

**UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL**



**DIAGNÓSTICO PARA EL MEJORAMIENTO DEL SERVICIO Y
LA CALIDAD DEL AGUA DE LA ZONA RURAL DE ARMENIA
DEPARTAMENTO DE SONSONATE.**

PRESENTADO POR:

**ROBERTO JOVEL CAMPOS
JUAN ANTONIO LEMUS APARICIO
EMERSON EDDI ARMANDO NIETO HERNANDEZ**

PARA OPTAR AL TÍTULO DE:

INGENIERO CIVIL

CIUDAD UNIVERSITARIA, MAYO DE 2003

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR

RECTORA :
Dra. María Isabel Rodríguez

SECRETARIA GENERAL :
Licda. Lidia Margarita Muñoz Vela

FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA

DECANO :
Ing. Alvaro Antonio Aguilar Orantes

SECRETARIO :
Ing. Saúl Alfonso Granados

ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL

DIRECTOR :
Ing. Luis Rodolfo Nosiglia Durán

**UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL**

Trabajo de graduación previo a la opción al grado de:
INGENIERO CIVIL

Título :
**DIAGNOSTICO PARA EL MEJORAMIENTO DEL SERVICIO Y LA
CALIDAD DEL AGUA DE LA ZONA RURAL DE ARMENIA
DEPARTAMENTO DE SONSONATE.**

Presentado por :
**ROBERTO JOVEL CAMPOS
JUAN ANTONIO LEMUS APARICIO
EMERSON EDDI ARMANDO NIETO HERNÁNDEZ**

Trabajo de Graduación aprobado por:

Docente Director :
**ING. EDWIN SANTIAGO ESCOBAR RIVAS
ING. RICARDO ERNESTO HERRERA MIRON
ING. TRANSITO ARTURO QUEZADA MUÑOZ**

San Salvador, Mayo de 2003

Trabajo de Graduación aprobado por:

Docentes Directores :

ING. EDWIN SANTIAGO ESCOBAR RIVAS

ING. RICARDO ERNESTO HERRERA MIRON

ING. TRANSITO ARTURO QUEZADA MUÑOZ

AGRADECIMIENTOS

En primer plano le agradecemos a **DIOS**, por darnos la oportunidad de vivir y por consiguiente disfrutar de nuestro esfuerzo escalando un peldaño más de la escalera del éxito, a nuestros padres por estar con nosotros en los momentos más difíciles de nuestra carrera; a la Universidad de El Salvador por habernos dado la oportunidad de forjar nuestro futuro dentro de sus instalaciones.

A las empresas e instituciones que nos colaboraron de forma desinteresada y oportuna durante el desarrollo de este trabajo de graduación, con tiempo, asesoría técnica, préstamo de equipo de campo, información actualizada. Siempre hemos creído en El Salvador y su gente, este trabajo de graduación es una muestra de esa solidaridad que muestra gente a la hora de dar su apoyo, le agradecemos de manera infinita a las siguientes empresas e instituciones que participaron en la realización de este trabajo de graduación desinteresadamente.

- Universidad de El Salvador (UES).
- Departamento de Hidrogeología y Pozos, A.N.D.A.
- Unidad de Salud de Armenia.
- Gerencia Ambiental, M.S.P.A.S.
- Unidad de Salud San Rafael Oriente.
- Perforaciones 2000 de El Salvador.
- Laboratorio de Seguridad Microbiológica Ambiental, M.S.P.A.S.

A los diferentes profesionales de las instituciones y empresas, que nos brindaron su apoyo en las etapas de este trabajo de graduación, aportando su granito de arena, con su tiempo, sacrificio, consejos, recomendaciones, correcciones, etc. Nos sentimos muy agradecidos por habernos ayudado de la

manera mas directa y transparente es por ello que le agradecemos de manera infinita su colaboración a los siguiente profesionales:

- Ing. Edwin Santiago Escobar Rivas.
- Ing. Ricardo Ernesto Herrera Mirón.
- Ing. Transito Arturo Quezada Muños.
- Ing. Susan Campos.
- Ing. Luis Rodolfo Nosiglia Duran.
- Ing. José Ranulfo Carcamo y Carcamo.
- Ing. Juan Bautista.
- Ing. Jorge Acosta.
- Ing. Walter Machuca.
- Lic. Lilybeth Candel.
- Lic. Gerber Aparicio.
- Tec. Edwin Rivera.
- Tec. Ever Gomez.

A las personas que de una u otra manera nos ayudaron durante el proceso de este trabajo que se consolidará, les agradecemos por el tiempo tan valioso, favores, etc.

- Srita. Margarita Campos (UES).
- Sra. Sonia (A.N.D.A.)

En general a todas las personas que contribuyeron de forma directa o indirecta a la realización del presente trabajo de graduación.

ROBERTO JOVEL

JUAN LEMUS

EMERSON NIETO

DEDICATORIA

A DIOS: Por haberme dado la vida, y permitirme terminar mi carrera académica.

A MIS PADRES: Andrés Mauricio Jovel y Rosa Vilma Campos, por su apoyo total. Infinitas gracias.

A MIS HERMANOS: Julio Cesar Jovel y Andrés Mauricio Jovel por apoyarme siempre.

A MI ABUELITA: Elia Campos, por sus sabios consejos que me han ayudado mucho a lo largo de mi vida.

A MIS FAMILIARES: Por el apoyo y motivación que me dieron en todo momento. Especialmente la familia Aparicio.

A MIS AMIGOS: A todas aquellas personas que de una u otra manera me apoyaron y contribuyeron de manera desinteresada, ayudándome a la obtención de este triunfo.

ROBERTO JOVEL

DEDICATORIA

A DIOS : Por darme la oportunidad de vivir y brindarme la sabiduría necesaria para poder culminar mi carrera académica. Gracias señor por que nunca me has desamparado, has estado conmigo en los momentos más difíciles de mi existencia, tu eres el principio y el fin, nada es imposible para ti señor, gracias señor por tu amor.

A MIS PADRES: Vilma Aparicio y Jorge Lemus por haberme inculcado desde niño buenos principios, por brindarme su apoyo incondicional hasta el final de este trabajo de graduación, a ti madre te dedico mi esfuerzo gracias por haber confiado en mi. Los amo mucho.

A MIS HERMANOS: Mario y Eliseo, gracias por creer en mi.

A MIS ABUELOS: Por su amor y sabios consejos los cuales en el transcurso de mi vida me han ayudado a superar muchos obstáculos.

A MIS TIOS: Que toda su vida han pasado pendiente de mi persona de forma directa o indirecta hicieron realidad este trabajo de graduación.

A MI FAMILIA: Como muestra de mi amor para cada uno que la conforma, ya que cada uno de ellos me ha brindado en mas de algún momento su ayuda y colaboración, por lo tanto mil gracias.

JUAN LEMUS

DEDICATORIA

A DIOS TODO PODEROSO: Por fijarse en mi, que no merecía ningún privilegio del cual me ha sido otorgado y ha hecho posible llegar hasta el final, porque, esperar en él difícil sé que és.

A MIS PADRES: Armando de Jesús Nieto y Narcedalia Elizabeth de Nieto, por todo su amor, sacrificio y apoyo incondicional para poder culminar mi carrera, infinitas gracias, los amo.

A MI HERMANO: Benjamín Leví por ser un estímulo para continuar.

A MI ESPOSA: Georgina Rivas de Nieto, por darme su apoyo con todo su amor incondicional para poder llegar a una de mis metas; culminar mi carrera, infinitas gracias, Te Amo.

A MI HIJA: Giezi Betsabé Nieto Rivas, por ser mi impulso desde el principio de mi carrera hasta el final.

A MIS ABUELOS: Maria Dolores Nieto

Emma Isabel Aguilar

Rodrigo Alberto Hernández y Joaquín.

Por su amor y sabios consejos que han sido de mucho beneficio a lo largo de mi vida.

A MI FAMILIA: De manera especial, por su valiosa ayuda y colaboración en todo momento.

A MIS HERMANOS DE LA IGLESIA: Que se unieron en oración los días jueves para pedir a DIOS poder culminar con uno de mis sueños.

A TODO AQUEL: Que de una u otra forma colaboraron y creyeron en mi, muchísimas gracias.

EMERSON NIETO

RESUMEN

El aumento de la tasa poblacional en diferentes sectores rurales de nuestro país, debido principalmente a la reubicación o desplazamiento de núcleos poblacionales y a la alta tasa de natalidad, origina más demanda del recurso hídrico para la misma subsistencia de los pobladores, por lo cual se hace necesario establecer los requisitos mínimos para que estas personas puedan vivir en condiciones sanitarias aceptables.

Desde épocas remotas el agua ha sido uno de los elementos fundamentales para la conservación de la vida en nuestro planeta. Sin embargo, la humanidad se ha encargado de deteriorar este recurso natural con sus actividades industriales, agrícolas y comerciales, a tal grado que cada vez es más difícil obtenerle de manera natural y en la cantidad que nuestras crecientes poblaciones lo requieren. Por tal motivo se ha despertado el espíritu por tratarla y aprovecharla mejor. De aquí la importancia que tienen los diferentes estudios que hoy en día se realizan en diferentes países desarrollados y subdesarrollados, cuyo fin es el de investigar más sobre el recurso hídrico en general: aguas superficiales y subterráneas.

Los resultados de dichas investigaciones se aplican en el presente trabajo de graduación donde se han utilizado metodologías para medir la capacidad del medio hídrico, en especial en la zona de estudio delimitada que comprende los cantones Azacualpa, La Puerta y Tres Ceibas del municipio de Armenia, enfatizando el estudio a los acuíferos, los cuales tienen una gran importancia al ser embalses subterráneos de grandes dimensiones, perfectamente integrados en el medio natural y capaces de satisfacer con pocas inversiones las demandas urbanas.

El interés de realizar la investigación es por la sensibilidad de la zona por la escasez del agua para cubrir la demanda del vital líquido. A esto se agrega la importancia de estudiar la calidad del agua, interés que nace de la Gerencia Ambiental del Ministerio de Salud Pública y Asistencia Social debido a la misma situación de la falta del recurso en cuanto a la dotación adecuada para cubrir las necesidades diarias de la población, lo cual da como consecuencia que los habitantes consuman agua de cualquier fuente de abastecimiento, sin conocer la calidad de esta.

El trabajo de graduación está compuesto por seis capítulos, en los primeros dos se ha realizado una investigación bibliográfica para utilizarla como una guía para el presente trabajo. Los conceptos definidos son los necesarios para el entendimiento de las actividades realizadas para la obtención de los resultados del presente trabajo. La investigación bibliográfica ha incluido la utilización de libros, revistas, páginas en internet, y artículos que estén relacionados con el tema. La investigación incluye consultas a personas con conocimientos del tema, y que actualmente tratan de evaluar lo mismo en nuestro país.

Para la elaboración del capítulo tres se realizó una investigación bibliográfica, visitas de campo y consultas con personas con experiencia o conocedoras del tema de estudios hidrogeológicos. En cuanto al estudio de la calidad del agua se dividió en dos diferentes etapas; la primera consiste en el estudio bacteriológico para el cual realizamos las pruebas necesarias para conocer la calidad del agua de la zona y en la segunda etapa se recopiló información de estudios recién hechos dentro de la zona, ya que se nos limitó por el factor económico la realización de los análisis de laboratorio físico-químico.

Para la realización del capítulo cuatro se llevó a cabo una investigación documental y entrevistas con expertos en el tema; y en los capítulos cinco y

seis se desarrollaron a través de la utilización de los análisis de los resultados obtenidos. Para este análisis fué indispensable aplicar todos los conocimientos que hayan sido recopilados para poder realizar conclusiones y recomendaciones de valor e interés.

ÍNDICE GENERAL

INTRODUCCIÓN	i
CAPÍTULO I: GENERALIDADES	1
1.1 Antecedentes	2
1.2 Planteamiento del problema	13
1.3 Objetivos	18
1.3.1 Objetivo general	18
1.3.2 Objetivos específicos	18
1.4 Alcances y limitaciones	19
1.4.1 Alcances	19
1.4.2 Limitaciones	20
1.5 Justificación	21
CAPÍTULO II: MARCO TEORICO Y CONCEPTUAL	24
2.1 Agua subterránea	25
2.1.1 Generalidades	25
2.1.2 Importancia del agua subterránea	26
2.1.3 Fuentes de agua de utilización humana	28
2.1.4 Utilización del agua subterránea	30
2.1.5 La preservación del recurso	31

2.2	Origen, manifestación, movimiento y almacenamiento de aguas subterráneas	31
2.2.1	Origen del agua subterránea	35
2.2.2	Ecuación del agua subterránea	37
2.2.3	Recarga y descarga de acuíferos	38
2.2.4	Condiciones de la superficie freática	41
2.2.5	Condiciones de artesianismo	42
2.2.6	Formaciones geológicas como acuíferos	44
2.2.7	Porosidad, rendimiento específico y coeficiente de almacenamiento	45
2.2.8	Permeabilidad y transmisibilidad	50
2.3	Geología e hidrogeología de El Salvador	55
2.3.1	Geología de El Salvador	55
2.3.2	Unidades hidrogeológicas	57
2.3.3	Principales acuíferos de El Salvador	58
2.4	Calidad del agua de consumo humano	59
2.4.1	Calidad del agua y la salud	59
2.4.2	Parámetros indicadores de la calidad del agua	62
2.4.3	Contaminación del agua subterránea	66
2.4.4	Protección de aguas subterráneas	69
2.4.5	Tratamiento del agua de consumo	70

CAPÍTULO III: ESTUDIO HIDROGEOLÓGICO Y DE LA CALIDAD DEL AGUA	77
3.1 Generalidades	78
3.1.1 Ubicación y acceso	78
3.1.2 Geografía	78
3.1.3 Población y demanda de agua actual y futura	79
3.1.4 Abastecimiento de agua actual	80
3.2 Hidrología	80
3.2.1 Características de las cuencas hidrográficas	82
3.2.2 Climatología	82
3.2.3 Escorrentía	85
3.2.4 Topografía	86
3.2.5 Vegetación	86
3.2.6 Balance hidrológico	86
3.3 Geología de la zona de estudio	93
3.3.1 Geomorfología	93
3.3.2 Geología	94
3.3.3 Perfil de pozo	95
3.4 Aprovechamiento de recursos subterráneos	96
3.4.1 Inventario de pozos	96
3.4.2 Hidráulica de pozos	100
3.5 Hidrogeología	102

3.6	Calidad del agua	103
3.6.1	Procedimiento para la toma y envío de muestras de agua.	104
3.6.2	Calidad físico-químico del agua	105
3.6.3	Calidad bacteriológica del agua	117
CAPÍTULO IV: DIAGNÓSTICO SOCIO ECONOMICO, DE LA CAPACIDAD DEL RECURSO HÍDRICO Y LA CALIDAD DEL AGUA		128
4.1	Evaluación socio-económica	129
4.2	Capacidad del recurso hídrico	143
4.2.1	Estudios geofísicos	165
4.3	Calidad del agua	167
4.3.1	Calidad bacteriológica del agua	167
4.3.2	Calidad físico-químico del agua	172
CAPÍTULO V: PROPUESTA PARA EL MEJORAMIENTO DEL SERVICIO Y DE LA CALIDAD DEL AGUA		175
5.1	Propuestas para realizarse a corto plazo	176
5.1.1	Tratamiento a nivel domiciliario del agua de consumo	176
5.1.2	Limpieza de pozos excavados	180
5.2	Propuestas para realizarse a mediano plazo	182
5.2.1	Mejoramiento y protección de pozos	182

5.2.2	Eliminación de excretas y disposición de desechos líquidos	189
5.2.3	Disposición de desechos sólidos	198
5.3	Propuestas a realizarse a largo plazo	200
5.3.1	Conservación del recurso hídrico	200
5.3.2	Explotación de nuevas fuentes de abastecimiento	206
CAPÍTULO VI: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES		208
6.1	Conclusiones	209
6.2	Recomendaciones	215
BIBLIOGRAFÍA		218
GLOSARIO		222
ANEXOS		229

ÍNDICE DE FIGURAS

CAPÍTULO I: GENERALIDADES	1
Fig. 1.1 Disponibilidad de agua dulce per capita en Centro América 1998	9
Fig. 1.2 Cobertura de agua potable zona urbana El Salvador 1998	14
Fig. 1.3 Cobertura de agua potable zona rural El Salvador 1998	15
Fig. 1.4 Cobertura de saneamiento zona rural El Salvador 1998	15
Fig. 1.5 Cobertura de agua potable urbana 1999	16
CAPÍTULO II: MARCO CONCEPTUAL Y TEORICO	24
Fig. 2.1 El agua del subsuelo	26
Fig. 2.2 Formas de agua en la tierra (valores en porcentajes)	28
Fig. 2.3 Esquema de interconexión hidráulica del agua superficial y subterránea	29
Fig. 2.4 Esquema de la zona de saturación	34
Fig. 2.5 El ciclo hidrológico	36
Fig. 2.6 Esquema de recarga de agua subterránea	38
Fig. 2.7 Esquema de comportamiento de acuíferos y acuífugos	39
Fig. 2.8 Esquema de las condiciones de la superficie freática	42
Fig. 2.9 Diferentes tipos de sistemas artesianos	43
Fig. 2.10 Esquema de intersticios	47
Fig. 2.11 Esquema del rendimiento específico	48
Fig. 2.12 Esquema de la ley de Darcy	52
Fig. 2.13 Fuentes de contaminación según forma en que se producen	54

CAPÍTULO III: ESTUDIO HIDROGEOLÓGICO Y DE LA	77
CALIDAD DEL AGUA	
Fig. 3.1 Representación grafica del balance hidrológico de la sub-cuenca del río Sucio.	91
Fig. 3.2 Representación grafica del balance hidrológico de la microcuenca del río Banderas	92
Fig. 3.3 Mapa geomorfológico de El Salvador	93
CAPÍTULO IV: DIAGNÓSTICO SOCIO-ECONÓMICO, DE LA	128
CAPACIDAD DEL RECURSO HÍDRICO Y LA	
CALIDAD DEL AGUA	
Fig. 4.1 Representación grafica de la población de la zona de estudio	133
Fig. 4.2 Esquema de la población económicamente activa de la zona de estudio.	134
Fig. 4.3 Representación gráfica de las condiciones económicas de la zona de estudio.	135
Fig. 4.4 Esquema representativo de las condiciones de vivienda.	135
Fig. 4.5 Disposición económica para alimentación diaria	136
Fig. 4.6 Ocupación dentro del hogar por edades.	137
Fig. 4.7 Características de abastecimiento de la zona.	141
Fig. 4.8 Características de saneamiento de la zona.	142
Fig. 4.9 Comparación de la oferta contra demanda de agua en la zona de estudio	146
Fig. 4.10 Representación grafica de pozos en diferentes materiales geológicos	149
Fig. 4.11 Materiales geológicos predominantes en Armenia	153
Fig. 4.12 Comparación de la oferta-demanda de agua de los balances hidrológicos de la zona de estudio	155

Fig. 4.13	Litología de diferentes puntos en la zona de estudio	164
Fig. 4.14	Perfil litológico según exploración por métodos indirectos	166
Fig. 4.15	Esquema en porcentaje de las muestras aptas y no aptas para consumo humano según los análisis bacteriológicos	167
Fig. 4.16	Representación gráfica de resultados de análisis bacteriológica del agua	168
Fig. 4.17	Representación gráfica del origen de la contaminación del agua	169
Fig. 4.18	Representación gráfica de las muestras con presencia de coliformes totales	169
Fig. 4.19	Representación gráfica de las muestras con presencia de coliformes fecales E. Coli	170
Fig. 4.20	Representación grafica de los factores que influyen en la contaminación	171
Fig. 4.21	Esquema en porcentaje de las muestras bajo y fuera de norma del agua según análisis físico-químico	172
Fig. 4.22	Parámetros físico fuera de norma	173
Fig. 4.23	Parámetros químicos fuera de norma	173

CAPÍTULO V : PROPUESTA PARA EL MEJORAMIENTO Y EL SERVICIO Y LA CALIDAD DEL AGUA 175

Fig. 5.1	Filtro lento de arena	177
Fig. 5.2	Presentación de puriagua	179
Fig. 5.3	Componentes superficiales para protección de pozos	183
Fig. 5.4	Bomba manual de mecate	184
Fig. 5.5	Bomba manual de mecate	186
Fig. 5.6	Pozos propuestos para la instalación de bombas eléctricas	189

Fig. 5.7	Letrina abonera seca familiar	190
Fig. 5.8	Letrina abonera seca familiar	193
Fig. 5.9	Ubicación adecuada de una letrina de hoyo modificado	193
Fig. 5.10	Ubicación filtro resumidero	194
Fig. 5.11	Perfil Filtro Resumidero	195
Fig. 5.12	Nubes atraídas por los árboles	201
Fig. 5.13	Retención del agua lluvia por el suelo	202
Fig. 5.14	Siembra de árboles, cultivos agrícolas y ganadería	203
Fig. 5.15	Acciones que protegen las micro-cuencas y sub-cuencas	205

ÍNDICE DE CUADROS

CAPÍTULO I: GENERALIDADES	1
Cuadro N°1.1 Cobertura de agua potable y alcantarillado 2001	4
Cuadro N°1.2 Cobertura de agua potable y alcantarillado 2000	4
Cuadro N°1.3 Cobertura de agua potable y alcantarillado 1999	5
Cuadro N°1.4 Cobertura de agua potable y alcantarillado 1998	5
Cuadro N°1.5 Cobertura de agua potable y alcantarillado 1997	6
Cuadro N°1.6 Cobertura de agua potable y alcantarillado 1996	6
Cuadro N°1.7 Cobertura de agua potable y alcantarillado 1996	7
Cuadro N°1.8 Promedio en porcentajes de los servicios de agua potable y alcantarillado de los años 1995 a 2001	7
Cuadro N°1.9 Parámetros físico-químicos fuera de norma de agua apta para consumo	10
Cuadro N°1.10 Valores reportados de parámetros bacteriológicos contaminados	11
Cuadro N°1.11 Datos generales del presupuesto y beneficiarios del proyecto	11
Cuadro N° 1.12 Primeras diez causas de morbilidad año 2001	22
CAPÍTULO II: MARCO CONCEPTUAL Y TEORICO	24
Cuadro N°2.1 El agua en el mundo	27
Cuadro N°2.2 Descripción de los tipos de rocas	44
Cuadro N°2.3 Valores de porosidad en diferentes materiales	46
Cuadro N°2.4 Rendimiento específico de piroclastos y otros volcánicos de El Salvador	47
Cuadro N°2.5 Rendimiento específico para diferentes materiales	49
Cuadro N°2.6 Descripción de las principales formaciones geológicas de El Salvador	56

Cuadro N°2.7	Acuíferos de El Salvador	58
Cuadro N°2.8	Riesgo a la salud a corto, mediano y largo plazo	59
Cuadro N°2.9	Aspectos microbiológicos del agua	60
Cuadro N°2.10	Fuentes de contaminación según actividades de producción	67
CAPÍTULO III:	ESTUDIO HIDROGEOLÓGICO Y DE LA CALIDAD DEL AGUA	77
Cuadro N°3.1	Ubicación de cada cantón en estudio.	78
Cuadro N°3.2	Población y demanda de agua del área de estudio.	79
Cuadro N°3.3	Clasificación de cuencas, subcuencas y microcuencas.	81
Cuadro N°3.4	Información de las cuencas de la zona de estudio.	82
Cuadro N°3.5	Datos de precipitación (mm)	83
Cuadro N°3.6	Datos de altura promedio de la zona de estudio (m.s.n.m.)	85
Cuadro N°3.7	Datos de evapotranspiración potencial según hargreaves (mm)	85
Cuadro N°3.8	Resultados del balance hidrológico de la sub-cuenca del río Sucio	88
Cuadro N°3.9	Resultados del balance hidrológico de la microcuenca del río Banderas	88
Cuadro N°3.10	Perfil de pozo	95
Cuadro N°3.11	Pozos en los que se le realizaron análisis de calidad del agua.	96
Cuadro N°3.12	Valores de profundidad del acuífero de la zona de estudio.	97
Cuadro N°3.13	Ubicación de nueve pozos que están considerados en el estudio	100
Cuadro N°3.14	Resultados de análisis físico-químico del pozo #23, cantón Azacualpa.	107

