda al esposo. Paralelamente a este fenómeno, en la población femenina más joven, de 16 a 30 años, aumenta el porcentaje que labora en la industria maquiladora como asalariadas.

De aquí se deduce que Santa María Cauqué es una de las comunidades en adoptar los cultivos de exportación y laborar en las fábricas maquiladoras. Además existe un desplazamiento de los cultivos de subsistencia (maíz, frijol y arroz) para el autoconsumo. El impacto del medio ambiente y la participación de la mano de obra femenina en la agricultura se ha incrementado, especialmente en las jefas del hogar; el trabajo en la mujer combina actividades productivas y reproductivas, entendiéndose por trabajo productivo el que genera bienes y servicios para el autoconsumo o la venta y el reproductivo para mantener la fuerza laboral familiar.

Mientras los sistemas de producción de las comunidades del altiplano guatemalteco se basan en la producción artesanal, en Santa María Cauqué ésta se está extinguiendo, especialmente la textil de cintura que practican las mujeres. La producción de cultivos no tradicionales de exportación y la maquiladora de ropa constituyen las fuentes de ingreso más fuertes.

1.2.9. Series de suelos de Santa María Cauqué

Suelo desarrollado sobre su ceniza volcánica a elevaciones medias: desarrollados sobre serpentina y rocas asociadas como riolita amorfa y roca calcárea, relativamente extensos en Guatemala.

Parece ser el resultado de la serpentinización de las rocas máficas, son poco profundos, arcillosos de color café o café rojizo y en general se considera de baja productividad.

El proyecto se relaciona con la geología, ya que se estudia qué tipos de suelos son y cómo esta conformados los residuos minerales, para poder diseñar los cimientos y poder saber qué tipo de movimiento de tierra se va a tener.

1.2.10. Servicios públicos e infraestructura existente

La aldea actualmente cuenta con servicio de energía eléctrica, agua potable con conexiones domiciliarias muy escasa y racionada, drenajes, algunas calles adoquinadas, un puesto de salud, escuela oficial de educación primaria completa.

2. MARCO TEÓRICO

La concentración de la población en las ciudades ha traído consigo la acumulación de las vertientes en unos pocos puntos singulares y la dificultad de deshacerse de ellos de forma eficaz y segura mediante los métodos tradicionales, que no son capaces de admitir las elevadas cargas puntuales de agua residual que incluso una población relativamente pequeña produce en determinados momentos.

Las aguas residuales son fundamentalmente las aguas de abastecimiento de una población, después de haber sido impurificadas por diversos usos. Desde el punto de vista de su origen, resultan de la combinación de los líquidos o desechos arrastrados por el agua, procedentes de casas de habitación, edificios comerciales e instituciones, juntos con los provenientes de los establecimientos industriales, y las aguas subterráneas, superficiales o de precipitación que puedan agregarse.

La cantidad o volumen de aguas residuales que se producen varía de acuerdo con la población y depende de muy diversos factores. Un municipio exclusivamente residencial que tenga alcantarillas bien construidas a las que no entre el agua de precipitaciones pluviales, puede producir unos 160 litros por persona por día y hasta un 805 del agua potable datada; mientras que una población industrial o que tenga un gasto de agua para usos domésticos muy alto, podrá producir mucho más.

2.1. Manejo y disposición de las aguas residuales

En el pasado en el país, la evacuación de las aguas negras se llevaba a cabo en la mayoría de los municipios y comunidades de la manera más sencilla la cual consistía en verter directamente dichas aguas a ríos y corriente mediante alcantarillado sanitario unitario, pozos ciegos y letrinas. La acumulación de fangos y el desarrollo de olores y condiciones desagradables surgieron como consecuencia de esta práctica. Para solventar estos problemas se introdujo la evacuación, separada de las aguas negras y de las aguas pluviales, y el tratamiento de las aguas negras.

Los métodos de depuración de residuos se remontan a la antigüedad y se han encontrado instalaciones de alcantarillado en lugares prehistóricos de Creta y en las antiguas ciudades asirias. Las canalizaciones de desagüe construidas por los romanos todavía funcionan en la actualidad. Aunque su principal función era el drenaje, la costumbre romana de arrojar los desperdicios a las calles significaba que junto con el agua de las escorrentías viajaban grandes cantidades de materia orgánica.

Hacia finales de la Edad Media empezaron a usarse en Europa excavaciones subterráneas privadas primero y, más tarde, letrinas. Cuando éstas estaban llenas, unos obreros vaciaban el lugar en nombre del propietario. El contenido de los pozos negros se empleaba como fertilizante en las granjas cercanas o era vertido en los cursos de agua o en tierras no explotadas.

En síntesis, el tratamiento del agua residual es un problema que el hombre ha tenido desde que se percató de los impactos ambientales negativos que se originaban al verter las aguas residuales a las superficiales. Para disminuir este contratiempo, actualmente existe una gran variedad de tecnologías de

tratamiento, cuyo fin es mejorar la calidad del agua tratada para que al verterla a los cuerpos de agua receptores no se alteren sus condiciones químicas, físicas y biológicas (*Environmental Protection Agency (EPA) Oficina de Protección Ambiental de Estados Unidos, 1977*).

La idea de utilizar el suelo como medio depurador de las aguas residuales procedentes de las ciudades data de la antigüedad clásica. El historiador griego Heródoto (484-425 a.C.) dejó escrito, que en Babilonia, el agua residual, en lugar de evacuarla a un río, se canalizaba a un sumidero donde decantaba y sedimentaba. Tras esta fase inicial de depuración, el agua, una vez liberada de las partículas más groseras, se filtraba en formaciones permeables.

Los vertidos producidos por pequeñas poblaciones en las que no existen industrias, son completamente biodegradables, por lo que pueden ser tratados por métodos sencillos, reduciendo su impacto ambiental al mínimo.

Una buena alternativa son los sistemas de tratamiento en el suelo, éstos dependen principalmente de componentes naturales (plantas y superficie de suelo) y, en menor grado, de elementos mecánicos para remover contaminantes de las aguas residuales, son capaces de llevar a cabo niveles de remoción comparables a la más avanzada tecnología de tratamiento de agua residual; también, un control de la contaminación del agua, constituyen un mecanismo adicional para la recuperación y reúso, proporcionando beneficios adicionales, tales como aprovechamiento de nutrientes para la producción de cosechas.

La utilización de sistemas naturales puede reducir costos, energía y complejidad de operación (Sherwood, 1995), para riego de jardines, campos, etc.

La aplicación de aguas residuales en el suelo se ha practicado de diversos modos: irrigación de cosechas y sitios para recreo, como proceso de tratamiento con colección y descarga de agua tratada, descarga indirecta al agua superficial y aplicación directa a la superficie del suelo. Es posible modificar cualquiera de las prácticas anteriores con el fin de lograr objetivos específicos (EPA, 1977).

Los sistemas de tratamiento de aguas residuales por aplicación en el suelo más utilizados son: 1) infiltración lenta (irrigación), 2) infiltración rápida y 3) flujo superficial. En menor escala de uso se encuentran: 4) aplicación a «tierras húmedas» y 5) aplicación subsuperficial (EPA, 1977), dentro de la cual están los pozos de absorción, solución considerada como muy efectiva, ya que no se dirigen los efluentes hacia ningún cuerpo de agua superficial y reabasteciendo los acuíferos.

2.1.1. Situación de las aguas residuales en Latinoamérica

De acuerdo al Banco Mundial, más de 300 millones de habitantes de ciudades en Latinoamérica producen 225 000 toneladas de residuos sólidos cada día. Sin embargo, menos del 5 por ciento de las aguas de alcantarillado de las ciudades reciben tratamiento (ver www.esd.worldbank.org o <http://vbln0018.worldbank.org/external/lac/lac.nsf>). Con la ausencia de tratamiento, las aguas negras son por lo general vertidas en aguas superficiales, creando un riesgo obvio para la salud humana, la ecología y los animales.

En Latinoamérica, muchas corrientes son receptoras de descargas directas de residuos domésticos e industriales. La contaminación del suelo ocurre tanto en áreas urbanas como rurales. Conteniendo 40 por ciento de las

especies tropicales de plantas y animales del mundo, y 36 por ciento de las especies cultivadas de alimentos y productos industriales, la región presenta intenso interés en la preservación y protección del medio ambiente, sin mencionar una preocupación por la salud humana.

De 1950 a 1995, la población de Latinoamérica aumentó de 179 millones a 481 millones de habitantes, lo cual correspondió con una carga mayor sobre la infraestructura existente y un aumento en la producción de residuos domésticos. De igual manera, la tendencia de aumento en la población seguirá durante las próximas décadas, al igual que las presiones sobre la infraestructura. Para 1995, se estimó que el porcentaje de latinoamericanos que contaban con instalaciones para el desecho de aguas residuales incluía 69 por ciento de la población total (80 por ciento urbana; 40 por ciento rural).

Aunque, como promedio, 80 por ciento de la población urbana de Latinoamérica tiene acceso a servicios de recolección de aguas de alcantarillado, existe una gran variación entre los países (ver tabla 1 de los Anexos). La mayor parte de las aguas negras no han recibido tratamiento. Aún en las grandes ciudades de Latinoamérica como la Ciudad de México y São Paulo-Santos, las aguas se encuentran a menudo altamente contaminadas y carecen de infraestructura de saneamiento para tratar los residuos peligrosos.

Es difícil generalizar acerca de cualquier condición en Latinoamérica, debido a la diversidad económica, social y ambiental de la región, tanto entre país y país como dentro de una misma nación. Una gran inquietud, es la gente pobre que vive en áreas urbanas y habita en colonias y áreas que no son adecuadas para el desarrollo (como laderas empinadas de cerros, pantanos, y planicies propensas a inundaciones). En Latinoamérica, existe una división

marcada entre las poblaciones de escasos recursos y las de altos ingresos, con respecto al acceso a los servicios de saneamiento.

Aproximadamente 18 por ciento de la población de escasos recursos cuenta con agua de tubería en sus casas, comparado con 80 por ciento de la población de altos ingresos. Las personas de escasos recursos se encuentran más susceptibles a las enfermedades y potencialmente están menos conscientes de cómo mantener las condiciones salubres, lo cual lleva a una mayor propagación de enfermedades en la población general.

2.2. Tratamiento de aguas residuales

En Guatemala casi la totalidad de las aguas residuales procedentes de los sistemas de alcantarillado (en la mayoría de los casos) son depositadas directamente en los cuerpos receptores. Dicha situación es un serio problema para el medio ambiente y la salud de la población. Dicha problemática lleva a que se formule la compleja pregunta acerca de que contaminantes contenidos en las aguas residuales y a qué nivel deben de ser eliminados de cara a los problemas antes mencionados, la respuesta de dicha interrogante debe de ser específica en cada caso concreto.

Para darle respuesta a dicha interrogante, es preciso analizar las condiciones y necesidades locales en cada caso y aplicar tanto los conocimientos científicos como la experiencia previa de ingeniería respetando las leyes y normas reguladoras de la calidad del agua vigentes en el país.

2.2.1. Base teórica de los sistemas de aguas residuales

El tratamiento de aguas residuales (o agua servida, doméstica, etc.), incorpora procesos físicos químicos y biológicos, que tratan y remueven contaminantes físicos, químicos y biológicos introducidos por el uso humano cotidiano del agua. El objetivo del tratamiento es producir agua limpia inofensiva (efluente tratado), reutilizable al ambiente, y un residuo sólido o lodo que con un proceso adecuado sirve como fertilizante orgánico para la agricultura o jardinería.

Las aguas residuales pueden ser tratadas dentro del terreno mediante: tanques sépticos u otros medios de depuración y en caso de zonas comunales, éstas son llevadas mediante una red de tuberías y eventualmente pueden utilizar bombas para ser trasladados a una planta de tratamiento municipal. Los esfuerzos para coleccionar y tratar las aguas residuales domésticas de la descarga están típicamente sujetos a regulaciones locales y sectoriales (regulaciones y controles).

Estos procesos de tratamiento son típicamente referidos a un:

- Tratamiento primario: es para reducir aceites, grasas, arenas y sólidos gruesos; es decir el proceso de asentamiento de los sólidos. Este paso está enteramente hecho con maquinaria, por esa razón es conocido también como tratamiento mecánico.
- Tratamiento secundario: es aquel en el que se degrada el contenido biológico de las aguas residuales que se derivan desperdicios generados por el hombre (desechos fecales, orines, residuos de comida, jabones y

detergentes); es decir, el tratamiento biológico de sólidos flotantes y sedimentados.

- Tratamiento terciario: etapa final que permite aumentar la calidad del efluente al estándar requerido antes de que éste sea descargado al ambiente receptor (mar, río, lago, campo, etc.); es decir, son pasos adicionales al tratamiento (micro-filtración o desinfección). Se puede utilizar más de un proceso terciario de tratamiento en una planta de tratamiento. Si la desinfección se practica siempre en el proceso final, este proceso se denomina pulir el efluente.

Las materias de desecho se desplazan del agua que las transporta de diferentes maneras. En las plantas para tratamientos de aguas cloacales de tamaño regular son comunes los siguientes procesos y dispositivos:

- La materia voluminosa flotante y suspendida se mueve por colados mediante rejillas y cribas: las rejillas y cribas cortantes trituran los materiales cribados en el lugar mismo de su separación y los reintegran a las aguas residuales.
- El aceite y grasa se desnatán después de ascender durante reposo: los tanques de flotación producen las natas o espumas.
- Las materias pesadas y gruesas suspendidas formadas por el proceso en reactores se dejan sedimentar en el fondo de cámaras de reposo: cámaras de serradoras, tanques para detritos, tanques de sedimentación, que producen arena y lodos.

- Las materias suspendidas no sedimentables y algunos sólidos disueltos se convierten en sólidos sedimentables susceptibles de asentamiento por floculación y precipitación mediante el uso de productos químicos: los tanques de floculación química o de precipitación, que producen los lodos precipitados.
- La materia orgánica coloidal es convertida en sustancia celular sedimentable mediante crecimientos biológicos o lodos. Las masas de células vivientes que pululan en los lodos utilizan las materias residuales para su crecimiento y energía. Para que las masas biológicas permanezcan activas y aerobias, se les provee de aire. Se les soporta ya sea sobre lechos de material granular, tales como piedra triturada, sobre los que las aguas cloacales se percuelan más o menos continuamente, o se generan en las aguas residuales fluyentes, se retornan a éstas en las cantidades convenientes y se mantienen en suspensión, agitando la solución mezclada, mediante aire o mecánicamente a través de filtros percoladores y tanques de lodo activado, que producen humus de un exceso de estos lodos activados.
- Algunas bacterias patógenas y otros organismos se remueven de las aguas cloacales junto con los sólidos en que están embebidas o a los que se adhieren. Otras mueren, porque el medio ambiente impuesto es desfavorable. Se obtiene una destrucción más completa y directa por desinfección, al incluir unidades de cloración.

Figura 5. **Tratamiento de aguas residuales**



Fuente: Plan Nacional De Calidad Turística del Perú – CALTUR, 2008.

2.2.2. **Origen de las aguas residuales y de los desechos**

Las aguas residuales pueden ser originadas por:

- Desechos humanos y animales
- Desperdicios caseros
 - Corrientes pluviales
 - Infiltraciones de aguas subterráneas
 - Desechos Industriales.

El alcantarillado sanitario es una red de tuberías que conduce las aguas usadas hasta una planta de tratamiento. Todo lugar o población dotados de suministro de agua, cualquiera que fuese su procedencia, requiere de un sistema de desagüe. Estos sistemas de desagüe están clasificados dependiendo de su procedencia y se clasifican en desagües para edificaciones, pozos sépticos y alcantarillados.

Las obras de alcantarillado de aguas residuales incluyen todas las estructuras físicas requeridas para la recolección, tratamiento y disposición final de las aguas grises y negras. El agua residual consistente en aguas grises, es el residuo líquido transportado por una alcantarilla, el cual puede incluir cargas domésticas tales como aguas de desecho provenientes de lavamanos, tinas de baño, duchas, lavaplatos, y otros artefactos. Las aguas negras son las que contienen materias fecales y aguas industriales. El alcantarillado pluvial es el que conduce aguas de lluvia.

La clasificación de las aguas residuales se hace con respecto a su origen, ya que este origen es el que va a determinar su composición. Las aguas residuales urbanas, son los vertidos que se generan en los núcleos de población urbana como consecuencia de las actividades propias de éstos. Los aportes que generan esta agua son:

- Aguas residuales fecales o negras
- Aguas de lavado doméstico o grises
- Aguas provenientes del sistema de drenaje de calles y avenidas (Aguas pluviales)
- Aguas de lluvia y lixiviados (aguas pluviales)

Las aguas residuales urbanas presentan una cierta homogeneidad en cuanto a composición y carga contaminante, ya que sus aportes van a ser siempre los mismos. Pero esta homogeneidad tiene unos márgenes muy amplios, ya que las características de cada vertido urbano van a depender del núcleo de población en el que se genere, influyendo parámetros tales como el número de habitantes, la existencia de industrias dentro del núcleo, tipo de industria, así como el tipo de alimentación, etc.

2.2.3. Características de las aguas residuales

Las aguas residuales estancadas son líquidos turbios que contienen material sólido en suspensión. Cuando son frescas, su color es gris y tienen un olor a moho no desagradable. Flotan en ella cantidades variables de materia: sustancias fecales, trozos de alimentos, basura, papel, astillas y otros residuos de las actividades cotidianas de los habitantes de una comunidad. Con el transcurso del tiempo, el color cambia gradualmente del gris al negro, desarrollándose un olor ofensivo y desagradable; y sólidos negros aparecen flotando en la superficie o en todo el líquido. En este estado se denominan aguas residuales.

Las aguas residuales se componen de agua, de los sólidos disueltos en ella y de los sólidos suspendidos en la misma. La cantidad de sólidos es generalmente muy pequeña, casi siempre menos de 0,1 por ciento en su peso, pero es la fracción que presenta el mayor problema para su tratamiento y disposición adecuada. El agua provee solamente el volumen y es el vehículo para el transporte de los sólidos.

El conocimiento de las características de las aguas residuales es fundamental para su tratamiento y evacuación. Dichas características son las siguientes:

- Características físicas
- Características biológicas
- Características químicas

2.2.3.1. Características físicas

El término agua residual define un tipo de agua que está contaminada con sustancias fecales y orina, procedentes de desechos orgánicos humanos o animales. Su importancia es tal que requiere sistemas de canalización, tratamiento y desalojo. Su tratamiento nulo o indebido genera graves problemas de contaminación. Las características físicas más importantes del agua residual son:

2.2.3.1.1. Contenido total de sólidos

Analíticamente, se definirá al contenido total de sólidos como: la materia que se obtiene como residuo de someter al agua a un proceso de evaporación entre 103 grados centígrados y 105 grados centígrados, no se considera como sólida aquella materia que se pierde durante la evaporación debido a su alta presión de vapor. Los sólidos totales o residuos de evaporación pueden clasificarse en filtrables o no filtrables (sólidos en suspensión) haciendo pasar un volumen conocido de líquido por un filtro, la fracción filtrable de los sólidos corresponden a sólidos coloidales y disueltos. La fracción coloidal está compuesta por partículas de materia de tamaños entre 0,0001 y 1 micrómetro.

Los sólidos sedimentables son aquellos que sedimentan en el fondo de un recipiente de forma cónica (cono Imhoff) en el transcurso de un período de 60 minutos. Los sólidos sedimentables, expresados en unidades de mililitros por litro constituyen una medida aproximada de la cantidad de fango que se obtendrá en la decantación primaria del agua residual.

Los sólidos disueltos están compuestos de moléculas orgánicas e inorgánicas e iones en disolución en el agua. (No es posible eliminar la fracción coloidal por sedimentación normalmente, para la eliminación de dicha fracción es necesaria la oxidación biológica o coagulación complementadas con sedimentación).

2.2.3.1.2. Olores

Normalmente los olores son originados por los gases liberados durante el proceso de descomposición de la materia orgánica. El agua residual reciente presenta un olor característico, algo desagradable, que resulta más tolerable que el olor producido por el agua residual séptica. El olor más característico del agua residual séptica, es el debido a la presencia del sulfuro de hidrógeno que se produce al reducirse los sulfatos a sulfitos por acción de microorganismos anaerobios.

La problemática de los olores está considerada como la principal causa de ataque y de rechazo a la implantación de instalaciones de tratamiento de aguas residuales. Es por lo que dicho aspecto es de gran importancia en el diseño y proyecto de redes de alcantarillado y planta de tratamiento. A bajas concentraciones, la influencia de los olores sobre el normal desarrollo de la vida humana tiene más importancia por la tensión psicológica que produce, que por el daño que pueda producir al organismo, los malos olores pueden reducir el

apetito, inducir al organismo a menores consumos de agua, producir nauseas y vómitos. Por lo que es conveniente estudiar sus efectos, como se detectan y caracterizarlos y medirlos.

2.2.3.1.3. Temperatura

La temperatura del agua residual suele ser siempre más elevada que la del agua de abastecimiento debido a la incorporación de agua caliente procedente de las casas y de los diferentes usos industriales, así como del contenido de éstas.

La temperatura del agua es un parámetro muy importante dada su influencia, tanto sobre el desarrollo de la vida acuática como sobre las relaciones químicas y velocidades de reacción, así como la aptitud del agua para usos útiles. Por otro lado, el oxígeno es menos soluble en el agua caliente que en el agua fría. Por lo tanto es preciso tener en cuenta que un cambio brusco de temperatura puede provocar un aumento en la mortalidad de la vida acuática además las temperaturas normalmente elevadas pueden dar lugar a una indeseada proliferación de plantas acuáticas y hongos.

La temperatura óptima para el desarrollo de la actividad bacteriana se sitúa entre los 25 y los 35 grados centígrados. Los procesos de digestión aerobia y de nitrificación se detienen cuando alcanzan los 50 grados centígrados. A temperaturas de alrededor de 15 grados centígrados las bacterias productoras de metano cesan su actividad.

2.2.3.1.4. Densidad

Se define la densidad de un agua residual como su masa por unidad de volumen, expresada comúnmente en kilogramos por metro cúbico, es una característica física del agua residual dado de que de ella depende la potencial formación de corrientes de densidad en fangos de sedimentación.

2.2.3.1.5. Color

Se utiliza para determinar la edad del agua residual que puede ser determinada dependiendo del color que tenga, por ejemplo, el agua residual reciente suele tener un color grisáceo, sin embargo, al aumentar el tiempo de transporte en la red de alcantarillado y al desarrollarse condiciones más próximas a las anaerobias el color del agua residual cambia de gris a gris oscuro o negro; llegado este punto suele clasificarse el agua residual como séptica.

2.2.3.1.6. Turbiedad

Ésta se utiliza como medida de las propiedades de transmisión de la luz de un agua; también es utilizada para indicar la calidad de las aguas vertidas en relación con la materia coloidal y residual en suspensión. Aun así no es posible afirmar que exista una relación entre la turbiedad y la concentración de sólidos en suspensión de agua no tratada pero si la hay en el caso de efluentes procedentes de la decantación secundaria en el proceso de fangos activados.

2.2.3.2. Características químicas

En el estudio de las características químicas de las aguas residuales se abordan las siguientes:

2.2.3.2.1. Materia orgánica

Cerca del 75 por ciento de los sólidos en suspensión y del 40 por ciento de los sólidos filtrables de un agua residual de concentración media son de naturaleza orgánica. Son sólidos que provienen de los reinos animal y vegetal así como de actividades humanas con la síntesis de compuestos orgánicos. Los compuestos orgánicos están compuestos normalmente por combinaciones de carbono, hidrógeno y oxígeno con la presencia en determinados casos de nitrógeno también pueden estar presentes elementos como el azufre, fósforo o hierro.

2.2.3.2.2. Grasas, grasas animales y aceites

Las grasas animales y los aceites son el tercer componente, en importancia, de los alimentos. El término grasa, de uso extendido, es muy usado para referirse a aceites, grasas, ceras y otros constituyentes similares encontrados en las aguas residuales. El contenido de grasas y aceites en aguas residuales se determina por extracción de la muestra de residuo con triclorotrifluoroetano, ya que las grasas y aceites son solubles en éste. Otras sustancias pueden ser extraídas por este método, como algunos derivados del petróleo, entre ellos kerosene, aceites lubricantes y aceites de materiales bituminosos empleados en la construcción de firmes de carreteras.

En términos químicos, las grasas y aceites de origen vegetal o animal son similares, pues básicamente son ésteres compuestos de ácidos grasos, alcohol y glicerol (glicerina). De estos triglicéridos, aquellos que se encuentran en estado líquido a temperatura ambiente se denominan aceites, mientras que los que se presentan en estado sólido reciben el nombre de grasas. Químicamente son muy parecidos, y están compuestos por carbono, oxígeno e hidrógeno en diferentes proporciones. Las grasas y aceites animales alcanzan las aguas residuales en forma de mantequilla, manteca de cerdo, margarina y aceites y grasas vegetales. Las grasas provienen habitualmente de carnes, gérmenes de cereales, semillas, nueces y ciertas frutas.

2.2.3.2.3. Medida del contenido orgánico

A lo largo de los años, se han ido desarrollando diferentes ensayos para la determinación del contenido orgánico de las aguas residuales. En general, los diferentes métodos pueden clasificarse en dos grupos, los empleados para determinar altas concentraciones de contenido orgánico, mayores de 1 miligramo por litro, y los empleados para determinar las concentraciones a nivel de traza, para concentraciones en el intervalo de 0,001 miligramo por litro a 1 miligramo. El primer grupo incluye los siguientes ensayos de laboratorio:

- Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO): el parámetro de contaminación orgánica más ampliamente empleado, aplicable tanto a aguas residuales como a aguas superficiales, es la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO) a 5 días. La determinación de la misma está relacionada con la medición del oxígeno disuelto que consumen los microorganismos en el proceso de oxidación bioquímica de la materia orgánica.

A pesar de lo extendido del uso del ensayo de la DBO, está sujeto a ciertas limitaciones. Entonces, a qué se debe que se le dedique tanta atención si el análisis está sujeto a serias limitaciones. La explicación se basa en que los resultados de los ensayos de DBO se emplean para:

- Determinar la cantidad aproximada de oxígeno que se requerirá para estabilizar biológicamente la materia orgánica presente.
 - Dimensionar las instalaciones de tratamiento de aguas residuales.
 - Medir la eficacia de algunos procesos de tratamiento.
 - Controlar el cumplimiento de las limitaciones a que están sujetos.
- Demanda Química de Oxígeno (DQO): el ensayo de la DQO se emplea para la medición de la materia orgánica presente en aguas residuales tanto industrial como residencial que contengan compuesto tóxico para la vida biológica. La DQO de un agua residual suele ser mayor que su correspondiente DBO, siendo esto debido al mayor número de compuestos cuya oxidación tiene lugar por vía química frente a los que se oxidan por vía biológica. En muchos tipos de agua residuales es posible establecer una relación entre los valores de la DBO y DQO.

Ello puede resultar de gran utilidad dado que es posible determinar la DQO en un tiempo de 3 horas, frente a los 5 días necesarios para determinar la DBO. Una vez establecida la correlación entre ambos parámetros, pueden emplearse las medidas de la DQO para el funcionamiento y control de las plantas de tratamiento.