Cuadro N°3.15	Resultados de análisis físico-químico del pozo #24, cantón Azacualpa	108
Cuadro N°3.16	Resultados de análisis físico-químico del pozo #25, cantón Azacualpa	109
Cuadro N°3.17	Resultados de análisis físico-químico del pozo #1, cantón La Puerta	110
Cuadro N°3.18	Resultados de análisis físico-químico del pozo #2, cantón La Puerta	111
Cuadro N°3.19	Resultados de análisis físico-químico del pozo #7, cantón La Puerta	112
Cuadro N°3.20	Resultados de análisis físico-químico pozo #10 cantón Tres Ceibas	113
Cuadro N°3.21	Cuadro N°3.21 Resultados de análisis físico-químico pozo #13 cantón tres ceibas	114
Cuadro N°3.22	Resultados de análisis físico-químico pozo #17 cantón Tres Ceibas	115
Cuadro N°3.23	Análisis físico-químico In Situ cantón Azacualpa.	116
Cuadro N°3.24	Análisis físico-químico In Situ cantón La Puerta	116
Cuadro N°3.25	Análisis físico-químico In Situ cantón Tres Ceibas	116
Cuadro N°3.26	Resultado de análisis bacteriológico pozo N° 10, cantón Tres Ceibas	119
Cuadro N°3.27	Resultado de análisis bacteriológico pozo N° 13, cantón Tres Ceibas	120
Cuadro N°3.28	Resultado de análisis bacteriológico pozo N° 17, cantón Tres Ceibas	121
Cuadro N°3.29	Resultado de análisis bacteriológico pozo N° 23, cantón Azacualpa	122
Cuadro N°3.30	Resultado de análisis bacteriológico pozo N° 24, cantón Azacualpa	123

Cuadro N°3.31	Resultado de análisis bacteriológico pozo N° 25, cantón Azacualpa	124
Cuadro N°3.32	Resultado de análisis bacteriológico pozo N° 1, cantón La Puerta	125
Cuadro N°3.33	Resultado de análisis bacteriológico pozo N° 2, cantón La Puerta	126
Cuadro N°3.34	Resultado de análisis bacteriológico pozo N° 7, cantón La Puerta	127

CAPÍTULO IV: DIAGNÓSTICO SOCIO-ECONÓMICO, DE LA CAPACIDAD DEL RECURSO HÍDRICO Y LA CALIDAD DEL AGUA 128

Cuadro N°4.1	Población promedio por vivienda	132
Cuadro N°4.2	Distribución de la población por edad	133
Cuadro N°4.3	Resultados de la encuesta no representados	138
Cuadro N°4.4	Tiempo de explotación de las fuentes	139
Cuadro N°4.5	Condiciones físicas de las fuentes	140
Cuadro N°4.6	Capacidad de los pozos en Azacualpa	143
Cuadro N°4.7	Capacidad de los pozos en Azacualpa	144
Cuadro N°4.8	Capacidad de los pozos en Tres Ceibas	144
Cuadro N°4.9	Valores de permeabilidad de diferentes materiales	148
Cuadro N°4.10	Ubicación de pozos según formación geológica	149
Cuadro N°4.11	Ubicación de pozos según formación geológica	150
Cuadro N°4.12	Descripción de materiales predominante en Armenia	152
Cuadro N°4.13	Cálculo de la densidad poblacional	153
Cuadro N°4.14	Cálculo del caudal para cubrir demanda de agua	154
Cuadro N°4.15	Valores de la conductividad hidráulica en función de los distintos materiales	156

Cuadro N°4.16	Valores de la conductividad hidráulica en función de los distintos materiales	157
Cuadro N°4.17	Tabla de porosidad	160
Cuadro N°4.18	Conductividades hidráulicas de la zona de estudio	161
Cuadro N°4.19	Litología de diferentes puntos en la zona de estudio	162
CAPÍTULO V:	PROPUESTA PARA EL MEJORAMIENTO Y EL SERVICIO Y LA CALIDAD DEL AGUA	175
Cuadro N°5.1	Relación cantidad de solución por agua a desinfectar	180
Cuadro N°5.2	Pozos propuestos para la instalación de bombas eléctricas	188
Cuadro N°5.3	Propuestas para la eliminación desechos sólidos	189

INTRODUCCIÓN

La calidad del agua constituye uno de los principales desafíos socio-ambientales en El Salvador. La contaminación del agua se ha profundizado durante las últimas décadas y ha pasado a constituir un problema generalizado para la población y los ecosistemas. Simultáneamente la cantidad de agua que se precipita anualmente y que se infiltra en los suelos deforestados está disminuyendo. Lo que reduce significativamente la disponibilidad de recursos hídricos en el país.

En el área urbana el recurso hídrico que mayormente está sujeto a una creciente contaminación son: los ríos y lagos, producto de los residuos domésticos e industriales vertidos indiscriminadamente sin ningún tipo de tratamiento, y la población sigue en crecimiento de forma exponencial.

En el área rural el recurso hídrico que está sujeto a una creciente contaminación son: las aguas subterráneas (manantiales y pozos poco profundos) producto de los residuos domésticos, las malas prácticas agrícolas y de ganadería. Es por ello que solo está quedando como única opción la explotación de aguas subterráneas profundas, a menos que se quiera invertir grandes cantidades de dinero para el tratamiento y desinfección de estas aguas contaminadas.

Con el presente trabajo, se ha logrado determinar cuál es la calidad del agua de los pozos excavados que pueden ser propios o comunales, de los que se abastecen los habitantes de los cantones Azacualpa, La Puerta y Tres Ceibas del Municipio de Armenia departamento de Sonsonate. En cuanto a la cantidad del recurso hídrico disponible en esa zona, se ha evaluado el recurso subterráneo principalmente, por las razones antes mencionadas, para

determinar si es capaz de cubrir las demandas actual y futura de las poblaciones en estudio.

De acuerdo a los resultados obtenidos en cuanto a la calidad y la cantidad de agua disponible, se han elaborado propuestas para el mejoramiento del servicio y de la calidad misma.

CAPÍTULO I

GENERALIDADES

1.1 ANTECEDENTES

La oferta hídrica que se recibe en el país por medio de la lluvia es de un promedio de 1,823 mm anuales. Al relacionar esta lluvia con el territorio nacional de 21,040.79 Km², se obtiene una oferta hídrica de 37,826 millones de m³ de agua al año.

Si se toma en cuenta el agua que se evapora y la utilizada por la vegetación, fenómeno conocido como evapotranspiración, que es del orden de 67%, dejaría una disponibilidad potencial de 12,482 millones de m³ al año en forma de aguas superficiales y subterráneas.

La cantidad de agua necesaria para fines de abastecimiento poblacional total del país, considerando 6 millones de habitantes y una dotación diaria de 250 litros por persona, es de 547.5 millones de m³ de agua anuales, lo cual representa solo un 4.4% de la disponibilidad hídrica potencial, quedando un 95.6% que pudiera ser utilizada para otros usos, según sean las demandas y prioridades nacionales. Por lo tanto el país cuenta con una abundante oferta hídrica gracias al periodo de la estación lluviosa de cada año y se tendría suficiente reserva para la época de sequía; no obstante, el agua es escasa debido a que la excelente precipitación se infiltra poco en los mantos acuíferos producto principalmente del mal uso del suelo, a las malas practicas agrícolas y al creciente proceso de deforestación. A esta escasez de agua se le suman las inundaciones de la zona costera de país, provocados por los desbordamientos de los ríos Lempa, Grande de San Miguel, Paz y Jiboa, relacionadas básicamente con el actual mal manejo que se hace de las cuencas hidrográficas del país.

En relación con los usos del agua, según la Organización Panamericana de la Salud (OPS), Organización Mundial de la Salud (OMS) (1993), de los 729 millones de m³ de agua utilizados en el país, el 33.7% es para fines domésticos, 20.2% para la industria y 46.1% para riego y usos secundarios.^{1.1}

El abastecimiento de agua del país se basa principalmente en las aguas subterráneas, debido a que el agua superficial depende de la estación lluviosa de cada año y no está distribuida en forma uniforme; tampoco están protegidas contra la contaminación.

En forma general los servicios básicos para la población urbana y rural son el agua potable y el alcantarillado, en los cuadros N°1.1 al 1.7 se presentan los indicadores que tienen que ver específicamente con la cobertura de estos servicios en los países de la región.^{1.2} A nivel de comparación podemos observar las deficiencias que tiene el país, en la cobertura de servicios primarios para la población rural, siendo únicamente Nicaragua el país con peores condiciones que el nuestro.

En el cuadro N°1.8 se hace una comparación en forma tabulada de los promedios de la información de los cuadros del N°1.1 al 1.7, observándose que la baja capacidad de cobertura que se tiene en el país principalmente en los servicios de agua potable en la zona rural a nivel regional; agregándose a esto la cobertura de alcantarillado en esta misma zona lo que produce un nivel de vida más bajo que en la zona urbana.

^{1.1} MARN, Ministerio del Medio Ambiente y Recursos Naturales(2000). Estado del Medio Ambiente. El Salvador.

^{1.2} www.cepis.ops.oms.org

País	POBLACION TOTAL (miles)	2001					
		Agua potable			Alcantarillado		
		% total	% urbano	% rural	% total	% urbano	% rural
Costa Rica	4.112	95.0	99.6	91.5	93.5	88.8	97.1
El Salvador	6.400	59.4	92.4	25.3	68.3	85.9	50.4
Guatemala	11.687	80.3	98.8	70.3	79.5	94.7	71.3
Honduras	6.575	80.9	93.8	69.7	70.2	93.9	49.5
Nicaragua	5.208	66.5	95.0	33.6	75.8	93.0	56.0
Panamá	2.899	86.8	87.7	85.8	93.2	98.7	86.5

Cuadro N°1.1 Cobertura de agua potable y alcantarillado 2001

País	POBLACION TOTAL (miles)	2000					
		Agua potable			Alcantarillado		
		% total	% urbano	% rural	% total	% urbano	% rural
Costa Rica	4.023	97.6	97.6	97.6	96.2	98.1	94.8
El Salvador	6.276	59.3	92.4	25.3	68.3	85.9	50.3
Guatemala	11.385	80.3	98.8	70.3	79.5	94.7	71.3
Honduras	6.485	80.9	93.8	69.7	70.2	93.9	49.5
Nicaragua	5.074	66.5	95.0	33.6	75.8	93.0	56.0
Panamá	2.856	86.8	87.7	85.8	93.2	98.6	86.5

Cuadro N°1.2 Cobertura de agua potable y alcantarillado 2000

País	POBLACIÓN TOTAL (miles)	1999					
		Agua potable			Alcantarillado		
		% total	% Urbana	% rural	% total	% Urbana	% rural
Costa Rica	4.023	97.6	97.6	97.6	96.2	98.1	94.8
El Salvador	6.276	59.3	92.4	25.3	68.3	85.9	50.3
Guatemala	11.385	80.3	98.8	70.3	79.5	94.7	71.3
Honduras	6.485	80.9	93.8	69.7	70.2	93.9	49.5
Nicaragua	5.074	66.5	95.0	33.6	75.8	93.0	56.0
Panamá	2.856	86.8	87.7	85.8	93.2	98.6	86.5

Cuadro N°1.3 Cobertura de agua potable y alcantarillado 1999

PAIS	POBLACION TOTAL (miles)	1998					
		Agua Potable			Alcantarillado		
		% Total	% Urbana	% rural	% Total	% Urbana	% rural
Costa Rica	3.650	100	100	100	100	100	100
El Salvador	6.059	49	78	26	59	--	--
Guatemala	11.562	67	97	48	67	94	50
Honduras	6.147	77	91	66	82	95	71
Nicaragua	4.464	37	52	12	42	36	54
Panamá	2.767	88	99	73	91	99	81

Cuadro N°1.4 Cobertura de agua potable y alcantarillado 1998

PAIS	1997			
	Agua Potable		Alcantarillado	
	% Urbana	% rural	% Urbana	% rural
Costa Rica	100	99	100	95
El Salvador	82	24	89	65
Guatemala	92	54	72	52
Honduras	91	66	94	71
Nicaragua	93	28	88	28
Panamá	99	73	99	81

Cuadro N°1.5 Cobertura de agua potable y alcantarillado 1997

PAIS	1996			
	Agua Potable		Alcantarillado	
	% Urbana	% rural	% Urbana	% rural
Costa Rica	100	68	100	24
El Salvador	95	16	91	53
Guatemala	87	49	72	52
Honduras	91	66	95	71
Nicaragua	86	28	88	28
Panamá	96	84	96	84

Cuadro N°1.6 Cobertura de agua potable y alcantarillado 1996

PAIS	1995			
	Agua Potable		Alcantarillado	
	% Urbana	% rural	% Urbana	% rural
Costa Rica	100	68	100	24
El Salvador	95	16	91	53
Guatemala	84	51	82	64
Honduras	90	54	91	45
Nicaragua	74	30	78	16
Panamá	96	84	96	84

Cuadro N°1.7 Cobertura de agua potable y alcantarillado 1999

PAIS	PROMEDIO			
	Agua Potable		Alcantarillado	
	% Urbana	% rural	% Urbana	% rural
Costa Rica	99.26	88.81	97.86	75.67
El Salvador	89.60	22.56	88.28	53.90
Guatemala	93.77	58.98	86.30	61.70
Honduras	92.06	65.87	93.81	58.07
Nicaragua	84.28	28.40	81.28	42.04
Panamá	93.30	81.63	97.98	84.21

Cuadro N°1.8 Promedio en porcentajes de los servicios de agua potable y alcantarillado de los años 1995 a 2001

Por otra parte, suficientes abastecimientos de agua subterránea dulce están disponibles a través de la mayor parte del país en vertientes y pozos profundos, los cuales proveen las fuentes más seguras e importantes para uso doméstico, municipal agrícola e industrial. Aunque el agua subterránea es generalmente más segura que los abastecimientos de agua superficial que no son tratados, muchos acuíferos de poca profundidad están siendo contaminados^{1.3}.

Se estima que el 90 % de los cuerpos de agua dulce superficiales, tiene alguna forma de contaminación, por causa de desechos y vertidos domésticos, industriales, agroindustriales, hospitalarios, etc. Los costos sociales reportan índices altos en muertes infantiles por año debido a la contaminación de aguas. Estos costos económicos son del orden de 1.2 % a 1.7 % del Producto Interno Bruto (PIB), considerando a la población en general.

La disponibilidad del recurso agua para la población del país en 1998 era de 3,500 m³/per cápita, siendo la más baja de todos los países centroamericanos.^{1.4} Según la FAO los países con menos de 2,000 m³ por persona se encuentran en una preocupante situación de escasez marginal de agua, y enfrentan grandes problemas en los años de sequía; tal como se muestra en la figura 1.1.

El Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales, en su página web, refiere que el acceso deficiente del agua y saneamiento cobra un alto precio de víctimas y productividad humana. Alrededor de 12,000 niños mueren con la ingestión de agua potable contaminada, higiene deficiente, alimentos contaminados y otros. Estudios realizados por FUSADES, han documentado el

^{1.3} Cuerpo de Ingenieros de los Estados Unidos (1998). Evaluación de Recursos de Agua de la Republica de El Salvador.

^{1.4} www.cepis.ops.oms.org

elevado nivel de contaminación que experimentan casi todas las cuencas y fuentes de El Salvador^{1.6}. Estos estudios se han basado en análisis realizados a muestras de agua tomadas directamente de las fuentes de agua(ríos, pozos, tanques, cañerías, etc.).

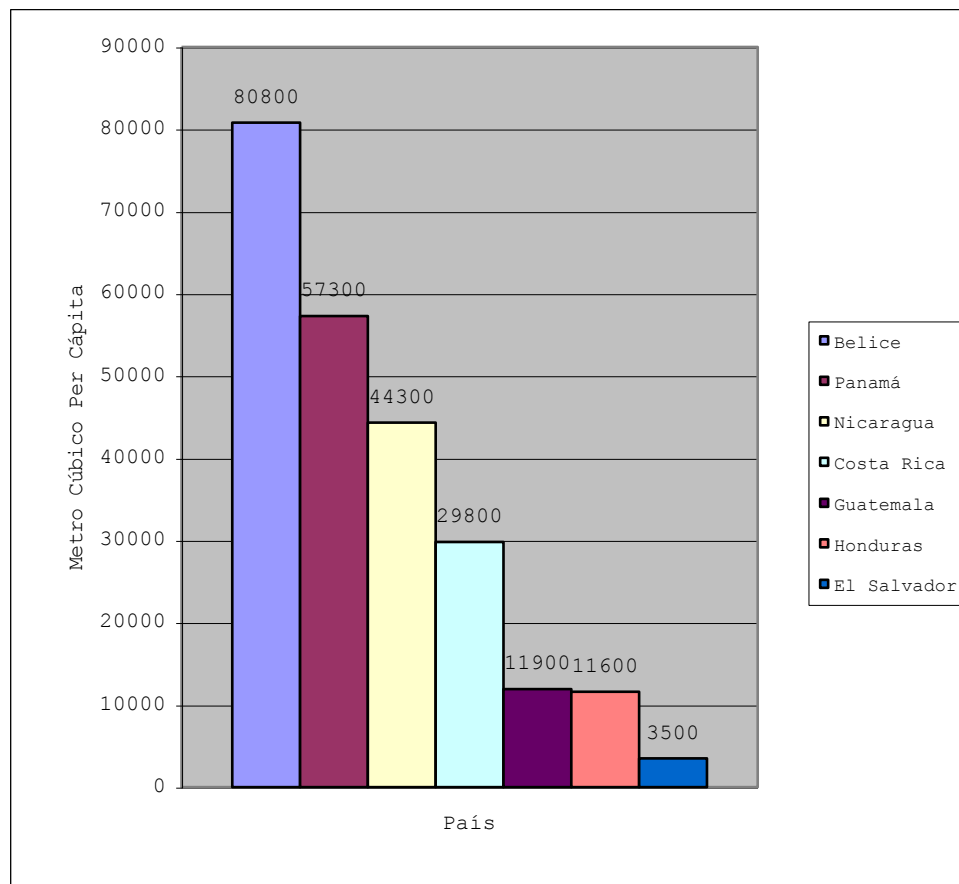


Fig. 1.1 Disponibilidad de agua dulce per capita en Centro América 1998

Un estudio realizado en la población rural, determinó que un gran porcentaje de familias rurales consume agua contaminada, siendo la contaminación bacteriana la más generalizada y más limitada la contaminación química,

^{1.6} www.marn.gob.sv.

considerando solamente; los casos detectados a niveles sobre los límites establecidos como seguros para la salud. Entre los contaminantes de origen químico son bastante generalizados los que tienen su origen en las prácticas agrícolas. La contaminación del agua para consumo humano puede provenir de dos fuentes principales: contaminación de las fuentes de agua y por el manejo inadecuado del agua de consumo por parte de las familias.

En relación con el área en estudio, la Organización No Gubernamental Italiana Asociación para la Participación de Desarrollo (APS) realizó en julio de 2001 y enero de 2002, el análisis bacteriológico y físico-químico en algunos cantones del municipio de Armenia departamento de Sonsonate entre los que se incluye: Tres Ceibas, La Puerta, Azacualpa, Las Cruces y Los Mangos. En el cuadro N°1.9 y 1.10 se muestran los resultados de los análisis:

PARÁMETRO	RECOMENDACIÓN DE LABORATORIO
Olor	Eliminar a través del carbón activado.
Turbidez	Eliminar por simple filtración o a través de un proceso completo de floculación, sedimentación y filtración.
Color	Eliminar a través de filtración con carbón activado.
Hierro	X
Manganeso	X

Fuente: Unidad de Salud de Armenia

Cuadro N°1.9 Parámetros físico-químicos fuera de norma de agua apta para consumo

PARÁMETRO	RECOMENDACIÓN DE LABORATORIO
Coliformes totales	Aplicar un método de desinfección.
Coliformes fecales (Escherichia Coli)	

Fuente: Unidad de Salud de Armenia

Cuadro N°1.10 Valores reportados de parámetros bacteriológicos contaminados

Como recomendación general el laboratorio sugirió efectuar la limpieza de los pozos e instalar un método de desinfección para disminuir y/o eliminar los parámetros que se encontraron fuera de norma y luego de realizar estos procesos conviene analizar nuevamente las fuentes.

Actualmente la Gerencia Ambiental del Ministerio de Salud Pública y Asistencia Social, gestiona el proyecto “Abastecimiento de Agua”; dentro de este se encuentra el sub-proyecto “Mejoramiento y equipamiento de pozos excavados a mano” en los departamentos de Usulután, San Vicente, San Salvador y Sonsonate teniendo como datos primordiales los siguientes:

ITEM	MUNICIPIO	MONTO DEL PROYECTO EN COLONES	NÚMERO DE BENEFICIARIOS	NÚMERO DE POZOS POR MEJORAR Y EQUIPAR
1.0	USULUTAN	'450,000.00	13,500	225
2.0	SAN VICENTE	'224,000.00	-	112
3.0	SONSONATE	'150,000.00	4,500	75
4.0	SAN SALVADOR	'600,000.00	18,000	300

Fuente: Gerencia Ambiental del Ministerio de Salud Pública y Asistencia Social

Cuadro N°1.11 Datos generales del presupuesto y beneficiarios del proyecto

Los cantones Tres Ceibas, La Puerta y Azacualpa, del municipio de Armenia departamento de Sonsonate, tendrán un beneficio de 1,500 personas con este proyecto, teniendo proyectado lograr mejorar un número de 25 pozos, el agua que proporcionen éstos, deberán cumplir con las normas de calidad y en caso contrario se procederá a recomendar el método de desinfección; una vez cumpliendo con las normas de calidad se procederá a realizar las mejoras incluyendo lo siguiente: instalación de bomba manual y suministro e instalación de materiales para el mejoramiento interno y externo del pozo.

En el año de 1991 el departamento de hidrología de la Administración Nacional de Acueductos y Alcantarillados (ANDA) realizó un estudio en el área de Armenia, Departamento de Sonsonate determinando que el servicio de abastecimiento de agua tenía para ese año una demanda de 27.8 l/s contra una oferta de 20 l/s produciendo un déficit de 7.2 l/s, aunque existen afloramientos de dos formaciones conocidas como San Salvador y Bálsamo; localizadas al norte de Armenia, la primera se constituye en el único acuífero del área, la cual posee una moderada permeabilidad por sus características litológicas descansando sus rocas sobre la capa impermeable del Bálsamo. En este mismo estudio se determinó que al norte de la población de Armenia el agua subterránea se encuentra a una profundidad que varía de 1.07 m y 0.59 m aumentando al desplazarse más hacia al norte. De lo anterior se estableció que en las proximidades de Armenia se cuenta con recursos de agua subterránea suficientes para satisfacer las demandas actual y futuras.

1.2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

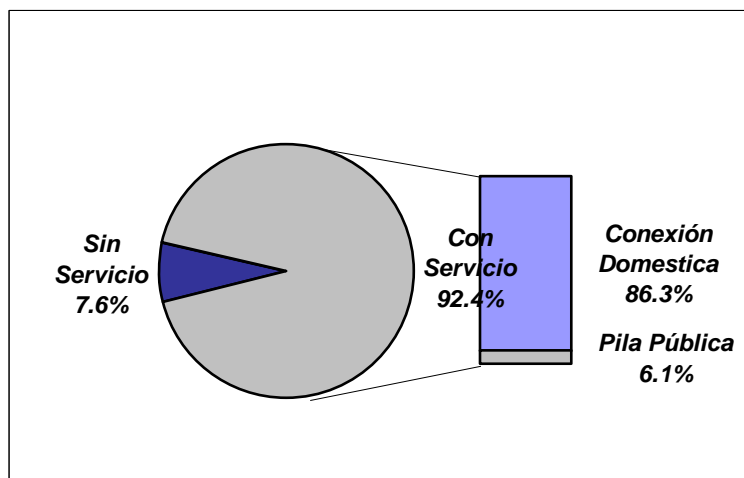
Los cantones La Puerta, Tres ceibas, y Azacualpa del municipio de Armenia departamento de Sonsonate carecen de un sistema de abastecimiento de agua potable, es por ello que la Organización Panamericana de la Salud, El Ministerio de Salud Publica y Asistencia Social y UNICEF a petición de la comunidad pretenden desarrollar el proyecto: Mejoramiento de pozos con bombas manuales de mecate, el cual tiene como finalidad la instalación de 25 bombas manuales en los cantones antes mencionados.