- Carbono orgánico total (COT): otro método para medir la materia orgánica presente en el agua es el método COT, especialmente indicado para pequeñas concentraciones de materia orgánica. El ensayo se lleva a cabo inyectando una cantidad conocida de la muestra en un horno a alta temperatura o en un medio químicamente oxidante. En presencia de un catalizador, el carbono orgánico se oxida a anhídrido carbónico, la producción del cual se mide cuantitativamente con un analizador de infrarrojos.

2.2.3.2.4. Potencial hidrógeno (pH)

La concentración de ion hidrógeno es un parámetro de calidad de gran importancia tanto para el caso de aguas naturales como residuales. El intervalo de concentraciones adecuado para la adecuada proliferación y desarrollo de la mayor parte de la vida biológica es bastante estrecho y crítico. El agua residual con concentraciones de ion hidrógeno inadecuadas presenta dificultades de tratamiento con procesos biológicos, y el efluente puede modificar la concentración de ion hidrógeno en las aguas naturales si ésta no se modifica antes de la evacuación de las aguas, que la masa de agua receptora está siendo utilizada para el vertido de aguas residuales.

2.2.3.2.5. Alcalinidad

La alcalinidad de un agua residual está provocada por la presencia de hidróxidos, carbonatos y bicarbonatos de elementos como el calcio, el magnesio, el sodio, el potasio o el amoníaco. De entre todos ellos, los más comunes son el bicarbonato de calcio y el bicarbonato de magnesio. La alcalinidad ayuda a regular los cambios del pH producido por la adición de ácidos. Normalmente, el agua residual es alcalina, propiedad que adquiere de

las aguas de tratamiento, el agua subterránea, y los materiales añadidos en los usos domésticos.

La alcalinidad se determina por titulación con un ácido normalizado, expresándose los resultados en carbonato de calcio, CaCO. La concentración de alcalinidad en un agua residual es importante en aquellos casos en los que empleen tratamientos químicos

2.2.3.2.6. Nitrógeno

Los elementos nitrógeno y fósforo son esenciales para el crecimiento de protistas y plantas, razón por la cual reciben el nombre de nutrientes o bioestimuladores. Trazas de otros elementos, tales como el hierro, son necesarias para el crecimiento biológico. No obstante, el nitrógeno y el fósforo son, en la mayoría de los casos, los principales elementos nutritivos.

Puesto que el nitrógeno es absolutamente básico para la síntesis de proteínas, será preciso conocer datos sobre la presencia del mismo en las aguas, y en qué cantidades, para valorar la posibilidad de tratamiento de las aguas residuales domésticas e industriales mediante procesos biológicos. Cuando el contenido de nitrógeno sea insuficiente, será preciso añadirlo para hacer tratable el agua residual.

2.2.3.2.7. Fósforo

El fósforo también es esencial para el crecimiento de algas y otros organismos biológicos. Debido a que en aguas superficiales tienen lugar nocivas proliferaciones incontroladas de algas, actualmente existe mucho interés en limitar la cantidad de compuestos de fósforo que alcanzan las aguas

superficiales por medio de vertidos de aguas residuales domésticas, industriales, y a través de las escorrentías naturales.

2.2.3.2.8. Azufre

El Ion sulfato se encuentra, de forma natural, tanto en la mayoría de las aguas de abastecimiento como en el agua residual. Para la síntesis de proteínas, es necesario disponer de azufre, elemento que posteriormente será liberado en el proceso de degradación de las mismas. Los sulfatos se reducen químicamente a sulfuros y a sulfuros de hidrógeno (H bajo la acción bacteriana en condiciones anaerobias).

2.2.3.2.9. Compuestos tóxicos inorgánicos

Algunos cationes son de gran importancia de cara al tratamiento y evacuación de aguas residuales. Muchos de dichos compuestos están clasificados como contaminantes prioritarios el cobre, el plomo, la plata, el cromo, el arsénico y el boro son tóxicos en mayor o menor grado para los microorganismos, razón por la cual deben ser considerados en el proyecto de plantas de tratamiento biológico.

2.2.3.2.10. Metales pesados

Como constituyentes importantes de muchas aguas, también se encuentran cantidades, a nivel de traza, de muchos metales. Entre ellos se destacan el níquel (Ni), el manganeso (Mn), el plomo (Pb), el cromo (Cr), el cadmio (Cd), el cinc (Zn), el cobre (Cu), el hierro (Fe) y el mercurio (Hg). Muchos de estos metales también están catalogados como contaminantes

prioritarios. Algunos de ellos son imprescindibles para el normal desarrollo de la vida biológica, y la ausencia de cantidades suficientes de ellos podría limitar el crecimiento de las algas, por ejemplo.

Debido a su toxicidad, la presencia de cualquiera de ellos en cantidades excesivas interferirá con gran número de los usos del agua. Es por ello que, a menudo, resulta conveniente medir y controlar las concentraciones de dichas sustancias, especialmente cuando realiza un tratamiento para desechos industriales.

2.2.3.2.11. Gases

Los gases que con mayor frecuencia se encuentran en aguas residuales brutas son el nitrógeno (N), el oxígeno, el dióxido de carbono, el sulfuro de hidrógeno, el amoníaco y el metano. Los tres primeros son gases de común presencia en la atmósfera, y se encuentran en todas las aguas en contacto con la misma. Los tres últimos proceden de la descomposición de la materia orgánica presente en las aguas residuales.

2.2.3.2.12. Oxígeno disuelto

El oxígeno disuelto es necesario para la respiración de los microorganismos aerobios, así como para otras formas de vida. Sin embargo, el oxígeno es sólo ligeramente soluble en agua. La cantidad real de oxígeno y otros gases que puede estar presente en la solución, viene condicionada por los siguientes aspectos:

- Solubilidad del gas
- Presión parcial del gas en la atmósfera

- Temperatura
- Pureza del agua
- Salinidad
- Sólidos en suspensión

Debido a que la velocidad de las reacciones bioquímicas que consumen oxígeno aumenta con la temperatura, los niveles de oxígeno disuelto tienden a ser más críticos en las épocas estivales.

El problema se agrava en los meses de verano, debido a que el caudal de los cursos de agua es generalmente menor, razón por la cual la cantidad total de oxígeno disponible es también menor. Dado que evita la formación de olores desagradables en las aguas residuales, es deseable y conveniente disponer de cantidades suficientes de oxígeno disuelto.

2.2.3.2.13. Sulfuro de hidrógeno

Como ya se ha comentado anteriormente, el sulfuro de hidrógeno se forma durante el proceso de descomposición de la materia orgánica que contiene azufre, o en la reducción de sulfitos y sulfatos minerales, mientras que su formación queda inhibida en presencia de grandes cantidades de oxígeno. Es un gas incoloro, inflamable, con un olor típicamente característico que recuerda al de huevos podridos. El ennegrecimiento del agua residual y del fango se debe, generalmente, a la formación de sulfuro de hidrógeno que se combina con el hierro presente para formar sulfuro ferroso u otros sulfuros metálicos.

2.2.3.2.14. Metano

El principal subproducto de la descomposición anaerobia de la materia orgánica del agua residual es el gas metano. El metano es un hidrocarburo combustible de alto valor energético, incoloro e inodoro. Normalmente, no se encuentra en grandes cantidades en el agua residual, puesto que incluso pequeñas cantidades de oxígeno tienden a ser tóxicas para los organismos responsables de la producción del metano. No obstante, en ocasiones, se produce metano como resultado de un proceso de descomposición.

2.2.3.3. Características biológicas

Al hablar de las características biológicas de las aguas residuales se debe estar familiarizado con los siguientes temas: (1) principales grupos de microorganismos biológicos presentes, tanto en aguas superficiales como residuales, así como aquellos que intervienen en los tratamientos biológicos; (2) organismos patógenos presentes en las aguas residuales; (3) organismos utilizados como indicadores de contaminación y su importancia; (4) métodos empleados para determinar los organismos indicadores, y (5) métodos empleados para determinar la toxicidad de las aguas tratadas.

2.2.3.3.1. Microorganismos

Los principales grupos de organismos presentes tanto en aguas residuales como superficiales se clasifican en organismos eucariotas, eubacterias y arqueobacterias la mayoría de los organismos pertenecen al grupo de las eubacterias. La categoría protista, dentro de los organismos eucariotas, incluye las algas, los hongos y los protozoos. Las plantas tales como los helechos, los

musgos, las plantas hepáticas y las plantas de semilla están clasificadas como eucariotas multicelulares.

2.2.3.3.2. Bacterias

Las bacterias se pueden clasificar como eubacterias procariotas unicelulares. En función de su forma, las bacterias pueden clasificarse en cuatro grandes grupos:

- Esferoidales
- Bastón
- Bastón curvado
- Filamentosas

Las bacterias esferoidales, que reciben el nombre de cocos, tienen un diámetro aproximado de entre 1 y 3 micras. Las bacterias de forma de bastón, conocidas como bacilos, tienen tamaños muy variables, entre 0,5 y 2 micras de ancho por entre 1 y 10 micras de largo. Los *Escherichia coli*, organismo común en heces humanas, miden del orden de 0,5 micras de ancho por 2 micras de largo. Las bacterias del tipo de bastón curvado tienen dimensiones que pueden variar entre 0,6 y 1,0 micras de ancho por entre 2 y 6 micras de longitud. Las bacterias con forma de espiral pueden alcanzar longitudes del orden de las 50 micras, mientras que las filamentosas pueden llegar a superar las 100 micras.

2.2.3.3.3. Hongos

Los hongos son protistas eucariotas aerobios, multicelulares, no fotosintéticos y quimioheterótrofos. Muchos de los hongos son saprófitos; basan su alimentación en materia orgánica muerta. Juntos con las bacterias, los

hongos son los principales responsables de la descomposición del carbono en la biosfera. Desde el punto de vista ecológico, los hongos presentan ciertas ventajas sobre las bacterias: pueden crecer y desarrollarse en zonas de baja humedad y en ámbitos con pH bajos. Sin la colaboración de los hongos en los procesos de degradación de la materia orgánica el ciclo del carbono se interrumpiría en poco tiempo, y la materia orgánica empezaría a acumularse.

2.2.3.3.4. Algas

Las algas pueden presentar serios inconvenientes en las aguas superficiales, puesto que pueden reproducirse rápidamente cuando las condiciones son favorables. Este fenómeno, que se conoce con el nombre de crecimiento explosivo, puede conducir a que ríos, lagos y embalses sean cubiertos por grandes colonias flotantes de algas. Los crecimientos explosivos son característicos de los llamados lagos eutróficos, que son lagos con gran contenido en compuestos necesarios para el crecimiento biológico.

2.2.3.3.5. Protozoos

Los protozoos son microorganismos eucariotas cuya estructura está formada por una sola célula abierta. La mayoría de los protozoos son aerobios o facultativamente quimioheterótrofos anaeróbicos, aunque se conocen algunos anaerobios. Los protozoos de importancia para el ingeniero sanitario son las amebas, los flagelados y los ciliados libres y fijos. Los protozoos se alimentan de bacterias y otros microorganismos microscópicos. Tienen una importancia capital, tanto en el funcionamiento de los tratamientos biológicos como en la purificación de cursos de agua ya que son capaces de mantener el equilibrio natural entre los diferentes tipos de microorganismos. Ciertos protozoos son también patógenos.

2.2.3.3.6. Plantas y animales

Las diferentes plantas y animales que tienen importancia para el ingeniero sanitario, tienen tamaños muy variados: desde los gusanos y rotíferos microscópicos hasta crustáceos macroscópicos. El conocimiento de estos organismos resulta útil a la hora de valorar el estado de lagos y corrientes, al determinar la toxicidad de las aguas residuales evacuadas al medio ambiente y a la hora de determinar la efectividad de la vida biológica en los tratamientos secundarios empleados para destruir los residuos orgánicos.

2.2.3.3.7. Virus

Los virus son partículas parasíticas formadas por un cordón de material genético ácido desoxirribonucleico (ADN) o ácido ribonucleico (RNA) con una capa de recubrimiento proteínico. No tienen capacidad para sintetizar compuestos nuevos. En lugar de ello, invaden las células del cuerpo vivo que los acoge y reconducen la actividad celular hacia la producción de nuevas partículas virales a costa de las células originales.

Cuando muere la célula original, se liberan gran cantidad de virus que infectarán células próximas. Los virus excretados por los seres humanos pueden representar un importante peligro para la salud pública. Por ejemplo, a partir de datos experimentales, se ha podido comprobar que cada gramo de heces de un paciente con hepatitis contiene entre 10 000 y 100 000 dosis de virus hepático.

2.2.3.3.8. Organismos patógenos

Los organismos patógenos que se encuentran en las aguas residuales pueden proceder de desechos humanos que estén infectados o que sean portadores de una determinada enfermedad.

Los organismos bacterianos patógenos que pueden ser excretados por el hombre causan enfermedades del aparato intestinal como la fiebre tifoidea y paratifoidea, la disentería, diarreas y cólera.

2.2.4. Evacuación de las aguas residuales

El sistema de arrastre por agua proveniente del alcantarillado es un procedimiento sencillo y económico de remover de las habitaciones y de la industria. Luego del haber recibido el tratamiento adecuado, el efluente proveniente del sistema de tratamiento necesita ser encauzado. Los residuos desagradables a la vista, putrescibles y peligrosos ya han sido eliminados en su gran mayoría. Sin embargo, concentra los peligros y molestias potenciales al término del sistema colector.

Si es que los ríos y canales, estanque y lagos, así como los estuarios de mareas y aguas costeras no han de alcanzar una fuerte polución, la carga impuesta sobre el agua que la transporta debe ser descargada antes de su evacuación a las masas receptoras de agua. Como se indicó previamente, pero bajo una connotación algo distinta, la descarga se asigna a las plantas de tratamiento de aguas cloacales para prevenir:

- La contaminación de los abastecimientos de agua, balnearios, bancos ostrícolas, y suministros de hielo.

- La polución de las aguas receptoras, desagradables a la vista y al olfato y que eutrofizará los estanques y lagos.
- Destrucción de los peces alimenticios y otra manifestación de vida acuática.
- Otros deméritos de la utilidad de las aguas naturales, para fines recreativos, comerciales e industriales.

El grado de tratamiento requerido antes de la descarga dependerá de la naturaleza y la cantidad de agua receptora, así como de la economía regional de agua.

2.2.4.1. Evacuación de aguas luego de tratamiento primario

Para el tratamiento secundario de las aguas residuales provenientes de una fosa séptica o de un tanque Imhoff, se procede a dirigir el efluente para ser sometido a un proceso de geodepuración, es decir, someterlo a un conjunto de procesos mediante los cuales los contaminantes aún presentes en el agua residual son eliminados, inactivados o inmovilizados al ponerse en contacto con un medio natural, como es el suelo.

Bajo la denominación de sistema natural de depuración se engloban aquellos procedimientos o técnicas en los que la eliminación de las sustancias contaminantes presentes en las aguas residuales urbanas se produce por componentes del medio natural, no empleándose en el proceso ningún tipo de aditivo químico. Habitualmente se diferencian dos grandes grupos de técnicas de depuración natural: los métodos de tratamiento mediante aplicación del agua residual al terreno, y los sistemas acuáticos. En todos ellos, el efecto depurador se debe a la acción combinada de la vegetación, del suelo y de los

microorganismos presentes en ambos, y en menor medida, a la acción de plantas y animales superiores.

Entre los métodos de tratamiento en el terreno se incluyen habitualmente los siguientes tipos:

- Filtro verde
- Infiltración

El rasgo común a todos ellos es que la depuración se consigue a través de los procesos físicos, químicos y biológicos naturales, desarrollados en un sistema planta–suelo–agua. El avance en el conocimiento de los mecanismos de dichos procesos ha permitido desarrollar criterios científicos de diseño y operación para estos sistemas de depuración.

El filtro verde consiste básicamente en la aplicación de un caudal controlado de agua residual sobre la superficie del terreno, donde previamente se ha instalado una masa forestal o un cultivo. Con ello se consigue, además de la depuración del efluente, el crecimiento de especies vegetales, generalmente arbóreas maderables, y la recarga artificial del acuífero.

La depuración se realiza mediante la acción conjunta del suelo, los microorganismos y las plantas por medio de una triple acción: física (filtración), química (intercambio iónico, precipitación y coprecipitación, fenómenos de óxido-reducción) y biológica (degradación de la materia orgánica); tiene lugar en los horizontes superiores del terreno, donde se encuentra una capa biológica activa.

En el siguiente apartado se describe el tema de los suelos y su relación con la depuración del efluente proveniente del tratamiento primario y la infiltración y su relación con la recarga artificial de acuíferos.

2.3. Tipos de suelos

El suelo es un producto de la naturaleza, a partir de materiales inorgánicos traídos por el viento, agua o deshielo; pero es soporte o portador de vida ya que en el suelo existe vida como microbios, hongos, algas e insectos; así se formaron proteínas, grasas, azúcares en las capas superficiales, es decir, sustancias orgánicas.

La constitución del suelo está generalmente constituida por material orgánico, aire y agua, y a su vez se compone de sólidos y de poros.

Tabla V. **Constitución del suelo**

COMPONENTES	PORCENTAJE (%)
Material orgánico	54
Aire	22
Agua	22
Materia orgánica	2
COMPONENTES	PORCENTAJE (%)
Sólidos	56
Poros	44

Fuente Elaboración propia con base en información del USCS.

En ingeniería y en geología se utiliza el Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (USCS) para describir la textura y el tamaño de las partículas del suelo. Este sistema de clasificación puede ser aplicado a la mayoría de los materiales sin consolidar. Las principales características del suelo son:

- Textura: se refiere a la composición elemental del suelo teniendo en cuenta su granulometría. Según el tamaño de las partículas minerales se clasifican en arena, limo y arcilla.

Tabla VI. **Granulometría de las partículas**

TAMAÑO (MM)	PARTÍCULA	TEXTURA
Mayor a 0,05	Arena gruesa	Arenosa
Menor a 0,05	Arena fina	Arenosa
De 0,002 a 0,05	Limo	Limosa
Menor de 0,002	Arcilla	Arcillosa

Fuente: elaboración propia con base en información del USCS.

La textura condiciona la cantidad y tamaño de los poros y la retención de agua está muy ligada a la textura. Los suelos arenosos por tener poros grandes retienen poco agua, la cual percola hacia el interior del perfil. Condiciona la riqueza en minerales necesarios por la planta, el suelo arcilloso es más rico en elementos minerales (calcio, fósforo, etc). Condiciona el tipo de estructura que se verá en el perfil, el suelo arcilloso tiene una estructura más fuerte, con bordes y aristas filosas.

- Estructura: las partículas del suelo se agrupan formando agregados, la forma en que se disponen estos agregados determinan la estructura. Se pueden encontrar distintos tipos de estructura:
 - Laminar: agregados dispuestos en forma de lámina, tienen alto contenido en limo. Es característico de un lote muy refinado, que recibió una lluvia.
 - Granular: agregados esféricos de 1 centímetro de diámetro aproximadamente, poco porosos. Aparece en horizonte A.

- Migajosa: agregados en forma de miga, bien porosos. Aparece en horizonte A.
 - Bloques angulares: agregados en forma cúbica con ángulos bien marcados. Aparece en horizonte B con bastante arcilla.
 - Bloques subangulares: agregados en forma cúbica con ángulos bordes redondeados. Aparece en horizontes B poco definidos.
 - Prismática: agregados que forman columnas verticales, más largos que anchos, con bordes bien nítidos. Aparece en horizontes B con mucha arcilla.
 - Columnar: bloques con bordes redondeados, más largos que anchos. Aparece en suelos sódicos.
 - Masiva: se caracteriza por la ausencia de poros. Aparece en pisos de arado.
- Color: normalmente un suelo tiende a ser oscuro en superficie y más claro en profundidad. A veces por debajo del horizonte superficial puede aparecer otro más oscuro; ello puede deberse a que el suelo original fue tapado por un nuevo material de color más claro, ejemplo: voladuras o aradas profundas; si es abundante el carbonato de calcio o el cloruro de sodio el color tiende a aclararse.
 - Profundidad del suelo: es importante porque un suelo profundo tiene mayor posibilidad de retener agua y nutrientes que un suelo con tosca. Las plantas tienen distintas exigencias en cuanto a profundidad de enraizamiento, en general, las raíces largas (pivotantes) son más exigentes que las raíces en cabellera, ejemplo: alfalfa comparada con el trigo. Un valor apropiado de profundidad es de 1 a 1,20 metros libres de obstáculos para las raíces.

- Carbonato de calcio: se disuelve muy poco en agua, por lo que en regiones áridas o semiáridas no será lavado por las lluvias, es usual encontrarlo en horizonte A. En regiones de mucha lluvia el carbonato de calcio se irá hacia el fondo del perfil, en consecuencia la profundidad de acumulación es un indicador del grado de evolución del suelo.

- Densidad del suelo: es el peso del volumen del suelo. Hay dos posibilidades:
 - Incluir la tierra con sus poros (densidad “aparente”), los valores pueden oscilar entre 0,60 y 1,80 gramos por centímetro cúbico.
 - Solo considerar el peso de los materiales del suelo (densidad real), los valores pueden oscilar entre 2,60 y 2,70 gramos por centímetro cúbico.

Tabla VII. **Densidad del suelo conforme a su textura**

TEXTURAS	DENSIDAD APARENTE (toneladas por metro cúbico)	PESO DE 1 HA. DE 14 CENTÍMETROS DE ESPESOR (TON)
Muy arenosa	1,6	2240
Franco	1,35	1890
Arcillosa	1,2	1880

Fuente: elaboración propia.

La densidad aparente varía con el manejo; por ejemplo suelos compactados por pisoteo y/o tránsito de maquinarias y subsuelos compactados por labranzas, tendrán mayor densidad que las normales.

- **Reacción:** se refiere a las condiciones de acidez, neutralidad, o alcalinidad que posee el suelo, se cuantifica por medio del pH.

Tabla VIII. **Clasificación del suelo conforme su potencial Hidrógeno (pH)**

SUELO	pH
Alcalino	Mayor de 8,2
Ligeramente alcalino	De 7,2 a 8,2
Neutro	De 6,8 a 7,2
Ligeramente ácido	De 6,8 a 5,5
Ácido	Menor de 5,5

Fuente: elaboración propia.

En los suelos la reacción generalmente es estable, salvo anomalías fluctúa levemente en el tiempo. Pero si interviene el hombre puede modificarla enseguida, generalmente para perjuicio de la tierra. Por ejemplo:

- Regando un suelo no drenado con agua de mala calidad puede alcalinizarse el terreno prontamente.
- La agricultura continua en climas húmedos puede acelerar las pérdidas de calcio, con la consecuente acidificación del terreno.

2.3.1. Textura y clase textural de los suelos

Se llama textura a la composición elemental de una muestra de suelo, definida por las proporciones relativas de sus separados individuales en base a masa (arena, limo y arcilla).

Para determinar la textura se utilizan los triángulos texturales. Los triángulos texturales son utilizados por quienes deben interpretar los resultados provenientes del análisis de laboratorio de suelos. El triángulo utilizado en Chile,

Tabla IX. **Clases texturales de los suelos, con predominancia de una fracción textural**

Suelo arenoso	Suelo limoso	Suelo arcilloso
Presente en abundancia. Partículas gruesas, se puede ver a ojo desnudo y separar con facilidad.	Su rasgo más característico es su suavidad en estado húmedo pero una apariencia de polvo (talco) en estado seco	Con un poco de agua se vuelve jabonoso y resbaladiza.
Al frotar el material entre el dedo índice y el pulgar, se siente su aspereza y tamaño, esta acción cerca del oído es posible escuchar el crepitar de las arenas como resultado de la fricción de las partículas entre sí.	Al apretar limo húmedo entre el pulgar y el índice, se nota como se enrolla al secarse, dejando la piel limpia	Si se manipula y amasa al estado plástico, forma cintas y cilindros finos y firmes.
Se satura con poca cantidad de agua y se seca rápidamente al aire, al secarse, se disgrega fácilmente	Presenta adhesividad y es muy poco plástico	Al manipularlo con algo de agua y estrujarlo, se siente suave y liso, adhiriéndose a la piel a medida que se seca.
Al mezclar con agua un poco de material en la palma de la mano y frotar con el índice de la mano opuesta, es posible diferenciar cantidades pequeñas de arena entre muestras.	No retiene agua por períodos de tiempo prolongados.	Es más adhesivo, cohesivo y plástico que el suelo limoso.
Presenta ligera plasticidad en un rango de contenido de agua muy estrecho.	Es la partícula que domina en los suelos de Loess	Retiene mucha agua y demora en secarse.
Para que domine cualitativamente, debe presentarse en cantidades elevadas		Las características cualitativas de plasticidad y cohesividad se manifiestan aun con pequeñas cantidades de arcilla.
No presenta adhesividad.		

Fuente: Casanova et al, 2004.

En resumen, la textura del suelo puede ser:

- Arenosa: es no cohesiva y forma sólo gránulos simples. Las partículas individuales pueden ser vistas y sentidas al tacto fácilmente. Al apretarse en la mano en estado seco se soltará con facilidad una vez que cese la presión. Al apretarse en estado húmedo formará un molde que se desmenuzará al palparlo.
- Franco arenosa: es un suelo que posee bastante arena pero que cuenta también con limo y arcilla, lo cual le otorga algo más de coherencia entre partículas. Los granos de arena pueden ser vistos a ojo descubierto y sentidos al tacto con facilidad. Al apretarlo en estado seco formará un molde que fácilmente caerá en pedazos, pero al apretarlo en estado húmedo el molde formado persistirá si se manipula cuidadosamente.
- Franca: es un suelo que tiene una mezcla relativamente uniforme, en términos cualitativos, de separados texturales. Es blando o friable dando una sensación de aspereza, además es bastante suave y ligeramente plástico. Al apretarlo en estado seco el molde mantendrá su integridad si se manipula cuidadosamente, mientras que en estado húmedo el molde puede ser manejado libremente y no se destrozará.
- Franco limosa: es un suelo que posee una cantidad moderada de partículas finas de arena, sólo una cantidad reducida de arcilla y más de la mitad de las partículas pertenecen al tamaño denominado limo. Al estado seco tienen apariencia aterronada, pero los terrones pueden destruirse fácilmente. Al moler el material se siente cierta suavidad y a la vista se aprecia polvoriento. Ya sea seco o húmedo los moldes formados

persistirán al manipularlos libremente, pero al apretarlo entre el pulgar y el resto de los dedos no formarán una cinta continua.