Cuando existe un proyecto de instalación de bombas manuales, es preciso tomar en cuenta dos factores fundamentales en relación con la fuente que será explotada: la cantidad (capacidad de la fuente) y la calidad del agua, más aún cuando se sabe que, aunque el país cuenta con una abundante oferta hídrica en la estación lluviosa, lamentablemente el agua es escasa debido a que la precipitación se infiltra poco en los mantos acuíferos producto del mal uso de los suelos, a las malas prácticas agrícolas y al creciente proceso de deforestación.

Por otra parte, aunque las aguas subterráneas son generalmente más seguras en cuanto a calidad, que los abastecimientos de agua superficial que no han sido tratados, muchos acuíferos de poca profundidad están siendo biológica y químicamente contaminados por la mala disposición de sólidos, excretas y el mal empleo de fertilizantes.

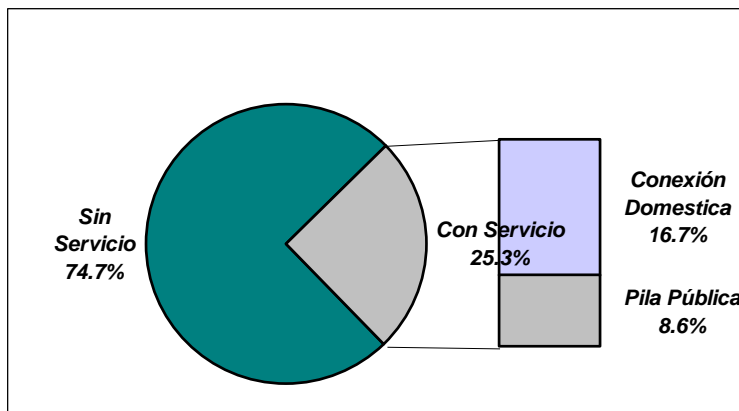
El Salvador tiene centralizado los servicios de cobertura de agua potable, produciendo una calidad de vida mejor para los que les abarca. Por ejemplo más del 86% de la población urbana de los departamentos de Santa Ana, Ahuachapán, La Libertad y San Salvador tiene servicio de agua potable; en cambio Sonsonate, La Unión, San Miguel, Usulután, San Vicente y Cabañas

cuentan con porcentajes del 61% al 70%. Los departamentos con menos cobertura son La Paz que tiene una cobertura entre 51% y 66%, Chalatenango y Morazán benefician únicamente a una población en el rango del 26% al 50%. De la zona rural no se cuenta con información en estos servicios como se puede observar en las figuras 1.2 a la 1.5 al realizar la comparación de porcentajes de población con conexión de agua potable para cada zona, es representativa la diferencia existente en cuanto a la cobertura de los servicios de abastecimiento y saneamiento. La zona rural del municipio de Armenia del departamento de Sonsonate es una de las zonas más afectadas por la falta de recursos en la captación de agua con calidad y cantidad suficiente para cumplir sus necesidades diarias, ejemplos de coberturas y sistemas para abastecimiento en las zonas rurales y urbanas del país son los siguientes:



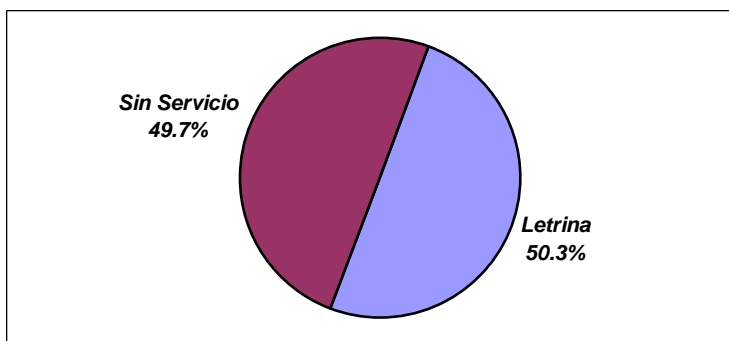
Fuente: www.cepis.ops.oms.org

Fig. 1.2 Cobertura de agua potable zona urbana El Salvador 1998



Fuente: www.cepis.ops.oms.org

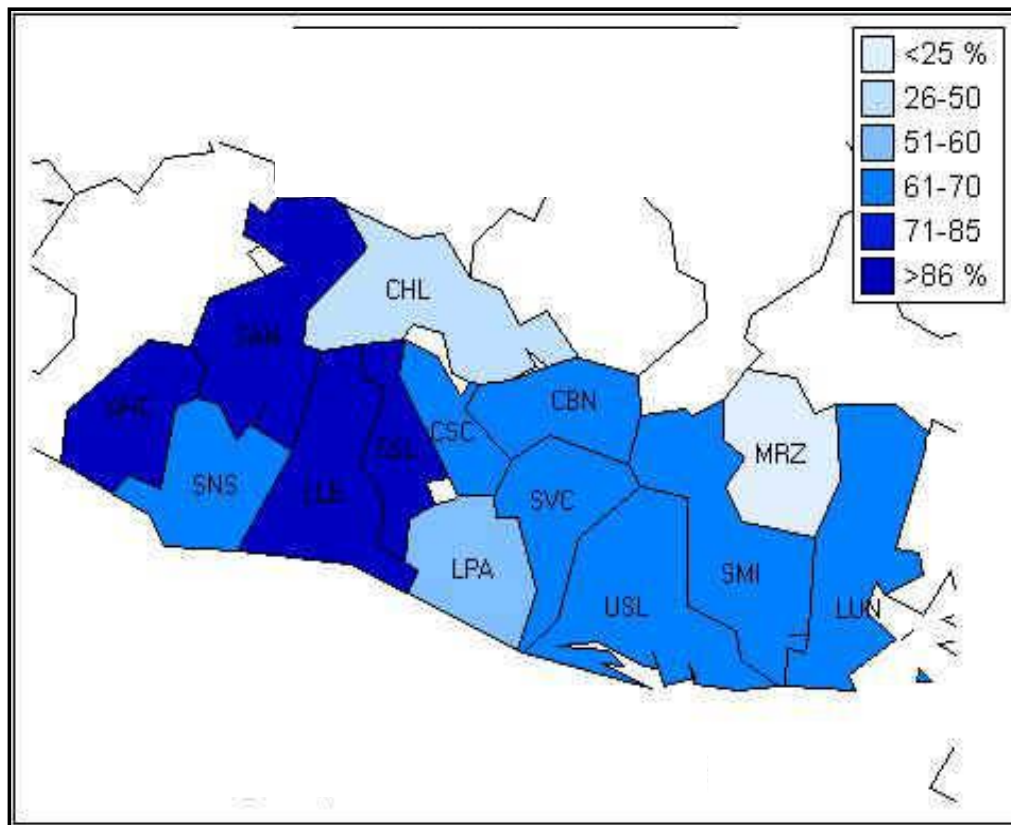
Fig. 1.3 Cobertura de agua potable zona rural El Salvador 1998



Fuente: www.cepis.ops.oms.org

Fig. 1.4 Cobertura de saneamiento zona rural El Salvador 1998

Como se puede observar la diferencia es grande en cuanto a la cobertura de abastecimiento de agua potable en las dos diferentes zonas (urbana y rural), así mismo se agrega la falta de cobertura de saneamiento, haciendo más preocupante la calidad de vida de los habitantes de estas zonas. (también ver figura 1.5)



Fuente: www.cepis.ops.oms.org

Fig. 1.5 Cobertura de agua potable urbana 1999

Actualmente las comunidades de los cantones Tres Ceibas, Azacualpa y La Puerta de Armenia se están abasteciendo de agua por medio de pozos artesanales (profundos y superficiales) los cuales estaban dotando un promedio para cubrir las necesidades diarias de cinco familias. Pero actualmente, algunos pozos han bajado su productividad hasta secarse, esto hace que a los demás pozos se les sobre explote para cubrir a las familias que no cuentan con disponibilidad de este vital líquido.

Por lo anterior, será necesario una evaluación del recurso hídrico de la zona, el cual se pretende lograr con un estudio hidrogeológico, dado que el recurso a

explotar en este caso en particular es el agua subterránea, la cual proviene de los acuíferos, que son formaciones geológicas o grupo de éstas que producen agua. De esta forma podrá determinarse si las fuentes (pozos excavados) serán capaces de mantener un caudal requerido para abastecer la población presente y futura, cuidando de esta forma que el proyecto de “Abastecimiento de agua” donde se encuentra el sub-proyecto de “Mejoramiento y equipamiento de pozos excavados a mano” no quede obsoleto antes del período de diseño como regularmente ocurre con los proyectos desarrollados por el gobierno, aunque algunas veces esto sucede por la mala operación y mantenimiento del sistema. Dentro de esto existe la considerable inversión, la cual ha sido proyectada por la Gerencia Ambiental del Ministerio de Salud Pública y Asistencia Social llegando a un monto de 50,000.00 colones y beneficiando probablemente a 1,500 personas de la zona rural de Armenia. El monto antes mencionado servirá principalmente para suministrar e instalar bombas de mecate en todos los pozos y en algunos se mejorará las partes internas y externas de él, dependiendo del grado de necesidad de que cada uno tenga.

Por otra parte será necesario determinar si el agua de los pozos de la zona posee una calidad tal que con un tratamiento adecuado o sin ningún tratamiento permita suministrar agua que iguale o supere la calidad especificada por las normas para la calidad del agua de consumo humano del Ministerio de Salud Pública y Asistencia Social (MSPAS), con el objeto de brindar a la población agua sanitariamente segura, evitándose de esta manera los riesgos de contraer enfermedades de origen hídrico, que a la vez son causa de muerte de muchas personas, principalmente los niños.

Como complemento se propondrán alternativas de solución para el mejoramiento de la calidad del agua y para la preservación y adecuada explotación del recurso hídrico.

1.3 OBJETIVOS

1.3.1 OBJETIVOS GENERALES

1. Elaborar el diagnóstico de la situación actual del servicio y la calidad del agua en los cantones Tres Ceibas, Azacualpa y La Puerta.
2. Formular una propuesta para proteger el proyecto de mejoramiento del servicio y la calidad del agua de la zona rural de Armenia en los cantones Tres Ceibas, Azacualpa y La Puerta.

1.3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

1. Realizar el estudio hidrogeológico de la zona en estudio, para evaluar la factibilidad de explotación del recurso de agua subterránea.
2. Realizar el estudio físico-químico y bacteriológico, para determinar la calidad del agua a explotar.
3. Elaborar el diagnóstico sobre la capacidad del agua subterránea y su calidad.
4. Proponer alternativas de solución para la preservación, adecuada explotación del recurso hídrico y mejorar la calidad del agua.

1.4 ALCANCES Y LIMITACIONES

1.4.1 ALCANCES

1. Se elaborará un documento que aporte información sobre la capacidad del recurso hídrico y la calidad del agua, que podrá ser utilizada para apoyar inversiones actuales y futuras en proyectos de abastecimiento de agua en la zona rural de Armenia específicamente los cantones Tres Ceibas, Azacualpa y La Puerta.
2. El estudio hará énfasis en las fuentes de agua subterránea, y las muestras requeridas para las pruebas físico-químico y microbiológicas del agua serán extraídas de los pozos artesanales existentes.
3. Se definirá la calidad y cantidad del agua de la zona, la localización de los recursos hídricos por medio a través de la elaboración de un mapa hidrogeológico del área en estudio; cuyo aprovechamiento debe planificarse y efectuarse de manera que garantice el mayor beneficio económico y social, para la población residente de la zona.
4. Las propuestas que se plantearan quedaran a nivel de recomendación, quedando la opción para que en futuros trabajos de graduación se realice el análisis de costos para determinar la alternativa más viable y la posterior formulación y diseño de algún sistema de abastecimiento de agua o de un sistema de tratamiento y desinfección de aguas.

1.4.2 LIMITACIONES

1. Lo limitado de la información actualizada y estudios específicos de la zona sobre la temática, que se maneja en las instituciones como: la Administración Nacional de Acueductos y Alcantarillados (ANDA), La Unidad de Salud de Armenia, la Organización Panamericana de la Salud, bibliotecas y otros.
2. Por lo limitado de los recursos, fue necesario apoyarse en estudios y documentación elaborada para otros fines por el proyecto FIAS (Fortalecimiento Institucional del Agua Subterránea), Perforaciones 2000 S.A. de C.V. y a la ONG Italiana A.P.S. como: características hidráulicas de pozos, inventario de pozos excavados y características del acuífero de la zona, y análisis físico-químico del agua, para relacionarlos con nuestro estudio.
3. Por la falta de metodologías establecidas para el desarrollo de estudios hidrogeológicos y de calidad del agua, se recurrió a la experiencia de profesionales que se dedican a la investigación en esa área, para que los resultados obtenidos produzcan un modelo lo más cercano posible a las condiciones reales de la zona.

1.5 JUSTIFICACIÓN

El desarrollo de un país tiene que ver con el mejoramiento de la calidad de vida de sus comunidades. Actualmente la zona rural de Armenia forma parte de esas comunidades necesitadas de proyectos que ayuden a mejorar la calidad de vida de sus habitantes, siendo uno de los más importantes los relacionados con el abastecimiento de agua, pues es este un líquido preciado y vital que se requiere para mejorar los hábitos de higiene de los seres vivos y por tanto para mejorar su calidad de vida.

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

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

Lamentablemente las instituciones responsables de desarrollar proyectos para la explotación racional del recurso hídrico, carecen de los recursos necesarios para ejecutarlos. Por lo que un aporte para esta necesidad como el presente trabajo sería de mucha utilidad, pues los habitantes de la zona padecen de enfermedades de origen hídrico; agregándose a esto el costo de acarrear agua desde la fuente de agua hasta los hogares de los pobladores. Esto repercute en costos de la población y la unidad de salud que se tiene invertir por el gran número de consultas atendidas y en la disminución de la productividad y desarrollo de la zona.

Entre las enfermedades más atendidas están las gastrointestinales; como se puede observar en el cuadro N°1.12 :

PRIMERAS DIEZ CAUSAS DE MORBILIDAD AÑO 2001			
UNIDAD DE SALUD DE ARMENIA			
ITEM	ENFERMEDAD	NUMERO DE CASOS	PORCENTAJE
1	INFECCION VIAS RESPIRATORIAS	4612	38.81%
2	INFLUENZA	3148	26.49%
3	DIARREA	1195	10.06%
4	AMIBIASIS	958	8.06%
5	TRANSTORNO DE ANSIADAD	583	4.91%
6	GIARDIASIS	436	3.67%
7	ESCABIOSIS	272	2.29%
8	DESNUTRICION LEVE	265	2.23%
9	CONJUNTIVITIS BACTERIANA	218	1.83%
10	UNCINARIASIS	197	1.66%

Fuente: Unidad de Salud de Armenia

Cuadro N° 1.12 Primeras diez causas de morbilidad año 2001

Con el proyecto Diagnóstico para el mejoramiento del servicio y la calidad del agua de la zona rural de Armenia departamento de Sonsonate, se estará proporcionando un soporte técnico para la toma de decisión de instalar bombas manuales en algunos pozos artesanales de la zona. Sumándose a esto con el estudio hidrogeológico se pretende dar alternativas de solución al problema de aprovechamiento del recurso hídrico, que enfrentan los habitantes de la zona en estudio, a través de la elaboración de un mapa geológico e hidrogeológico que permita evaluar el potencial hídrico de pozos para los cuales se determinan los

sitios más adecuados para la explotación del recurso desde el punto de vista hidrogeológico, valiéndose de las líneas isofreáticas y del tipo de materiales en el área de estudio. Al ejecutarse esto se estará contribuyendo de forma indirecta a lo siguiente:

- Reducir los costos de salud pública, debido a la disminución en las enfermedades transmitidas por el agua.
- Mejorar los hábitos de higiene de los pobladores.
- Reducir el tiempo empleado para la extracción del vital líquido.
- Aumentar a productividad de la zona, disminuyendo el número de personas que faltan al trabajo por enfermedades de origen hídrico.

CAPÍTULO II
MARCO TEÓRICO
Y CONCEPTUAL

2.1 AGUA SUBTERRÁNEA

2.1.1 GENERALIDADES

Por agua subterránea se entiende, en un sentido general, el agua que se encuentra ocupando los poros dentro de un estrato geológico. Esta zona saturada de agua se distingue de una zona no saturada o de aireación, zona donde los poros están llenos de aire y agua.

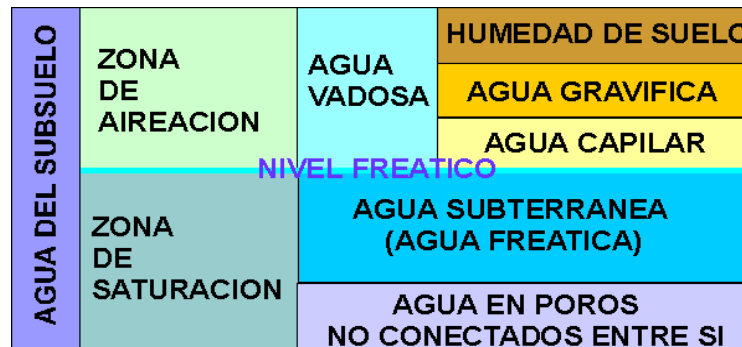
El agua contenida en la zona de saturación es importante en trabajos de ingeniería, estudios geológicos y desarrollo de abastecimientos de agua; consecuentemente la ocurrencia de agua en estas zonas será enfatizada aquí.

Las zonas no saturadas se encuentran usualmente por encima de las zonas saturadas, extendiéndose hacia arriba, hacia la superficie del terreno. Debido a que el agua contenida en las zonas no saturadas incluye la humedad del suelo dentro de las zonas de raíces, ella concierne mayormente a la agricultura, botánica y estudios de suelo.(ver figura 2.1)

No es posible una demarcación rígida de las aguas entre las dos zonas, debido a que ellas poseen una frontera interdependiente y el agua puede moverse en ambas direcciones, de una a otra zona.

Muchas ciencias naturales, incluyendo la Geología, Hidrología, Meteorología y Oceanografía se ocupan del agua de la tierra, pero la Hidrología de Aguas Subterráneas puede ser considerada una ciencia especializada, combinando los elementos de la Geología, Hidrología y Mecánica de Fluidos.

El agua contenida en la zona de saturación es la única parte de toda el agua del subsuelo de la cual se puede hablar con propiedad como agua subterránea.



Fuente: <http://www.agua-mineral.8k.com/informe-1.pdf>

Fig. 2.1 El agua del subsuelo

2.1.2 IMPORTANCIA DEL AGUA SUBTERRÁNEA

Estudios de la explotación del recurso natural agua son cada día más importantes, porque aunque el agua es un recurso natural renovable, la sobreexplotación y la contaminación del agua con sustancias nocivas son problemas graves en todo el mundo.

La responsabilidad de proteger las aguas subterráneas radica principalmente en las comunidades locales, pues las condiciones y los abastecimientos de aguas subterráneas varían de una área a otra.

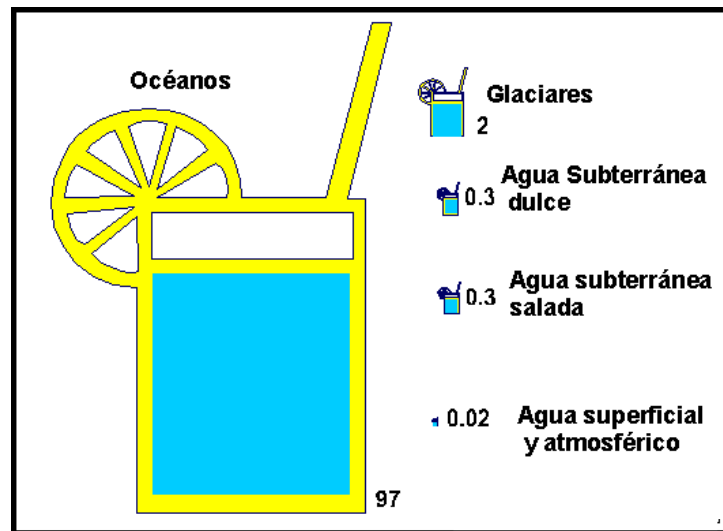
En realidad, algo menos de un 3 por ciento de la disponibilidad de agua dulce fluida de nuestro planeta corresponde a ríos y lagos y el 97 por ciento restante se encuentra en el océano^{2.1} (ver figura 2.2). No toda la cantidad de agua que se encuentra bajo la superficie de la tierra puede extraerse de las formaciones que la contienen. Igualmente las cantidades de agua en el mundo se muestran en el cuadro N°2.1.

^{2.1} Ministerio de Salud Pública de Asistencia Social (1983). Curso Breve Sobre Hidrogeología y Evaluación del recurso de Agua subterránea. El Salvador.

AGUA SUPERFICIAL	TOTAL %	AGUA SUBTERRANEA	TOTAL %	OTRAS AGUAS	TOTAL %
	0,0171		0,625		99,315
Lagos de agua dulce	0,009	Aguas vadasas (incluye la humedad de suelo)	0,005	Océanos	97,2
Lagos salados y mares interiores	0,008	Agua subterránea almacenada hasta una profundidad de 1 Km. (algunas de estas aguas son saladas)	0,33	Atmósfera	0,001
Almacenamiento temporal en ríos y canales	0,0001	Agua subterránea más profunda (muy salada e impotable)	0,29	Casquetes polares y glaciares	2,15 *
*: Antártica 86 % (= 1,85 del agua total), Arctica 13 %, otros Glaciares 1 %					
RELACION DEL AGUA SUPERFICIAL - SUBTERRANEA EN LA DISPONIBILIDAD DE AGUA DULCE					
AGUA SUPERFICIAL	TOTAL %	AGUA SUBTERRANEA	TOTAL %		
	2.663		97.337		
Lagos de agua dulce	1.402	Aguas vadasas (incluye la humedad de suelo)	0.779		
Lagos salados y mares interiores	1.246	Agua subterránea almacenada hasta una profundidad de 1 Km. (algunas de estas aguas son saladas)	51.394		
Almacenamiento temporal en ríos y canales	0.016	Agua subterránea más profunda (muy salada e impotable)	45.164		

Fuente: <http://www.agua-mineral.8k.com/informe-1.pdf>

Cuadro N°2.1 El agua en el mundo



Fuente: <http://www.agua-mineral.8k.com/informe-1.pdf>

Fig. 2.2 Formas de agua en la tierra (valores en porcentajes)

2.1.3 FUENTES DE AGUA DE UTILIZACIÓN HUMANA

Una fuente de abastecimiento de agua es aquel punto o fase del ciclo hidrológico del cual se desvía o aparta el agua temporalmente para ser usada, ejemplo: pozos, ríos, manantiales, etc., regresando finalmente a la naturaleza. El agua como elemento esencial para la vida, la ha utilizado el hombre para su uso doméstico desde hace mucho tiempo. El agua es extraída y conducida por diferentes medios de transporte hasta el sitio en donde se requiere.

Solo hay dos fuentes de agua a disposición del hombre: las de la superficie, que comprende los lagos, ríos, áreas de drenaje que envían el agua hacia los embalses y los procedimientos que permiten captar y retener el agua de lluvia y las aguas subterráneas, que incluyen a los pozos, manantiales y galerías horizontales.