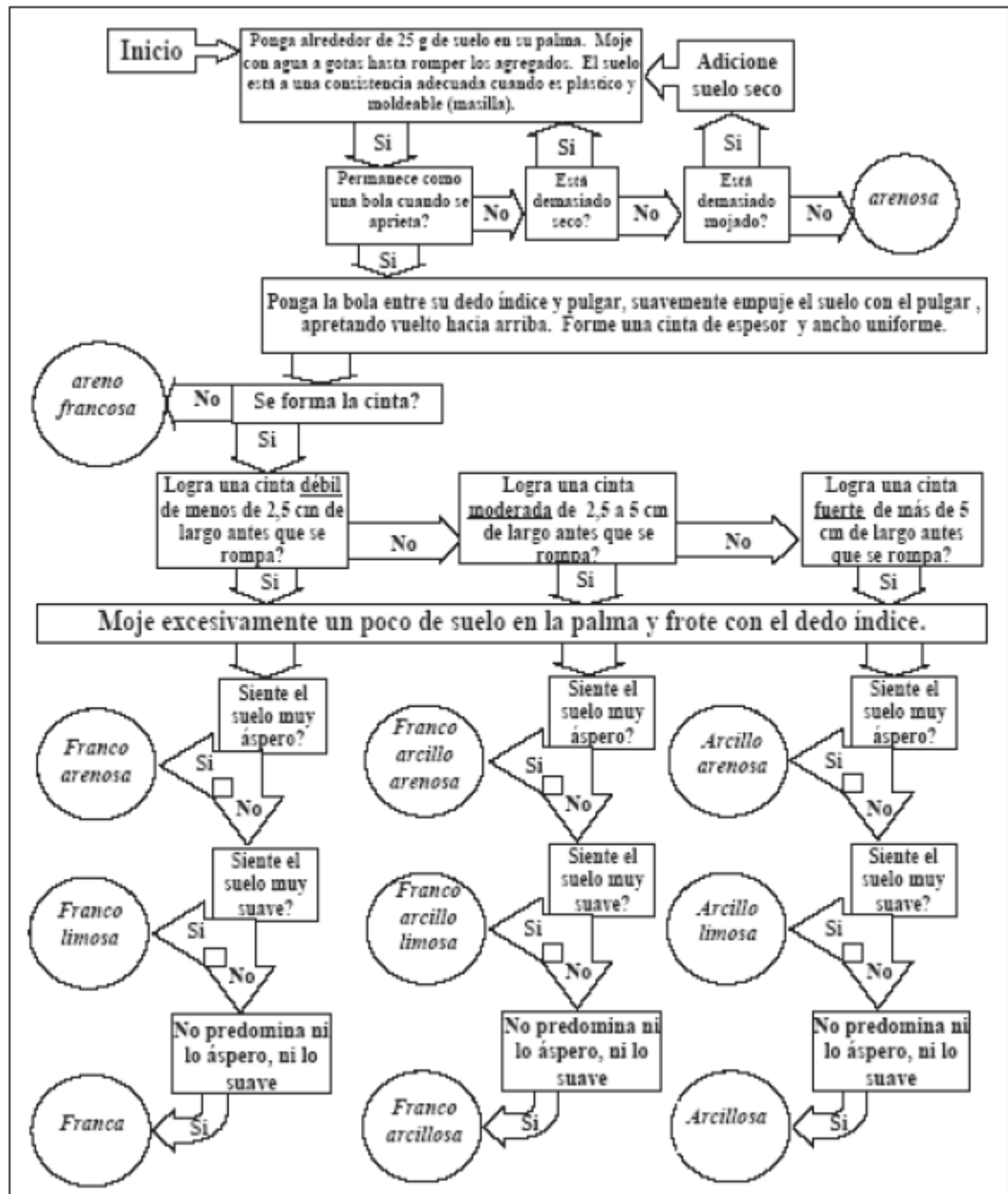
- Franco arcillosa: es un suelo de textura fina que usualmente se quiebra en terrones duros cuando éstos están secos. El suelo en estado húmedo al oprimirse entre el pulgar y el resto de los dedos formará una cinta que se quebrará fácilmente al sostener su propio peso. El suelo húmedo es plástico y formará un molde que soportará bastante al manipuleo. Cuando se amasa en la mano no se destruye fácilmente sino que tiende a formar una masa compacta.
- Arcillosa: constituye un suelo de textura fina que usualmente forma terrones duros al estado seco y es muy plástico como también pegajoso al mojarse. Cuando el suelo húmedo es oprimido entre el pulgar y los dedos restantes se forma una cinta larga y flexible.

Un suelo arenoso, es aquel donde predomina la porción arenosa (A). Un suelo limoso es aquel donde predomina la fracción limo (L). Un suelo arcilloso es aquel donde predomina la fracción arcilla (a). Se denomina suelo franco, aquel que presenta una proporción parecida de arena, limo y arcilla.

La mayor proporción de una fracción respecto a las otras dos, determina la denominación del suelo. Ejemplo: arcillo-arenoso (mayor proporción de arcilla que de arena y muy poco limo); franco arenoso (suelo tiene arcilla, limo y arena, pero un poco más de arena); etc.

Existen guías para llegar aproximadamente a las clases texturales a nivel de campo son empleadas para tener una orientación general. En la siguiente figura se incluye una de ellas.

Figura 7. Guía para determinación manual de textura de suelos



Fuente: Casanova, et al. 2004.

2.4. La infiltración y los tipos de suelos

Como se mencionó en la introducción del presente trabajo de graduación, se ha visto la conveniencia de que los acuíferos subterráneos sean reabastecidos aunque sea de una manera indirecta, ya que en el caso de las aguas subterráneas, se ha modificado parcialmente su ciclo hidrológico al haberse limitado a un mínimo la infiltración en forma natural.

Con el crecimiento de la población y la creciente demanda por agua, se ha visto que no es suficiente para mantener el equilibrio del caudal infiltrado de manera natural y la extracción de aguas subterráneas que se realiza por medio de pozos, ya que desde hace varios años se ha considerado la construcción de pozos de absorción para inducir la infiltración de manera indirecta.

Es de hacer ver, que en ningún caso, se permitirá la construcción de pozos o cualquier obra de infiltración directa o indirecta de desechos de cualquier naturaleza, a excepción de las aguas residuales domésticas que hayan sido previamente tratadas mediante planta de tratamiento o de fosas sépticas. Dichos efluentes tratados, serán dispuestos al subsuelo de preferencia mediante pozos de infiltración.

A continuación se hace una descripción breve de los conceptos que intervienen en la recarga de los acuíferos, que tienen interrelación, y que dan una idea de que el proceso de la infiltración es más complejo y difícil de determinar de lo que en apariencia es.

2.4.1. Agua freática

Agua que se encuentra en el subsuelo, a una profundidad que depende de las condiciones geológicas, topográficas y climatológicas de cada región. La superficie del agua se designa como nivel de agua freática.

2.4.2. Infiltración

La infiltración es el proceso mediante el cual el agua penetra desde la superficie del terreno hacia el subsuelo. La percolación es el movimiento del agua a través después de la entrada. Muchos factores influyen en la tasa de infiltración, incluyendo 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 mismo.

La infiltración es el paso del agua a través de la superficie del suelo hacia el interior de la tierra; la percolación es el movimiento del agua dentro del suelo y ambos fenómenos, la infiltración y la percolación, están íntimamente ligados puesto que la primera no puede continuar sino cuando tiene lugar la segunda. El agua que se infiltra en exceso de la escorrentía - subsuperficial puede llegar a formar parte del agua subterránea, la que eventualmente puede llegar a los cursos de agua.

2.4.2.1. Capacidad de infiltración

La cantidad máxima de agua que puede absorber un suelo en determinadas condiciones se le denomina capacidad de infiltración y es el proceso por el cual el agua penetra en los estratos de la superficie del suelo y se mueve hacia el manto freático. El agua primero satisface la deficiencia de

humedad del suelo y, después, cualquier exceso pasa a formar parte del agua subterránea.

Dicho de otra forma, la tasa máxima a la cual puede penetrar agua a un suelo, en un sitio en particular y con tasa de abastecimiento suficiente, se llama capacidad de infiltración (fp). Es máxima cuando el terreno está seco (fo) y se aproxima a una tasa mínima (fe) a medida que el suelo se satura. El valor límite está controlado por la permeabilidad del suelo.

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

Esta capacidad se expresa generalmente en litros por segundo por metro cuadrado de superficie permeable (lps/m²).

2.4.2.2. Porosidad

La porosidad de un acuífero es aquella parte de su volumen que consiste de abertura o poros, es decir, es la proporción de su volumen no ocupado por material sólido. La porosidad es un índice que indica cuánta agua puede ser almacenada en el material saturado.

La porosidad se expresa generalmente como un porcentaje del volumen bruto del material. Aunque la porosidad representa la cantidad de agua que un acuífero puede almacenar, no indica cuanta de aquella puede ceder.

Cuando un material saturado drena agua mediante la fuerza de gravedad, únicamente cede una parte del volumen total almacenado en él. La cantidad de agua que un volumen unitario del material deja escapar cuando se le drena por gravedad, se denomina rendimiento específico.

Aquella parte del agua que no se puede remover por drenaje superficial, es retenida, contra la fuerza de gravedad, por capilaridad y atracción molecular. La cantidad de agua que un volumen unitario del material retiene cuando se somete a drenaje por gravedad, se denomina retención específica. Tanto el rendimiento específico como la retención específica se expresan como fracciones decimales ó porcentajes. El rendimiento específico sumado a la retención específica, es igual a la porosidad.

Tabla X. **Promedios aproximados de porosidad, rendimiento específico y permeabilidad de varios materiales**

MATERIAL	POROSIDAD (porcentaje)	RENDIMIENTO ESPECÍFICO (porcentaje)	PERMEABILIDAD INTRÍNSECA D (DARCYS)	PERMEABILIDAD	
				UNIDADES MEINZER	Metros cúbicos por día por metro cuadrado
ARCILLA	45	3	0,0005	0,01	0,0004
ARENA	35	25	50,00	1000,00	41,00
GRAVA	25	22	5000,00	100000,00	4100,00
GRAVA Y ARENA	20	16	500,00	10000,00	410,00
ARENISCA	15	8	5,00	100,00	4,10
CALIZAS DENSAS	5	2	0,05	1	0,041
CUARZO Y GRANITO	1	0,5	0,0005	0,01	0,0004

Fuente: elaboración propia basado en apuntes de estudio.

Un darcy = $0,987 \times 10^{-8}$ centímetros cuadrados

Un meizner = 0,0408 metros cúbicos por decímetro cuadrado con gradiente unitario.

2.4.2.3. Permeabilidad

Se denomina así a la propiedad de una formación acuífera en lo referente a su función transmisora o de conducto. La permeabilidad se define como la capacidad de un medio poroso para transmitir el agua. El movimiento del agua de un punto a otro del material, tiene lugar cuando se establece una diferencia de presión o carga entre dos puntos (no confundir con capilaridad).

2.4.2.3.1. Medición de la permeabilidad

Cuando se menciona la construcción de obras de infiltración o absorción, en todos los casos se pretende aprovechar los estratos más permeables del terreno. Sin embargo, para la presentación de un proyecto de sistema de infiltración, se deberán analizar los siguientes puntos:

- Estudio de mecánica de suelos (estratigrafía).
- Permeabilidad del suelo.
- Área efectiva para infiltración del sistema elegido.
- Tipo de obra de Infiltración propuesta.

Sobre todo para el área efectiva para infiltración es necesario analizar el área de huecos que cada elemento tendrá, para con la permeabilidad del suelo, determinar el número de unidades que se requieren para infiltrar el caudal calculado.

Pero también se deberá tener en cuenta en la elección del tipo de sistema, aquel en el que el mantenimiento sea de una manera fácil, lo más prolongado posible y económico, ya que los principales problemas de los sistemas de infiltración es que se azolvan o se tapa el material filtrante reduciendo su capacidad. En los planos de alcantarillado pluvial se deberá indicar el número de unidades y el sistema de drenaje utilizado.

2.4.2.3.2. Valores teóricos de la permeabilidad

A continuación se presentan valores de permeabilidad promedio de los tipos de materiales más comunes.

Tabla XI. **Valores teóricos de permeabilidad**

MATERIAL	VALOR DE K (cm/seg)
JAL GRUESO	1×10^{-2}
JAL MEDIO	1×10^{-3}
ARENA AMARILLA	1×10^{-3}
ARENA DE RIO	1×10^{-2}
ARENA JALOSA	1×10^{-3}
ARENAS LIMOSAS	1×10^{-4}

Fuente <http://www.siapa.gob.mx/capitulos/capitulo5.htm>. Consulta: mayo, 2012.

Cuando la medición de la permeabilidad se realiza en el laboratorio, estos ensayos tienen un valor práctico limitado, dadas las dificultades que presenta colocar muestras de materiales no consolidados en el aparato en su estado natural y la incertidumbre que se tiene respecto a la representatividad de la muestra con respecto a las capas de material que harán las veces de acuífero, por lo que los valores obtenidos son meramente indicativos y no siempre

arrojarán cálculos confiables de capacidades de infiltración ya que habría que tomar en cuenta que éstas disminuyen a medida que hay una saturación del terreno.

Para una mejor comprensión de los rangos de estos valores y de la aplicación de métodos directos e indirectos de medición, se presenta la tabla de coeficiente de permeabilidad. Sin embargo, para una mayor exactitud en los valores deberán realizarse pruebas de permeabilidad directamente en el lugar.

Tabla XII. Coeficientes de permeabilidad

TABLA DE COEFICIENTE DE PERMEABILIDAD

FUENTE : Juarez B. y Rico R.,
MECANICA DE SUELOS, Tomo I.
Mexico, 1963.

	10 ²	10 ¹	1.0	10 ⁻¹	10 ⁻²	10 ⁻³	10 ⁻⁴	10 ⁻⁵	10 ⁻⁶	10 ⁻⁷	10 ⁻⁸	10 ⁻⁹
Propiedad de Drenaje	Buen Drenaje			Mal Drenaje			Practicamente Impermeables					
	Secciones Permeables de Presas y Diques.											
Aplicacion en Presas de Tierra y Diques	Secciones Impermeables de Presas de Tierra y Diques											
	Suelos "Impermeables" y Arcillas Homogeneas abajo de la zona de Intemperismo.											
Tipos de Suelos	Grava Limpia.			Arenas Limpas. Mezclas de Grava y Arena Lipia.			Arenas muy Fines, Limos Organicos e Inorganicos. Mazclas de Arena, Limo y Arcilla Morena Glacial. Depositos de Arcilla Estratificados, etc.			Suelos "Impermeables" que han sido modificados por los efectos de la vegetacion y del intemperismo.		
	"Suelos Impermeables" que han sido modificados por los efectos de la vegetacion y del intemperismo.											
Determinacion Directa del Coeficiente de Permeabilidad	Prueba Directa de los suelos en su Posicion Original (v.g. Pozos de Bombeo Confiable si se conduce apropiadamente. Requiere considerable Experiencia.											
	Permeametro de Carga Constante Requiere poca Experiencia.											
Determinacion Indirecta del Coeficiente de Permeabilidad	Confiable Requiere poca Experiencia.			Permeametro de Carga Variable Rango de Permeabilidad Inestable Requiere Mucha Experiencia para una Concreta Interpretacion.								
	Calculo de la distribucion granulometrica (v.g. Formula de A. Hazen) Aplicable unicamente a Gravas y Arenas Limpas sin cohesion											
Determinacion Indirecta del Coeficiente de Permeabilidad	Prueba Horizontal de Capilaridad. Requiere Muy poca Experiencia. especialmente Util para la Prueba rapida de un gran numero de muestras en el campo sin equipo de Laboratorio.									Calculos de las Pruebas de Consolidacion. Equipo de Laboratorio Costoso. Requiere considerable Experiencia.		

"k" cm/seg
escala log.

Fuente: <http://www.siap.gov.mx/capitulos/capitulo5.htm>. Consulta: mayo, 2012.

Asimismo, la infiltración es un método de tratamiento de aguas residuales que se basa en su aplicación directa a suelos relativamente permeables (las texturas más comunes son las arenosas o arenas-limosas), en cantidades muy superiores a la tasa de evapotranspiración de los mismos, de forma que la mayoría del agua vertida se infiltra, depurándose mediante procesos físicos, químicos y biológicos a través de la zona no saturada, llegando al acuífero en condiciones de ser reutilizada. El destino último de las aguas infiltradas es su incorporación al acuífero subyacente.

Se trata de un método eficaz y de bajo coste cuya principal ventaja reside en que no precisa el empleo de aditivos y puede ser implementado y mantenido en municipios pequeños por personal poco especializado.

La importancia de este tipo de tratamiento se está viendo incrementada desde que se ha empezado a dar mayor importancia a la reutilización de las aguas residuales y a la protección de las aguas subterráneas. Por esta razón, los sistemas de infiltración, englobados dentro de los sistemas de tratamiento suelo-acuífero, se han convertido en una parte importante de los procesos de tratamiento de agua residual para reutilización, principalmente en agricultura, aunque en ocasiones, el agua captada en pozos y sondeos, puede ser empleada en abastecimiento a poblaciones.

2.5. Pozos de absorción

El pozo de absorción es un elemento opcional de infiltración. El pozo de absorción es un sistema vertical de infiltración al subsuelo de las aguas provenientes de una fosa séptica, a través de sus paredes y piso permeables.

El pozo de absorción, también conocido como pozo de infiltración o de percolación es un tratamiento secundario de las aguas residuales, instalándose de forma complementaria al sistema de tratamiento seleccionado. Dicho sistema proporciona al agua un tratamiento físico y biológico a través de la infiltración en un medio poroso. Es el elemento final que recibe los líquidos provenientes del tanque séptico o trampa para grasa. El pozo de absorción permite el tratamiento de los líquidos a través de materiales pétreos como piedra, grava y arena, previo a la disposición final al cuerpo receptor (suelo).

Es un pozo cubierto, de forma circular, donde el efluente proveniente de la planta de tratamiento pasa a través del pozo. Las paredes del pozo se revisten de ladrillo o de piedra (sin mortero) y llega al suelo circundante. Luego es tratado por las bacterias presentes en el suelo. Las dimensiones y el número de pozos dependerán de la permeabilidad del terreno y el nivel freático (agua subterránea), para lo cual es necesario un análisis de suelo.

Como el agua residual (aguas grises o negras pre tratadas) se filtra por el terreno desde el pozo de absorción, pequeñas partículas se filtran en la matriz del terreno y los materiales orgánicos son digeridos por microorganismos. Así, los pozos de absorción son los más adecuados para terrenos con buenas propiedades de absorción; no son adecuados para terrenos con barro, compactos o rocosos.

Las dimensiones y número de pozos necesarios dependerán de la permeabilidad del terreno y se diseñarán de acuerdo con la experiencia que se tenga en la región donde se construyen.

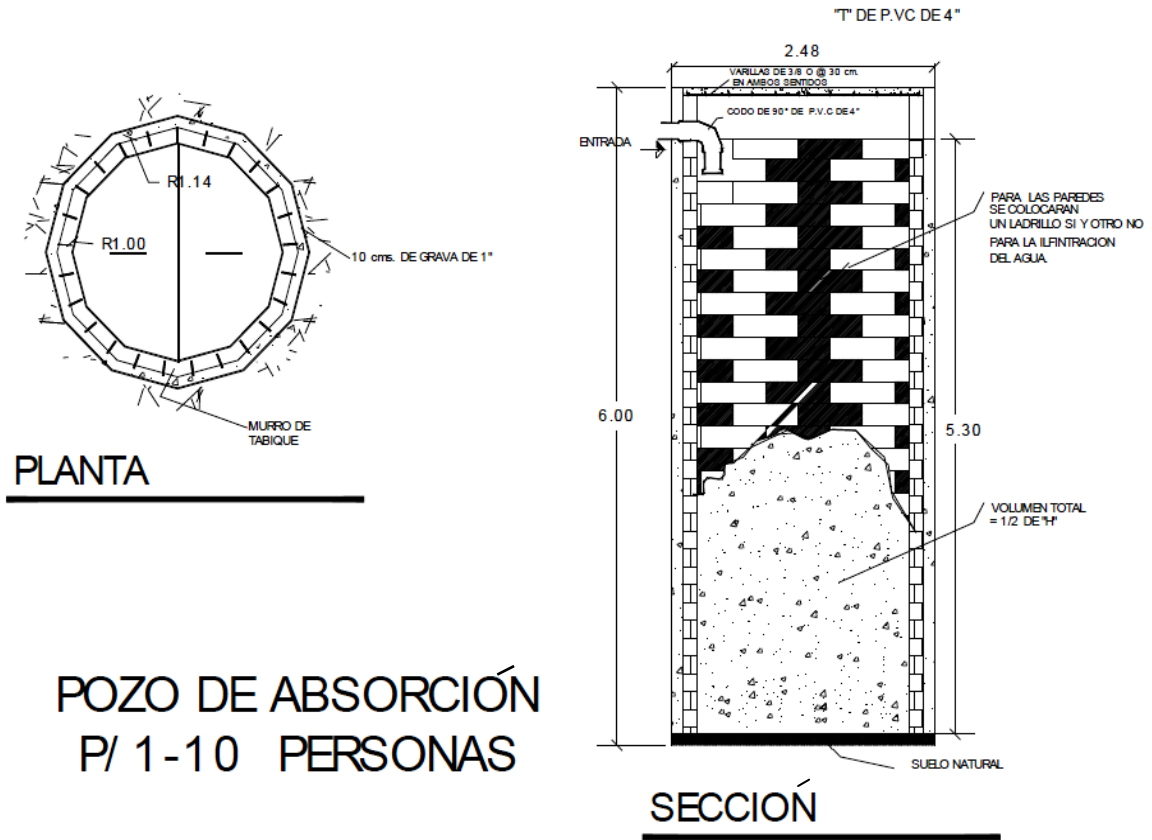
Después que los líquidos se separan de los sólidos dentro del sistema de tratamiento, éstos continúan su camino hasta llegar a un pozo de absorción,

cuya función principal es filtrar las aguas previamente tratadas al manto freático, superando ciertas capas con materiales de diverso granulado (del más grueso al más fino), llamado nivel permeable, ayudando al reciclaje del agua.

Para tratar las aguas negras, este sistema depende mucho del suelo donde los microorganismos ayudan a eliminar la materia orgánica, los sólidos y los nutrientes que permanecen en el agua. Mientras que el efluente fluye continuamente hacia el suelo, los microbios que digieren los componentes de las aguas negras forman una capa biológica. La capa reduce el movimiento del agua por el suelo y ayuda a evitar que el área debajo de la capa se sature. El agua debe correr por el suelo que no esté saturado para que los microbios que se encuentran allí y en la capa puedan ingerir los desperdicios y los nutrientes del efluente. El césped que cubre el sistema de campo de absorción también usa los nutrientes y el agua para crecer.

Las dimensiones y el número de pozos necesarios dependerán de la permeabilidad del terreno y del tamaño de la planta de tratamiento y se diseñarán de acuerdo con la experiencia que se tenga en la región donde se construyen.

Figura 8. Pozo de absorción



POZO DE ABSORCIÓN P/ 1-10 PERSONAS

Fuente: CODECA, 2012.

Para mantener la verticalidad y buen funcionamiento del pozo de absorción se recomienda colocar el material filtrante de la siguiente manera:

- Del fondo del pozo de forma ascendente colocar una capa de arena limpia.
- Sobre la capa de arena colocar una capa de grava.
- De la capa de grava hasta 50 centímetros debajo de la caída del efluente colocar piedra cuarta.

El espesor de cada una de las capas a colocar dependerá de la profundidad del pozo. La distribución de las capas debe ser lo más equitativa posible en cuanto a su espesor.

2.5.1. Prueba de infiltración para determinar la profundidad de pozo de absorción

Se recomienda que el suelo donde se haga la prueba no esté saturado de agua, si la prueba se realiza en época lluviosa, es preferible esperar como mínimo dos días sin lluvia para efectuarla. La ejecución de la prueba de infiltración será responsabilidad del ingeniero encargado del diseño y ejecución de la obra. La prueba puede realizarse mediante la técnica descrita a continuación:

La excavación donde se deposita el agua, debe tener 0,30 metros x 0,30 metros de base x 0,35 metros de profundidad o bien una excavación de 1 metro x 1 metro de base x 1 metro de profundidad. A esta medida de 1 metro cúbico se le conoce como Calicata de exploración.

Después de finalizar la excavación, se coloca una capa de 5 centímetros de arena gruesa o grava en el fondo.

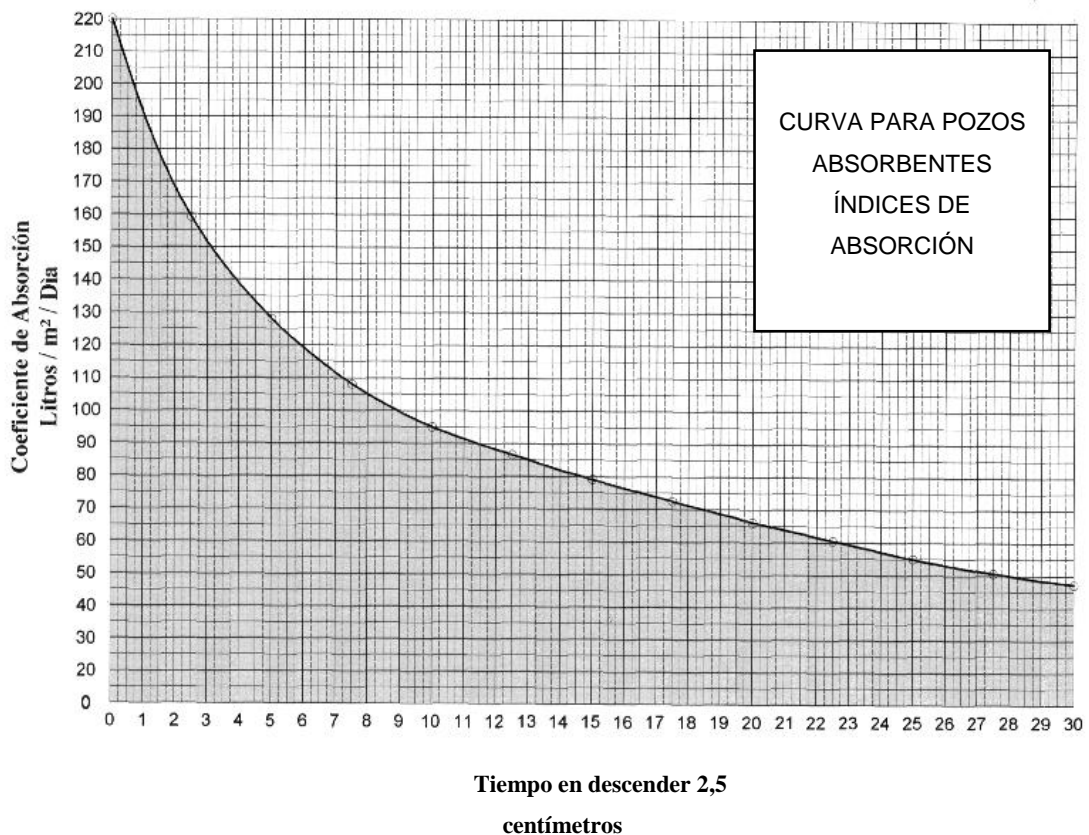
Llenar con agua en toda la altura de la excavación y dejar que se consuma totalmente. Llenar nuevamente para saturar el suelo hasta una altura del agua de 15 centímetros a partir del fondo y se determina el tiempo en el que el agua baja 2,5 centímetros.

Si el tiempo es mayor de 30 minutos, es un terreno inadecuado por lo que ya no se recomienda la instalación del pozo de absorción y se sugiere la

instalación de un sistema de arena filtrante. Si el tiempo es menor o igual a 10 minutos es un terreno arenoso o muy permeable.

Con el tiempo de infiltración se determina el coeficiente de absorción del suelo de acuerdo con los valores establecidos según la curva para pozos absorbentes del ábaco del ensayo del índice de absorción, que se presentan en la figura siguiente:

Figura 9. **Curva para pozos absorbentes del ábaco del ensayo del índice de absorción**



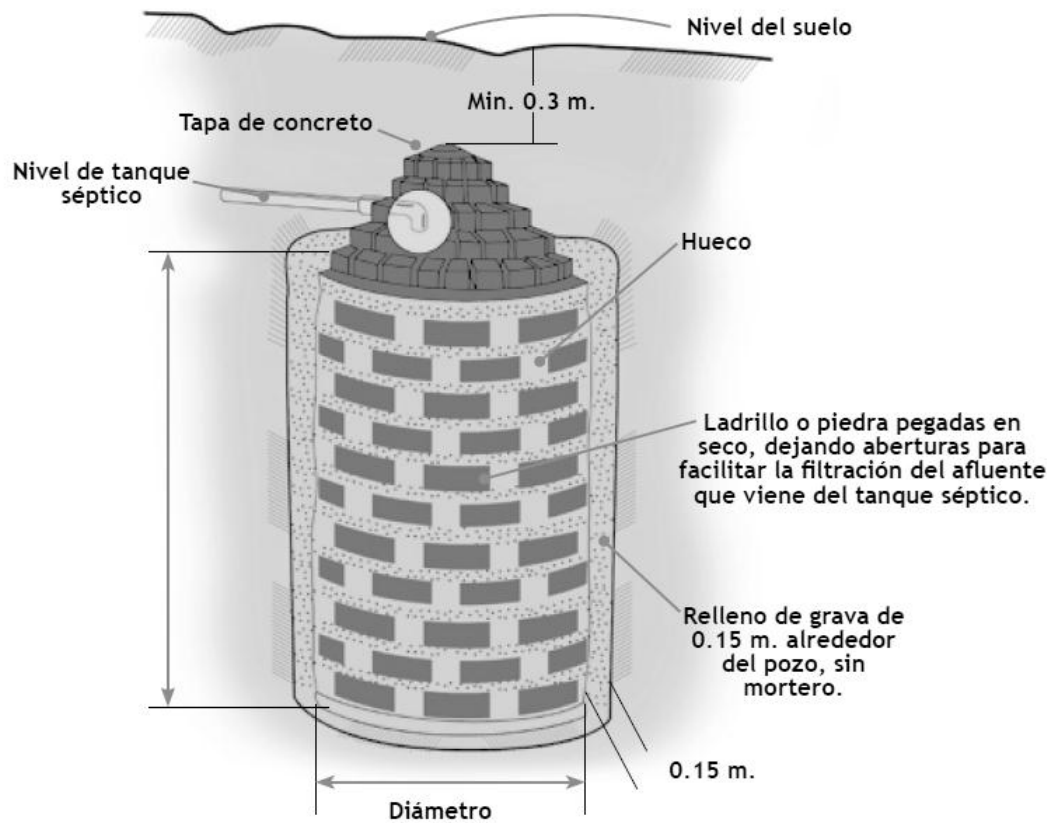
Fuente: https://www.e-seia.cl/archivos/ANEXO_4_-PAS_91__sector_relaves_.pdf17/mayo/2012.

Para tratar las aguas residuales, el sistema de infiltración depende mucho del suelo donde los microorganismos ayudan a eliminar la materia orgánica, los sólidos y los nutrientes que permanecen en el agua. Mientras que el efluente fluye continuamente hacia el suelo, los microbios que digieren los componentes de las aguas residuales forman una capa biológica. La capa reduce el movimiento del agua por el suelo y ayuda a evitar que el área debajo de la capa se sature. El agua debe correr por el suelo que no esté saturado para que los microbios que se encuentran allí y en la capa puedan ingerir los desperdicios y los nutrientes del efluente. El césped que cubre el sistema de campo de absorción también usa los nutrientes y el agua para crecer.

Si se usa apropiadamente, el sistema de campo de absorción y el tanque séptico trabajarán bien. El sistema reduce dos proporciones comúnmente utilizadas para medir la contaminación: la demanda bioquímica de oxígeno, la cual se reduce en más del 65 por ciento; y el total de sólidos en suspensión, el cual se reduce en más del 70 por ciento. Los aceites y las grasas normalmente se reducen entre un 70 y un 80 por ciento. El uso de un tanque séptico para el pretratamiento de aguas residuales también hace que otros sistemas de tratamiento secundario sean más eficaces. El efluente del tanque séptico es suave, consistente, fácil de transportar y puede tratarse fácilmente con procesos aeróbicos (con oxígeno libre) o anaeróbicos (sin oxígeno libre).

En la siguiente figura se presenta la estructura de un pozo de absorción.

Figura 10. **Pozo de absorción construido con mampostería**



Fuente: Plan Nacional de Calidad Turística del Perú – CALTUR, 2008

2.5.2. **Caudal a infiltrar en un pozo de absorción**

La dotación diaria de agua según la clasificación de Hardenbert y Rodie, existen distintas dotaciones a tomar según la condición de las viviendas para donde se haga el diseño de red de agua potable:

Tabla XIII. **Condición de la vivienda dotación (litros/habitante/día)**

Condiciones de vivienda	Consumo de agua en lts/hab/día
Rural primario (bebida y alimento)	20
Rural facilidades mínimas	50
Rural (anteriores + baños y cocina)	100 a 190
Semi urbano (jardines y autos)	200 a 350
Urbano	350 a 500

Fuente: MARTÍNEZ, Juan C. Guía de aspectos legales, ambientales y constructivos para un proyecto habitacional tipo condominio de el área metropolitana. Universidad Rafael Landívar. Facultad de ingeniería. p. 56.

Cabe mencionar que en estos valores se consideran los factores de clima, nivel de vida, actividades productivas, abastecimiento privado, servicios comunales o públicos, facilidad de drenaje, calidad de agua, medición, administración del sistema y presiones del mismo.

Según las normas preliminares para el diseño de urbanizaciones y viviendas mínimas del Instituto de Fomento de Hipotecas Aseguradas (FHA), la dotación mínima aceptable será de 200 litros por habitante al día. De la misma forma, conforme varias normas de diseño, se estima que por lo menos un 80 por ciento del consumo medio de agua potable retorna al sistema como aguas servidas. Por ejemplo, si se considera una demanda de 250 litros por habitante al día, entonces el caudal de aguas servidas será de 250 litros por habitante al día * 0,8 = 200 litros por habitante al día.

2.5.3. Dimensiones y construcción de los pozos de absorción

Las dimensiones y número de pozos necesarios dependerán de la permeabilidad del terreno y se diseñarán de acuerdo con la experiencia que se tenga en la región donde se construyen.

Para el correcto dimensionamiento de la profundidad del pozo de absorción debe considerarse:

- La permeabilidad del suelo. Esta característica debe ser definida de acuerdo a los resultados de las pruebas de percolación.
- Profundidad del nivel freático. Debe mantenerse una distancia mínima de 1,50 metros entre el nivel freático y el nivel de desplante de la capa de grava del fondo del pozo.

Es importante que la capacidad del pozo de filtración se calcule sobre pruebas de filtración ejecutadas en cada estrato vertical penetrado. El promedio ponderado de los resultados debe calcularse para obtener una cifra de diseño. Los estratos del subsuelo en donde en los coeficientes de filtración exceden de 30 minutos por cada 2,5 centímetros no deben incluirse en el cálculo del área de absorción.

Dicho de otra forma, la capacidad del pozo de absorción se calculará en base a las pruebas de infiltración que se hagan en cada estrato, usándose el promedio ponderado de los resultados para definir la superficie de diseño.

Cuando no se cuente con área suficiente para la instalación del campo de perforación o cuando el suelo sea impermeable dentro del primer metro de

profundidad, existiendo estratos favorables a la infiltración, se podrán usar pozos de absorción.

El área efectiva de absorción del pozo lo constituye el área lateral del cilindro, es decir, el área de las paredes verticales basada en el diámetro excavado del estrato permeable bajo el tubo de entrada (excluyendo el fondo). Para el cálculo se considerará el diámetro exterior del muro y la altura quedará fijada por la distancia entre el punto de ingreso de los líquidos y el fondo del pozo.

Todo pozo de absorción deberá introducirse por lo menos 2 metros en la capa filtrante, siempre y cuando el fondo del pozo quede por lo menos a 1,50 metros sobre el nivel máximo de la capa freática.

El pozo de absorción se puede dejar vacío y recubrir con un material poroso, para dar soporte y evitar que se colapse, o dejar sin cubrir y llenar con piedras grandes y grava. Las piedras y la grava evitarán que las paredes colapsen, pero dejarán espacio adecuado para las aguas residuales. En ambos casos, una capa de arena y grava fina debe ser repartida en el fondo para ayudar a que se disperse el flujo. El pozo de absorción debe tener entre 1,5 y 4 metros de profundidad como mínimo.

En todo caso, El diámetro mínimo del pozo de absorción no será inferior a 1 metro.

Dentro de los aspectos constructivos de los pozos de absorción se puede mencionar:

- La separación entre pozo y pozo debe ser cuando menos 3 veces el diámetro del pozo de filtración más grande y cuando menos de 6 metros cuando los pozos tengan más de 6 metros de profundidad.
- La distancia del pozo a un lindero de propiedad, a los cimientos de estructuras y de las tuberías de agua, debe ser de 3,00 metros como mínimo (Según las normas de planificación y construcción para casos proyectados del FHA).
- El área del terreno en donde será construido el campo de pozos de absorción debe ser lo suficientemente grande para mantener esta distancia entre pozos, a la vez que permita espacio para pozos adicionales en caso de que los primeros fallen.
- Los pozos deben ser rellenados con grava limpia a una profundidad de 30 centímetros arriba del fondo del pozo o 30 centímetros arriba del escalón rimado, para proporcionar una cimentación sana para el recubrimiento lateral.
- Los materiales tradicionalmente preferidos para el revestimiento son los ladrillos de arcilla, los bloques de cemento, adoquines, anillos o tubos de concreto. Estos dos últimos deben tener agujeros o ranuras del drenaje para facilitar la filtración. Los ladrillos y adoquines deben colocarse normalmente para formar una pared de 10 centímetros. El diámetro exterior del revestimiento debe ser cuando menos de 15 centímetros menos que el mínimo diámetro de la excavación. El espacio anular formado debe llenarse con grava gruesa limpia hasta la parte superior del revestimiento.

- Las cubiertas del domo de ladrillo o de concreto plano son adecuadas para el diseño de los pozos. Deben apoyarse en terreno intacto y extenderse cuando menos 30 centímetros más allá de la excavación y nos deben apoyarse en el revestimiento como soporte estructural. Los ladrillos pueden colocarse con mortero de cemento o tener una cubierta de concreto de 5 centímetros. Si se usan cubiertas planas, es preferible las de tipo prefabricado y deben estar reforzadas como una cubierta aprobada para una fosa séptica.
- Una abertura de 23 centímetros en la cubierta del pozo es conveniente para su inspección. Todas las superficies de concreto deben protegerse con un compuesto bituminoso o similar para minimizar la corrosión
- La distancia que debe existir entre la fosa séptica y el pozo de absorción es de 5,00 metros, como mínimo.
- El pozo debe contener distintos tamices para que durante la absorción de los líquidos, éstos funcionen como filtros, eliminando algunos residuos que las aguas aún pudieran contener.
- Al finalizar las gravas, debe tenerse el cuidado que la profundidad del pozo mantenga una distancia no menor de 1,50 metros por encima del nivel freático, ya que de no ser así podría ocasionar contaminaciones severas al mismo.
- Su concepción puede ser variada.
- Se diferencia de un pozo ciego, en que este último no utiliza fosa séptica.

- Los caños de descarga terminan dentro del pozo con un codo recto mirando hacia abajo, distanciado como mínimo a 0,30 metros.
- El volumen del pozo se computa desde una profundidad de 1,50 metros hacia abajo y como mínimo tendrá el doble del volumen de la cámara séptica. La superficie filtrante calculada debe ser a razón de 1 metro cuadrado por persona

Otras características constructivas utilizadas con anterioridad en un pozo de absorción son:

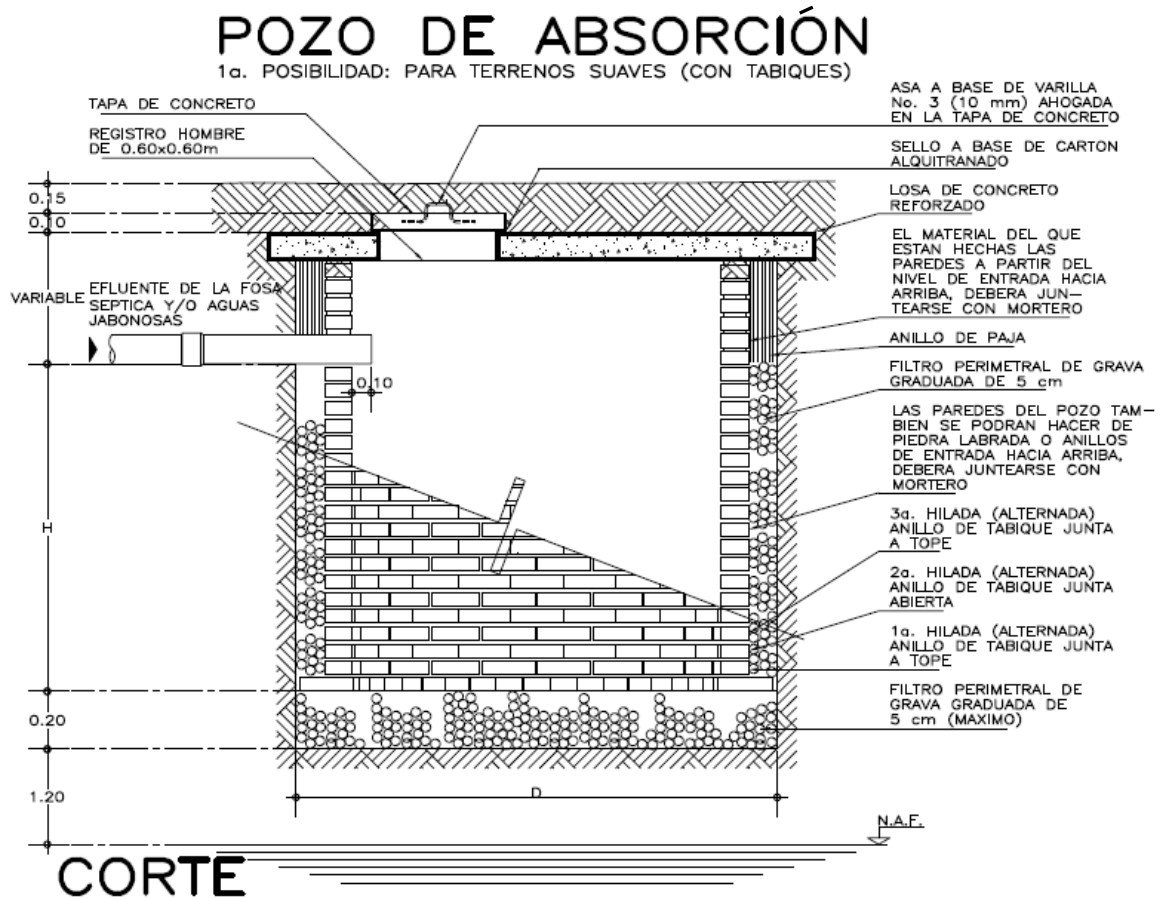
- Registro de concreto situado al nivel de terreno.
- La losa de techo tendrá una capa de inspección de 0,6 metros de diámetro.
- Paredes formadas por muros de mampostería con juntas laterales separadas.
- Mampostería de tabique de 0,28 metros o piedra junteada con mortero desde el registro hasta 0,20 metros por debajo de la conexión del influente, con el objeto de dar resistencia estructural.
- Mampostería sin juntear en el sentido vertical, dejando huecos de 0,05 metros como mínimo, desde el nivel de la mampostería junteada hasta el nivel de desplante.
- El espacio entre el muro y el terreno natural se rellenará con grava de 2,5 centímetros.

- Relleno interior de guijarro o roca porosa (de tamaño de 0,07 a 0,10 metros), colocado desde el nivel de desplante del pozo, hasta una distancia de 0,20 metros como mínimo de la conexión del influente.

- Cuando el efluente de un tanque séptico está conectado directamente a dos o más pozos de absorción, se requerirá instalar caja de distribución de flujo.

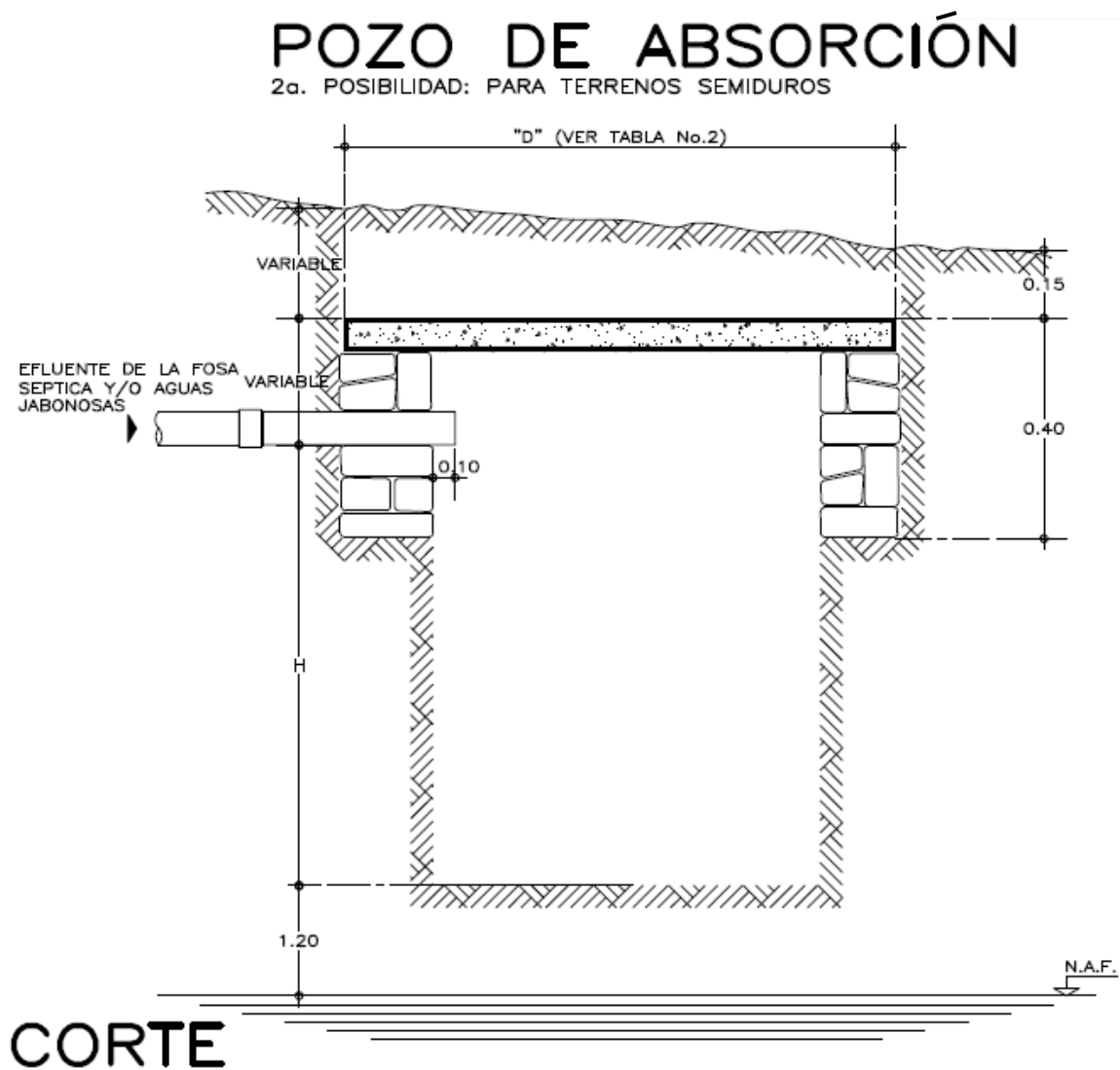
- Cuando la profundidad de diseño del pozo de absorción sea mayor a 3 metros se recomienda disponer de otro pozo de absorción, con el objeto de disminuir la profundidad de desplante y facilitar el procedimiento constructivo.

Figura 11. Pozo de absorción para terrenos suaves



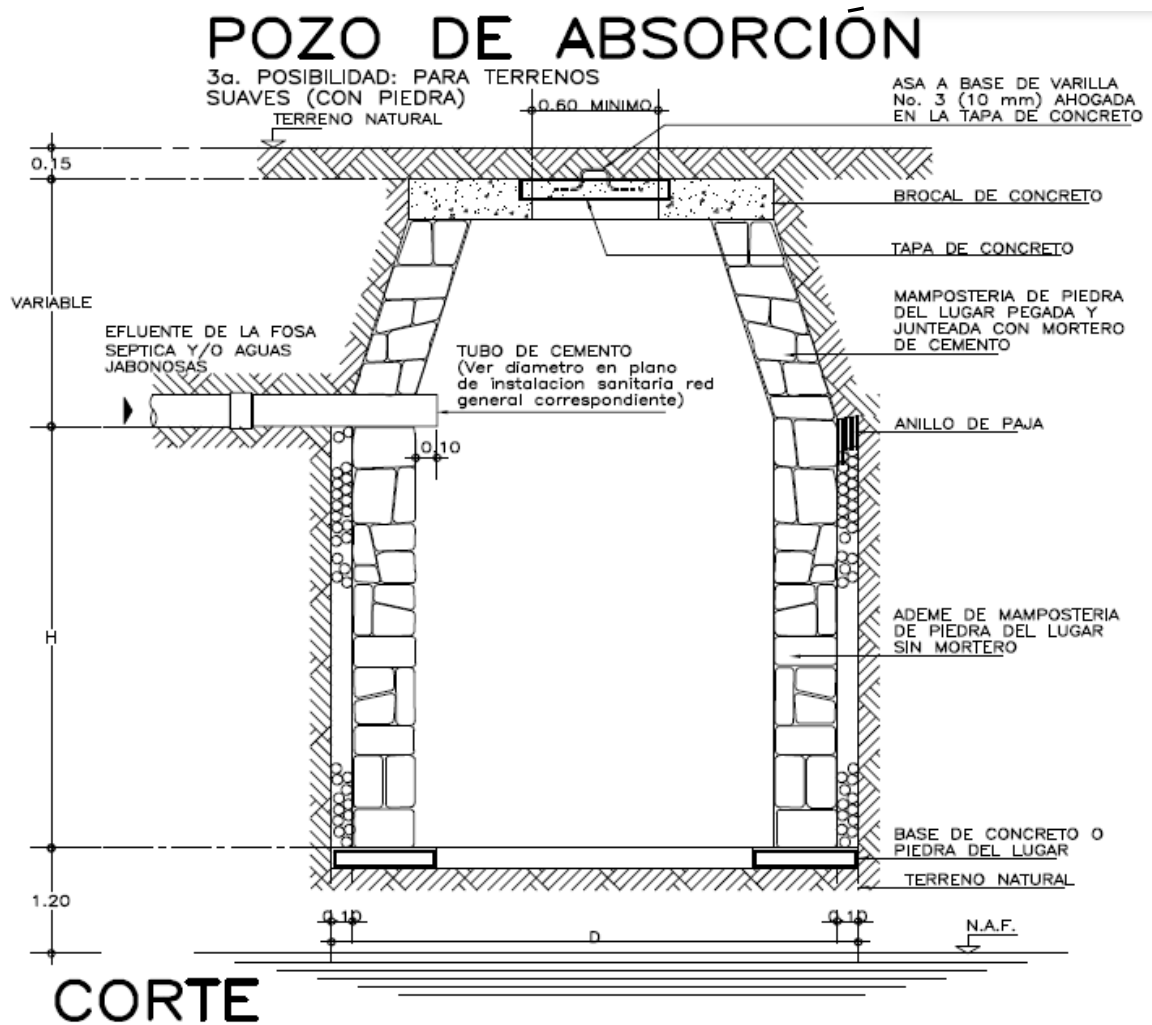
Fuente: Pozo de absorción: planta, cortes y detalles. INIFED, 2012.

Figura 12. **Pozo de absorción para terrenos semiduros**



Fuente: Pozo de absorción: planta, cortes y detalles. INIFED, 2012.

Figura 13. Pozo de absorción para terrenos suaves



Fuente: pozo de absorción: planta, cortes y detalles. INIFED, 2012.

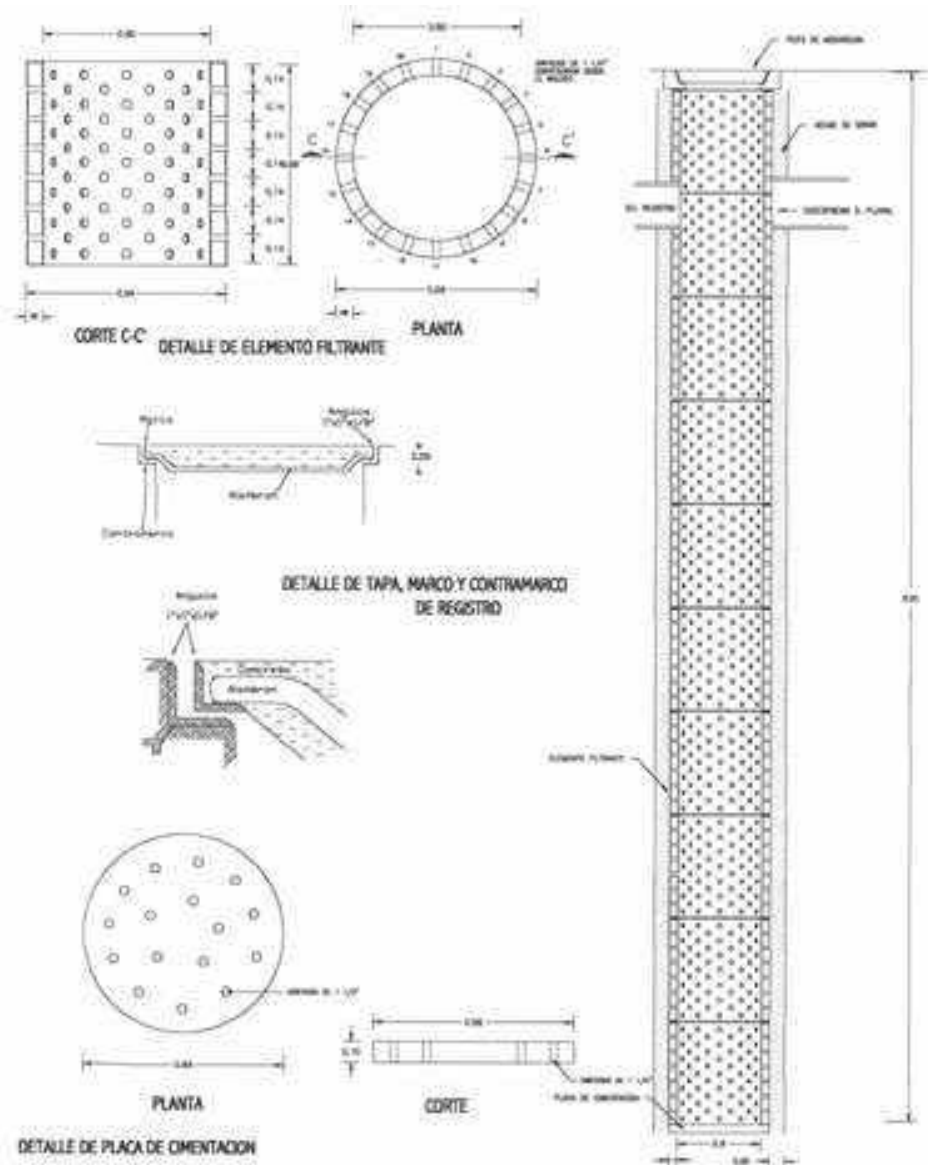
Más allá de los diseños de construcción tradicional que utilizan ladrillos, bloques o adoquines, también los pozos de absorción pueden ser prefabricados, los cuales tendrán características similares a los anteriormente mencionados. Además, existe un sistema de infiltración a base de cámaras prefabricadas de Polietileno de Alta Densidad (PEAD) cuya disposición es de construcción horizontal. Los pozos prefabricados también son circulares y

pueden ser de concreto armado o de polietileno de alta densidad. Estos pozos también requieren un filtro de grava perimetral.