En realidad, las fuentes superficiales y subterráneas no siempre están separadas. Lo que en cierto lugar es agua de superficie, puede convertirse en

agua subterránea en otro, pudiendo a su vez emerger de nuevo como agua superficial en un tercer sitio. Esto es posible por las interconexiones hidráulicas que existen entre las aguas superficiales y subterráneas.^{2.2} (ver figura 2.3)

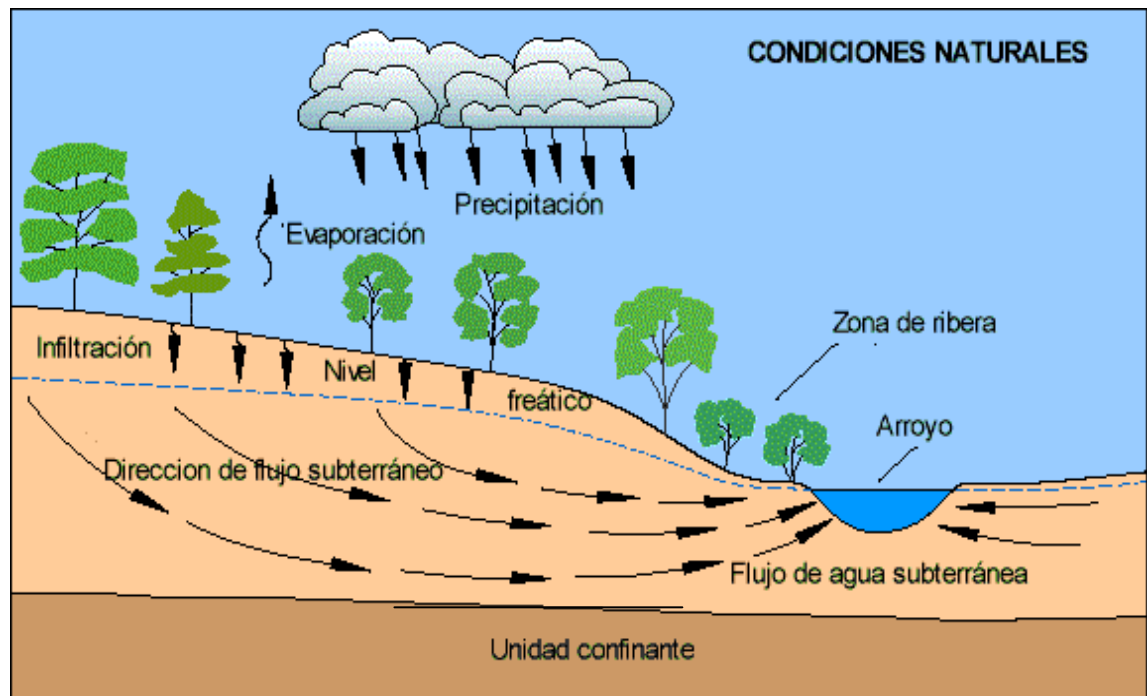


Fig. 2.3 Esquema de interconexión hidráulica del agua superficial y subterránea

Las fuentes de abastecimiento subterráneo son aguas que se filtran en el terreno proveniente de la precipitación. Generalmente las comunidades rurales son las que emplean el abastecimiento de agua proveniente de pozos, los cuales se definen como: una excavación vertical hecha en la superficie de la tierra con el objeto de extraer agua subterránea. De acuerdo a las zonas geológicas donde se realizan y a su profundidad, los pozos se pueden clasificar así^{2.3}:

^{2.2} <http://www.agua-mineral.8k.com/informe-1.pdf>

^{2.3} Metodología para el estudio y corrección de problemas de funcionamiento en acueductos rurales. Tesis U.E.S. 1991.

1. Pozos Excavados: se hacen simplemente cavando un hoyo en el suelo y están comúnmente destinados a suelos suaves; son ampliamente usados en las zonas rurales. Por lo general no se requiere de equipo para su construcción.
2. Pozos Clavados o Hincados: este tipo de pozo es realizado en suelos suaves y se hacen mediante la introducción de una rejilla con punta, llamada “puntera”. A medida que ésta se clava en el terreno se agregan tubos o secciones usando un mecanismo simple de golpear la parte superior de la tubería, generalmente son utilizados en la zona costera.
3. Pozos Perforados: se considera como pozo perforado al pozo profundo, de alto rendimiento, construido mediante la utilización de equipo especial para perforación capaz de penetrar varios cientos de metros en el subsuelo. La excavación se hace mediante un sistema de percusión o de rotación. El material cortado se extrae del hueco mediante un achicador; estos pueden ser: pozo perforado a chorro (la excavación se hace con un chorro de agua a alta velocidad) y pozo perforado por percusión o rotación (se operan levantando y dejando caer con regularidad un peso en cuyo extremo inferior lleva un barreno).

2.1.4 UTILIZACIÓN DEL AGUA SUBTERRÁNEA

A medida que se ha ido adquiriendo mejor conocimiento sobre el comportamiento y almacenamiento del agua subterránea y las técnicas de evaluación y explotación de este recurso, ha ido en aumento la preferencia del uso de aguas subterráneas sobre las superficiales, especialmente en lo que se refiere a abastecimientos de agua potable.

El agua subterránea es una importante fuente de abastecimiento de agua en el mundo. Su uso en riego, industria, abastecimientos urbanos y rurales se incrementa constantemente. De ahí que su correcta evaluación cuantitativa y cualitativa, desarrollo, regularización de su explotación y protección, sean de gran importancia, a fin de asegurar la disponibilidad continua de este vital recurso.

2.1.5 LA PRESERVACIÓN DEL RECURSO

En diferentes partes del mundo como en los Estados Unidos, los gobiernos se interesan cada vez más en dictar medidas con el objeto de lograr una explotación racional del recurso agua subterránea y la conservación de éste ante el peligro de polución frente al gran desarrollo industrial y crecimiento poblacional. Muchos países tienen una legislación, a veces muy estricta, para lograr estos objetivos. Tales medidas tienen origen en la concientización de la importancia de las aguas subterráneas como recurso natural de vital importancia para la humanidad; para ello se está manejando etapas en sus funciones centrales que consisten en el desarrollo de técnicas correspondientes y su aplicación en proyectos de investigación y exploración, así como el asesoramiento técnico a instituciones en países en vías de desarrollo y también a nivel nacional; mencionando las siguientes etapas:

1. Protección y manejo sostenible. Estudios y recomendaciones para la protección del agua subterránea en el marco del ordenamiento territorial, para el uso armónico de espacios naturales, así como el manejo sostenible y la protección de recursos hídricos subterráneos, estudios piloto sobre la propagación de materias en el agua subterránea y la operación de bancos de datos de agua subterránea.

2. Tratamiento de cuestiones hidrogeológicas referentes a la calidad y la protección preventiva del agua subterránea.
3. Planificación y ejecución de trabajos para determinar la calidad regional del agua subterránea y el transporte de materias en el subsuelo, así como para la investigación hidrogeológica con respecto a los objetivos de la protección de los recursos.
4. Elaboración de documentaciones técnicas para la planificación y la comprobación de la seguridad de depósitos finales de desechos radiactivos.
5. Planificación, ejecución y seguimiento de medidas para la protección del agua subterránea en el marco de proyectos de la Cooperación Técnica y Económica.
6. Desarrollo y optimización de métodos científicos para la captación, monitoreo y evaluación de la calidad del agua subterránea y la determinación de la función protectora de la cobertura bajo diferentes condiciones.

En El Salvador la falta de coordinación entre las instituciones con alguna incidencia en el problema del agua especialmente los tres usuarios principales, Administración Nacional de Acueductos y Alcantarillados (ANDA), Comisión Ejecutiva Hidroeléctrica del Río Lempa (CEL) y Ministerio de Agricultura y Ganadería (MAG) dan como resultado, la falta de autoridad para ordenar la generación y sistematización de la información relevante en cuanto a este tema. La gestión racional de los recursos hídricos se ha convertido en una de las principales preocupaciones para asegurar la calidad de vida de la población y el desarrollo económico sostenido. Esta gestión no será posible sin la adecuada

existencia y organización de la información pertinente. Sin embargo, muy poco conocimiento sobre el agua ha sido sistematizado y organizado en forma de información útil como la presentación de una tipología de los recursos informáticos existentes en la actualidad, agrupados en base a la oferta (caudales, precipitación, agua subterránea y calidad) y la demanda (suministro, saneamiento y recursos pesqueros). A la vez, se recalca la importancia de la creación de datos básicos hidrometeorológicos e hidrogeológicos para la generación del balance hídrico, así como una base de indicadores para el manejo del agua.

2.2 ORIGEN, MANIFESTACIÓN, MOVIMIENTO Y ALMACENAMIENTO DE AGUAS SUBTERRÁNEAS.

La mayoría de las rocas contienen numerosos espacios abiertos, llamados intersticios, aberturas o poros, en los cuales el agua puede ser almacenada y a través de los cuales puede moverse. El agua que llena parcialmente los intersticios es llamada agua subsuperficial o vadosa y se encuentra en la zona de aireación. Inmediatamente por debajo de ésta y en donde los intersticios o aberturas se hallan completamente llenas de agua, está la zona de saturación (ver figura 2.4). El Agua contenida en la zona de saturación es llamada “agua subterránea”. La zona de aireación es dividida en zona de humedad del suelo, la zona intermedia y la zona capilar. Las zonas varían en profundidad y sus límites no pueden ser definidos exactamente; lo que existe es una gradual transición de una a otra. La zona de humedad del suelo consiste de suelo y otros materiales cerca de la superficie del terreno, descargando el agua a la atmósfera por evapotranspiración. La zona capilar se extiende desde el tope de la zona de saturación hasta el límite al que llega el ascenso de agua por capilaridad. La zona intermedia está situada entre la zona de humedad del suelo y la zona capilar. El espesor de la zona de saturación varía desde unos pocos metros hasta varios cientos de metros. Los factores que determinan

su espesor son tales como la geología local, presencia de intersticios, la recarga y el movimiento del agua subterránea.

Un acuífero es un manto saturado, formación o grupo de formaciones, capaz de almacenar y rendir cantidades suficientes de agua como para ser aprovechadas como fuente de suministro.

Los acuíferos que tienen un techo de materiales permeables, que lógicamente no puede sobrepasar el nivel freático, reciben el nombre de acuíferos cautivos y cuando el nivel freático puede desplazarse libremente, se llaman acuíferos libres.^{2.4}

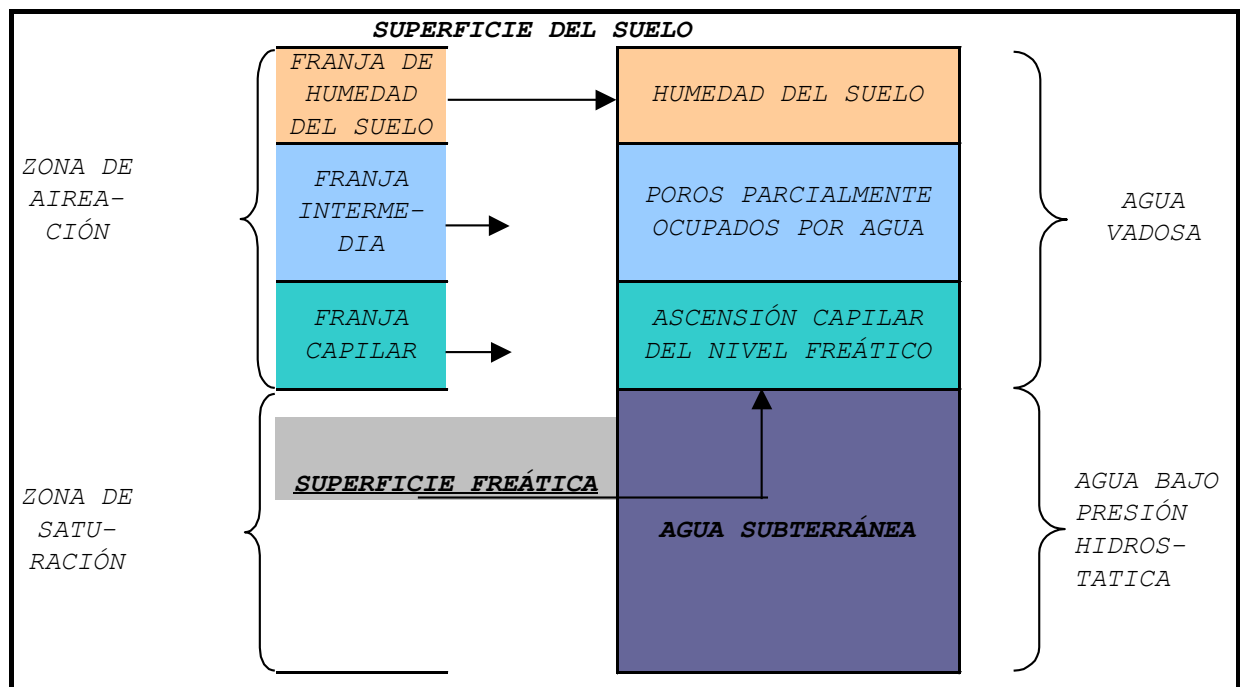


Fig. 2.4 Esquema de la zona de saturación

^{2.4} Evaluación de Recursos de Agua de la Republica de El Salvador. Cuerpo de Ingenieros de los Estados Unidos (1998).

2.2.1 ORIGEN DEL AGUA SUBTERRÁNEA

El agua en la tierra aparece en muchas formas distintas: el agua salada de los océanos, el agua dulce de los lagos y ríos, el vapor de agua de la atmósfera, el agua de la lluvia y de la nieve, el agua de los glaciares y el agua que se encuentra por debajo de la superficie de la tierra. Todo el agua por debajo de la superficie (por ejemplo el vapor del agua, la humedad del suelo, el agua subterránea, el agua de las cuevas etcétera forma el "agua del subsuelo"); la parte de la geología que investiga el agua del subsuelo (especialmente el agua subterránea) es la hidrogeología.

El agua subterránea se mueve como el agua superficial pero más lento. La velocidad y los movimientos dependen de la porosidad y permeabilidad del substrato (la roca o el suelo).

La cadena de eventos que describen la historia del agua es llamada el "ciclo hidrológico". Este ciclo comprende todo el sistema terrestre: atmósfera, hidrósfera y litósfera.

El ciclo hidrológico consiste en la continúa circulación de humedad y de agua sobre nuestro planeta; el agua evaporada de los océanos y de aguas en tierra firme, asciende y pasa a formar parte de la atmósfera en forma de nubes.

Estas, bajo ciertas condiciones, se precipitan a tierra y océanos, en forma de lluvia, nieve o granizo. Los hechos más destacados del ciclo hidrológico se muestran en la figura 2.5.

La verdadera fuente de casi todas nuestras reservas de agua dulce, lo constituye la precipitación que cae sobre las áreas terrestres. Parte de la precipitación, una vez que ésta ha humedecido el follaje y el terreno escurre sobre la superficie de la misma y llega a los ríos, lagos y la capa de suelo y otra

parte se infiltra dentro del suelo. Una buena parte del agua que penetra dentro del suelo, se detiene en la zona radicular de las plantas y eventualmente es devuelta a la superficie por estas mismas, o mediante el fenómeno de la capilaridad. Sin embargo, otra parte percola por debajo de la zona radicular y mediante la influencia de la gravedad continúa su movimiento descendente hasta que llega al depósito subterráneo.

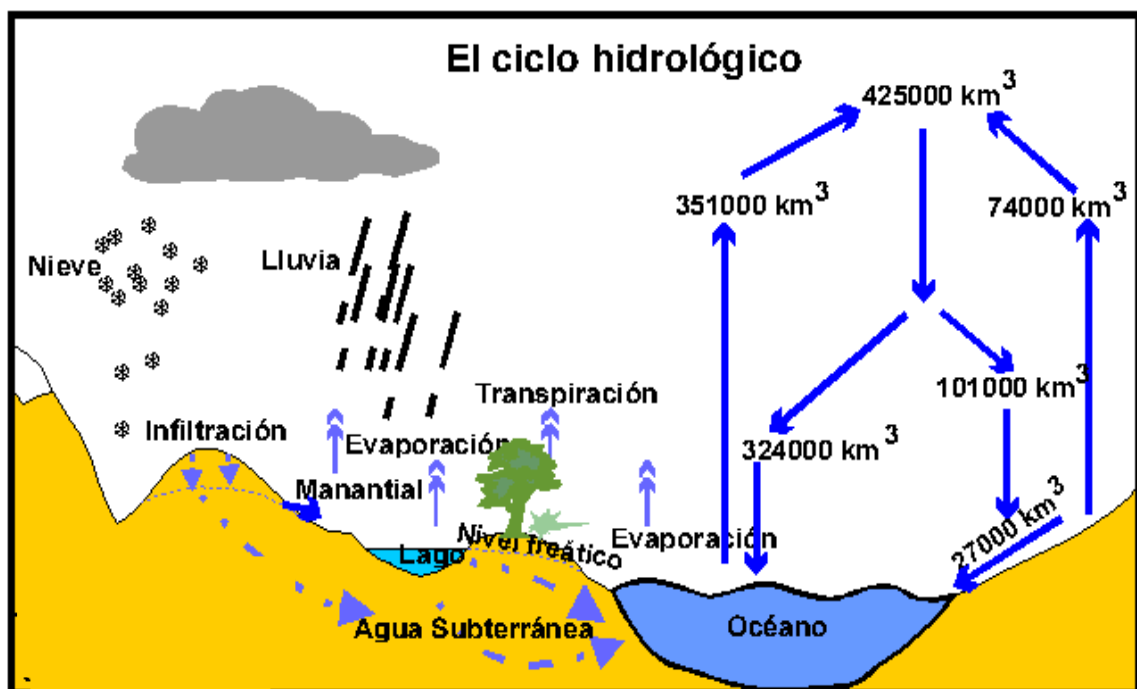


Fig. 2.5 El ciclo hidrológico

Una vez que el agua percolada se incorpora al depósito subterráneo, se desplaza a través de los intersticios, aberturas o poros de los materiales y puede reaparecer en la superficie en forma de manantiales y como caudal de estiaje de los ríos (caudal base). Tanto la escorrentía superficial como las descargas naturales de agua subterránea llegan eventualmente a los océanos.

Prácticamente toda el agua subterránea se origina como agua superficial y las principales fuentes de recarga natural incluye la precipitación, ríos, lagos y reservorios superficiales.

2.2.2 ECUACIÓN DEL AGUA SUBTERRÁNEA

Una ecuación básica del agua subterránea, que permite una aproximación para un estimado de su disponibilidad, puede ser establecida para un área considerando todos aquellos factores del ciclo hidrológico que tienen un efecto directo en el flujo y almacenamiento de agua subterránea.

La ecuación puede ser formulada como sigue:

$$\Delta C = \text{recarga} - \text{descarga}$$

Donde:

ΔC es el cambio en el almacenamiento subterráneo durante un determinado período. Teóricamente, bajo condiciones naturales y durante un período largo de tiempo, en el que se incluye los ciclos húmedos y secos, ΔC será igual a cero y la recarga igualará a la descarga.

La recarga natural de cuerpos de agua subterránea incluye percolación profunda de la precipitación, drenaje desde ríos y lagos y flujo subsuperficial; y la recarga artificial incluye la percolación profunda desde áreas regadas, drenaje desde canales y reservorios artificiales y recarga desde pozos.

La descarga natural de cuerpos de agua subterránea se produce por drenaje hacia corrientes superficiales, flujo de manantiales, flujo subsuperficial, transpiración y evaporación. La descarga artificial se produce por medio de pozos y drenes. Si el almacenamiento de aguas subterráneas en un área es menor al final que al principio de un período de tiempo seleccionado, es indicación que la descarga ha excedido a la recarga; si el almacenamiento es mayor, la recarga ha excedido a la descarga.

2.2.3 RECARGA Y DESCARGA DE ACUÍFEROS

➤ RECARGA DE AGUA SUBTERRÁNEA

Las formaciones geológicas en que se acumula el agua subterránea y que son capaces de cederla, reciben el nombre de acuíferos. Como conductos de transmisión, transportan el agua subterránea de las áreas de recarga hasta pozos y otras estructuras de captación, en la figura 2.6 se tiene un ejemplo de la recarga de un acuífero. Como depósitos de almacenamiento, los acuíferos actúan suministrando agua de sus reservas para ser utilizada cuando la extracción exceda a la recarga y a la vez almacenando agua durante los períodos en que la recarga resulta mayor que la extracción.

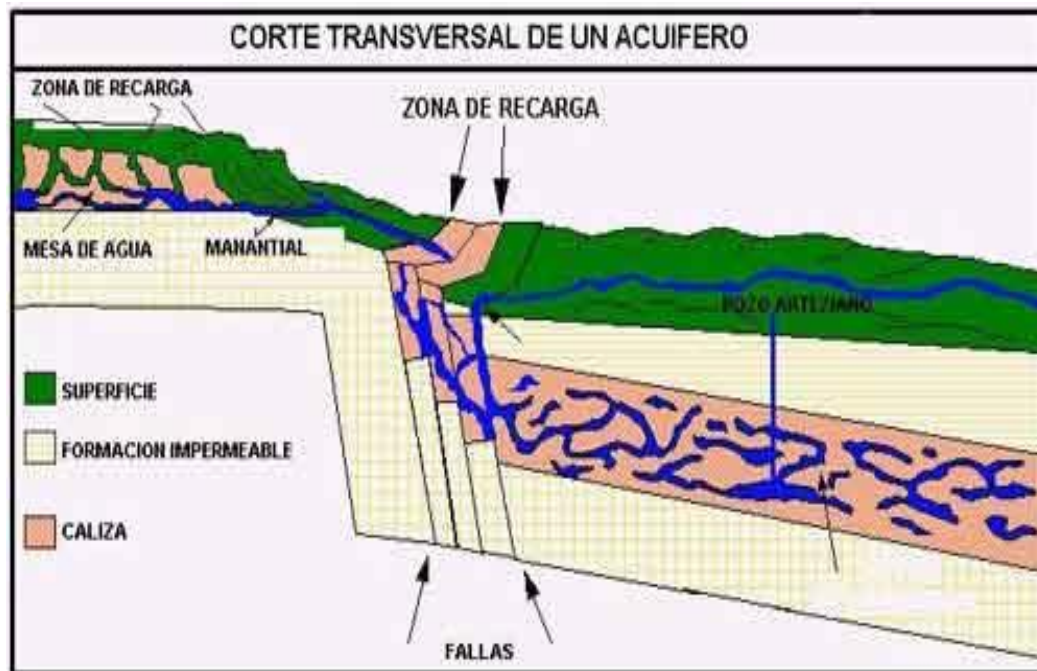


Fig. 2.6 Esquema de recarga de agua subterránea

Las rocas que no permiten un flujo del agua son llamadas "acuífugo". Hay que tomar en cuenta, que un acuífugo no necesariamente es una roca "impermeable". (Ejemplo: Habitualmente una arcilla es considerada como un acuífugo, aunque no es una roca absolutamente impermeable). También a

través de la arcilla puede producirse un flujo de agua subterránea pero un flujo extremadamente lento. La figura 2.7 muestra un ejemplo de una serie de rocas estratificadas con distintas propiedades hidrológicas, es decir, una secuencia de varios acuíferos y acuífugos.

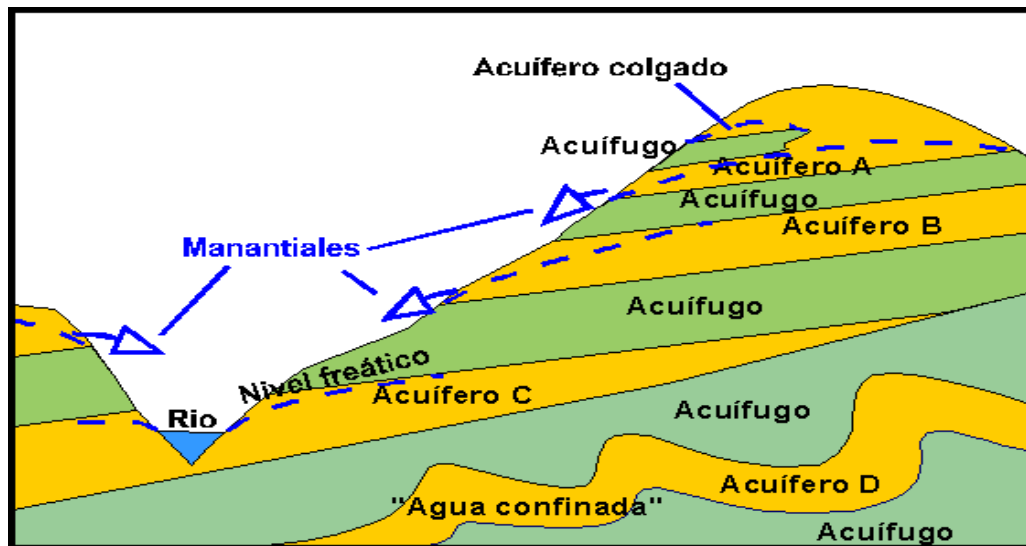


Fig. 2.7 Esquema de comportamiento de acuíferos y acuífugos

La recarga natural de acuíferos incluye lo siguiente:

- a. Percolación profunda de la precipitación. Es una de las fuentes más importantes de la recarga de aguas subterráneas. El monto de la recarga de un área particular está influenciado por la cubierta vegetal, topografía y naturaleza de los suelos, así como también tipo, intensidad y frecuencia de las precipitaciones.
- b. Drenaje desde ríos y lagos. El drenaje desde ríos y lagos y otros cuerpos de agua es otra importante fuente de recarga. En áreas húmedas y subhúmedas, donde el nivel del agua subterránea podría estar poco profundo, la influencia del drenaje puede estar limitada en extensión y puede

ser estacional. En regiones áridas todo el caudal de un río puede alimentar un acuífero, perdiéndose la corriente superficial.

- c. Flujo subterráneo desde otro acuífero. Un acuífero puede ser recargado por flujo subterráneo proveniente de un acuífero próximo con el cual tiene conexión hidráulica. El monto de la recarga depende de la naturaleza de esta conexión, diferencia en carga hidrostática y las propiedades hidráulicas de los acuíferos.

La recarga artificial de un acuífero puede ser hecha por planes concebidos para tal propósito o puede producirse de manera no prevista, en forma no intencional. En el primer caso, la recarga puede lograrse por medio de inyección de agua a pozos, superficies que se empapan de agua, lagunas artificiales y excavaciones que se llenan de agua. De forma no intencional, un acuífero puede ser recargado artificialmente por aplicación de riego, drenaje desde reservorios artificiales, canales, cunetas de drenajes, lagunas artificiales y otras obras. La recarga desde estas fuentes puede cambiar el régimen del agua subterránea en un área de extensión considerable.

➤ **DESCARGA DE AGUA SUBTERRÁNEA**

La descarga de agua desde el reservorio subterráneo puede ocurrir de la siguiente manera:

- a. Descarga hacia ríos. En ciertas secciones y en ciertas estaciones del año, el agua subterránea puede descargar a ríos manteniendo el flujo base de éstos. Esta condición es más prevaleciente en las regiones húmedas que en las áridas.
- b. Flujo de manantiales. Agua subterránea es descargada por manantiales donde el nivel freático intercepta la superficie del terreno.

- c. Evaporación y transpiración. Agua subterránea puede perderse por evaporación cuando la superficie freática está muy cerca de la superficie del terreno como para que existan ascensos por capilaridad. También la vegetación puede transpirar agua subterránea de la zona capilar o la zona saturada.
- d. Descarga artificial. El agua subterránea es descargada también por pozos y drenes. Esta descarga es tan importante que en muchas áreas es responsable del descenso general de la superficie freática .

2.2.4 CONDICIONES DE LA SUPERFICIE FREÁTICA

En ciertos acuíferos el agua subterránea se manifiesta bajo condiciones freáticas. Ello significa que el límite de la superficie del acuífero queda definido por la superficie freática misma. En cualquier nivel dentro de un acuífero freático o libre, la presión hidrostática es equivalente a la profundidad desde la superficie libre hasta el punto en cuestión y puede expresarse en metros de agua.

El nivel estático dentro de un pozo perforado en un acuífero freático o no confinado (libre) se halla a la misma elevación o profundidad, que el nivel freático.

Cuando algún estrato impermeable se halla intercalado dentro de la zona de aireación e interrumpe la percolación, provocando que cierta agua subterránea se acumule en un área limitada, se tiene un acuífero colgado y la superficie del agua subterránea en él se denomina superficie freática colgada (ver figura 2.8).

La superficie freática no es una superficie estacionaria, sino que fluctúa periódicamente, elevándose cuando más agua percola hasta la zona de saturación y desciende en periodos de sequía, cuando la percolación es menor que la descarga.

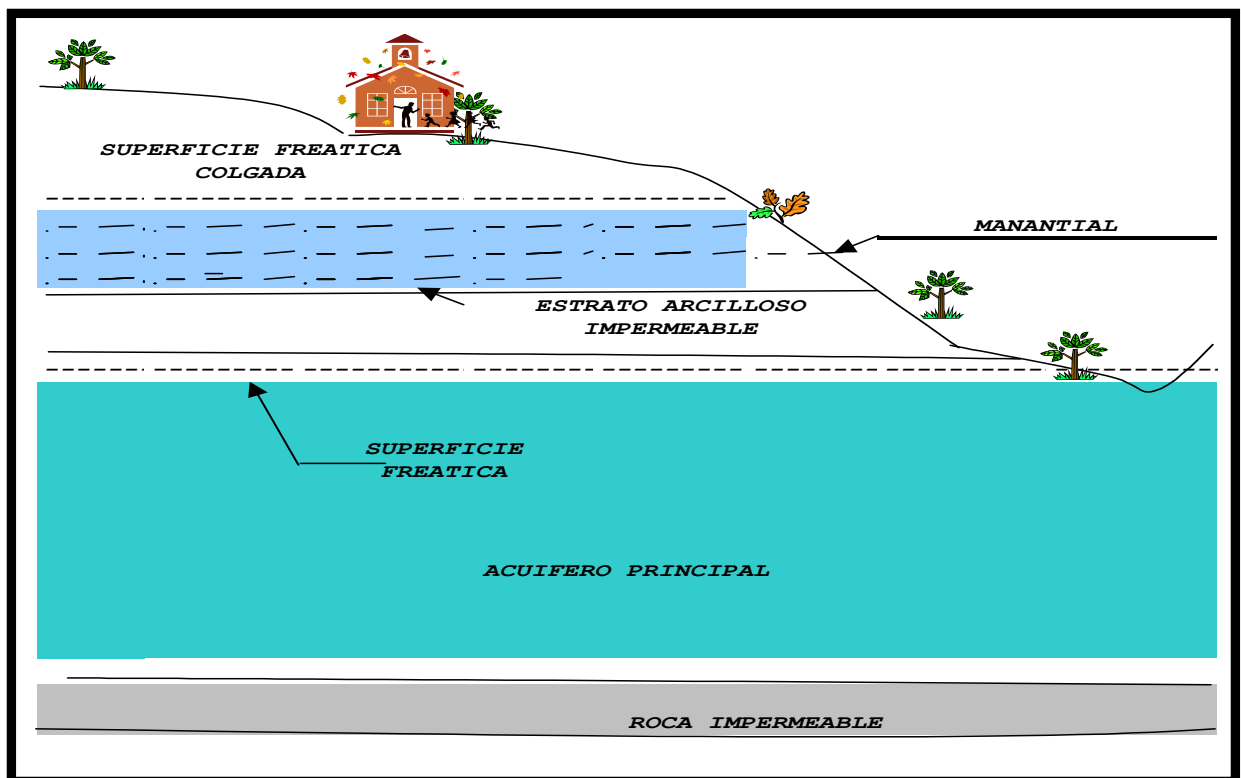


Fig. 2.8 Esquema de las condiciones de la superficie freática

2.2.5 CONDICIONES DE ARTESIANISMO

La zona de saturación incluye tanto estratos permeables como impermeables. Los permeables constituyen acuíferos. Cuando un acuífero yace entre estratos impermeables situados por encima y debajo del acuífero, se dice que tanto el acuífero, como el agua en él contenida, están confinados (ver figura 2.9). Debido a la presencia del estrato confinante superior, es decir que el agua del acuífero confinado se encuentra a una presión mayor que la atmosférica.

Cuando un pozo penetra un acuífero artesiano, el agua asciende por dentro del pozo hasta alcanzar algún nivel cuya elevación se halla por encima del techo del acuífero. La carga hidráulica, expresada en pies de agua, y para cualquier punto dentro del acuífero, viene dada por la distancia vertical desde ese nivel al punto en cuestión.

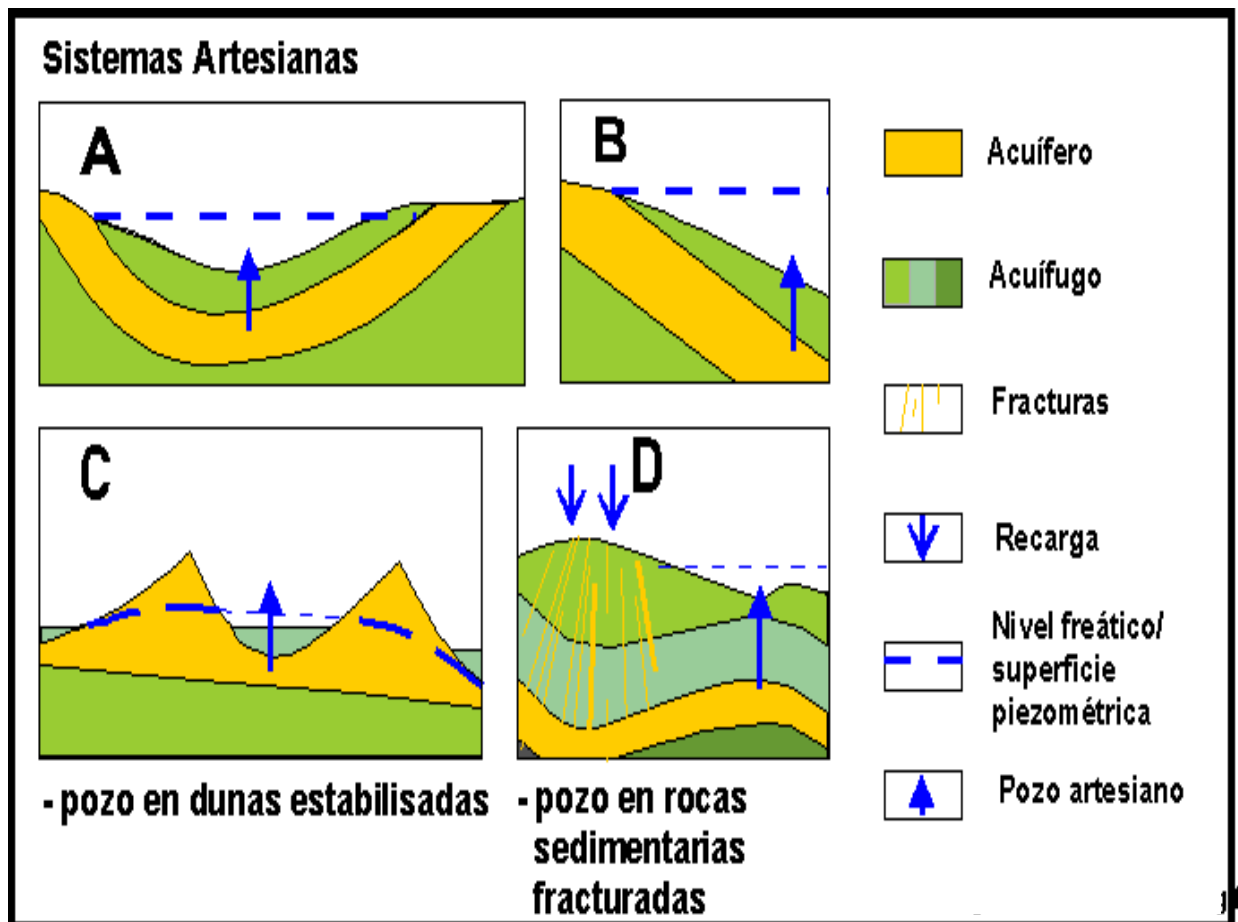


Fig. 2.9 Diferentes tipos de sistemas artesianos

La elevación a que ascendería el agua dentro de un pozo que penetra un acuífero artesiano, se define por el termino técnico nivel piezométrico. La superficie piezométrica viene a ser una superficie imaginaria que representa la presión o carga hidráulica existente dentro de una parte o de todo un acuífero

artesiano. Con frecuencia el nivel piezométrico en un pozo, o la superficie piezométrica en un área, se eleva por encima del nivel del terreno. Por lo tanto, el nivel estático del agua en el pozo se halla también por encima del terreno.

Si el nivel piezométrico se ubica más alto que la superficie del terreno el agua sale de un manantial natural o de una perforación un pozo artificial hasta la superficie solamente por la presión (sin la necesidad de bombear el agua). En este caso se habla de sistemas "artesianos":

2.2.6 FORMACIONES GEOLÓGICAS COMO ACUÍFEROS

El agua subterránea puede encontrarse tanto en materiales rocosos consolidados (roca dura) como en materiales sueltos no consolidados (roca suave). Se distinguen tres tipos de rocas, a saber: rocas sedimentarias, rocas ígneas y rocas metamórficas. Cualquier tipo de roca, sedimentaria, ígnea o metamórfica, consolidada o no consolidada, puede constituir un acuífero si es suficientemente porosa y permeable. La descripción de cada una de las rocas se presenta en el cuadro N°2.2.

TIPO DE ROCA	DESCRIPCIÓN
SEDIMENTARIAS	Las rocas sedimentarias que constituyen acuíferos, incluyen arena, grava y mezclas de ambas. Estas rocas granulares no consolidadas varían ampliamente en el tamaño de sus partículas y grado de acomodación de ellas, variando su capacidad de rendir agua. Sus propiedades como acuíferos están influenciadas por el factor de la meteorización.
IGNEAS	Derivan de la consolidación de un magma. Se forma por fusión de materiales de la corteza o el manto y tiende a ascender hacia la superficie, debido a que su densidad es menor que el de las rocas que lo rodean, puesto que la roca fundida ocupa más volumen que la sólida. Según el lugar donde se solidifique, se originan los distintos tipos de rocas ígneas.
METAMORFICAS	Se forman por alteraciones de las rocas sedimentarias e ígneas, por lo general no son buenos acuíferos siendo la única excepción el mármol cuando se fractura; ya que es un material muy duro.

Cuadro N°2.2 Descripción de los tipos de rocas.

2.2.7 POROSIDAD, RENDIMIENTO ESPECÍFICO Y COEFICIENTE DE ALMACENAMIENTO

Un acuífero realiza dos funciones importantes, las cuales son: una función almacenadora y otra transmisora. El acuífero almacena agua, sirviendo como depósito y transmite agua como lo hace un conducto. Los intersticios, aberturas o poros de una formación acuífera sirven tanto de espacio para almacenamiento como red de conductos.

El agua subterránea se mueve constantemente a través de extensas distancias, desde las áreas de recarga hacia las descargas. El desplazamiento es lento, con velocidades que se miden por día y a veces en metros por año (ver figura 2.10). Como consecuencia de ello y el gran volumen que su porosidad representa, un acuífero retiene enormes cantidades de agua en almacenamiento inestable.

Las dos propiedades de un acuífero que tienen relación con su capacidad de almacenar agua, son su porosidad y su rendimiento específico.

La porosidad de un acuífero es aquella parte de su volumen que consiste de intersticios, o sea aquella parte no ocupada por material sólido (ver figura 2.11). Cuando un material saturado drena agua mediante la fuerza de gravedad, únicamente cede una parte del volumen total almacenado en él.

La porosidad es un índice que indica cuanta agua puede ser almacenada en el material saturado. Si P es la porosidad, entonces:

$$P = 100W/V$$

En donde W es el volumen de agua requerida para saturar todos los poros o intersticios y V es el volumen de la roca o suelo. Por ejemplo, si un metro cúbico de arena contiene 0.30 metros cúbicos de espacios abiertos o poros, se dice que su porosidad es de 30 por ciento.

Aunque la porosidad representa la cantidad de agua almacenada en un acuífero, no nos indica cuanta de esa agua puede ceder, a continuación se presentan algunos valores numéricos de porosidad de los siguientes materiales:

Gravas	25 a 40%
Gravas de 4 mm	36%
Arenas y gravas	25 a 30%
Arenas	25.95 a 47.65 %
Aluviones recientes	5 a 15 %
“Arena” granítica (arena proveniente de la descomposición de las rocas cristalinas)	13%
Arcillas	44 a 50%
Margas	47 a 50%
Legamos recientes	80 a 90%
Limos	34 a 50%

Fuente: Evaluación de Recursos de Agua de la Republica de El Salvador. Cuerpo de Ingenieros de los Estados Unidos (1998).

Cuadro N°2.3 Valores de porosidad en diferentes materiales

La cantidad de agua que un volumen unitario del material deja escapar cuando se le drena por gravedad, se denomina rendimiento específico (ver figura 2.11).

Aquella parte del agua que no se puede remover por drenaje gravitacional es retenida, contra la fuerza de la gravedad, por capilaridad y atracción molecular.

La cantidad de agua que un volumen unitario de material retiene cuando se somete a drenaje por gravedad, se denomina retención específica.

Nombre	Rendimiento específico (%)
Talpétate	0
Basaltos densos	0
Ceniza y limo	5
Polvo volcánico + ceniza fina	5
Polvo volcánico + ceniza gruesa	9
Polvo volcánico	10
Ceniza + lapilli (compactado)	10
Ceniza fina a gruesa (consolidada o compacta)	16
Ceniza + lapilli	22
Lapilli	22
Ceniza gruesa + lapilli fina	26
Ceniza fina o gruesa	28
Flujo de basalto	32

Fuente: Evaluación de Recursos de Agua de la Republica de El Salvador. Cuerpo de Ingenieros de los Estados Unidos (1998).

Cuadro N°2.4 Rendimiento específico de piroclastos y otros materiales volcánicos de El Salvador

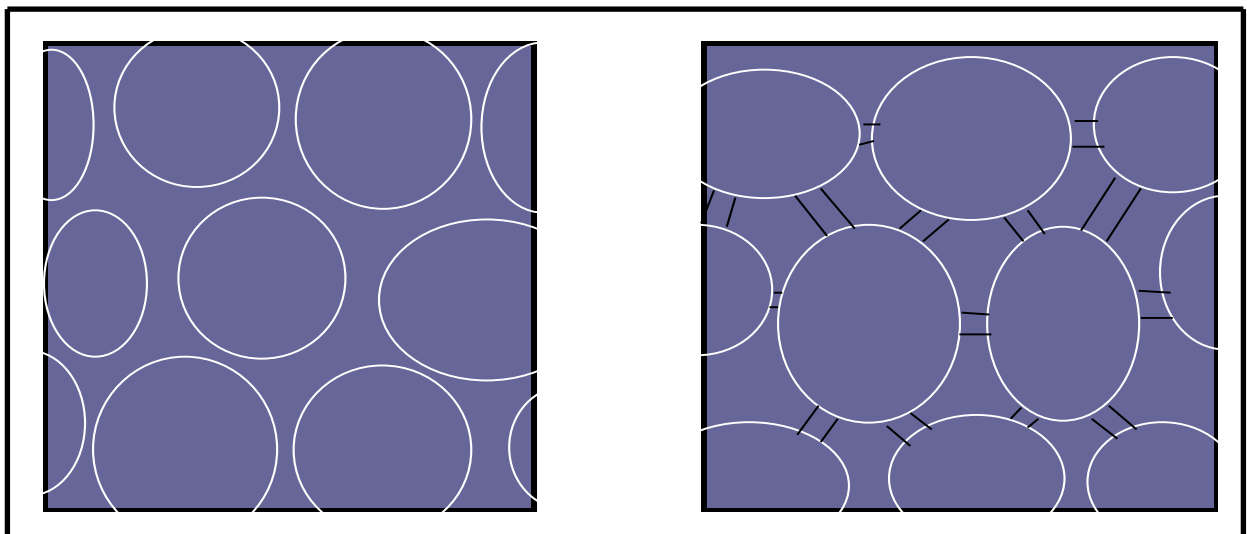


Fig. 2.10 Esquema de intersticios

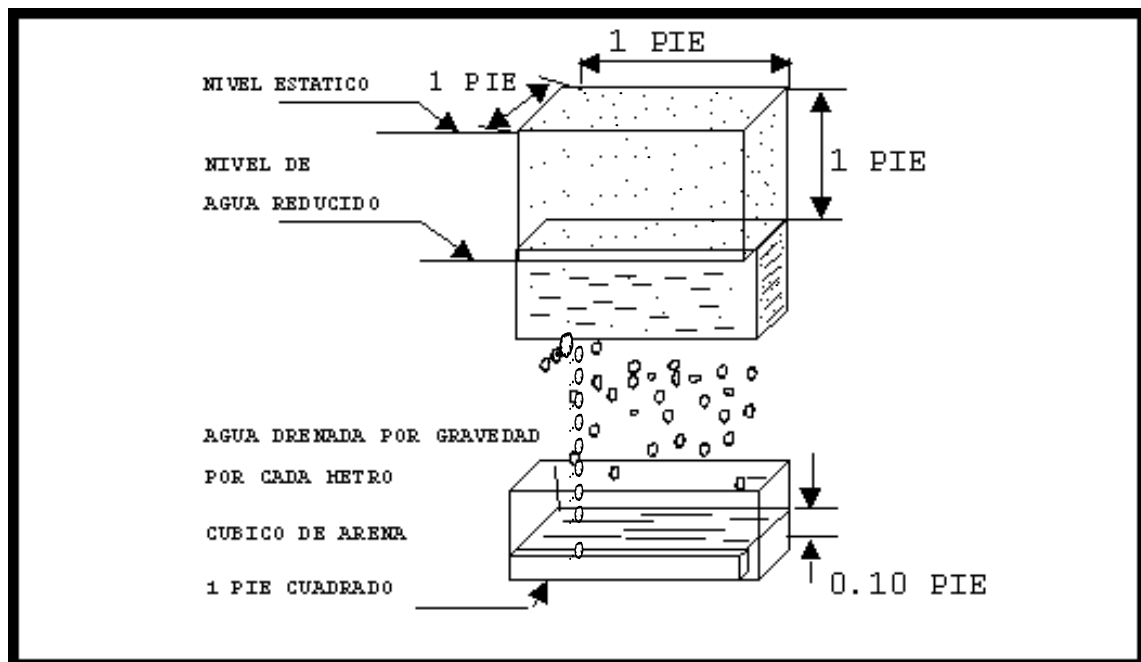


Fig. 2.11 Esquema del rendimiento específico

Diferentes valores de rendimientos específicos han sido revisados, comparados y promediados con valores obtenidos por D. Wozab para materiales volcánicos en El Salvador. Los valores resultantes se sumarían a continuación según el tamaño de las partículas y de acuerdo con la clasificación modificada de Wentworth.

El coeficiente de almacenamiento, es el volumen de agua cedida o tomada del almacenamiento por unidad de área de superficie de un acuífero cuando se produce un cambio unitario de carga normal a la superficie del acuífero. El coeficiente de almacenamiento es un término adimensional como se observa en el cuadro N°2.5.

Nombre	Rendimiento específico (valores en porcentaje)
Arcilla	3
Arcilla limosa	5
Limo	10
Limo arenoso	12
Arena limosa	14
Arena fina	26
Arena media	27
Arena gruesa	28
Arena cementada	13
Arena y grava	24
Grava fina	24
Grava media	23
Grava gruesa	21

Fuente: Evaluación de Recursos de Agua de la Republica de El Salvador. Cuerpo de Ingenieros de los Estados Unidos (1998).