Cada una de estas piezas tiene perforaciones en toda el área del cilindro las cuales permiten la infiltración de las aguas al terreno circundante del pozo. Estos elementos prefabricados vienen a reducir el tiempo utilizado en la construcción del pozo. Otro sistema utilizado en el diseño de pozos de absorción consiste en tuberías perforadas rodeadas de materiales, tales como grava y pedazos de llanta cubiertos de tela geotextil y suelo arcilloso.

En Guatemala en la actualidad, en el diseño y construcción de los pozos de absorción no se han incorporado elementos prefabricados de PEAD. Esto se debe a que los proveedores de materiales pvc en el mercado aún no ofrecen tales tipos de tubería; los que se ofrecen actualmente son tubos que se utilizan en alcantarillado sanitario y pluvial, sin perforaciones, de material corrugado con longitud de 6 metros y con un diámetro nominal de 24, 30 y 36 pulgadas. Para utilizar estos tubos sería necesario adaptarlos, haciéndoles las perforaciones requeridas dependiendo de las necesidades de infiltración, del caudal y del material que se coloque alrededor del tubo.

Figura 14. **Diseño de un pozo de absorción con elementos prefabricados de Polietileno de Alta Densidad (PEAD)**



Fuente: www.siapa.gob.mx. Consulta: abril 2012.

Figura 15. **Construcción de un pozo de absorción con elementos prefabricados de Polietileno de Alta Densidad (PEAD)**



Fuente: www.siapa.gob.mx. Consulta: abril 2012.

Figura 16. **Construcción de un pozo de absorción con elementos prefabricados de Polietileno de Alta Densidad (PEAD)**



Fuente: www.siapa.gob.mx. Consulta: abril 2012.

En todo caso, debido a que la utilización de elementos prefabricados eleva los costos de manera sustancial en comparación con el uso de materiales tradicionales, se requiere un análisis costo-beneficio para determinar si dentro del diseño de los pozos de absorción es ventajoso incluir estos elementos, tomando en consideración la reducción de tiempos, de la mano de obra y en el riesgo humano por derrumbe del pozo mientras se construye.

2.6. Colmatación

Con toda seguridad, el mayor problema con el que enfrenta la recarga artificial de acuíferos es el de la colmatación, entendiéndose por tal el proceso de acumulación de materiales sobre la superficie de infiltración del agua. Su efecto es una reducción de la capacidad de recarga.

La colmatación puede deberse a efectos mecánicos, actividad biológica y procesos químicos.

La recarga artificial, en lo referente a los fenómenos de colmatación, exige unos condicionantes muy rigurosos en lo que respecta al agua de recarga. La afección sobre la tasa de infiltración es tan importante que incluso en los casos donde opera con una baja concentración de sólidos en suspensión es necesario programar sistemas de limpieza y descolmatado de las instalaciones.

Al cabo de un cierto tiempo y volumen de agua recargado es posible que se tengan que abandonar los dispositivos de recarga al no poderse regenerar su capacidad de infiltración con caudales operativos. Este proceso de degeneración de la capacidad inicial de infiltración se traduce en la necesidad de estimar la vida útil de las instalaciones y realizar, en función de la misma, los estudios económicos pertinentes para cuantificar su rentabilidad. Datos proporcionados por instalaciones americanas indican que la vida útil en las balsas es ligeramente superior a diez años y en los pozos de cinco a diez años. No obstante, en las infraestructuras de gran envergadura pueden alcanzarse órdenes de magnitud de hasta veinte años, o incluso superiores.

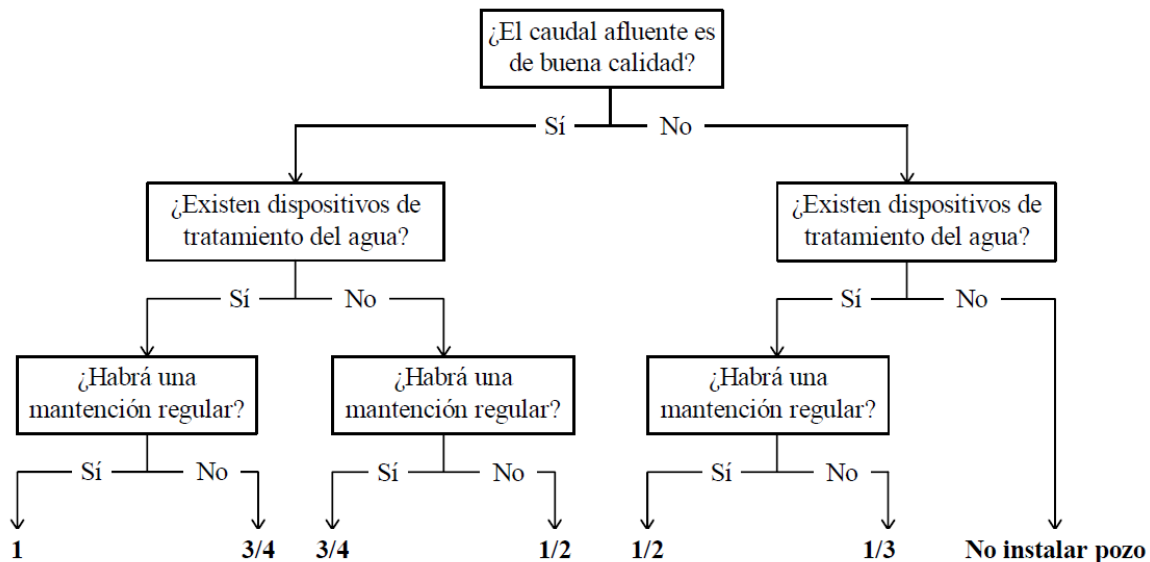
Figura 17. **Costra de colmatación**



Fuente: Instituto Geológico y Minero de España, 2003.

En cualquier caso el valor del caudal de infiltración puede disminuir por colmatación, para lo cual, Azzout y otros (1994) recomiendan considerar un factor de seguridad variable, que depende de la naturaleza de las aguas de lluvia, la existencia de dispositivos de tratamiento de las aguas y el mantenimiento previsto. El factor de seguridad, C_s , se puede estimar siguiendo el procedimiento que se muestra a continuación:

Figura 18. **Proceso de determinación del factor de seguridad variable para la colmatación**



Fuente: Técnicas Alternativas para Soluciones de Aguas Lluvias en Sectores Urbanos, p 172

2.6.1. Colmatación mecánica

Para que una partícula sea transportada en suspensión por una corriente de agua, se necesita que ésta lleve una determinada velocidad y que el tamaño de la partícula sea el adecuado. Cuando la velocidad decrece, para un mismo tamaño de partícula, el material en suspensión puede depositarse. Este fenómeno se agrava en la mayoría de las instalaciones de recarga artificial, ya que el agua pasa a estar en reposo y las materias decantables que estaban en suspensión en el agua en movimiento, aún a velocidades bajas, se depositan sobre la superficie del suelo, o bien penetran por los poros y fisuras del terreno, dando lugar a una acumulación de materiales que producen una reducción de la tasa de infiltración o del caudal específico.

El fenómeno de la colmatación difiere mucho de unos materiales a otros. Los de tamaño más pequeño pueden llegar a estar en una suspensión más o menos estable y penetrar profundamente en el terreno. La mayor reducción de permeabilidad parece corresponder a la costra superficial de sedimentos depositados sobre el suelo de las instalaciones.

La eliminación de esta costra superficial, retirada de los primeros centímetros de suelo, restablece la permeabilidad, pero con ello no se retiran todos los sólidos en suspensión aportados, pues permanecen los que penetraron profundamente, que dan lugar a una lenta disminución de la capacidad de infiltración a medida que el proceso de recarga artificial avanza, por lo que, cada cierto tiempo, puede resultar adecuado reprofundizar algunos decímetros en el suelo de la instalación de infiltración.

La deposición de los sólidos en suspensión que lleva el agua de recarga forma sobre la superficie de infiltración una película arcillosa que reduce notablemente la tasa de infiltración de la instalación de recarga.

En los sistemas de recarga en profundidad (sondeos de inyección) aparte de la colmatación debida a los sólidos en suspensión, se produce en el acuífero una entrada de aire y de gas que se encuentran disueltos en el agua de alimentación. Estas burbujas de aire y de gas se comportan en el terreno como si se tratará de verdaderos granos de materia sólida que se oponen al paso del agua.

La experiencia adquirida en las pruebas piloto de recarga artificial realizadas por el ITGE, junto con la bibliografía internacional consultada, ponen de manifiesto que el máximo contenido de sólidos en suspensión, en el agua de

recarga, no debe superar los 20 miligramos por litro, considerándose como valores recomendables los inferiores a 10 miligramos por litro.

2.6.2. Colmatación biológica

Se admite, a nivel del medio filtrante, que la colmatación biológica es más compleja que la mineral. Se produce por crecimiento de algas y plantas, en un agua que contiene cierta cantidad de materia orgánica, generalmente en épocas del año de gran luminosidad y elevada temperatura como el verano.

En los sistemas de recarga en profundidad tiene una gran importancia la colmatación debida a la proliferación de bacterias, que se concentran fundamentalmente en la filtración. La colmatación no se produce por las bacterias introducidas con el agua de recarga, ya que su volumen es muy pequeño, sino por los crecimientos y proliferaciones a que pueden dar lugar.

A veces, dependiendo de las condiciones de operación de la instalación y de las características del agua de recarga, se pueden producir fenómenos de colmatación biológica debidos al crecimiento de algas.

2.6.3. Colmatación debida a procesos químicos

El agua que se recarga artificialmente en un acuífero es extraña al ambiente subterráneo donde se introduce, tanto en su medio sólido como líquido. Esto provoca que se puedan producir reacciones de disolución, precipitación, cambio iónico, absorción, adsorción y oxidación-reducción. En principio parece que se debe prestar una mayor atención y control cuando la instalación sea del tipo pozo o sondeo.

2.6.4. Acciones contra la colmatación

La costra colmatante reduce notablemente la permeabilidad de la superficie de absorción. La remoción o retirada de la película impermeable que la colmatación crea, permite recuperar una gran parte de la permeabilidad primitiva. Si las condiciones de suelo lo permiten se recomienda la perforación del pozo desnudo, es decir, sin mampostería o tubería que cubra la superficie de infiltración (paredes del pozo), para que cuando sea necesario y los efectos de la colmatación se manifiesten y se forme la costra que impermeabiliza el pozo, sea posible retirar dicha costra mediante el raspado de la superficie del pozo de absorción.

Otra manera de combatir los efectos de la colmatación y mantener por más tiempo, la capacidad de absorción del pozo es mediante el mantenimiento preventivo de los pozos. Para esto existen líquidos químicos a base de ácidos inorgánicos que se aplican a los pozos de absorción. Estos químicos tienen una probabilidad de éxito en su aplicación superior al 85 por ciento de los casos, recuperando la absorción del terreno en su totalidad, en el resto de casos se ha recuperado la absorción en grado menor.

El procedimiento es sencillo; solamente se necesita que las tapaderas de los pozos estén descubiertas para aplicar el químico, el cual se vierte directamente en el pozo. El líquido tiene una acción desincrustante y es un producto concentrado, listo para ser aplicado en pozos de absorción en una proporción de 1 galón de líquido por cada metro cúbico de agua que tenga el pozo. Su utilización destapa o previene la obstrucción, eliminando obstrucciones causadas residuos provenientes de papel, grasa, tela, toallas sanitarias, pelo y materia orgánica.

En la eficiencia del químico influye mucho la cantidad de tiempo que haya transcurrido sin dar mantenimiento al mismo. Debe darse mantenimiento al pozo como mínimo una vez por año. Si luego de la aplicación del químico, los resultados no son los deseados, la sugerencia es construir otro sistema de absorción.

Cabe resaltar que se debe tener presente que la vida útil del campo de absorción tiene relación directa con la calidad del efluente proveniente del sistema de tratamiento. Mientras mejor calidad tenga el agua, es decir con características físicas, biológicas y químicas más inocuas, serán menores los residuos que obstruyan los poros de la superficie del pozo.

3. MARCO NORMATIVO

3.1. Normas y Leyes para el tratamiento de aguas residuales en Guatemala

Dentro del marco jurídico guatemalteco existen varias disposiciones relacionadas con el medio ambiente y la conservación de los recursos naturales. No obstante en lo referente al tratamiento de aguas residuales la norma más específica es el Acuerdo Gubernativo Número 236-2006, Reglamento de las Descargas y Reuso de Aguas Residuales y Disposición de Lodos, el cual surge debido a la necesidad de ejercer control, y velar por el buen aprovechamiento y uso de las aguas; así como prevenir, controlar y determinar los niveles de contaminación de los arroyos, ríos, lagos y mares y cualquier otra causa o fuente de contaminación hídrica.

3.2. Constitución Política de la República de Guatemala

La carta magna establece el derecho a ambiente sano y lo enuncia de la siguiente forma: El Estado, las municipalidades y los habitantes del territorio nacional están obligados a propiciar el desarrollo social, económico y tecnológico que prevenga la contaminación del ambiente y mantenga el equilibrio ecológico. Se dictarán todas las normas necesarias para garantizar que la utilización y el aprovechamiento de la fauna, de la flora, de la tierra y del agua, se realicen racionalmente, evitando su depredación (Art. 97).

El citado artículo constituye el enunciado de política ambiental más relevante en el país. Se ha utilizado como fundamento del derecho de los ciudadanos a un ambiente sano en recursos de amparo.

En lo que se refiere a los recursos naturales, la constitución indica: Explotación de recursos naturales no renovables. Se declara de utilidad y necesidad públicas, la explotación técnica y racional de hidrocarburos, minerales y demás recursos naturales no renovables. El estado establecerá y propiciará las condiciones propias para su exploración, explotación y comercialización (Art. 125).

Régimen de aguas. Todas las aguas son bienes de dominio público, inalienables e imprescriptibles. Su aprovechamiento, su uso y goce, se otorgan en la forma establecida por la ley, de acuerdo con el interés social (Art. 27).

3.3. Normas técnicas para el diseño y construcción de pozos de absorción

Al hacer la investigación sobre el marco normativo referente al diseño y construcción de los pozos de absorción, existen ciertas normas que ofrecen pautas de diseño que rigen lo referente a la construcción de los pozos de absorción. Dentro de estas normas, se encuentran aquellas de vigencia nacional y de observancia obligatoria, como las normas de planificación y construcción para casos proyectados del Instituto de Fomento de Hipotecas Aseguradas (FHA).

También existen aquellas normas jurídicas que no forman parte del Derecho guatemalteco, pero que forman parte del Derecho positivo de otros países. Estas regulaciones vienen a servir como textos de referencia y consulta

para quienes llevan a cabo obra civil y permiten seguir determinadas pautas de diseño y construcción.

3.3.1. Normas de planificación y construcción para casos proyectados del Instituto de Fomento de Hipotecas Aseguradas (FHA)

El Instituto de Fomento de Hipotecas Aseguradas (FHA) es una Institución descentralizada del Estado, creada en 1961 por decreto 1448 del Congreso de la República. Su función principal es asegurar hipotecas, con el fin de promover la inversión de capitales en financiamiento de vivienda a largo plazo que beneficien al promotor, al comprador y al mismo FHA.

El Reglamento a la Ley del FHA dispone que durante el período de construcción de las obras, el FHA efectuará no menos de tres inspecciones, para conseguir la seguridad física de las viviendas en su aspecto constructivo, considerando los factores que intervienen en la misma como son materiales y equipo, procedimientos y mano de obra, que deberán ser los apropiados de acuerdo a normas aceptables y prácticas establecidas.

El FHA establece en la página 71 de las Normas de planificación y construcción para casos proyectados que los pozos de absorción deben construirse bajo los siguientes parámetros:

j) Los pozos de absorción deben llenar los siguientes requisitos:

Deben ubicarse en áreas no construidas y obligatoriamente en jardines cuando sea posible, a las distancias mínimas siguientes, a menos que el FHA acepte otra localización por las características especiales del inmueble.

Lindero de propiedad 3,00 metros.

Cimientos y otras estructuras 3,00 metros.

Tuberías de agua 3,00 metros.

Si a criterio del FHA, algún pozo presenta la posibilidad de contaminar aguas subterráneas de posible aprovechamiento para abastecimientos de agua potable, no será aceptable.

La profundidad requerida dependerá de la permeabilidad de los estratos que conformen subsuelo, debiendo presentarse al FHA los resultados de las pruebas de infiltración efectuadas.

La descarga de las aguas al pozo debe orientarse adecuadamente para evitar el erosionamiento de sus paredes, y el fondo del mismo debe protegerse con una cama de piedra de 0,75 metros, de altura como mínimo.

Los pozos deben dotarse de tapaderas de concreto reforzado apoyadas sobre brocales de ladrillo de punta, de por lo menos un metro de altura. Debiendo contar con bocas de registro, que deben cumplir con los mismos requisitos que para fosas sépticas.

En caso de suelos no estables, se requerirá la protección de la pared lateral de los pozos contra posibles derrumbes.

En condiciones especiales, el FHA se reserva el derecho de requerir la construcción de más de un pozo de absorción, en cuyo caso deberán quedar conectados en serie, por rebalse.

En cualquier caso, debe quedar área disponible para la construcción de otros pozos en el futuro.

Para el efecto de la limpieza de las fosas, cuando el FHA lo considere necesario, deberá contarse con un pozo pequeño para este propósito únicamente, con una capacidad mínima igual al doble del de la fosa séptica.”

Un proyecto aprobado por el FHA cumple con las normas de planificación y construcción, por lo tanto contará con:

- Licencia municipal de urbanización y construcción
- Construcción en área totalmente segura
- Agua potable permanente, de buena calidad
- Alumbrado público
- Tratamiento de aguas negras
- Evacuación de aguas pluviales
- Calles y banquetas que permitan libre circulación vehicular y peatonal
- Buen acceso a la red vial.
- Áreas verdes

El FHA inspeccionará la construcción de la casa desde los cimientos hasta los acabados finales, cuidando que se cumpla con los parámetros mínimos de diseño establecidos.

3.3.2. Reglamento general de alcantarillados particulares, fosas sépticas, cámaras filtrantes, cámaras de contacto, cámaras absorbentes y letrinas domiciliarias

Esta es una normativa chilena, contenida en el decreto 236 del Ministerio de Higiene en la cual se refiere a la manera de disponer de las aguas servidas caseras en aquellos lugares, donde no exista una red de alcantarillado público y por consiguiente no puedan descargar sus aguas residuales en alguna red cloacal pública existente. El citado reglamento ofrece lineamientos técnicos claros para el diseño y construcción de pozos de absorción, denominados cámaras absorbentes.

Dicho reglamento en su Título VI.- De las cámaras absorbentes indica:

Art. 57. Entiéndese por cámara absorbente aquella en que se aprovecha un terreno natural permeable para provocar la incorporación de las aguas servidas en el subsuelo inferior”

Art. 58. Las cámaras absorbentes se revestirán con albañilería, de piedra, de ladrillo o concreto; deberán ser cubiertas y estar provistas de una tapa estancada de registro de a lo menos 60 centímetros de diámetro.

Art. 59. Toda cámara absorbente tendrá a lo menos 1,50 metros de profundidad útil y una superficie absorbente no inferior a un metro cuadrado por cada 500 litros de agua servida que esté destinada a recibir cada 24 horas.

Art. 60. Ninguna cámara absorbente podrá instalarse a menos de 20 metros de cualquier pozo, noria, manantial u otra fuente destinada o destinable

al suministro de agua de bebida, o en terrenos cuya formación consista en piedra de cal o sustancias análogas.

Art. 61. Las cámaras absorbentes estarán provistas de un tubo de ventilación impermeable de a lo menos 10 centímetros de diámetro, con descarga al aire exterior sobre el techo del inmueble, y cerrado en su parte superior con rejilla de alambre de malla fina que impida el acceso de moscas y otros insectos.

3.4. Ley de protección y mejoramiento del medio ambiente (Decreto 68-86)

El medio ambiente para efectos legales comprende:

- Sistema atmosférico (aire)
- Sistema hídrico (agua)
- Sistema lítico (rocas y minerales)
- Sistema edáfico (suelo)
- Sistema biótico (de la vida para los animales y plantas)
- Elemento audiovisuales

Se establece que el suelo, subsuelo y límites de agua nacionales no podrán servir de reservorio de desperdicios contaminados del medio ambiente o radioactivos.

Tratándose del sistema hídrico, el Ministerio velará por el mantenimiento de la calidad de agua para el uso humano y otras actividades cuyo empleo sea indispensable, por lo que emitirá las disposiciones que sean necesarias y los

reglamentos correspondientes para ejercer control para que el aprovechamiento y uso de las aguas no cause deterioro ambiental:

- Revisar permanentemente los sistemas de disposición de aguas servidas o contaminadas, para que cumplan con las normas de higiene y saneamiento ambiental y fijar los requisitos.
- Determinar técnicamente los casos en que debe producirse o permitirse el vertimiento de residuos, basuras, desechos o desperdicios en una fuente receptora, de acuerdo a normas de calidad del agua.

El Organismo Ejecutivo emitirá los reglamentos relacionados con los procesos relacionados con:

Los procesos capaces de producir deterioro en los sistemas líticos y edáficos, que provengan de actividades industriales, minerales, petroleras, agropecuarias, pesqueras u otras.

Las descargas de cualquier tipo de sustancias que puedan alterar la calidad física, química o mineralógica del suelo o del subsuelo que le sean nocivas a la salud o a la vida humana, la flora, la fauna y a los recursos o bienes.

A través del Estudio de Impacto Ambiental se identifican las medidas e inversiones necesarias para prevenir, reducir, minimizar, corregir, compensar y/o restaurar los impactos ambientales, dando las bases de la Gestión Ambiental.

3.5. Código de Salud

El Código de Salud, Decreto Número 90-97 del congreso de la república, establece con respecto al medio ambiente que el Ministerio de Salud Pública y Asistencia Social, el Ministerio de Ambiente y las municipalidades establecerán los criterios para la realización de estudios de evaluación de impacto ambiental, orientados a determinar las medidas de prevención y de mitigación necesarias, para reducir riesgos potenciales a la salud derivados de desequilibrios en la calidad ambiental, producto de la realización de obras o procesos de desarrollo industrial, urbanístico, agrícola, pecuario, turístico, forestal y pesquero (Artículo 74).

En lo referente a las aguas residuales y disposición de excretas, el código de salud establece que las municipalidades, industrias, comercios, entidades agropecuarias, turísticas y otro tipo de establecimientos públicos y privados, deberán dotar o promover la instalación de sistemas adecuados para la eliminación sanitaria de excretas, el tratamiento de aguas residuales y aguas servidas, así como del mantenimiento de dichos sistemas conforme a la presente ley y los reglamentos respectivos (Artículo 92).

El Ministerio de Salud Pública y Asistencia Social con otras instituciones del sector dentro de su ámbito de competencia, establecerán las normas sanitarias que regulan la construcción de obras para la eliminación y disposición de excretas y aguas residuales y establecerá de manera conjunta con las municipalidades, la autorización, supervisión y control de dichas obras (Artículo 94).

Es responsabilidad de las municipalidades o de los usuarios de las cuencas o subcuencas afectadas, la construcción de obras para el tratamiento

de las aguas negras y servidas, para evitar la contaminación de otras fuentes de agua: ríos, lagos, nacimientos de agua. El Ministerio de Salud deberá brindar asistencia técnica en aspectos vinculados a la construcción, funcionamiento y mantenimiento de las mismas (Artículo 96).

Se prohíbe, asimismo, la descarga de aguas residuales no tratadas en ríos, lagos, riachuelos y lagunas o cuerpos de agua, ya sean éstos superficiales o subterráneos (Artículo 97).

Los sistemas de tratamiento y disposición de aguas residuales deberán ser diseñados y construidos acatando las disposiciones que sobre la materia establezca el Ministerio de Salud, a fin de no comprometer los mantos freáticos, ni contaminar los cuerpos de agua (Artículo 100).