Cuadro N°2.5 Rendimiento específico para diferentes materiales

Cuando la superficie freática o piezométrica de un acuífero desciende, significa que el agua es cedida del almacenamiento. En un acuífero freático o libre, el agua cedida por almacenamiento, es para propósitos prácticos, equivalente al rendimiento específico del material que esta cediendo agua. El coeficiente de almacenamiento es particularmente importante pues indica qué cantidad de agua puede ser obtenida por bombeo o drenaje.

Cuando la superficie freática o piezométrica de un acuífero desciende, significa que el agua es cedida del almacenamiento. En un acuífero freático o libre, el agua cedida por almacenamiento es para propósitos prácticos, equivalente al rendimiento específico del material que esta cediendo agua. Por lo tanto, el coeficiente de almacenamiento en un acuífero libre, varia solamente entre 0.01 hasta 0.35 (de 1 por ciento a 35 por ciento). En un acuífero artesianos, el cual se mantiene lleno de agua durante y después de la extracción de agua, el agua cedida del almacenamiento es atribuida a la compresión del acuífero y a una pequeña expansión del agua, ambos como resultantes de los descensos de

presión. El coeficiente de almacenamiento de un acuífero artesiano es pequeño, variando entre 0.00001 hasta un máximo de 0.005.

La fluctuación del nivel freático o de la superficie piezométrica indica cambios en el volumen de agua en el almacenamiento subterráneo.

El volumen de agua recibida o cedida por el almacenamiento es el producto del área donde se produjo la fluctuación por el valor de la fluctuación neta por el coeficiente de almacenamiento de las rocas del sector donde se produjo la fluctuación, o sea:

$$V_a = A \times F_n \times S$$

De donde:

V_a = Volumen de agua o cambio en el almacenamiento.

A = Área donde se produjo la fluctuación.

S = Coeficiente de almacenamiento de los materiales del sector donde se produjo la fluctuación.

F_n = Fluctuación neta del nivel del agua subterránea.

2.2.8 PERMEABILIDAD Y TRANSMISIBILIDAD

La propiedad de una formación acuífera en lo referente a su función transmisora o de conducto, se denomina permeabilidad. La permeabilidad se define como la capacidad de un medio poroso para transmitir 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. La permeabilidad se puede medir en el laboratorio anotando la cantidad de agua que fluye a través de una muestra de arena en un tiempo dado y bajo determinada diferencia de presión.

Henry Darcy fue quien investigó el flujo de agua a través de lechos filtrantes de arena y publicó sus hallazgos en 1856. Sus experimentos demostraron que el

flujo de agua a través de una columna de agua es proporcional a la longitud de la misma (ver figura 2.12). La expresión matemática de la ley de Darcy es la siguiente:

$$V = \frac{P(h_1 - h_2)}{L}$$

En la cual V es la velocidad de flujo, (h₁-h₂) es la diferencia de carga hidráulica, L es la distancia a lo largo de la trayectoria del flujo entre los puntos donde se mide h₁ y h₂, y P es un coeficiente que depende de las características del material poroso a través del cual tiene lugar el flujo del agua.

Por definición, la diferencia de carga hidráulica dividida por la distancia es igual al gradiente hidráulico, o sea:

$$\frac{h_1 - h_2}{L} = I, \text{ de donde } V = PI$$

Generalmente, la cantidad de flujo o caudal es de mayor interés para nuestros propósitos que la velocidad, por lo que la ley de Darcy se puede escribir mas convenientemente mediante la expresión:

$$Q = AV = PIA$$

En la cual, A es el área de la sección transversal a través de la cual se desplaza el agua y Q es el volumen por unidad de tiempo o caudal.

En las ecuaciones anteriores, P se denomina el coeficiente de permeabilidad del material poroso. Su magnitud depende, en el caso de una formación no consolidada, del tamaño, acomodo de las partículas y carácter de las fisuras, grietas, canales de disolución de una formación consolidada.

El coeficiente de permeabilidad viene a ser la cantidad de agua que puede fluir a través de una sección transversal de área unitaria, dentro del acuífero, por

unidad de tiempo y bajo un gradiente hidráulico de 1.00 (100 por ciento) a una temperatura dada.

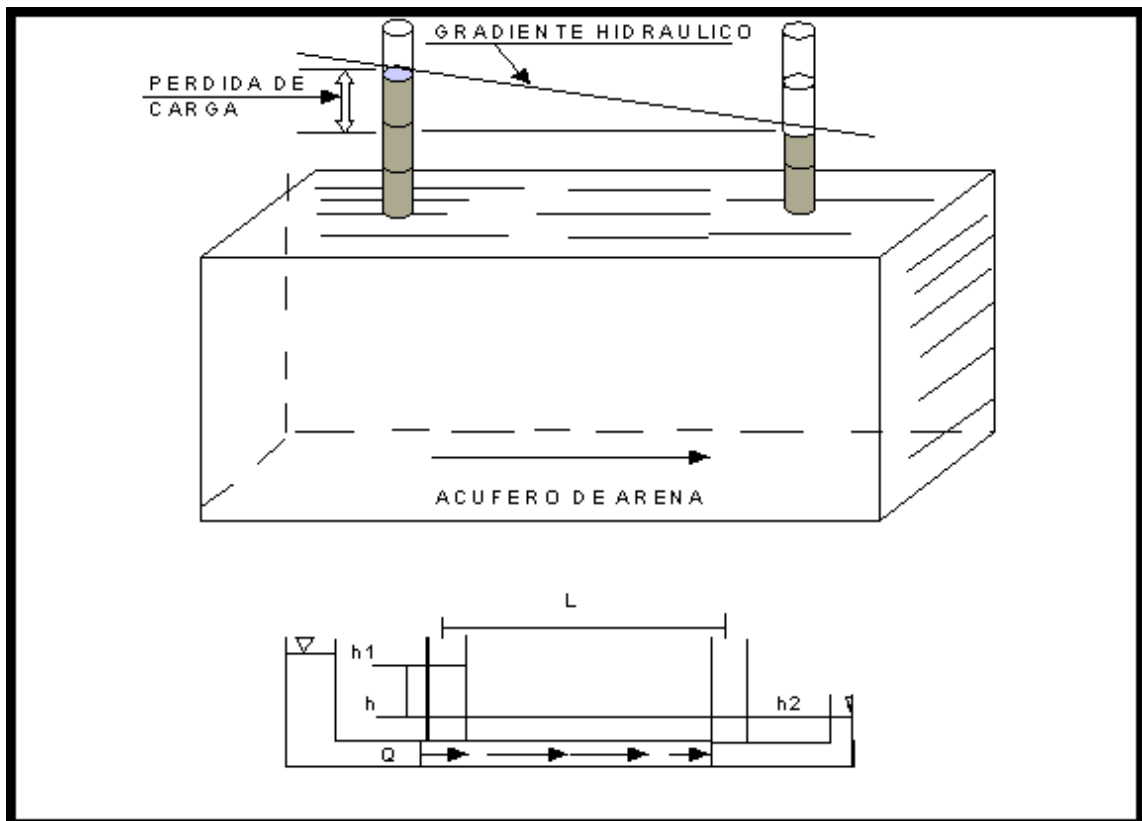


Fig. 2.12 Esquema de la ley de Darcy

Por ser de uso más práctico en problemas de pozos, P se expresa como el flujo en galones por día a través de una sección transversal de un pie cuadrado de material acuífero y bajo gradiente hidráulico de 1.00 (ver figura 2.13) a la temperatura de 60°F . La unidad de permeabilidad expresada en estas dimensiones se denomina una unidad Meinzer.

La ley de Darcy nos expresa que el flujo dentro de una arena saturada varía directamente con el gradiente hidráulico. Si el gradiente hidráulico (perdida de

carga por metro de longitud de trayectoria) se duplicara, el flujo de agua a través de una arena dada también se duplicara.

El tipo de flujo liquido descrito mediante La Ley de Darcy, se conoce como flujo laminar. El flujo que fluya a través de una tubería puede tener régimen laminar a velocidades bajas, pero por lo general, circula bajo condiciones conocidas como turbulentas. En el régimen de flujo turbulento el caudal no varia en proporción directa con el gradiente hidráulico.

La pendiente de la superficie freática o de la superficie piezométrica constituye el gradiente hidráulico bajo el cual se manifiesta el flujo subterráneo. el agua subterránea fluye en sentido del gradiente hidráulico de la superficie freática o piezométrica, de los puntos de mayor elevación a los de menor elevación. El flujo es restringido por fricción con el medio poroso en que se mueve. Esto resulta en velocidades bajas y perdidas de carga muy altas.

La Transmisividad T, es definida como la razón de flujo, en galones por día a través de una sección transversal vertical de acuífero cuya altura es igual al espesor del acuífero y cuyo ancho es de un pie el cual indica cuanta agua se mueve de la formación.

El caudal total que pasa a través de una sección transversal vertical de un acuífero se puede calcular si se conocen el espesor del acuífero, su ancho, su coeficiente de permeabilidad y la magnitud del gradiente hidráulico en la sección.

En 1935, C. V. Theis puntualizó la conveniencia de utilizar el producto de la permeabilidad P del acuífero por su espesor M para representar así en un solo

termino la capacidad transmisora de agua de todo el espesor del acuífero. Así se introdujo el termino coeficiente de transmisividad T.

$$T = PM$$

Cuando el coeficiente T de transmisividad se introduce en la ecuación de Darcy, el flujo a través de cualquier sección transversal vertical del acuífero viene expresado por:

$$Q = TW$$

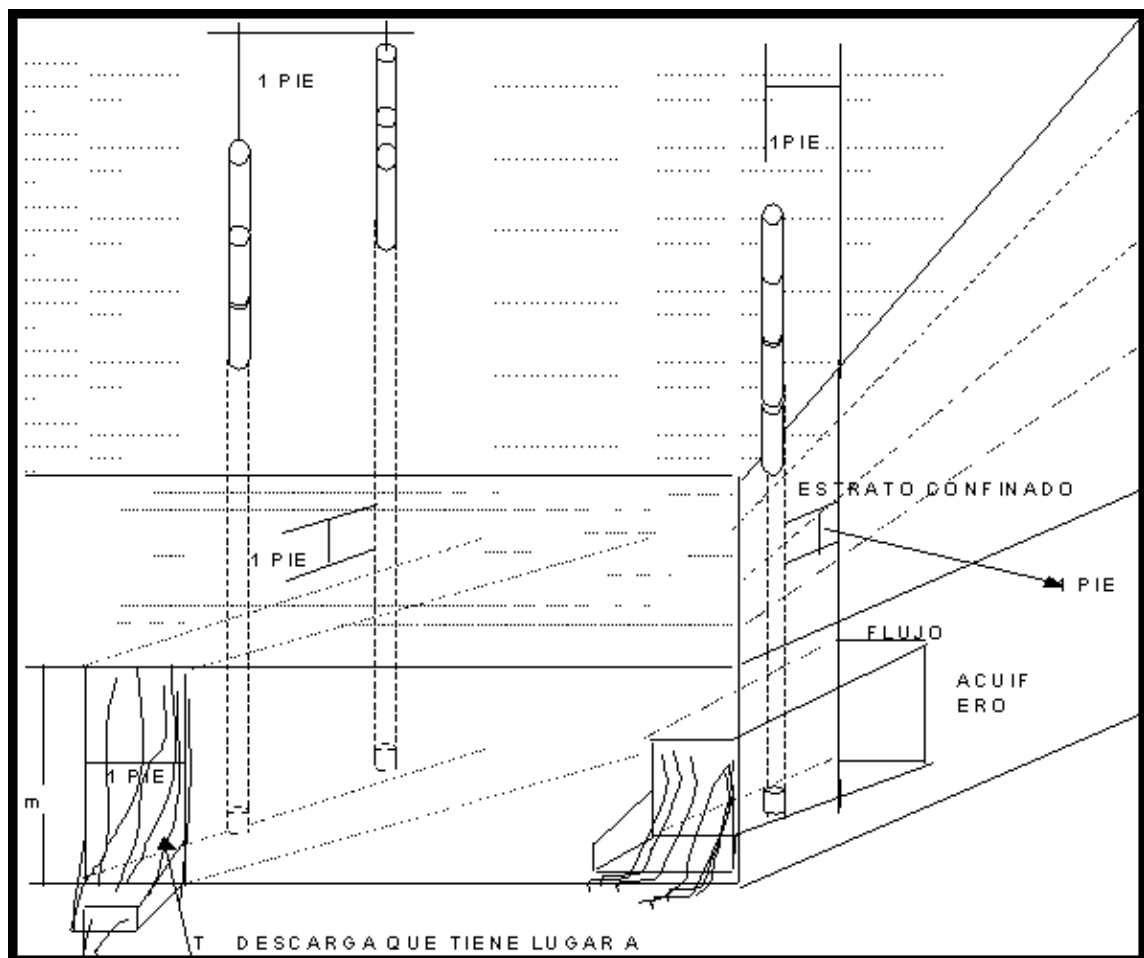


Fig. 2.13 Esquema de la ley de Darcy

2.3 GEOLOGÍA E HIDROGEOLOGÍA DE EL SALVADOR

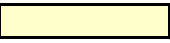




















2.3.1 GEOLOGÍA DE EL SALVADOR

Desde un punto de vista geológico El Salvador es un país extremadamente joven, de la extensión aproximada de 20,000 km²., una cuarta parte del territorio nacional es con formaciones de edad Pleistocénica (Era Geológica Cuaternaria, período Pleistoceno +/- 2.0 millones de años); y tres cuartas partes están cubiertas por formaciones de edad Pliocénica (Era Geológica Terciaria, periodo Pliocénico +/- 5.0 millones de años, duración de la era es de 65.0 millones de años). Por tanto, las formaciones de edad cretácica que es solamente un 5% no representa un valor fundamental en la composición geológica general del país^{2.5}. Solamente estas formaciones son de origen sedimentario marino, todas las otras, con pocas excepciones, son de origen volcánico o ígneo. En algunas partes aisladas existen rocas intrusivas que son de edad Miocénica pertenecientes también a la Era Terciaria.

El Salvador está dividido por ocho diferentes formaciones geológicas dentro de las cuales la zona en estudio está delimitada por dos de ellas, la formación geológica San Salvador y Bálamo. La parte específica de la geología del área de estudio se desarrollará en el capítulo siguiente. En el cuadro N°2.6 se describen cinco de las ocho formaciones geológicas con los diferentes materiales que conforman cada una de ellas, siendo estas las más importantes.

En el anexo N°1 se puede observar todos los materiales en el mapa geológico de El Salvador.

^{2.5} Ministerio de Salud Pública de Asistencia Social (1983). Curso Breve Sobre Hidrogeología y Evaluación del recurso de Agua subterránea. El Salvador

	SÍMBOLO	COLOR DEL SÍMBOLO EN EL MAPA GEOLÓGICO	NOMBRE DEL MATERIAL EN LA FORMACIÓN GEOLÓGICA
Formación SAN SALVADOR	Q'f		Depósitos sedimentarios del Cuaternario
	s5'c		Cenizas volcánicas y tobas de lapilli
	s5'b		Conos de acumulación (escoria, tobas de lapilli, cinder)
	s5'a		Efusivas básicas-intermedias
	s4		*Tierra blanca*: Piroclásticas ácidas y epiclasticas volcánicas subordinadas; localmente efusivas ácidas (s3á)
	s3'b		Efusivas ácidas
	s3'a		Piroclásticas ácidas, epiclasticas volcánicas (*tobas color café*)
	s2		Efusivas básicas-intermedias, piroclásticas subordinadas
	s1		Piroclásticas ácidas, epiclasticas volcánicas; localmente efusivas básicas intermedias
Formación CUSCATLAN	c3		Efusivas básicas-intermedias
	c2		Efusivas ácidas-intermedias-ácidas (ocurrencias aisladas en parte eventual)
	c1		Piroclásticas ácidas, epiclasticas volcánicas
Formación BALSAMO	b3		Efusivas básicas-intermedias
	b2		Efusivas-intermedias, Piroclásticas y epiclasticas volcánicas subordinadas (estratos no diferenciados y edificios volcánicos)
	b1		Epiclasticas volcánicas y piroclásticas; localmente efusivas básicas-intermedias intercaladas
Formación CHALATE NANGO	ch2		Efusivas ácidas; piroclásticas ácidas subordinadas
		Rocas intrusivas ácidas hasta intermedias
Formación MORAZÁN	m2'b		Piroclásticas intermedias hasta intermedias-ácidas, epiclasticas volcánicas
	m2á		Efusivas-intermedias hasta intermedias-ácidas, Piroclásticas subordinadas
	m1'b		Efusivas ácidas, ignimbritas
	m1'a		Piroclásticas ácidas hasta intermedias

Fuente: Departamento de Hidrogeología y pozos de ANDA.

Cuadro N°2.6 Descripción de las principales formaciones geológicas de El Salvador

2.3.2 UNIDADES HIDROGEOLÓGICAS

Las unidades hidrogeológicas comprenden bancos de datos correspondientes a pozos, calidad química, niveles y litología. Esta información es básica para determinar el potencial de los acuíferos y elaborar la cartografía hidrogeológica.

Dentro de las más importantes para hacer referencia a la información de nuestro país se describen los siguientes:

a. Sedimentos aluviónales recientes.

Estos materiales presentan una granulometría variada, que comprende desde cantos rodados hasta arcillas. Por tanto, su porosidad es variable y principalmente la permeabilidad, ya que depende de su tamaño y contenido de arcilla. En general, se pueden clasificar como de gran porosidad y de permeabilidad buena.

b. Lavas cuaternarias.

Estos materiales presentan grados de espacios diferentes y grados de fracturación y fisuramientos también variables de una colada o flujo a otro, consideradas por muchos investigadores como de gran porosidad y permeabilidad secundaria. En general, se pueden clasificar como de porosidad grande y muy permeables.

c. Tobas y piroclásticos cuaternarios.

Estos materiales, principalmente los piroclásticos alcanzan de medianos a grandes espesores, teniendo una granulometría muy variada, sueltos o con parcial compactación. Rellenan la fosa central de San Salvador. En general, se clasifican como mediana porosidad y buena permeabilidad.

d. Lavas y tobas antiguas.

Consisten en lavas antiguas, parcialmente cubiertas por piroclásticos ácidos y erosionados, plio-pleistocénicas afloran cerca del volcán de Guazapa hasta San Vicente.

e. Sedimentos aluviónales antiguos.

Consisten en sedimentos fluvio-lacustre compuestos por cantos rodados, gravas, arenas, limos y arcillas; formando terrazas y planicies que se localizan en el valle del río Lempa (Formación CUSCATLAN), y algunas áreas compactadas.

2.3.3 PRINCIPALES ACUÍFEROS DE EL SALVADOR

En el cuadro N°2.7 se resumen las principales acuíferos de El Salvador destacándose la localización, su descripción y profundidad.

ITEM	ACUÍFERO	NOMBRE DE LA LOCALIZACIÓN EN LA UNIDAD GEOMORFOLOGÍA	DESCRIPCIÓN DEL ACUÍFERO	PROFUNDIDAD DEL NIVEL FREÁTICO
1	SONSONATE ACAJUTLA	PLANICIE COSTERA (EN SU PARTE SUR-ESTE)	ESTA COMPUESTO POR SEDIMENTOS ALUVIONES RECIENTES, INICIANDO EN LA PARTE NORESTE DE LA CIUDAD DE SONSONATE.	EN LA PARTE MAS BAJA ES 1.00 m E INCREMENTA HACIA EL NORTE HASTA 30.0m
2	JIBOA-LEMPA	PLANICIE COSTERA (EN SU PARTE CENTRAL)	ESTA COMPUESTO POR SEDIMENTOS ALUVIONES RECIENTES, ENTRE LOS RÍOS JIBOA Y LEMPA.	EN LAS INMEDIACIONES DE LA LÍNEA COSTERA, MANGLARES Y ESTEROS ES DE 1.00 m AUMENTANDO HACIA EL NORTE HASTA 20.0m
3	LEMPA-JIQUILISCO	PLANICIE COSTERA (EN SU PARTE SUR-ESTE)	ESTA COMPUESTO POR SEDIMENTOS ALUVIONES RECIENTES, ENTRE EL RÍO LEMPA Y LA BAHÍA DE JIQUILISCO.	EN LA ZONA SUR ES DE 3.00 m Y ALCANZA SU MAYOR PROFUNDIDAD CERCA DE LA CADENA VOLCÁNICA DE 70.0m
4	USULUTAN-VADO MARIN	PLANICIE COSTERA (EN SU PARTE SUR-ESTE)	ESTA COMPUESTO POR SEDIMENTOS ALUVIONES RECIENTES, EXTENDIDOS EN LA CUENCA DEL RÍO GRANDE Y LA BASE SUR DEL VOLCÁN DE SAN MIGUEL.	LA PROFUNDIDAD VARIA DE 20.00-40.00m CERCA DEL RÍO GRANDE, CERCA DE LA CARRETERA DEL LITORAL Y EN LA BASE DEL VOLCÁN ES DE 60.00m
5	VALLE ZAPOTITAN	FOSA CENTRAL	ESTA COMPUESTO POR SEDIMENTOS ALUVIONES.	LA PROFUNDIDAD EN LA PARTE CENTRAL DEL VALLE ES DE 5.00m
6	QUEZALTEPEQUE-OPICO	FOSA CENTRAL	ESTA COMPUESTO POR SEDIMENTOS ALUVIONES.	LA PROFUNDIDAD CERCA DEL SITO DEL NIÑO ES DE 5.00m AUMENTANDO HASTA 70.00m EN LA BASE OESTE DEL VOLCÁN.
7	SAN SALVADOR	FOSA CENTRAL	ESTA COMPUESTO POR PIROCLÁSTICOS Y LAVAS CUATERNARIAS.	EN LA PARTE CENTRAL ES DE 47.00-50.00m, AUMENTANDO HACIA LA PARTE OESTE DEL VOLCÁN DE SAN SALVADOR ALCANZANDO 200.00m.

Cuadro N°2.7 Acuíferos de El Salvador

2.4 CALIDAD DEL AGUA DE CONSUMO HUMANO

2.4.1 CALIDAD DEL AGUA Y LA SALUD

Un contaminante del agua es cualquier sustancia que altera las cualidades físico-químicas y microbiológicas del agua. Una sustancia se convierte en contaminante cuando excede una concentración estándar aceptable.^{2.6}

Los riesgos relacionados con el consumo de agua son múltiples. Tradicionalmente se ha hecho una distinción en el siguiente cuadro entre los riesgos a corto, mediano y largo plazo.

Riesgos a corto plazo	Riesgo a mediano y largo plazo
Beber un solo vaso de agua de dudosa calidad puede suponer un riesgo.	Están relacionados con el consumo regular y continuo durante semanas, meses e incluso años de un agua contaminada químicamente. Estos casos se deben tener en cuenta naturalmente, pero no debe de olvidarse de la protección contra el riesgo a corto plazo.