4. METODOLOGÍA

4.1. Generalidades de la urbanización Arcos de Santa María

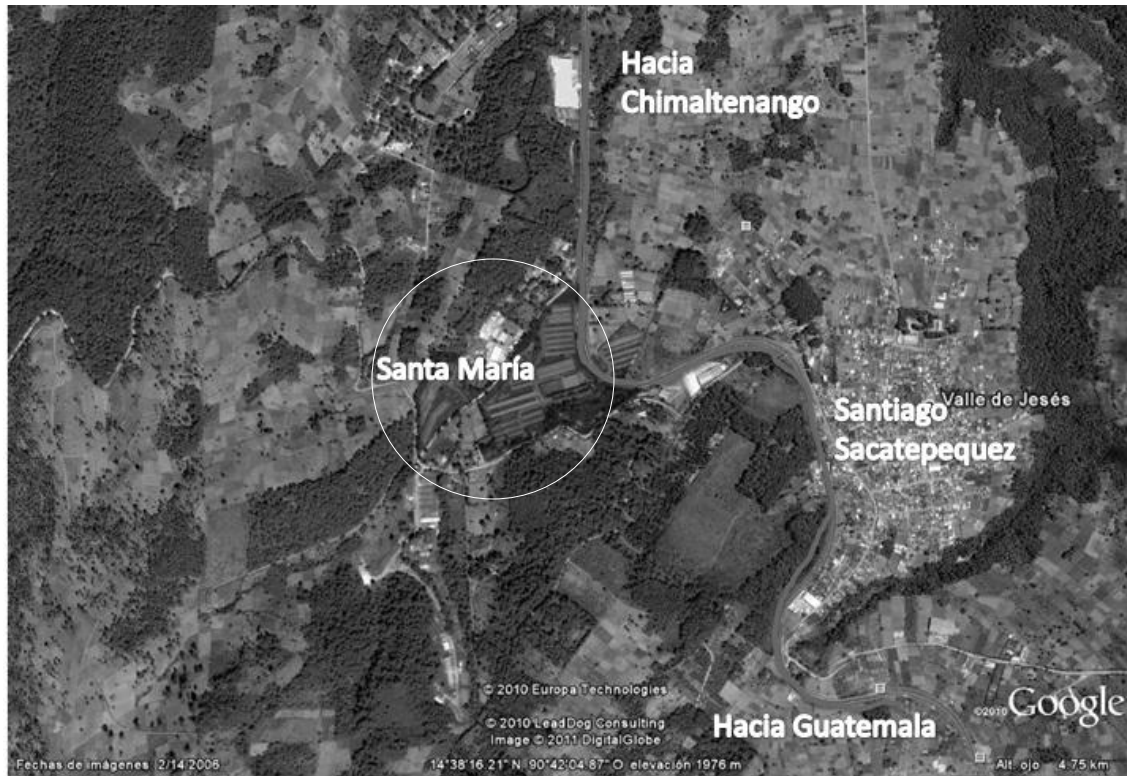
Arcos de Santa María está planificado como una urbanización de clase residencial, dirigido a personas de clase media alta. Fue inspirado para ser un proyecto con mucha privacidad y exclusividad, buscando la armonía con el entorno del altiplano occidental del país, en una zona suburbana.

4.1.1. Ubicación geográfica

Este sitio se localiza sobre la carretera CA-1, camino que va de San Lucas Sacatepéquez a Chimaltenango, a la altura del kilómetro 36,5 dentro del municipio de Santiago Sacatepéquez, aldea Santa María Cauque. Se puede considerar que el sitio se localiza en una zona rural con vistas a ser sub-urbano por la cercanía a polos de desarrollo comercial (Chimaltenango), de vivienda y recreación (San Lucas) y turístico como es La Antigua Guatemala.

En la figura 29 de la página siguiente se muestra la macrolocalización de la urbanización la urbanización Arcos de Santa María:

Figura 19. **Macrolocalización de la urbanización Arcos de Santa María**



Fuente: Google Maps, 27 de junio de 2012.

4.1.2. Vías de acceso

El sector 1 de la urbanización Arcos de Santa María se localiza sobre la carretera CA-1 Occidente, a la altura del kilómetro 36,5.

4.1.3. Actividades socioeconómicas alrededor del proyecto

Dado que el sector 1 de la urbanización Arcos de Santa María se encuentra a la orilla de la carretera CA-1, en sus alrededores se encuentran diversas industrias y comercios. Entre las actividades económicas a las que se dedican se pueden mencionar:

- Industrias maquiladoras.
- Empresa recicladora.
- Granja porcicultora.
- Industria de empaques.
- Planta de fabricación de camas.
- Área forestal; el sitio aún contempla en el área este, sur y oeste con bastante bosque de ciprés y pino, en su mayoría.
- Área de cultivos; vecino a la finca donde se desarrollarán los lotes, existen aún parcelas en las cuales se cultivan productos como:

- | | |
|-----------|----------------|
| ▪ Rábano | ▪ Arveja china |
| ▪ Brócoli | ▪ Repollo |
| ▪ Lechuga | ▪ Zanahoria |

4.1.4. Servicios públicos e infraestructura existente

Entre los servicios que actualmente tiene la propiedad se incluyen:

- Electricidad: al frente del terreno pasa la línea de alta tensión y baja tensión por lo que la solicitud de energía trifásica y monofásica necesaria

para el funcionamiento de pozos de agua y operación está bastante accesible. Anteriormente los dueños tenían un servicio trifásico instalado en el lugar para bombeo de agua potable.

Con respecto al servicio telefónico existe alambrado telefónico sobre la carretera interamericana (CA-1); no existe empresa de cable ya instalada en el lugar; asimismo respecto a la iluminación, no existen postes de alumbrado público.

4.1.4.1. Agua potable

El proyecto ya cuenta con un pozo propio (en funcionamiento) el que servirá inicialmente para uso de construcción y dará el servicio a los lotes que se urbanizarán. Cuando la bomba existente 10 kilovatios (kVa) ya no sea suficiente se procederá a instalar la bomba final que satisfaga la demanda total del proyecto.

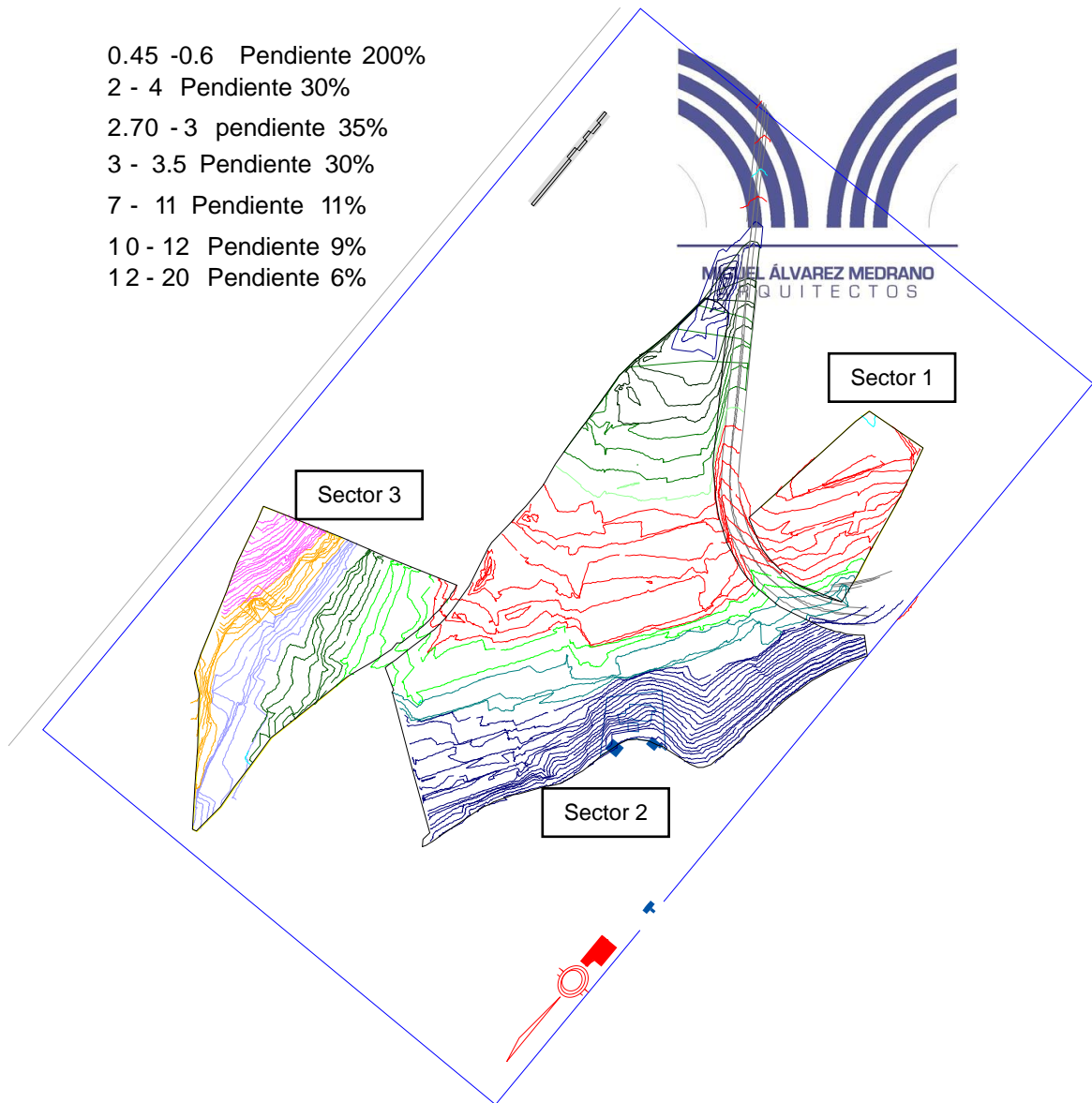
4.1.4.2. Drenajes

No hay línea de drenaje sanitario municipal. Es necesaria la construcción de plantas de tratamiento.

4.2. Topografía del terreno

La descripción general del sitio de la urbanización Arcos de Santa María lo muestra con las pendientes que a continuación se presentan:

Figura 20. **Plano topográfico de la urbanización Arcos de Santa María**



Fuente: CODECA, 2012.

Del análisis de pendientes, se puede concluir que la mayor parte del terreno presenta una pendiente no mayor del 35 por ciento, lo cual es muy

beneficioso para la construcción de plataformas y calles para la realización de proyectos inmobiliarios.

4.3. Análisis del entorno

En el área vecina hay 6 propiedades relevantes de uso industrial las cuales son:

- Planta recicladora (Prosicla) → km. 36
- Maquila y fábrica de perfumes (Los Cocos y Arion, respectivamente) → km. 36.
- Sam Sol, S.A. (Maquila) → km. 37.5
- Empaques San Lucas → km. 37
- Planta de producción Camas Fomtex → km. 38
- Industria porcina → a 800 metros del terreno sobre carretera de terracería.

Figura 21. **Serie de fotografías del entorno de la urbanización Arcos de Santa María**



Empresa recicladora



Empresa maquiladora

Continuación de la figura 21.



Fábrica de camas



Industria de empaques



Industria porcina



Maquila e industria de perfumes



Fuente: elaboración propia.

Con relación a los cultivos, vecino a la finca donde se desarrollarán lotes, aún hay parcelas en las cuales se cultivan productos como:

- Rábano
- Brócoli
- Lechuga
- Arveja china
- Repollo
- Zanahoria

Figura 22. **Plantaciones y cultivos**



Fuente: alrededores del proyecto.

Respecto a lotificaciones, en Santo Domingo Xenacoj (ingreso por km. 40 de la ruta CA-1 Occidente, -Ruta Interamericana-) hay algunas, las cuales en su mayoría únicamente ofrecen lotes en promedio de 25x12; tienen calles de terracería únicamente con carrileras hechas de adoquín, agua potable, energía eléctrica aérea, garita de seguridad. No ofrecen: planta de tratamiento, energía eléctrica subterránea, muro perimetral en toda la urbanización, colectores de agua pluvial, garita formal de ingreso con guardias armados

Con relación a áreas forestales, en los alrededores del terreno de la urbanización al este, sur y oeste aún se contempla bastante bosque de ciprés y pino, en su mayoría.

Figura 23. **Áreas forestales**



Continuación de la figura 23.



Fuente: alrededores del proyecto.

No existen proyectos inmobiliarios cercanos que ofrezcan vivienda, sin embargo a la altura del kilómetro 35 se encuentra la aldea Santa María Cauqué, en la jurisdicción del municipio de Santiago Sacatepéquez.

Figura 24. **Aldea Santa María Cauqué**



Continuación de la figura 24.



Fuente: Aldea Santa María Cauqué.

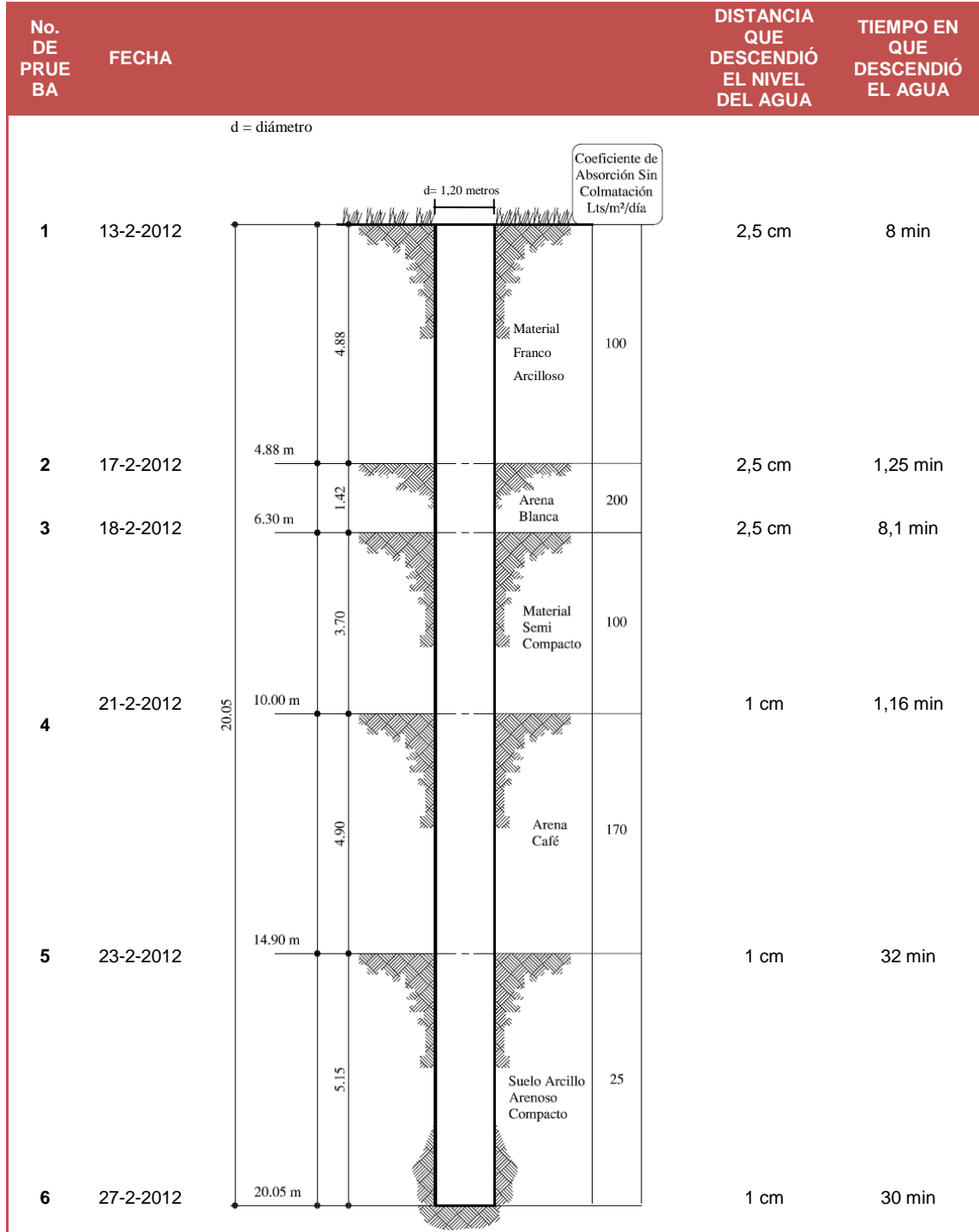
4.4. Determinación de las características del suelo

El suelo de la urbanización Arcos de Santa María pertenece a los suelos tipos Cauqué, con características franco arcilloso, con buena permeabilidad y óptimo para los cultivos. Con estas particularidades y para poder diseñar el campo de absorción era necesario establecer el perfil estratigráfico del terreno.

4.4.1. Determinación del perfil estratigráfico del área

Se excavó un pozo testigo por medio del cual se elaboró el perfil estratigráfico del suelo y sus características; en este pozo se realizaron las correspondientes pruebas estándar de absorción, las cuales dieron los siguientes resultados:

Figura 25. Determinación del perfil estratigráfico del área



Fuente: elaboración propia.

Tabla XIV. **Resumen de pruebas de infiltración del terreno Altos de Santa María**

PRUEBA	FECHA	PROFUNDIDAD	ALTURA QUE BAJÓ EL AGUA (centímetros)	TIEMPO QUE TOMÓ EL AGUA EN BAJAR (minutos)
1	13	0,00	2,5	8,00
2	17	4,88	2,5	1,25
3	18	6,30	2,5	8,10
4	21	0,00	1,0	1,16
5	23	14,90	1,0	32,00
6	27	20,05	1,0	30,00

Fuente: elaboración propia.

4.4.2. Cálculo del coeficiente de absorción del suelo

Con la información anterior se procedió a realizar los cálculos correspondientes a la prueba estándar, según la curva para pozos absorbentes del ábaco del ensayo del índice de absorción, así:

Prueba 1

2,5 centímetros → 8 minutos → Viendo gráfico → 100 lts/m²/día

Prueba 2

2,5 centímetros → 1,25 minutos → Viendo gráfico → 200 lts/m²/día

Prueba 3

2,5 centímetros → 8,10 minutos → Viendo gráfico → 100 lts/m²/día

Prueba 4

Como la prueba se hace tomando el tiempo en que baja 2,5 centímetros, se tiene:

$$\left. \begin{array}{l} 1 \text{ cm} \text{ ——— } 1,6 \text{ min} \\ 2,5 \text{ cm} \text{ ——— } X \end{array} \right\} X = 2,9 \text{ minutos, entonces:}$$

2,5 centímetros → 2,90 minutos → Viendo gráfico → 170 lts/m²/día

Prueba 5

Como la prueba se hace tomando el tiempo en que baja 2,5 centímetros, se tiene:

$$\left. \begin{array}{l} 1 \text{ cm} \text{ ——— } 32 \text{ min} \\ 2,5 \text{ cm} \text{ ——— } X \end{array} \right\} X = 80 \text{ min, entonces:}$$

2,5 centímetros → 80 minutos → Viendo gráfico → 30 lts/m²/día

Prueba 6

Como la prueba se hace tomando el tiempo en que baja 2,5 centímetros, se tiene:

$$\left. \begin{array}{l} 1 \text{ cm} \text{ ——— } 30 \text{ min} \\ 2,5 \text{ cm} \text{ ——— } X \end{array} \right\} X = 75 \text{ minutos, entonces:}$$

2,5 centímetros → 75 minutos → Viendo gráfico → 27 lts/m²/día

En resumen, los coeficientes de absorción obtenidos de las diferentes pruebas son:

Tabla XV. **Resumen coeficientes de absorción**

PRUEBA	COEFICIENTE DE ABSORCIÓN (Sin colmatación) en lts/m²/día
1	100
2	200
3	100
4	170
5	30
6	27

Fuente: elaboración propia.

Tomando en cuenta el bajo coeficiente de absorción de los últimos dos estratos (pruebas 5 y 6), se considera poco útil y rentable excavar hasta dichos estratos, por lo que se considera recomendable excavar hasta los 15 metros de profundidad.

Calculando el coeficiente de absorción ponderado para los estratos 1 a 4 se tiene:

$$\text{Coeficiente de absorción ponderado} = \frac{100 (4,88) + 200 (1,42) + 100 (3,70) + 170 (4,90)}{4,88 + 1,42 + 3,70 + 4,90}$$

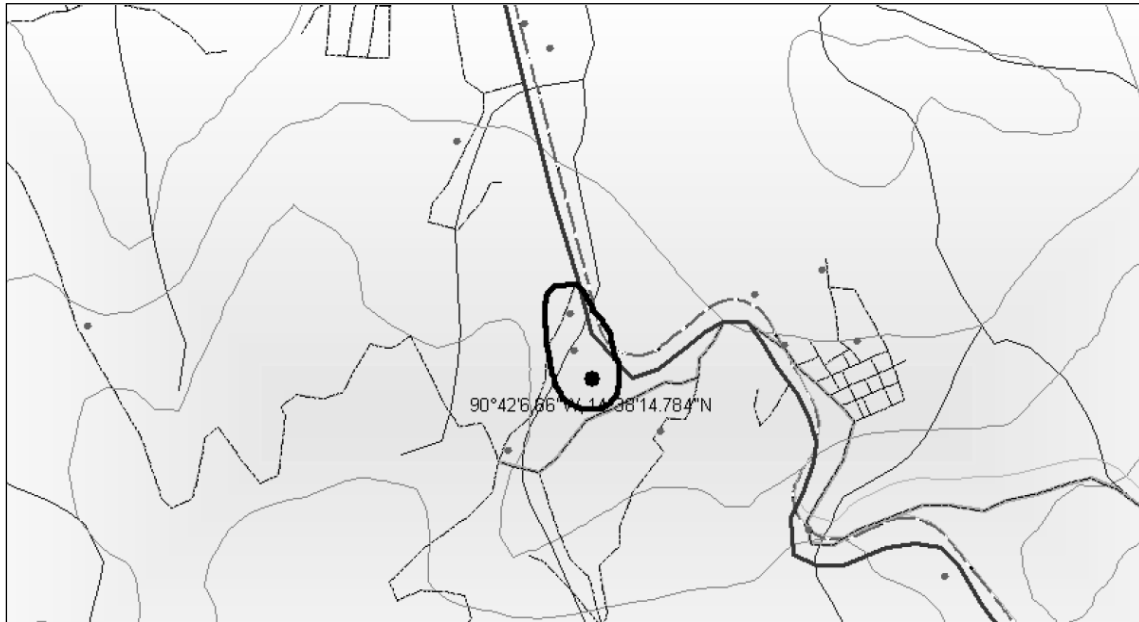
$$\text{Coeficiente de absorción ponderado} = 132,55 \text{ lts/m}^2/\text{día}$$

4.4.3. Determinación de niveles freáticos del área

Conforme entrevista sostenida con el Ing. Roberto Cabrera, Asesor Técnico de Perforación de Daho Pozos, se determinó que en el terreno donde se desarrollará la urbanización existen 3 pozos de agua perforados. El primero tiene 450 pies (137,20 metros) de profundidad; en este pozo la profundidad del manto freático está a 230 pies (70,12 metros), el segundo tiene 477 pies (145,43 metros) de profundidad y el manto freático inicia a 440 pies (134,15 metros). El tercer pozo tiene una profundidad de 444 pies (135,33 metros) y el nivel freático en ese pozo se encuentra a los 205 pies (62,48 metros) de profundidad. En función de lo anterior se concluye que los mantos freáticos del lugar están muy por debajo de la profundidad que se dará a los pozos de absorción (15,00 metros).

Los tres pozos que se localizan dentro de un óvalo en el mapa presentado a continuación son los del terreno de la urbanización Arcos de Santa María; alrededor aparecen otros pozos perforados por la Municipalidad, el Ministerio de Agricultura y algunos particulares. Las profundidades de dichos pozos oscilan desde 460 pies (140,21 metros) hasta 718 pies (218,85 metros), con niveles freáticos desde 268 pies (81,69 metros) hasta 398 pies (121,31 metros) y con producciones que van desde 30 a 346 galones por minuto. Según las palabras del ingeniero Cabrera: Cada pozo es una historia diferente debido a las formaciones geológicas que son de tipo volcánico.

Figura 26. **Pozos perforados en Arcos de Santa María y sus alrededores**



Fuente: Daho Pozos. 2012.

5. RESULTADOS

5.1. Diseño del campo de absorción

El campo de absorción tiene como finalidad disponer las aguas residuales que han sido tratadas en la planta de tratamiento diseñada para la urbanización, y que corresponden al drenaje sanitario producido por 66 viviendas. El campo de absorción estará formado por pozos de absorción trabajando en serie.

Para conocer las características del suelo, se realizaron 6 pruebas de absorción en el pozo testigo que para tal efecto fue construido, las mismas se efectuaron entre el 13 y el 27 de febrero del 2012, en horas de la mañana.

El pozo testigo se ubicó próximo al sitio en que se construirá la planta de tratamiento de aguas residuales (PTAR), del lado de la descarga de las aguas tratadas. La ubicación de la PTAR, así como la del pozo testigo, se dan en el plano correspondiente. El diámetro del pozo testigo fue de 1,20 metros, las pruebas Estándar de Absorción, se realizaron en el fondo del mismo, a la profundidad del que llevaba la excavación.

Del análisis del perfil estratigráfico, se puede establecer que la zona más adecuada para ser usada como área de absorción, se encuentra entre los 4,88 metros y los 14,90 metros.

Se debe tomar en cuenta que el tramo superior casi no se usará, debido a la profundidad a la que llegará el agua tratada, proveniente de la planta de tratamiento de aguas residuales.

Figura 27. **Serie de fotografías de la excavación de pozo testigo en el sector 1 de la urbanización Arcos de Santa María**



Vista exterior de pozo testigo



Vista interior de pozo testigo



Materiales de diferentes estratos



Material final de excavación

Fuente: área del proyecto.

El caudal tratado se conducirá mediante tuberías de 6" PVC hacia el campo de absorción.

Tomando en cuenta que la urbanización se desarrollará en condiciones semiurbanas, conforme la clasificación de Hardenbert y Rodie, presentada en la tabla 12 del presente trabajo de graduación y cuya demanda promedio de agua se considera entre 200 a 350 litros por habitante al día, se tomará un punto intermedio asignando una datación de 250 litros por habitante al día.