Cuadro N°2.8 Riesgo a la salud a corto, mediano y largo plazo

Para proporcionar un abastecimiento de agua segura para consumo humano, debe seguirse algunas normas simples que permiten garantizar su buena calidad; igualmente los aspectos que se resumen en el siguiente cuadro:

^{2.6} http://p2.utep.edu/espanol/documentos/treasure_sp.pdf

ASPECTOS MICROBIOLÓGICOS			
ÍTEM	ASPECTOS MICROBIOLÓGICOS	DESCRIPCIÓN	EFFECTOS SOBRE LA SALUD
1	CALIDAD BACTERIOLÓGICA DEL AGUA	<p>LA CONTAMINACIÓN FECAL DEL AGUA PARA CONSUMIR HUMANO PUEDE INCORPORAR UNA VARIEDAD DE ORGANISMOS PATÓGENOS INTESTINALES-BACTERIANOS, VIRALES Y PARASITARIOS CUYA PRESENCIA ESTA RELACIONADA CON ENFERMEDADES Y PORTADORES DE TIPO MICROBIANO Y PRESENTAN DIVERSAS PROPIEDADES COMO:</p> <p>1- SE PRESENTAN EN FORMA DE PARTÍCULAS.</p> <p>2- EL RIESGO DE CONTRAER UNA INFECCIÓN DEPENDE DE QUE SI EL GERMEN CONSIGA IMPLANTARSE Y DEL NIVEL INMUNOLÓGICO DEL INDIVIDUO.</p> <p>3- UNA ÚNICA EXPOSICIÓN PUEDE BASTAR PARA PROVOCAR UNA ENFERMEDAD.</p>	<p>PUEDEN SER CAUSANTES DE ENFERMEDADES CUYO ÍNDICE DE GRAVEDAD VA DESDE UNA GASTROENTERITIS HASTA CASOS GRAVES ICÓ FATALES DE DISENTERÍA O CÓLERA.</p>
2	CALIDAD VIROLÓGICA DEL AGUA	<p>LOS VIRUS QUE MAS PREOCUPAN EN CUANTO A LA TRANSMISIÓN DE ENFERMEDADES INFECCIONES HÍDRICAS SON LAS QUE SE MULTIPLICAN EN EL INTESTINO Y SON EXPULSADOS EN GRAN NUMERO EN LAS HECEAS DE LOS INDIVIDUOS INFECTADOS; SE CREE QUE LA VÍA PRINCIPAL DE EXPOSICIÓN DE LOS VIRUS ENTERICOS ES POR CONTACTO DIRECTO CON PERSONAS INFECTADAS O POR CONTACTO CON OBJETOS CONTAMINADOS.</p>	<p>PUEDEN PRODUCIR SÍNDROMES COMO: ERUPCIONES, FIEBRE, GASTROENTERITIS MIOCARDITIS, MENINGITIS, ENFERMEDADES RESPIRATORIAS Y HEPATITIS.</p>
3	CALIDAD BIOLÓGICA DEL AGUA	<p>LOS PROTOZOOS INTESTINALES QUE PUEDEN SER TRANSMITIDOS POR EL AGUA ESTÁN : ENTANOEBA HISTOLYTICA, GIARDIA Y BALANTIDIUM COLI. ESTOS ORGANISMOS HAN SIDO ASOCIADOS A BROTES EPIDÉMICOS CAUSADOS POR EL CONSUMO HUMANO. LA INFECCIÓN TRANSMITIDA POR EL AGUA ES CASI SIEMPRE ASOCIADA AL CONTACTO REACTIVA MAS QUE AL HABERSE BEBIDO EL AGUA. AUNQUE TAMBIÉN EXISTE LA INFECCIÓN POR LA INGESTIÓN DE ALIMENTOS.</p>	<p>SÍNTOMAS MENORES Y ENFERMEDADES FRECUENTEMENTE FATALES.</p>

Cuadro N°2.9 Aspectos microbiológicos del agua

El riesgo para la salud provocado por las sustancias químicas tóxicas que pueden existir en el agua, es distinto del que causan los contaminantes microbiológicos. Es muy poco probable que cualquiera de esas sustancias cause un problema agudo de salud, salvo en situaciones excepcionales, como una contaminación en gran escala de la fuente de abastecimiento.

Los problemas relacionados con los componentes químicos surgen fundamentalmente por la posibilidad de que esas sustancias causan efectos negativos después de periodos prolongados de exposición.

Los efectos crónicos ocurren después que las personas consumen un contaminante a niveles sobre los estándares de seguridad durante muchos años. Los contaminantes en el agua potable que pudiesen causar efectos crónicos son los químicos (tales como solventes y plaguicidas), radionucléicos (tal como el radio) y minerales (tal como el arsénico). Entre los ejemplos de efectos crónicos de los contaminantes del agua potable, están el cáncer, problemas del hígado , riñones o dificultades en la reproducción.

De los diversos compuestos químicos encontrados en el agua subterránea, los compuestos orgánicos representan el mayor riesgo por sus efectos en el ambiente y en la salud humana. Dentro de este grupo de compuestos los disolventes industriales y los hidrocarburos aromáticos derivados del petróleo son los más comúnmente encontrados en el agua subterránea.

El nitrato es el contaminante inorgánico más conocido y quizás uno de los que genera mayor preocupación, porque produce una sustancia llamada nitrosamina que causa cáncer. El envenenamiento con nitrato es peligroso en los infantes. Altos niveles de nitrato en el cuerpo pueden limitar la habilidad de

la sangre de transportar oxígeno, causando asfixia en bebés. Esta condición podría ser fatal si no se trata a tiempo.

Es común que existan en el agua sustancias que afectan la calidad de apariencia y organoléptica, si bien es raro que alcancen concentraciones tóxicas y las técnicas para su control pueden ser costosas. Sin embargo no se debe subestimar la calidad de apariencia y organoléptica del agua de consumo, ya que el aspecto o sabor, olor, color puede incitar al consumidor a recurrir a una fuente no inocua y a dispositivos de tratamiento en el punto de empleo que tal vez no constituyan una solución del problema. Por otra parte, el aspecto del agua puede ser el primer indicio de riesgo potencial para la salud. Por consiguiente, las mediciones del color y la turbidez son importantes y suelen señalar la presencia de concentraciones anormales de aluminio, hierro o manganeso, o quizás una deficiencia de oxígeno disuelto o un desarrollo microbiano excesivo.

2.4.2 PARÁMETROS INDICADORES DE LA CALIDAD DEL AGUA

Una referencia obligada para analizar la contaminación del agua, son las condiciones y características que debe cumplir según el uso que se le destine, estos estándares sirven de base para apreciar los resultados de los análisis microbiológico, físico y químico. El estándar mas importante y exigente, es el que se establece para las aguas de consumo humano.

El criterio fundamental para establecer este patrón, es el efecto de estas sustancias en la salud. Los límites recomendados de concentraciones para los compuestos inorgánicos y microorganismos, existen desde hace mucho tiempo y son fruto de una dilatada experiencia. Sin embargo los constituyentes orgánicos, los pesticidas son de reciente adición y son objeto de continuas controversias. Estos criterios no son universales, y cambian de un país a otro

de acuerdo con las condiciones hidrológica, clima y recursos^{2.7}. En el país, se cuenta con la Norma para la Calidad del Agua de Consumo Humano, proporcionada por el Ministerio de Salud y Asistencia Social (ver anexo A).

A continuación se exponen los parámetros microbiológicos, químico y físico más importante en el análisis del agua subterránea.

➤ **Parámetros microbiológicos**

Entre los microorganismos que se usan como indicadores bacterianos de contaminación fecal esta todo el grupo de bacterias coliformes totales, fecales y estreptococos.

a. Organismos del grupo coliforme total

Desde hace mucho tiempo se reconoce que los organismos del grupo coliforme son un buen indicador microbiano de la calidad del agua de consumo, debido a que son fáciles de detectar y enumerar en el agua. En general, se caracterizan por su capacidad de fermentar lactosa en cultivos a 35° ó 37°C y entre ellas se encuentran las especies E. Coli, Citrobacter, Enterobacter y Klebsiella. Si bien las bacterias coliformes no tienen relación directa con la presencia de virus en el agua, el uso de la prueba de coliforme sigue siendo esencial en la vigilancia de la calidad del agua. La ausencia de coliformes en el agua no significa que hay ausencia de quistes, amebas y otros parásitos.

Las bacterias coliformes no solo provienen de las heces de animales de sangre caliente, sino también de la vegetación y el suelo. Por las razones expuestas, la presencia de organismos coliformes(1-10 microorganismos por 100 ml), especialmente en aguas subterráneas que no hayan sido tratadas,

^{2.7} Fernando López Vera. Contaminación de las aguas subterráneas, Madrid, 1990. pg. 6

puede tener poca importancia desde el punto de vista sanitario, siempre que haya ausencia de coliformes fecales.

b. Organismos coliformes fecales (termo resistentes).

Estos son los organismos que son capaces de fermentar la lactosa a temperaturas de 44.0 ó 44.5 °C; entre ellas se encuentran los del género *Escherichia Coli* y, en menor grado *Citrobacter*, *Enterobacter* y *Klebsiella*. De todos estos microorganismos, solo la *E. Coli* tiene un origen específicamente fecal, pues están siempre presentes en las heces de humanos, de los animales y pájaros, y rara vez se encuentra en el agua o el suelo que no haya sufrido algún tipo de contaminación fecal. Se considera que la detección e identificación de estos organismos como organismos fecales o presunción de *E. Coli* constituye una información suficiente como para estimar la naturaleza fecal de dicha contaminación. Es poco probable que se desarrollen después de una desinfección del agua a menos que existan los nutrientes bacterianos suficientes (Demanda Bioquímica de Oxígeno DBO > 14 mg/l, temperatura 13°C y que no haya cloro residual).

c. Estreptococos.

Cuando existan dudas, especialmente cuando se ha encontrado organismos coliformes y hay ausencia de bacterias coliformes fecales y de *E. Coli*, se recurre a otros organismos indicadores de contaminación excrementicia. Entre estos se encuentra los estreptococos fecales, la presencia de estos en el agua indica contaminación fecal. Estos organismos rara vez se multiplican en el agua contaminada y pueden ser más resistentes a la desinfección que los del grupo coliformes. Sin embargo pocas veces se ha recomendado el uso de este grupo como indicador para controlar la calidad del agua de consumo.

En cuanto a la determinación de la presencia de virus en el agua se puede decir, que se han desarrollado rápidamente métodos para la evaluación de la presencia de estos en el agua, pero que son poco confiables y tienen una limitación, que el análisis dura dos semanas, tiempo el cual el agua ya habrá sido consumida.

Es importante mencionar que el análisis del agua para la detección de virus no debe suplantarse por el análisis bacteriológico; porque en general, hay un número mayor de bacterias fecales que virus en aguas residuales(fuente de contaminación). Esto ha dado pie a la esperanza de que las bacterias apropiadas indicadores de contaminación fecal sirvan también como indicadoras de virus en aguas de todo tipo. Sin embargo las bacterias utilizadas como indicadores convencionales para evaluar la seguridad del agua de consumo, han demostrado ser menos resistentes a los factores ambientales que los virus, y como resultado los virus entericos podrían estar presentes en el agua con poca o ninguna señal de contaminación bacteriana.

Por otra parte, para detectar la presencia de organismos biológicos (protozoos), se cuenta con métodos experimentales para establecer la concentración y detección de quistes de *E. Histolytica* y *Giardia*, pero solo se recomienda su aplicación en conjunción con estudios epidemiológicos paralelos durante situaciones endémicas y epidémicas.^{2.8} Según la opinión de expertos de la Organización Mundial de la Salud (O.M.S.), si no se encuentran indicadores de contaminación fecal, el riesgo de que existan en el agua virus y protozoos en particular, es muy remoto.^{2.9}

^{2.8} Organización Panamericana para la Salud (O.P.S), Guías para la calidad del agua potable. Vol. 1,2,3. Washington,1998.

^{2.9} Organización Panamericana para la Salud(OPS), La desinfección del agua. Washington, 1999. pg. 5

➤ **Parámetros físico-químicos.**

Para identificar de una forma rápida y sencilla si las aguas subterráneas de consumo humano están contaminadas químicamente hablando, se utilizan algunos indicadores como: Total de sólidos disueltos(TDS), pH, la presencia de nitritos, amoníaco, nitratos; identificación de olor, color y sabor, y la presencia de hierro, manganeso, o residuos industriales fuertemente coloreados.^{2.10} Sin embargo si se quiere un análisis más exhaustivo requerirá, la selección de parámetros que posiblemente se encuentren en el medio(abastecimientos de agua de consumo) específicamente, estos se pueden observar en el anexo A.

Por otra parte el aspecto del agua puede ser el primer indicio de riesgo potencial para la salud. Por consiguiente, las mediciones del color y la turbidez son importantes y suelen señalar la presencia de concentraciones anormales de aluminio, hierro o manganeso, o quizás una deficiencia de oxígeno disuelto o un desarrollo microbiano excesivo. Cuando se presentan problemas de sabor y olor en un sistema de abastecimiento de agua, es necesario investigar la causa y adoptar medidas de inmediato para eliminar la contaminación^{2.11}.

2.4.3 CONTAMINACIÓN DEL AGUA SUBTERRÁNEA

La contaminación de las aguas subterráneas puede producirse de dos formas:

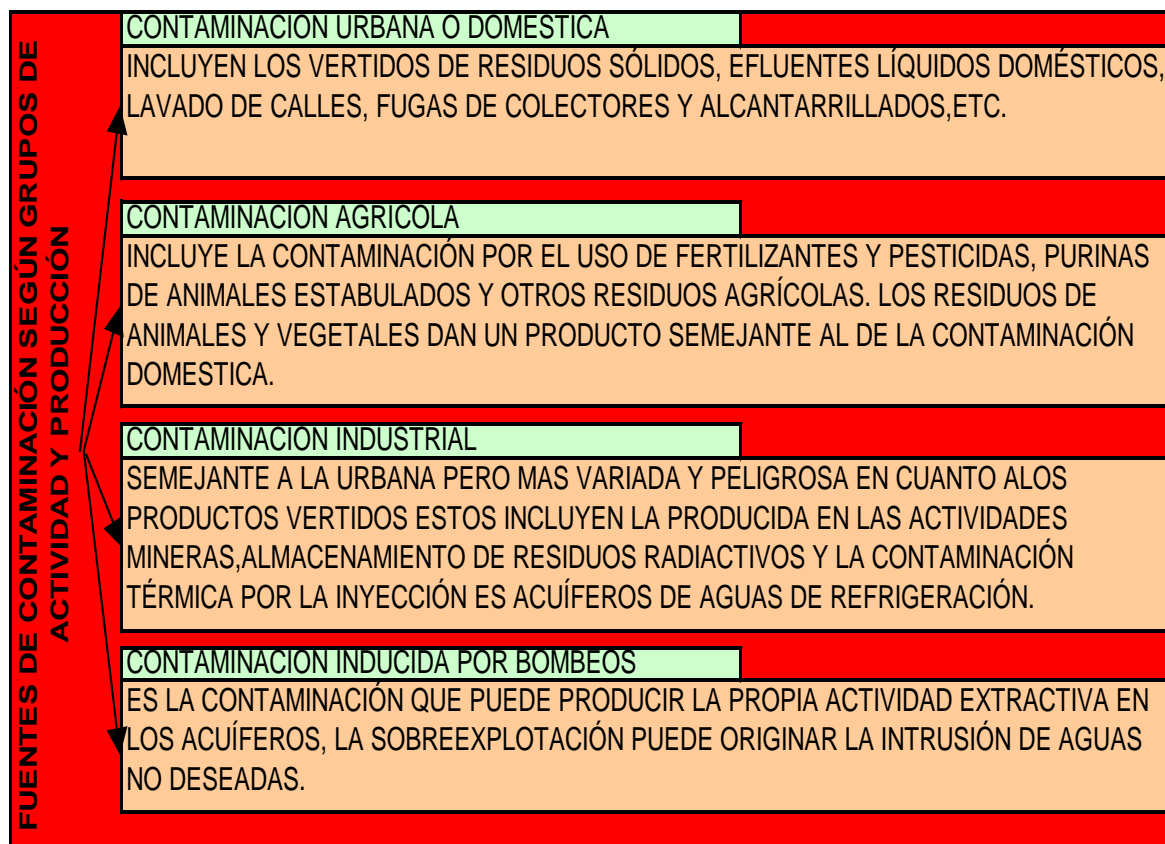
- **Directa:** Sin dilución, cuando las sustancias contaminantes se introducen en el subsuelo y alcanza directamente el acuífero.

- **Indirecta:** Con dilución, cuando esta se produce por la recarga natural del acuífero.

^{2.10} Fernando López Vera. Contaminación de las aguas subterráneas, Madrid, 1990. pg. 15, 16

^{2.11} Organización Panamericana para la Salud (OPS), Guías para la calidad del agua potable Vol. 1,2,3. Washington, 1998

Las fuentes de contaminación según grupos de actividad y producción se describen a continuación:



Cuadro N°2.10 Fuentes de contaminación según actividades de producción.

Existe otra agrupación en que se divide la contaminación dependiendo principalmente de la forma en que se produce, describiéndose en la figura 2.14.

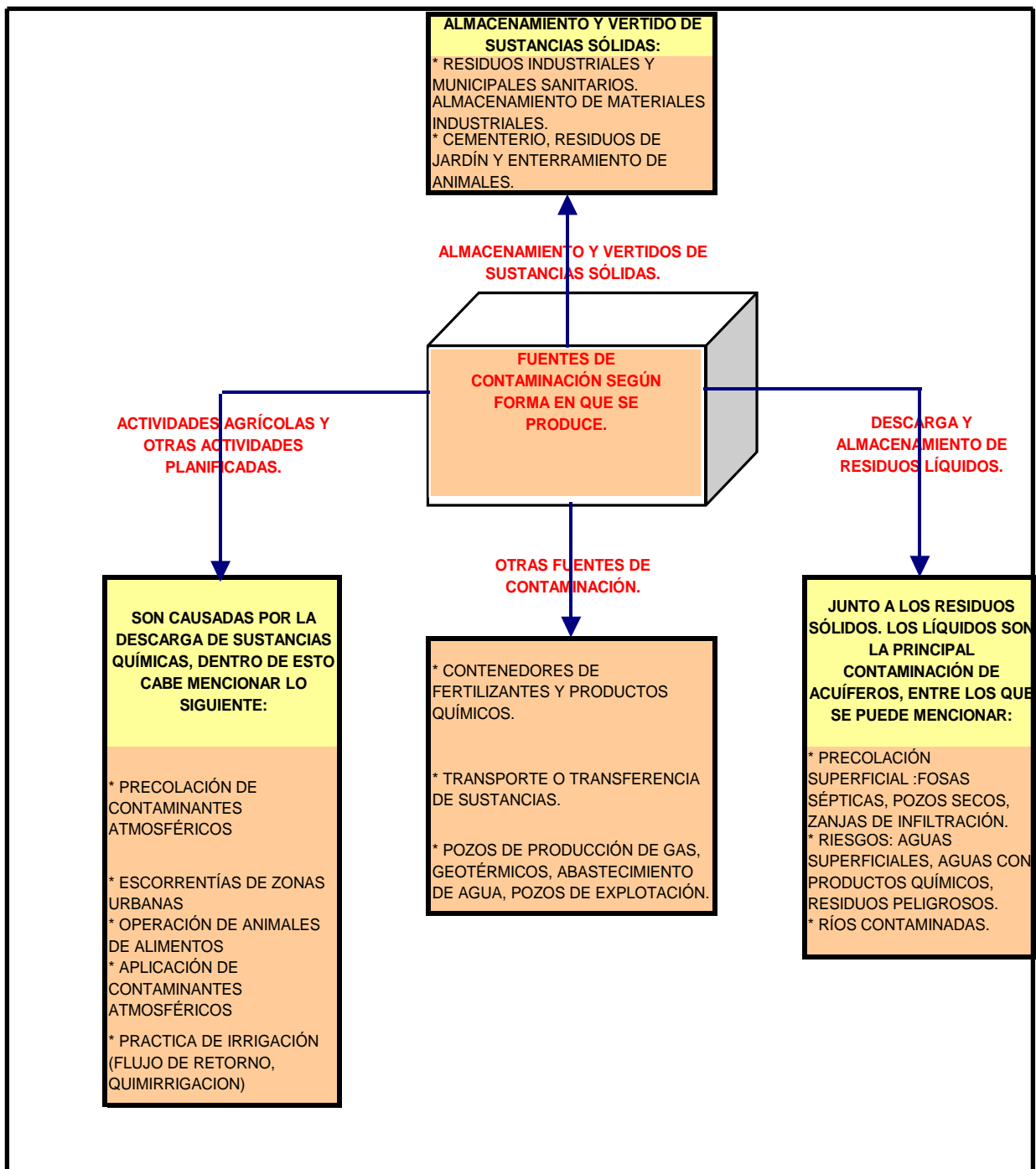


Fig. 2.14 Fuentes de contaminación según forma en que se producen

2.4.4 PROTECCIÓN DE AGUAS SUBTERRÁNEAS

La protección contra la contaminación del agua subterránea requiere un manejo conciente y la cooperación por parte de los ciudadanos y de varias instancias gubernamentales.

La mejor protección contra la contaminación es la prevención. A continuación se describen algunos de los métodos de prevención:

- La planificación del uso del suelo es la mejor medida disponible para proteger los acuíferos que aún contienen agua de buena calidad:
 - a. Las industrias, las granjas y los vecinos asentados encima de las reservas de aguas subterráneas necesitan practicar un buen manejo con respecto al uso y eliminación de productos químicos.
 - b. Disponer controles más estrictos sobre la aplicación de plaguicidas y fertilizantes.
- Monitorear continuamente los acuíferos.
- Requerir que las personas que usan pozos privados para obtener agua de beber hagan que se examine ese líquido una vez al año.
- Planificar la localización de fuentes potenciales de contaminación y ubicarlas lejos de las áreas críticas de recarga.
 - a. Eliminación apropiada de los productos químicos que causan contaminación son también necesarios.

- b. Los reglamentos gubernamentales para el uso y eliminación de materiales tóxicos tienen que cumplirse. Un paso igualmente importante es hacer que las personas estén concientes del impacto potencial que ellos pudieran tener en el agua subterránea.
- c. Establecer programas de protección de áreas inmediatas de pozos de agua potable para evitar que las sustancias contaminen sus pozos^{2.12}

2.4.5 TRATAMIENTO DEL AGUA DE CONSUMO

Se puede obtener agua potable tanto de forma directa, cuando se usa una fuente de agua subterránea de alta calidad y bien protegida, o también utilizando un agua no potable, la cual se somete a una serie de tratamientos adecuados capaces de reducir la concentración de contaminantes a un nivel que no signifique riesgo para la salud.

La finalidad del tratamiento de las agua de consumo es mejorar su calidad sanitaria, estética, y desde el punto de vista económico.

El beneficio principal del agua potable es la protección de la salud pública, a través del control de las enfermedades transmitidas por el agua y desempeña una función primordial, ya que controla los agentes patógenos en el agua que causan las enfermedades, tal como ocurre en los países desarrollados en que están virtualmente ausentes de enfermedades transmitidas por el agua, tales como la tifoidea y el cólera.

Los abastecimientos de agua sin tratar o con un tratamiento inadecuado, siguen siendo la mayor amenaza para la salud pública, especialmente en los países en desarrollo donde casi la mitad de la población consume agua contaminada. En estos países las enfermedades como el cólera, tifoidea y disentería crónica son

^{2.12} <http://www.monografias.com/trabajos/contamagua/contamagua.shtml>

endémicas, y matan a jóvenes y ancianos. A continuación se ha resumido los diferentes procesos de tratamiento para agua que se sirve posteriormente para consumo humano.

Procesos de tratamiento:

1. Aeración
2. Sedimentación:
 - simple
 - con coagulación
3. Filtración:
 - lenta
 - rápida
4. Desinfección (eliminación de gérmenes patógenos)
5. Suavización (corrección de la dureza)

Aeración o aireación:

La aeración es el proceso de tratamiento que consiste en poner al agua en contacto con el aire con el fin de que se sature de oxígeno, lo que puede conseguirse dejando caer el agua en forma de cascada por una serie de peldaños, pulverizándola en el aire mediante boquillas y recogéndola sobre una pantalla de hormigón, o dejándola correr sucesivamente por una serie de bandejas perforadas colocadas una sobre otra.

Ventajas de la aeración:

1. mejora el sabor y olor

2. precipita el hierro y el manganeso
3. expulsa el CO₂

2) Sedimentación

La sedimentación de las partículas en suspensión en el agua se logra disminuyendo su velocidad o manteniéndola en reposo en recipientes rectangulares llamados tanques de sedimentación, decantadores o clarificadores. En estas condiciones las partículas inician un movimiento descendente, con una velocidad de sedimentación que depende de su tamaño, forma y peso, así como de la densidad y viscosidad del líquido (sedimentación simple).