Por consiguiente, el caudal que producirán las 66 viviendas del sector 1 de la urbanización será el siguiente:

Datación: 250 litros por habitante al día

$$Q = 250 * 0,8 * 66 \text{ viviendas} * 5 \text{ habitantes} = 66,000 \text{ litros al día}$$

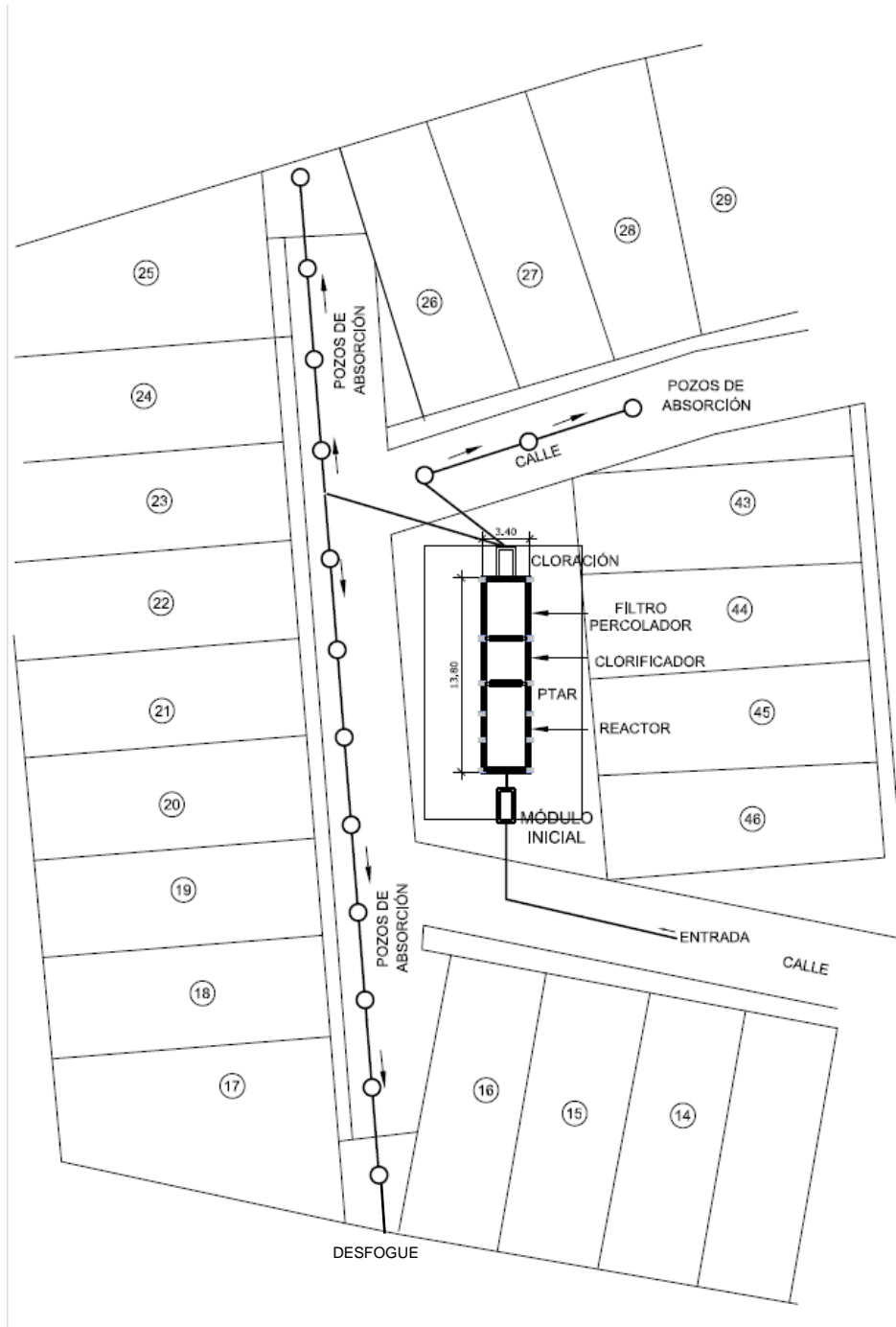
En resumen, el caudal del sector 1 de la urbanización Arcos de Santa María se estima en 66,000 litros

5.1.1. Geometría del campo de absorción

Debido a lo limitado del terreno, los pozos de absorción se ubicarán en el área de calles, razón por la cual deberán estar debidamente encamisados con una pared de block, con sus correspondientes agujeros para propiciar la infiltración.

La distribución de los pozos está diseñada como se muestra en el plano que se presenta a continuación:

Figura 28. Plano distribución de los pozos de absorción



Fuente: CODECA, 2012.

5.1.2. Dimensionamiento de los pozos

El área requerida para un pozo de 1,20 metros de diámetro (sin colmatación) será de:

$$P = 2\pi r$$

$$P = 2\pi (0,60 \text{ metros})$$

$$P = 3,77 \text{ metros}$$

En un pozo de 15 metros de profundidad, el área de absorción del pozo sería de:

$$\text{Área de absorción del pozo} = P * h$$

$$\text{Área de absorción del pozo} = 3,77 \text{ metros} * 15 \text{ metros}$$

$$\text{Área de absorción del pozo} = 56,54 \text{ metros cuadrados por pozo}$$

Por ende, el área de absorción de un pozo sin colmatación será de 56,54 metros cuadrados.

El área de absorción o infiltración que se requerirá, va en función del caudal a infiltrar y de la capacidad de absorción del suelo del terreno, entonces:

$$\text{Área de infiltración} = \text{Caudal} / \text{coeficiente de absorción}$$

$$\text{Área de infiltración} = \frac{66,000 \text{ litros/día}}{132,55 \text{ litros/m}^2/\text{día}}$$

Área de infiltración = 497,92 metros cuadrados

Área de infiltración requerida con colmatación:

Tomando en cuenta que el caudal efluente no será de buena calidad (aguas negras), que si bien se le hará un tratamiento y que se hará un tratamiento a las mismas y que se hará un mantenimiento regular, se asume un porcentaje de colmatación del 50 por ciento, es decir:

$$\text{Área de infiltración con colmatación} = \frac{\text{Área de infiltración}}{\text{Porcentaje de colmatación}}$$

$$\text{Área de infiltración con colmatación} = \frac{497,92 \text{ m}^2}{0,5}$$

Área de infiltración con colmatación = 995,84 metros cuadrados

5.1.3. Cantidad de pozos dentro del campo

La cantidad de pozos necesarios, sin considerar el efecto de colmatación, se obtendrá de dividir el área de infiltración entre el área de cada pozo, en función al coeficiente ponderado de absorción. Así:

$$\text{Cantidad de pozos} = \frac{\text{Área de infiltración}}{\text{Área del pozo}}$$

$$\text{Cantidad de pozos} = \frac{497,92 \text{ m}^2}{56,54 \text{ m}^2}$$

Cantidad de pozos = 8,80 unidades

Ahora si se considera el efecto de la colmatación en la capacidad de absorción del suelo, la cantidad de pozos será:

$$\text{Cantidad de pozos} = \frac{\text{Área de infiltración con colmatación}}{\text{Área de absorción del pozo}}$$

$$\text{Cantidad de pozos} = \frac{995,84 \text{ m}^2}{56,54 \text{ m}^2}$$

$$\text{Cantidad de pozos} = 17.61 \text{ unidades}$$

Se recomienda la construcción de 15 pozos de absorción con una profundidad de 15 metros.

5.1.4. Distancia mínima entre pozos

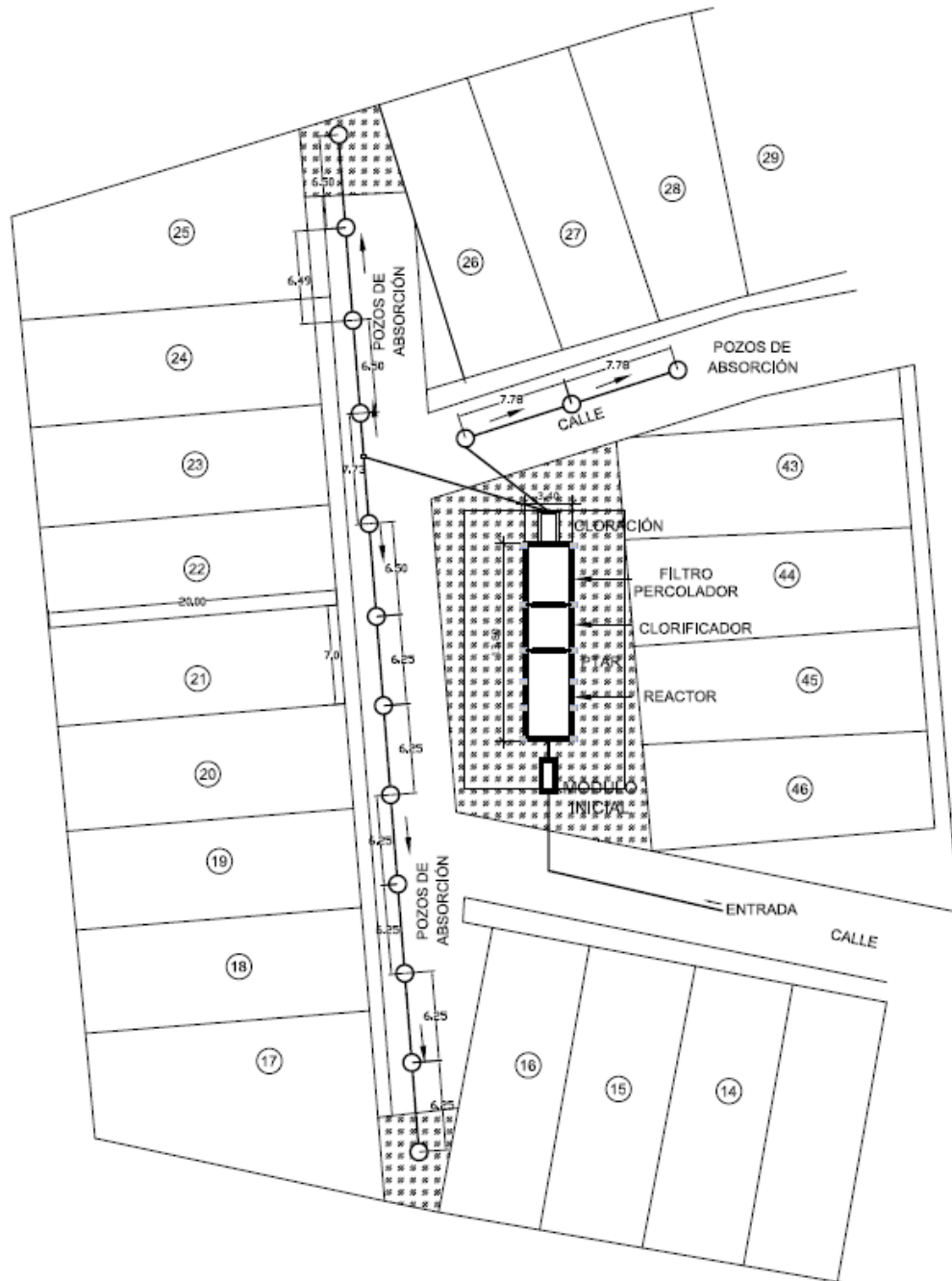
Para el diseño del campo de absorción de la urbanización “Arcos de Santa María”, se tomaron en consideración las siguientes normas técnicas:

- La separación entre pozo y pozo debe ser cuando menos 3 veces el diámetro del pozo de filtración más grande y cuando menos de 6 metros cuando los pozos tengan más de 6 metros de profundidad.
- La distancia del pozo a un lindero de propiedad, a los cimientos de estructuras y de las tuberías de agua, debe ser de 3,00 metros como mínimo (según las normas de planificación y construcción para casos proyectados del FHA).

Por lo tanto la distancia proyectada en el diseño del campo de absorción será entre 6,25 metros y 7,78 metros entre los centros de los pozos.

La distancia entre los pozos se muestra en el plano acotado que se presenta en la figura 25 en la página siguiente:

Figura 29. **Plano del campo de absorción acotado con distancia entre pozos**



Fuente: CODECA, 2012.

5.2. Plan de contingencia en caso del colapso del sistema

El colapso total del sistema ocasionado por la colmatación total de todos los pozos haría que éstos no fueran capaces de infiltrar las aguas residuales provenientes de las viviendas de la urbanización Arcos de Santa María, lo cual conllevaría el colapso total del sistema de absorción.

Si bien es cierto, esta es una situación extrema y cuya ocurrencia es lejana, es preciso considerarla y prever qué medidas sería necesario tomar en caso que sucediera. Es por ello que en el diseño del sistema de pozos de absorción se ha considerado que después de la colmatación de los pozos, el agua residual excedente será drenada hacia un zanjón existente, que actualmente es utilizado tanto para la evacuación de aguas pluviales y residuales de las propiedades colindantes, y debido a la calidad del efluente proveniente del sistema de tratamiento de aguas residuales, se concluye que se puede disponer de un desfogue de emergencia a ese lugar, evento el cual no se prevé que ocurra en un plazo no menor a quince años

5.3. Plan de control y mantenimiento

Como ya se mencionó anteriormente, el principal problema que acorta la vida útil del campo de absorción es la colmatación de los pozos. Si la superficie de absorción de los pozos pierde su capacidad de infiltración, en un momento dado el sistema colapsaría. Es por ello que deben tomarse todas las medidas posibles para mitigar los efectos de la colmatación y evitar que se forme esa costra impermeable que impide la infiltración hacia el subsuelo. Para tal fin se ha considerado:

- Efectuar revisiones periódicas a los pozos para determinar si la colmatación ya se hizo presente y si la absorción del suelo sigue permitiendo la infiltración y la percolación de las aguas residuales.
- Dar mantenimiento periódico, consistente en la aplicación de químicos, para disolver la costra de materia orgánica pegada en las paredes de los pozos y destapar los poros de las paredes de éstos que empiezan a dar signos de pérdida de absorción y el consiguiente llenado por colmatación.

En lo referente al mantenimiento de los pozos actualmente se cuenta en el mercado con empresas que se dedican a prestar servicios de mantenimiento y que ofrecen encargarse de toda la logística que dicho mantenimiento involucra.

Dentro de las ventajas de contratar a una empresa especializada para encargarse del mantenimiento se puede mencionar que ésta se compromete a:

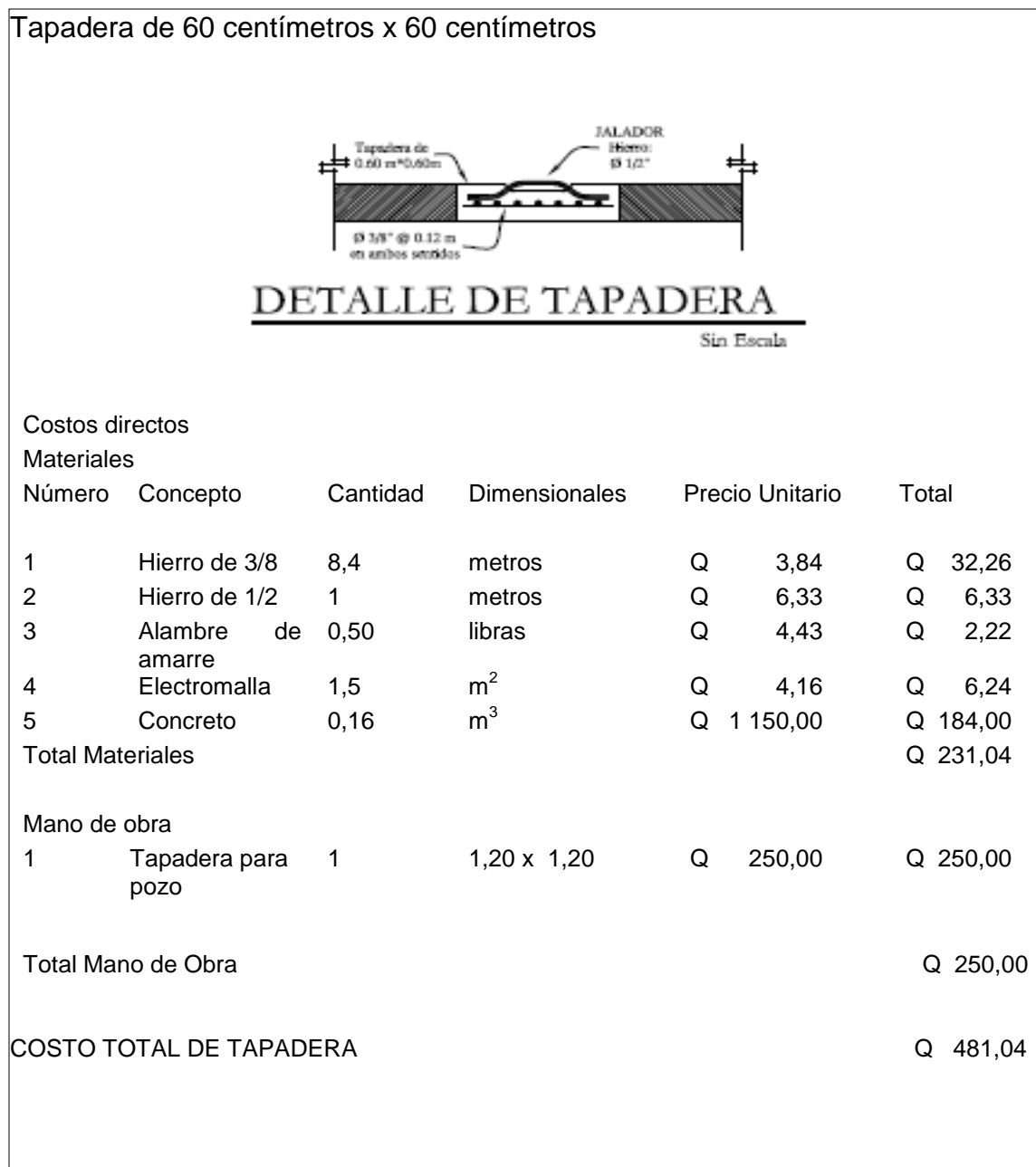
- No se necesita vaciar los pozos para realizar el tratamiento.
- Realizar el servicio con personal capacitado y con amplia experiencia.
- Supervisión del trabajo por un asesor de servicios.
- Aplicación del producto directamente por el personal de la empresa.
- Dar seguimiento después de la aplicación para ver la reacción del pozo al producto.

5.4. Costos del proyecto

En esta sección se presenta un comparativo entre los costos de construcción de un pozo de absorción con un sistema de mampostería, – utilizado tradicionalmente en el medio– y un sistema prefabricado de tubos de

concreto perforados. Asimismo, se incluyen los costos de la interconexión de los pozos para totalizar el costo del campo de absorción.

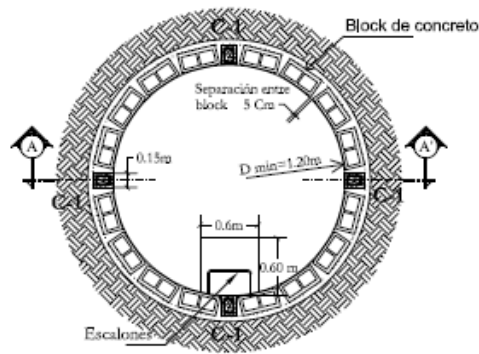
Figura 30. **Presupuesto de un pozo de absorción construido con mampostería**



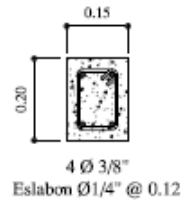
Continuación de la figura 30.

EXCAVACIÓN, ANILLADO Y SELLO DE GRAVA DEL POZO DE ABSORCIÓN

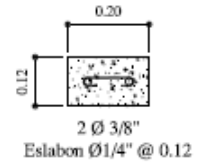
Pozo de 20 varas de profundidad



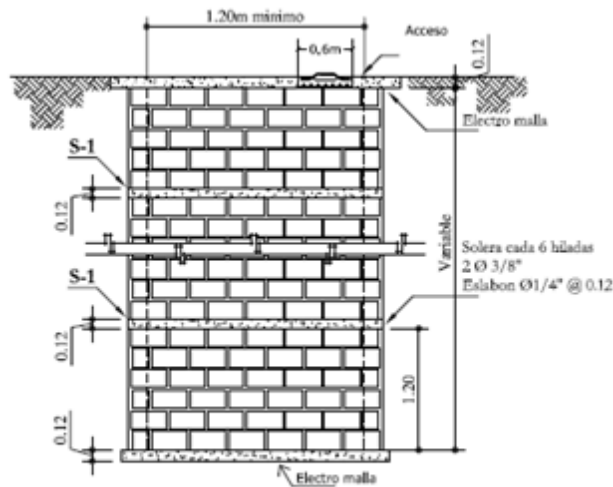
POZO DE ABSORCION
PLANTA SECCION CIRCULAR Escala: 1:50



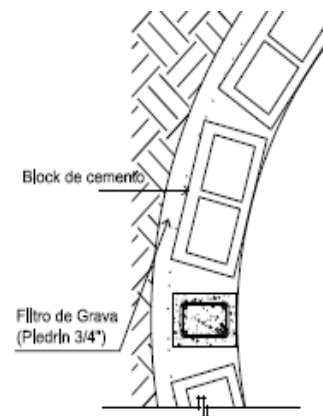
COLUMNA C-1
Escala: 1:12



SOLERA S-1
Escala: 1:12



POZO DE ABSORCION
SECCION A - A' Escala: 1:50



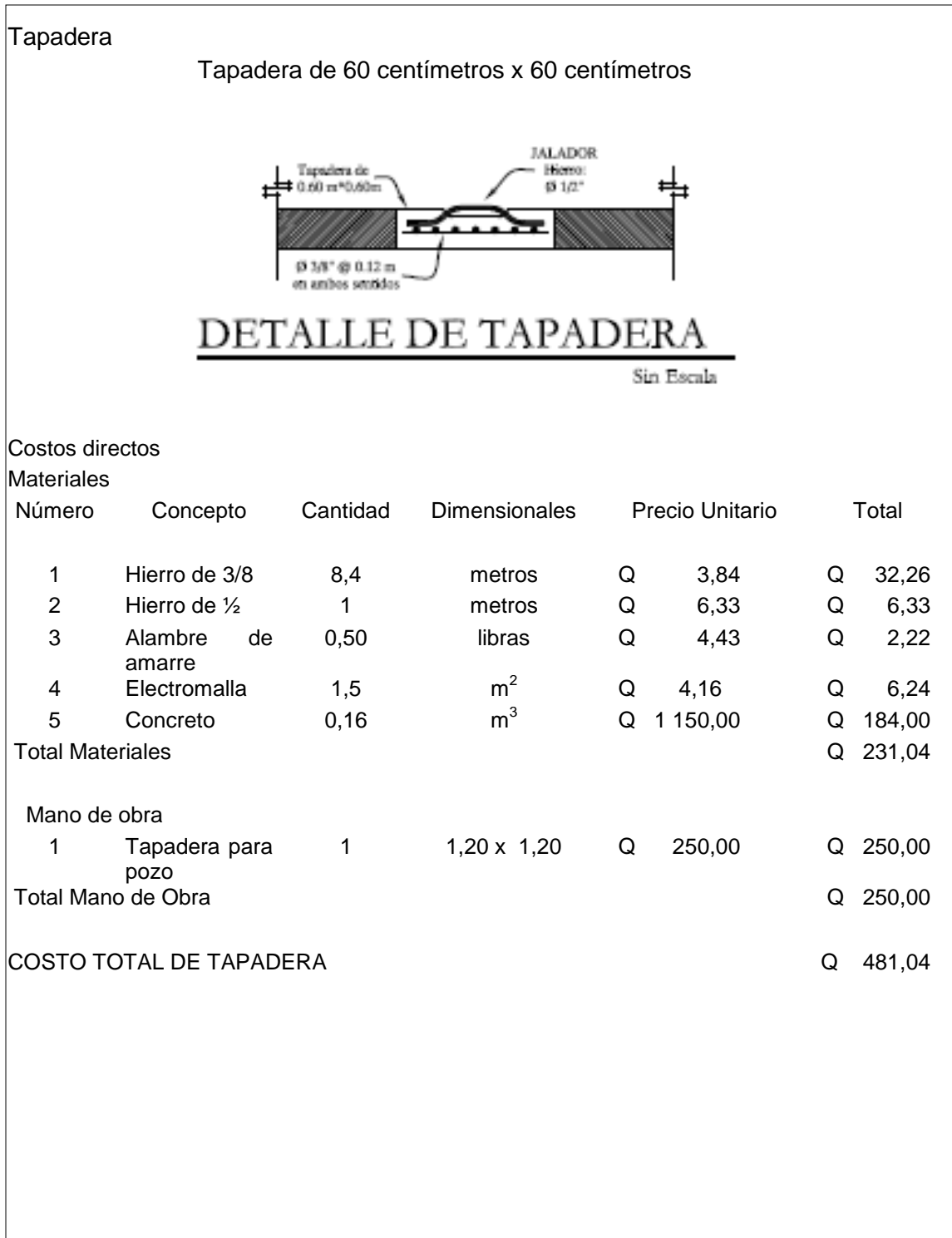
POZO DE ABSORCION
DETALLE DE RELLENO Sin Escala

Continuación de la figura 30.

Materiales						
Número	Concepto	Cantidad	Dimensionales	Precio Unitario	Total	
1	Hierro de 3/8	440	Metros	Q 3,84	Q 1 689,60	
2	Alambre de amarre	15,00	libras	Q 4,43	Q 66,45	
3	Concreto	5	m ³	Q 1 150,00	Q 5 750,00	
4	Block de tabique	720	unidades	Q 2,70	Q 1 944,00	
5	Sabieta	10	bolsas	Q 28,00	Q 280,00	
6	Piedrín de ¾	10	m ³	Q 190,00	Q 1 900,00	
Total Materiales					Q 11 630,05	
Mano de obra						
1	Excavación	20	varas	Q 70,00	Q 1 400,00	
2	Armadura	55	metros	Q 8,00	Q 440,00	
3	Levantado de block	22	m ²	Q 18,00	Q 396,00	
4	Sello de piedrín	10	m ³	Q 20,00	Q 200,00	
Total Mano de Obra					Q 2 236,00	
COSTO TOTAL DE EXCAVACIÓN, ANILLADO Y SELLO DE GRAVA					Q 13 866,05	
Integración de costos						
1	MATERIALES			Q 11 861,09	Q 11 861,09	
2	MANO DE OBRA			Q 2 486,00		
	IVA			Q. 298,32	Q 2 784,32	
COSTO TOTAL DE POZO DE ABSORCIÓN					Q 14 645,41	
<p>Por lo tanto el costo del campo de absorción, consistente en quince pozos, será de Q. 219 681,15</p>						

Fuente: elaboración propia.

Figura 31. **Presupuesto de un pozo de absorción construido con tubos de concreto perforados**



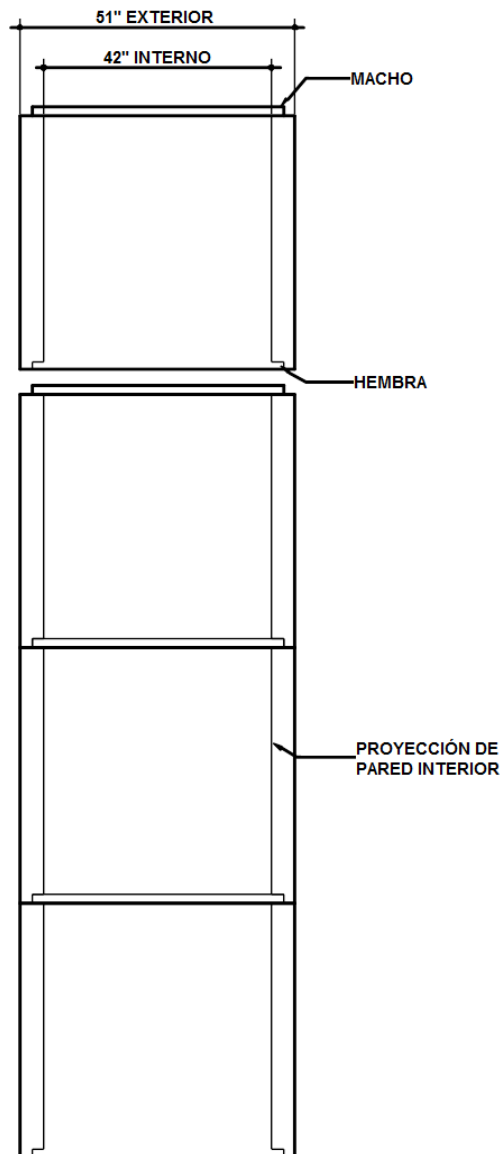
Continuación de la figura 31.

Excavación, anillado y sello de grava del pozo de absorción

Pozo de 20 varas de profundidad

Pozo de absorción

Sistema tubo prefabricado perforado



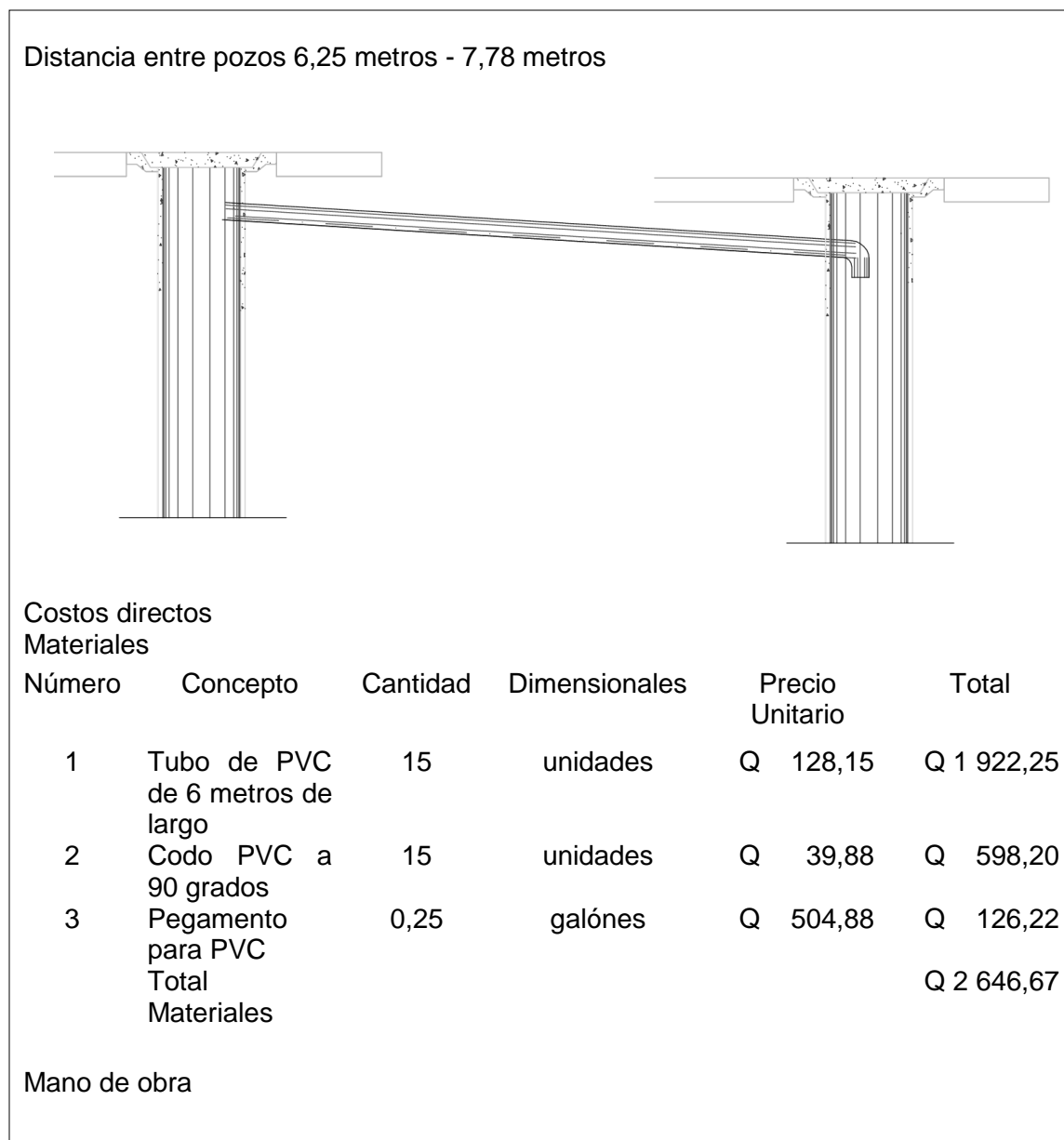
Continuación de la figura 31.

Costos directos						
Materiales						
Número	Concepto	Cantidad	Dimensionales	Precio Unitario	Total	
1	Tubo perforado reforzado de 1,20 metros	8	unidades	Q 894,21	Q 7	153,68
2	Tubo perforado no reforzado de 1,20 metros	9	unidades	Q 608,83	Q 5	479,47
3	Fletes	2	unidades	Q 615,00	Q 1	230,00
4	Piedrín	10	m3	Q 190,00	Q 1	900,00
Total Materiales					Q 15	763,15
Mano de obra						
1	Excavación	20	varas	Q 70,00	Q 1	400,00
2	Instalación	17	unidades	Q 150,00	Q 2	550,00
3	Sello de piedrín	10	m3	Q 20,00	Q	200,00
Total Mano de Obra					Q 3	950,00
COSTO TOTAL DE EXCAVACIÓN, ANILLADO Y SELLO DE GRAVA					Q 19	713,15
INTEGRACION DE COSTOS						
1	MATERIALES			Q 15 994,19	Q 15	994,19
2	MANO DE OBRA			Q 4 200,00	Q 4	704,00
	IVA			Q. 504,00	Q 4	704,00
COSTO TOTAL DE POZO DE ABSORCIÓN					Q 20	698,19

Fuente: elaboración propia.

El costo de construcción de los 15 pozos de absorción con este sistema es de Q. 310 472,85. Por lo tanto, al hacer la comparación entre los costos de ambos sistemas se establece que la opción económicamente ventajosa es construir los pozos con un sistema de mampostería, ya que la diferencia asciende a Q. 90 791,70.

Figura 32. **Conexión entre pozos**



Continuación de la figura 32.

1	Zanja	90	metros	Q 15,00	Q 1 350,00
2	Instalación	15	unidades	Q 20,00	Q 300,00
3	Llenado de zanja	90	metros	Q 5,00	Q 450,00
	Total Mano de obra				Q 1 650,00
TOTAL	COSTO TOTAL DE INTERCONEXIÓN				Q 4 296,67

Fuente: elaboración propia

El costo total del campo de pozos de absorción construidos con mampostería y su correspondiente interconexión asciende a Q. 314 769,52.

CONCLUSIONES

1. La utilización de un campo de absorción, es la alternativa más adecuada para la disposición de las aguas residuales tratadas en la urbanización Arcos de Santa María, aldea Santa María Cauqué, Santiago Sacatepéquez, Sacatepéquez, ya que no se cuenta con cuerpos de agua superficiales cercanos, y al mismo tiempo se reabastecen los mantos freáticos y minimiza la contaminación de éstos, ya que el subsuelo funciona como filtro natural de los contaminantes aún presentes en el agua.
2. En vista que no se cuenta con ningún cuerpo de agua superficial cercano más que con un zanjón al sur del terreno que ocupará el sector uno de la urbanización Arcos de Santa María, se considera que éste puede ser utilizado como el desfogue de emergencia en caso de colapso total del sistema de infiltración, dirigiendo hacia éste la evacuación de las aguas residuales.
3. Luego de realizar la excavación y las pruebas de absorción del pozo testigo, se determinó que en los primeros cuatro estratos se obtuvieron buenos coeficientes de absorción, mientras que el último estrato compuesto de un material arcilloso arenoso compacto, evidenció un coeficiente demasiado bajo, por lo que los pozos de absorción no deben construirse a profundidades mayores a los 15 metros.
4. Los pozos de absorción normalmente no son una fase que se encuentre dentro de la ruta crítica de la construcción de un proyecto, por lo tanto el

ahorro de tiempo en la ejecución del campo de absorción no es un factor de ponderación lo suficientemente importante a la hora de seleccionar el sistema de construcción a utilizar en el campo de absorción. Además luego de haber comparado los costos de construcción de un pozo de absorción utilizando un sistema de mampostería contra un sistema de tubos de concreto perforados, se concluye que los ahorros en el avance de la obra no se traducen en un beneficio económico.

5. Con base al caudal a infiltrar, las características del suelo y su capacidad de absorción, se determina que el área de infiltración del campo de absorción deberá ser de 497,92 metros cuadrados sin colmatar, lo cual, dada la profundidad recomendada no mayor a los 15 metros, implicaría la construcción de una batería de 9 pozos de absorción; pero tomando en cuenta el factor de colmatación se hace necesario un área de infiltración de 995,84 metros cuadrados, lo cual hace necesario construir un campo con 15 unidades de 15 metros de profundidad cada uno.
6. El adecuado mantenimiento preventivo tanto del sistema de tratamiento de aguas residuales, como de los pozos de absorción tendrá como consecuencia el extender la vida útil del sistema, minimizando los efectos de la colmatación.

RECOMENDACIONES

1. De manera periódica, tomar muestras del efluente proveniente del sistema de tratamiento de aguas residuales para determinar las características físicas, químicas y biológicas de éstas, a modo tal que se mantengan dentro de las establecidas en los parámetros de diseño del sistema.
2. Revisar periódicamente el grado de colmatación del sistema de pozos de absorción, a modo de prestarles el mantenimiento preventivo que necesitan y como mínimo dárselo una vez al año.
3. Construir el sistema de contingencia con rebalse hacia el zanjón existente, para prever un desfogue en caso de colapso del campo de absorción.
4. Se recomienda la utilización de un sistema de protección contra el colapso de las paredes de los pozos consistente en muros de mampostería, debido a las vibraciones por la circulación de vehículos, la saturación del suelo y los movimientos sísmicos.
5. Es adecuado elaborar un manual de mantenimiento preventivo que contenga todos los aspectos técnicos relacionados con el correcto funcionamiento del campo de absorción, así como aquellas medidas preventivas tendientes a evitar el colapso del mismo.

BIBLIOGRAFÍA

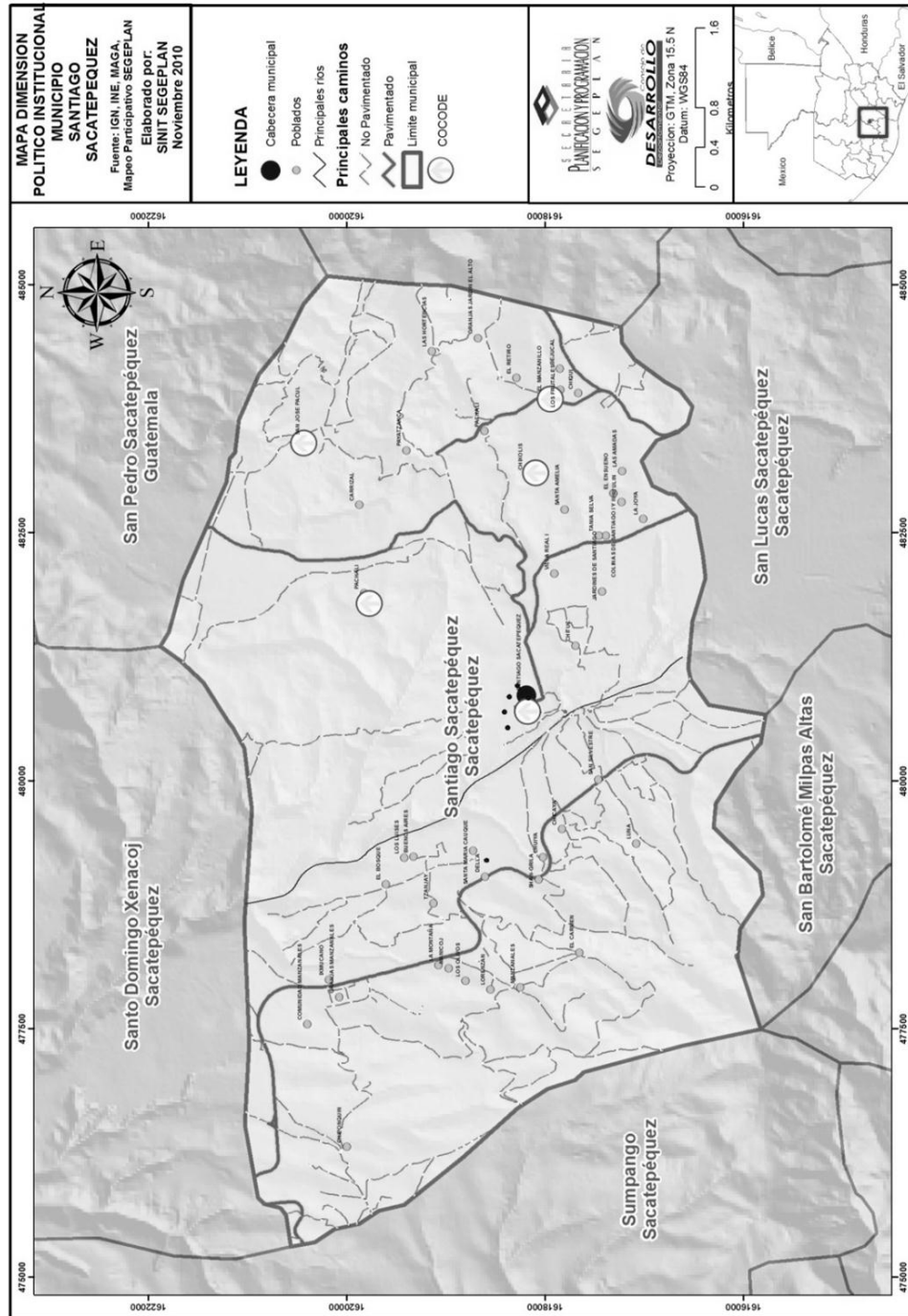
1. ALONZO GUAJÁN, María Estela. *Evaluación social de algunas formas imperativas e interrogativas entre el Kaqchikel de Sumpango y Santa María Cauqué*. Trabajo de graduación de Lic. en Sociolingüística. Universidad Mariano Gálvez de Guatemala, Guatemala: Facultad de Humanidades 1997. 71 p.
2. Asociación de Investigación y Estudios Sociales. *Producción agrícola en Santa María Cauqué*. Guatemala: Revista ASIES 3/96, 1996. 96 p.
3. CASANOVA PINTO, Manuel, et al. *Edafología: Guía de clases prácticas*. Chile: Universidad de Chile, Facultad de Ciencias Agronómicas, Departamento de Ingeniería y Suelos. 2004. 75 p.
4. CHEREQUE MORAN, Wendor. *Hidrología para estudiantes de Ingeniería Civil*. Peru: Consejo Nacional de Ciencia, Tecnología e innovación Tecnológica –CONCYTEC–, 1989. 223 p.
5. DE LA CRUZ S., Jorge René. *Clasificación de las Zonas de Vida de Guatemala a nivel de reconocimiento*. Guatemala: Instituto Nacional Forestal, 1982. 29 p.

6. DURÁN BENAVIDES, Orlando; MAJANO MARTÍNEZ, Daniel; FUENTES MELÉNDEZ, Walter. *Propuesta de diseño de planta de tratamiento de aguas residuales de la ciudad de Chirilagua, Departamento de San Miguel*. Trabajo de graduación de Ing. Civil. Universidad de Oriente. El Salvador: Facultad de Ingeniería y Arquitectura 2003. 210 p.
7. FAIR, Gordon Maskew; GEYER, John Charles; OKUN, Daniel Alexander. *Abastecimiento de agua y remoción de aguas residuales*. México: LIMUSA, 1998. 547 p.
8. Instituto de Fomento de Hipotecas Aseguradas. *Normas de planificación y construcción para casos proyectados*. Guatemala: FHA, 2010. 100 p.
9. LÓPEZ HERNÁNDEZ, Carlos Marcial. *Convergencia en el idioma de Santa María Cauqué, Sacatepéquez, entre el K'iché y el Kaachikel como proceso del cambio sociolingüístico*. Trabajo de graduación de Lic. en sociolingüística. Universidad Mariano Gálvez de Guatemala, Guatemala: Facultad de Humanidades 1999. 160 p.
10. LÓPEZ VILLATORO, Arnoldo Ranferí. *Estudio del efecto de adelantar la poda en mora (Rubus sp. Var Brazos), sobre el período de producción, rendimiento y rentabilidad, en tres localidades del altiplano central de Guatemala*. Trabajo de graduación de Ing. Agrónomo, Universidad de San Carlos de Guatemala, Guatemala: Facultad de Agronomía, 1992. 95 p.

11. MARTÍNEZ, Juan Carlos. *Guía de aspectos legales, ambientales y constructivos para un proyecto habitacional tipo condominio de el área metropolitana*. Trabajo de graduación de Ing. Civil. Universidad Rafael Landívar, Guatemala: Facultad de Ingeniería, 2003. 113 p.
12. MORENO MERINO, Luis. *La depuración de aguas residuales urbanas de pequeñas poblaciones mediante infiltración directa en el terreno*. Madrid: Instituto Geológico y Minero de España -Serie: Hidrogeología y Aguas Subterráneas N° 4-. 2002. 167 p.
13. Secretaría de Planificación y Programación de la Presidencia. *Mapeo participativo: Informe de taller*. Guatemala: SEGEPLAN 2009. Mimeo 150 p.
14. _____. *Plan de Desarrollo Santiago Sacatepéquez, Sacatepéquez*. Guatemala: SEGEPLAN, 2010. 98 p.
15. REED, Sherwood C.; CRITES, Ronald W.; MIDDLEBROOKS, E. Joe. (1995) *Natural systems for waste management and treatment*. 2a. Ed., Nueva York: McGraw Hill, 1995, 433 p.
16. United States Environmental Protection Agency –EPA–*The clean water Act –CWA–*.33 U.S.C. s/s 121 et seq. [en línea]. www.epa.gov. [Consulta: 2 de octubre de 2012].

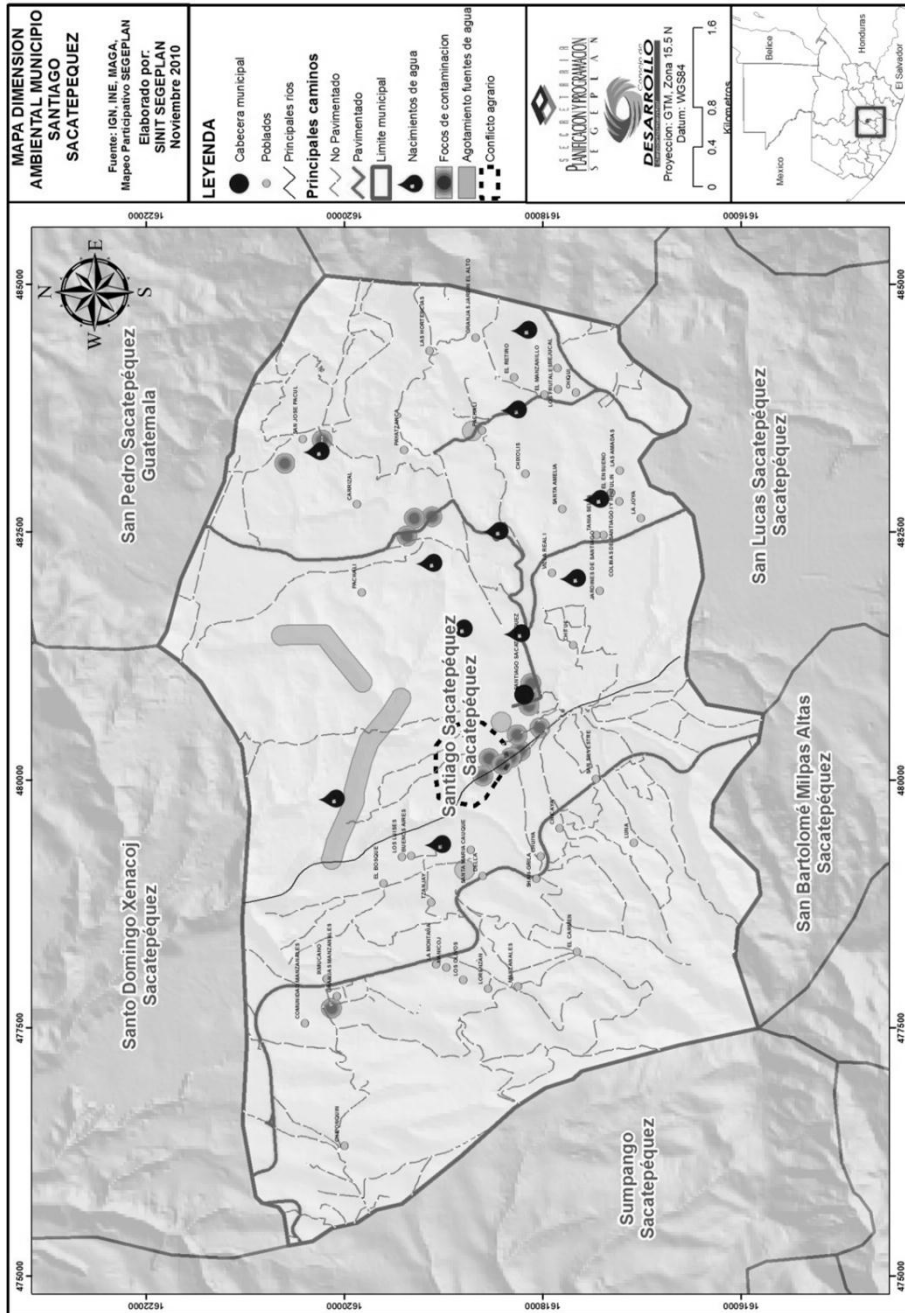
ANEXOS

Figura 33. Mapa de Santiago Sacatepéquez



Fuente: SEGEPLAN, 2010.

Figura 34. Mapa Ambiental de Santiago Sacatepéquez



Fuente; SEGEPLAN, 2010.

Figura 35. **Santa María Cauqué**



Fuente: Google Maps. Mayo, 2012.

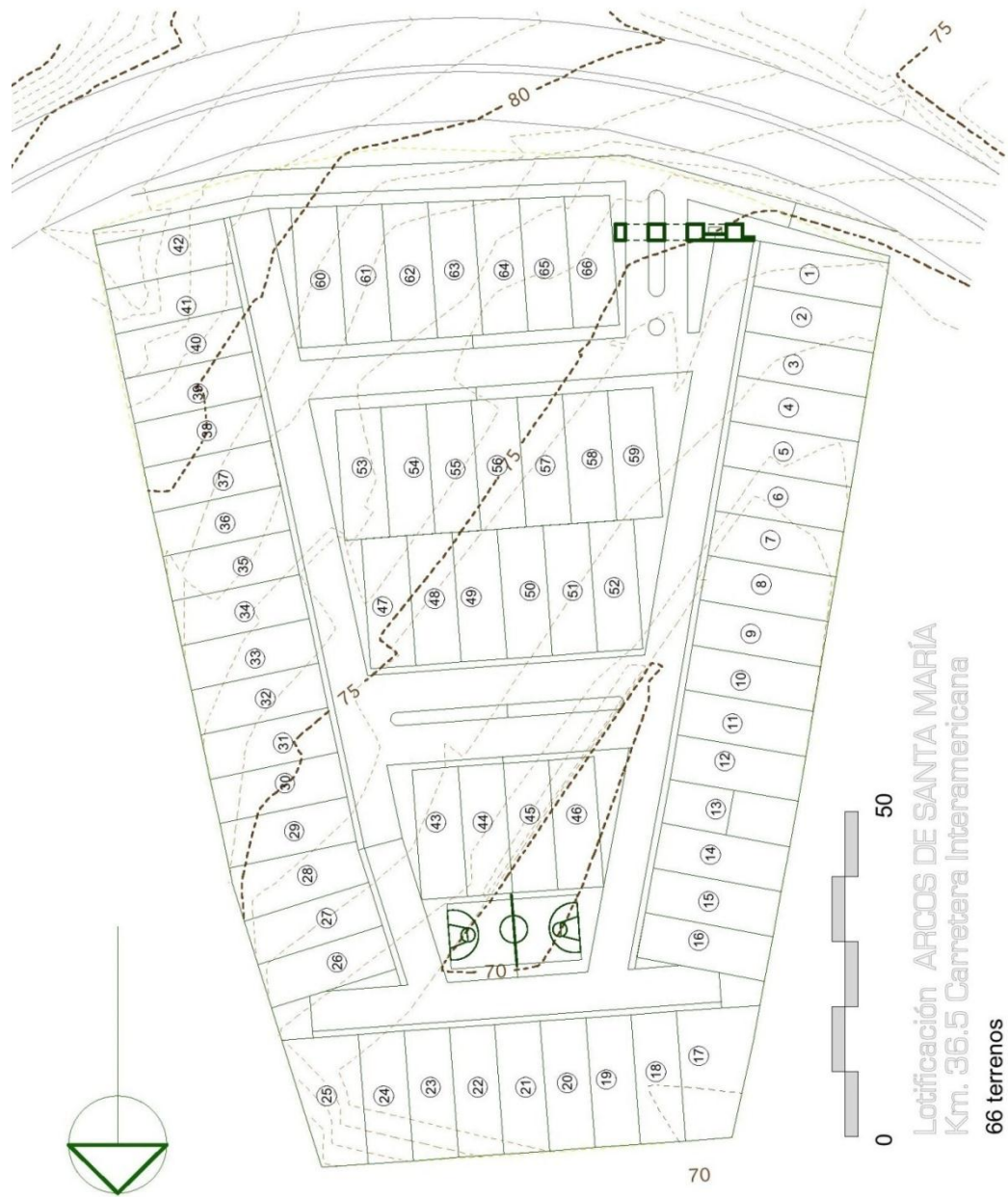
Tabla XVI. **Población servida con suministro de agua pública en Latinoamérica y el Caribe**

País	Población (millones, redondeados)		Agua Potable (% hogares conectados)		Saneamiento Público (% hogares conectados)	
	Urbana	Rural	Urbana	Rural	Urbana	Rural
Argentina	30.3	4.1	68	24	39	42
Bahamas	0.3	**	88	86	16	100
Barbados	0.1	0.2	98	98	4	98
Belice	0.1	0.1	89	51	44	21
Bolivia	4.2	3.0	74	42	31	39
Brasil	124.5	37.2	74	28	35	43
Chile	12.2	2.0	99	47	79	7
Colombia	26.4	10.3	86	32	65	27
Costa Rica	1.5	1.6	100	99	55	95
Dominicana	5.2	2.9	56	55	28	68
Ecuador	6.5	4.7	79	10	61	26
El Salvador	2.7	3.4	78	24	60	65
Guatemala	4.2	6.1	84	48	70	50
Guyana	0.3	0.5	77	69	27	28
Haití	2.2	4.9	29	39	—	16
Honduras	2.8	3.1	77	66	50	71
Jamaica	1.4	1.1	57	53	34	65
México	68.1	22.7	93	57	81	29
Nicaragua	2.5	1.6	86	28	34	28
Panamá	1.6	1.4	98	73	64	81
Paraguay	2.6	2.4	59	6	20	44
Perú	16.8	6.6	63	31	59	23
Surinam	0.3	0.1	95	70	2	36
Trinidad	0.9	0.4	90	88	32	92
Uruguay	2.7	0.3	90	—	56	—
Venezuela	19.8	1.7	73	79	62	60
Total	340.2	122.4	79	39	52	39

— No disponible. ** Insignificante
 FUENTE: Edlovitch, E., y K. Ringskog, "Directions & Development: Wastewater Treatment in Latin America, Old and New Options," World Bank, Washington, D.C., 1997.

Fuente: Ver pie de imagen.

Figura 36. Planos del sector 1 de la lotificación Arcos de Santa María



Fuente: CODECA, 2012.

Figura 37. **Fachada de la urbanización Arcos de Santa María**



Fuente: CODECA, 2012

Figura 38. **Garita de acceso de la urbanización Arcos de Santa María**



Fuente: CODECA, 2012