Ventajas de la sedimentación simple:

1. buena eficiencia en la remoción de partículas de arena y otras en suspensión
2. disminuye mucho la turbiedad
3. reduce algo el número de bacterias
4. no mejora los elementos en solución ni el color

Cuando las impurezas del agua se encuentran en forma de partículas muy finas, se hace necesario facilitar la sedimentación agregando al agua sustancias coagulantes (tales como el sulfato de alúmina) que se adhieren a las partículas y aceleran su precipitación (sedimentación con coagulación).

La eficiencia de la sedimentación con coagulación estriba en que se logra una mejora apreciable de la calidad del agua en relación con:

1. suspensiones finas: reducción de la turbiedad , bacterias y plancton
2. coloides: reducción del color, coloides orgánicos y el hierro oxidado

3. sustancias disueltas: disminuye la dureza, el manganeso y el hierro no oxidado

3) Filtración

Existen dos mecanismos distintos de filtración: lenta y rápida. La **filtración lenta** consiste en hacer pasar al agua por estanques rectangulares (por lo menos dos), en que existe una capa de arena de un espesor aproximado de 1 m, con una capa soportante de piedra picada de 0,30 m de espesor aproximado y un sistema de drenaje consistente en una tubería de barro de juntas abiertas. El nivel del agua debe mantenerse alrededor de 1,30 m sobre la superficie de arena, por lo que existen dispositivos para controlar el nivel.

Ventajas de la filtración lenta:

1. gran reducción de bacterias (más de 95%)
2. gran reducción de turbiedad (si es menor de 40 *ppm* en el agua cruda)
3. buena reducción del olor y el sabor

La filtración rápida consiste en el empleo de órganos perfeccionados para la aplicación del principio de filtración, conocidos como filtros rápidos o filtros mecánicos, los que se combinan con la sedimentación con coagulación. En estos filtros el agua se pasa a presión, lo que permite filtrar mayor volumen del líquido por unidad de tiempo.

Eficiencia de la filtración rápida:

1. gran reducción de bacterias (96 - 99,8%)
2. gran reducción de la turbiedad y el color
3. poca reducción del olor y sabor

4) Desinfección

Eliminación de los gérmenes patógenos presentes en el agua.

Las sustancias desinfectantes del agua serán más adecuadas para actuar como tales en la medida en que cumplan los requisitos que se expresan seguidamente:

1. Ser capaces de destruir los gérmenes patógenos.
2. No formar sustancias nocivas a la salud.
3. No alterar el color, olor, sabor, etc. del agua.
4. Ser de aplicación fácil, segura y económica.
5. Tener acción residual.

La desinfección del agua se puede conseguir por diverso medios físicos o químicos:

- a. Ebullición: para obtener agua perfectamente desinfectada a nivel del mar, esta debe hervirse por un minuto. Debe agregarse un minuto adicional por cada aumento de 1,000 metros de altitud.
- b. Rayos ultravioletas: la eficiencia de la desinfección usando esta técnica esta estrechamente ligada a la calidad del agua que va ha ser tratada. Por lo tanto debe usarse solo en casos particulares. Además debe considerarse que este tratamiento no tiene efecto residual. Por otra parte no genera ningún subproducto.
- c. Procesos químicos: los reactivos más comunes son el cloro y sus derivados y el ozono junto con el bióxido de cloro. De todos ellos el cloro en forma de cloro gaseoso, de hipoclorito de sodio(lejía) o de hipoclorito de calcio(en

polvo), es el biocida (eliminador de microorganismos) más empleado y el más antiguo.

En un principio, el empleo del cloro se basó en la idea de una relación entre enfermedades de origen hídrico y mal olor del agua (olor séptico). Si bien es anterior al descubrimiento de las bacterias responsables de la contaminación del agua, el uso del agua como desodorización de las aguas ha resultado ser muy eficaz. La desinfección con cloro sigue siendo la mejor garantía de un agua microbiológicamente segura.

La concentración de reactivo químico biocida, así como el tiempo de contacto agua-biocida son los principales elementos que determinan la buena desinfección del agua. Se debe tener en cuenta la calidad físico-química del agua, para determinar la correcta concentración y el tiempo de contacto.

La inyección de cloro, poderoso oxidante, en aguas cargadas de materias orgánicas da lugar a reacciones químicas particulares. En especial el amoníaco, el hierro, manganeso y los sulfuros, fácilmente con el cloro.

Desde 1974 se ha prestado atención a las reacciones secundarias complejas, en particular con ciertas materias orgánicas presentes de forma natural en el agua. Se trata esencialmente de los ácidos húmicos y de los ácidos fúlvicos. La consecuencia de estas reacciones secundarias es la producción de moléculas químicas particulares denominadas organocloradas. Algunas de dichas sustancias han resultado cancerígenas en animales de laboratorio.

Algunos estudios han demostrado pequeñas asociaciones estadísticas con los cánceres de estomago, de intestino grueso, de recto o más reciente de páncreas. El Centro Internacional de Investigación sobre el Cáncer(CIIC), concluyendo que no es posible afirmar que el consumo de agua potable clorada puede derivar en cánceres en el hombre. En ciertos casos, ha provocado la sustitución del cloro por otros desinfectantes químicos, como el bióxido de cloro o el ozono^{2.13}.

^{2.13} La desinfección del agua Washington, 1999. pg.6-7. O.P.S.

CAPÍTULO III
ESTUDIO HIDROGEOLÓGICO
Y DE LA CALIDAD DEL AGUA

3.1 GENERALIDADES

Con el objeto de presentar un panorama general de la zona en que se desarrolla la presente investigación, se hará una breve descripción de su ubicación y de aquellas características que se consideran importantes.

3.1.1 UBICACIÓN Y ACCESO

Los tres cantones en estudio se localiza a 26 kilómetros al este de la ciudad de Sonsonate. Su acceso se verifica por la carretera que de San Salvador conduce hasta la ciudad de Sonsonate (CA-8). En el siguiente cuadro se detalla la ubicación de cada cantón:

Ubicación de cada cantón	Azacualpa	La Puerta	Tres Ceibas
Desde San Salvador	45 Km.	45.3 Km	45.7 Km
Desde Armenia	6 Km.	6.3 Km.	6.7 Km.

Fuente: Unidad de Salud de Armenia, Depto. de Sonsonate.

Cuadro N°3.1 Ubicación de cada cantón en estudio.

El área en estudio está delimitada por los cuadrantes topográficos N° 2257-II y 2357-III y ubicada por las coordenadas:

Latitud N 285,000 N 300,000

Longitud W 440,000 W 455,000

3.1.2 GEOGRAFÍA

Sonsonate es uno de los tres departamentos que componen la zona occidental del país y su cabecera departamental es Sonsonate. Sus ciudades más importantes son: Sonsonate, Izalco, Juayua, San Julián, Nahuizalco, Santo Domingo de Guzmán y Armenia dividiéndose ésta última en los cantones El

Guayabo, Los Mangos, El Rosario, Valle Nuevo, Las Crucitas, El Cerro, Azacualpa, La Puerta y Tres Ceibas. La zona de estudio esta delimitada por estos últimos tres cantones. (ver anexo N°2).

3.1.3 POBLACIÓN Y DEMANDA DE AGUA ACTUAL Y FUTURA

la población y demanda de agua de los cantones en estudio, se ha calculado para un periodo de 10 y 20 años; tal como se muestra en el siguiente cuadro.

Año	Habitantes	Dotación (L/P/D)	Demanda Media (L/S)	Demanda Máxima Diaría (L/S)
2002	8173	75	7.09	9.22
2012	9866	75	8.56	11.13
2022	11909	75	10.34	13.44

Cuadro N°3.2 Población y demanda de agua del área de estudio.

Para el cálculo de la proyección futura de la población, demanda media y máxima, se utilizó el método aritmético por medio de la siguiente fórmula:

$$Pf = Po(1+i)^n$$

De donde:

Pf = Proyección futura n = Número de años de la proyección

Po = Proyección actual i = Tasa de crecimiento(%)

Para el caso de la zona rural la dotación es de 75 litros por persona por día y para el calculo de crecimiento poblacional se ha utilizado una tasa de

crecimiento de 1.9%; basándose en la información proporcionada por la unidad de salud de Armenia.

3.1.4 ABASTECIMIENTO DE AGUA ACTUAL

La población de la zona de estudio se abastece por medio de tres tipos de sistemas, el primero es conexión domestica la cual cubre solo un 9.33%, el segundo es por medio de pozo propio con lo que se cubre un 39.33% y el tercer sistema es por medio de pozo comunal cubriendo un 51.34%^{3.1}

3.2 HIDROLOGÍA

Antes de desarrollar la presente etapa del balance hidrológico se definirán los conceptos de cuencas hidrográficas:

Cuenca hidrográfica se define como "el territorio o espacio de terreno que está limitado por cerros y montañas, de las cuales se configura una red de drenaje superficial, que en presencia de precipitación o lluvias, forma el escurrimiento de un río, para conducir sus aguas a un río más grande o a otro río principal, lago o mar", existen zonas que se encuentran en las partes bajas de las cuencas llamadas intercuenas. En las cuencas se encuentra agua subterránea, agua superficial y los recursos naturales como la fauna, suelo y vegetación; por tanto todo espacio de tierra esta comprendido dentro de una cuenca las cuales se pueden clasificar de la siguiente manera^{3.2}

➤ Por concentración de la red de drenaje

- a. Subcuenca. Se define como el área que dirige su drenaje directamente al curso principal de la cuenca.

^{3.1}Diagnóstico Sobre la Situación de Agua y Saneamiento en El Salvador. RASES.2001

^{3.2}Hidrología Subterránea. E. Custodio, 2ª Edición 1996.

- b. Microcuenca. Es un área donde se originan los drenajes que normalmente siguen un curso superficial y que continúan hacia un drenaje de mayor tamaño en donde confluye con otros drenajes, estos también pueden infiltrarse en su recorrido y aflorar metros abajo o agregarse a las aguas subterráneas.
- c. Quebradas. Se le denomina a toda área que drena directamente a la corriente principal de una Microcuenca.

A continuación se presenta esquemáticamente en el cuadro N° 3.3 la clasificación de las cuencas según su orden de drenaje y/o el tamaño del área de la misma. Esta clasificación es aplicable según el criterio de los especialistas debido a que existen zonas donde los rangos de unidades son variables y complejos.

UNIDAD	Número de Orden	Área (Km²)
Microcuenca	1, 2, 3	10 – 100
Subcuenca	4, 5	100 – 700
Cuenca	6, 7 o más	700 – 6000

Cuadro N°3.3 Clasificación de cuencas, subcuencas y microcuencas.

➤ **Por su balance hídrico.**

Las cuencas pueden clasificarse también por su balance hídrico de la siguiente manera:

- Cuencas balanceadas. Cuando la oferta es igual a la demanda.
- Deficitarias. Cuando la demanda es mayor que la oferta.
- Con exceso. Cuando la oferta es mayor que la demanda.

A continuación se desarrollan las siguientes etapas de la parte hidrológica de la zona en estudio.

3.2.1 CARACTERÍSTICAS DE LAS CUENCAS HIDROGRÁFICAS

El área investigada se localiza dentro de las cuencas hidrográficas de los Ríos Banderas y Sucio (ver anexo N°3). El siguiente cuadro muestra la información básica de las cuencas.

Cuenca	Micro-Cuenca del Río Banderas. (Río Los Lagartos)	Sub-Cuenca del Río Sucio. (Río Copapayo)
Área (KM2)	30.80	101.01
Perímetro (KM)	36.11	58.30
Elevación Máxima (m.s.n.m.)	1323	2030
Elevación Mínima (m.s.n.m.)	500	464

Cuadro N°3.4 Información de las cuencas de la zona de estudio.

3.2.2 CLIMATOLOGÍA

a. Clima

Por encontrarse el área en estudio en alturas entre 450 y 1200 metros sobre el nivel medio marino, según las calificaciones climatológicas de Copen, Sapper y Laver; su clima cae en dos zonas climáticas describiéndose así^{3.3}:

1. Sabana tropical caliente o tierra templada.

^{3.3} Departamento de Hidrogeología y Pozos ANDA.

Esta comprendida entre las elevaciones de 0 a 800 m.s.n.m, siendo esta la llanura aluvial costera, con variaciones de temperatura de 18° a 28°C como valores mínimos y máximos mensuales, con una precipitación media anual de 1700 mm. Los cultivos predominantes en esta área son: cereales, pastos, caña de azúcar y matorrales; en su momento se cultivo el algodón.

2. Sabana tropical calurosa o tierra templada.

Se encuentra entre las elevaciones de 800 a 1200 m.s.n.m. Las variaciones de temperatura son de 16° a 22°C de valores mínimos y máximos mensuales. Posee precipitación media anual de 1900 mm, los cultivos predominantes son: café, cereales y pastos.

b. Precipitación

En nuestro país se identifican dos estaciones: la época lluviosa y la época seca. Los datos de precipitación pluvial son obtenidos de las estaciones pluviométricas las cuales deben corresponder a la zona en estudio, obteniéndose de esta forma la precipitación pluvial de la zona a partir de registros mensuales y anuales. A continuación se presentan los datos de precipitaciones de la zona en estudio proporcionados por el Departamento de Hidrogeología de ANDA.

Estación	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	SUMA	AÑOS DE REGISTRO
Los Lagartos	3	2	6	47	185	332	290	302	334	163	46	6	1716	23
Armenia	8	1	16	67	132	296	280	320	326	180	31	15	1672	14

Cuadro N°3.5 Datos de precipitación (mm)

c. Evapotranspiración

La evaporación es el proceso por el cual el agua vuelve a la atmósfera, pasando de estado líquido a gaseoso ya sea en el suelo o en masas de agua. La transpiración es un proceso similar al anterior, diferenciándose en que esta se da en la cobertura vegetal. La superposición de ambos efectos se define como evapotranspiración. Hay que tener en cuenta que la vegetación disminuye dicho proceso, y que en terrenos áridos o semiáridos aumenta. Este proceso depende a su vez de su ubicación, donde la evapotranspiración es función de la latitud de la Tierra.

Dos son los factores que producen la evapotranspiración desde cualquier superficie:

1. Presencia de una fuente térmica que proporciona el calor latente de evaporación del agua.
2. Medio de transporte eólico, como el viento, para alejar el vapor de agua de la superficie.

En la actualidad la mayoría de estaciones pluviométricas de países desarrollados cuentan con instrumentos que son capaces de realizar mediciones de evapotranspiración con buena precisión. La evapotranspiración ha sido estimada basándose en la elevación promedio del área en estudio, todos los datos se calcularon con la ayuda del Departamento de Hidrogeología de ANDA.

Canton	Azacualpa		La Puerta		Tres Ceibas	
Item	Pozo N°	Altura	Pozo N°	Altura	Pozo N°	Altura
1	23	580 m.s.n.m	1	690 m.s.n.m	10	510 m.s.n.m
2	24	670 m.s.n.m	2	610 m.s.n.m	13	509 m.s.n.m
3	25	550 m.s.n.m	7	596 m.s.n.m	17	690 m.s.n.m
Altura promedio de cada canton	600.0	m.s.n.m	632	m.s.n.m	570	m.s.n.m
Altura promedio del area de estudio			601	m.s.n.m		

Cuadro N° 3.6 Datos de altura promedio de la zona de estudio (m.s.n.m.)

		EVAPOTRASPIRACION MENSUAL												
Estación	Altura m.s.n.m	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	SUMA
Area en estudio	601	133	133	165	165	160	139	144	145	129	129	122	125	1689

Cuadro N° 3.7 Datos de evapotranspiración potencial según hargreaves (mm)

3.2.3 ESCORRENTÍA

En terrenos con pendiente pronunciada el agua precipitada se mueve por acción de la gravedad, impidiendo que esta se infiltre en su totalidad; este fenómeno que se conoce como escorrentía superficial reduce también la cantidad de agua que penetra desde la superficie.

La magnitud del escurrimiento de una región esta regida por varios factores entre los que cabe mencionar:

- a. Intensidad y duración de la lluvia.

- b. Pendiente del terreno.
- c. Cobertura vegetal.
- d. Humedad del terreno.
- e. Permeabilidad del terreno.

3.2.4 TOPOGRAFÍA

Al solo considerar este factor, decimos que si una superficie terrestre es topográficamente accidentada, es decir con pendientes fuertes como ocurren en montañas y volcanes, la probabilidad de transición del agua precipitada a escorrentía superficial es mayor que si dicha superficie es topográficamente llana, como en los valles y llanuras.

3.2.5 VEGETACIÓN

Este factor influye a tal grado, que al haber una cobertura vegetal considerable, esta disminuye el movimiento de escorrentía superficial del agua, ya que actúa como una esponja que retiene el agua precipitada, favoreciendo así la infiltración de la misma en el suelo. Si el suelo tiene poca o nula cobertura vegetal, se acentúa más el grado de erosión del suelo, la escorrentía circula fácilmente y la infiltración es escasa.

3.2.6 BALANCE HIDROLÓGICO

La recarga y descarga en los sistemas de acuíferos se ve reflejado cualitativamente en el ciclo hidrológico, y cuantitativamente en el balance hídrico, a continuación se desarrollan dichos conceptos.

Los componentes primarios del ciclo hidrológico son: la precipitación, el agua en la zona del suelo, la evapotranspiración, escorrentía y la infiltración, las cuales son una de las fases en las cuales pasa el agua en su recorrido cíclico.

El balance hídrico no es más que la aplicación del principio de conservación de masa (ecuación de continuidad) a una cierta región definida por unas determinadas condiciones de entorno. La validez de los balances hídricos siempre han levantado numerosas polémicas entre los partidarios y sus detractores, ambos en posiciones extremas^{3.4}. Por otro lado ANDA, como institución rectora de los recursos hídricos del país, ha tomado como parte de la metodología para presentación de estudios hidrogeológicos el utilizar el método de G.W. TRORNTHWAITE y L. SERRA, para el balance hídrico de la zona de estudio, con el fin de uniformizar los diferentes criterios que podrían existir al utilizar un método menos mecanizado que podría dar origen a numerosos resultados; el cual consiste en la evaluación empírica de la evapotranspiración potencial mensual. Luego se calcula la evapotranspiración real mensual, elemento desconocido del balance y después se efectúan las estimaciones en donde la principal es la evaluación de la cantidad máxima de agua almacenada por el suelo para su saturación.

La cantidad máxima de agua almacenada por el suelo para su saturación depende de la estructura, composición litológica y espesor de la capa superficial del terreno, clima y profundidad del nivel piezométrico de la primera capa acuífera. Está influenciada también por el tipo de cubierta vegetal. En este método se asume que el suelo está saturado cuando ha absorbido una capa de agua equivalente a una precipitación de 100 mm. En el siguiente cuadro se muestran los resultados del balance hidrológico de la Sub-cuenca del Río Sucio obtenidos con el método anteriormente descrito^{3.5}.

^{3.4} Estudio hidrogeológico del área del cantón El Rebalse, jurisdicción de Santa Elena Departamento de Usulután.

^{3.5} Elementos de Hidrología (Tratado práctico de las aguas subterráneas). G. Castany.

	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	SUMA
Precipitación (P)	8	1	16	67	132	296	280	320	326	180	31	15	1672
Evapotranspiración Potencial (ETP)	133	133	165	165	160	139	144	145	129	129	122	125	1689
P-ETP	-125	-132	-149	-98	-28	157	136	175	197	51	-91	-110	-17
Evapotranspiración Real (ETR)	8	1	16	67	132	139	144	145	129	129	122	24	1056
Déficit Agrícola	125	132	149	98	28	0	0	0	0	0	0	101	
Excedente	0	0	0	0	0	57	136	175	197	51	0	0	616
Reserva de Suelo	0	0	0	0	0	100	100	100	100	100	9	0	
Escurrimiento	13	7	3	2	1	29	82	129	163	107	53	27	616

Cuadro N°3.8 Resultados del balance hidrológico de la sub-cuenca del río Sucio

A continuación se presentan los resultados del método del balance hídrico de la Micro-Cuenca del Río Banderas.

	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	SUMA
Precipitación (P)	3	2	6	47	185	332	290	302	334	163	46	6	1716
Evapotranspiración Potencial (ETP)	133	133	165	165	160	139	144	145	129	129	122	125	1689
P-ETP	-130	-131	-159	-118	25	193	146	157	205	34	-76	-119	27
Evapotranspiración Real (ETR)	3	2	6	47	160	139	144	145	129	129	122	30	1056
Déficit Agrícola	130	131	159	118	0	0	0	0	0	0	0	95	
Excedente	0	0	0	0	0	118	146	157	205	34	0	0	660
Reserva de Suelo	0	0	0	0	25	100	100	100	100	100	24	0	
Escurrimiento	12	6	3	2	1	59	103	130	168	101	50	25	660

Cuadro N°3.9 Resultados del balance hidrológico de la microcuenca del río Banderas

Conociendo el área de la sub-cuenca del Río Sucio (ver cuadro N°3.4 y 3.8); obtenemos los siguientes resultados:

- Precipitación :168,888,720 m³ /Año

- Evapotranspiración Real: 106,666,560 m³ /Año
- Escurrimiento Calculado: 62,222,160 m³ /Año

De igual manera conociendo el área del río Banderas (ver cuadro N°3.4 y 3.9); obtenemos los siguientes resultados:

- Precipitación : 52,852,800 m³ /Año
- Evapotranspiración Real: 32,524,800 m³ /Año
- Escurrimiento Calculado: 20,328,000 m³ /Año

➤ **NOTAS AL CÁLCULO DEL BALANCE HIDROLÓGICO**

Se desarrollará paso a paso el balance hidrológico de la Sub-cuenca del río SUCIO a manera de ejemplo:

a. Al comenzar octubre la reserva de agua utilizable es de 100mm.

Durante el mes de octubre $P > ETP$ por tanto quedara un excedente (escorrentía + infiltración) de $P - ETP = 51\text{mm}$ y en consecuencia un déficit nulo.

Quedara para este mes $ETR = ETP$.

b. En noviembre $ETP > P$ por tanto la diferencia es un déficit de $ETP - P = 122 - 31 = 91\text{mm}$; la cual se cubre con la reserva de agua que queda disminuida en esa cantidad;

Excedentes y déficit nulos y $ETR = ETP$.

c. En diciembre $ETP > P$. La diferencia de $ETP - P = 110\text{mm}$ no puede cubrirse totalmente con la reserva que existe (9mm).

La diferencia $110 - 9 = 101\text{mm}$ será un déficit de agua que habrá que cubrir con riego.

$ETR = P + Reserva = 15 + 9 = 24\text{mm}$

y el déficit es evidente:

$ETP - ETR = 125 - 24 = 101$; tal como se ha calculado anteriormente.

d. Agotada la reserva para el mes de enero solo podrá evapotranspirarse el agua lluvia $P = 8\text{mm}$. Así pues, $\text{ETR} = 8\text{mm}$ y el déficit será: $\text{ETP}-\text{ETR} = 133-8=125$.

e. Se procede de manera análoga a lo dicho en el ítem d.

f. El escurrimiento se calcula tomando como punto de partida el primer mes del año, donde el excedente entre precipitación mensual y evapotranspiración real mensual, sumadas a la reserva de agua del suelo del mes anterior, sobrepase los 100mm.

Para nuestro caso es el mes de junio $P = 296\text{mm}$ y $\text{ETR} = 139\text{mm}$; Y el excedente : $\text{ETR} = 157\text{mm}$.

g. Como la reserva del suelo en junio ha llegado a 100mm hay un excedente de 57mm.

h. Los autores advierten que debe tenerse en cuenta, en infiltraciones profundas, que la mitad de este excedente (28mm) alimenta el escurrimiento mensual.

El resto (29mm) es retenido por el suelo hasta el mes siguiente, en el cual se registrará. Así, en julio tenemos: $P = 280\text{mm}$, $\text{ETR} = 144\text{mm}$

y el excedente : $P-\text{ETR} = 136\text{mm}$.

i. La reserva de agua en el suelo alcanza el máximo de 100mm y el excedente de 136mm. se suma a los 29mm del mes anterior: $136+28 =164\text{mm}$

El escurrimiento es entonces: $164/2= 82\text{mm}$

j. El excedente de 82mm es registrado en agosto y así sucesivamente.

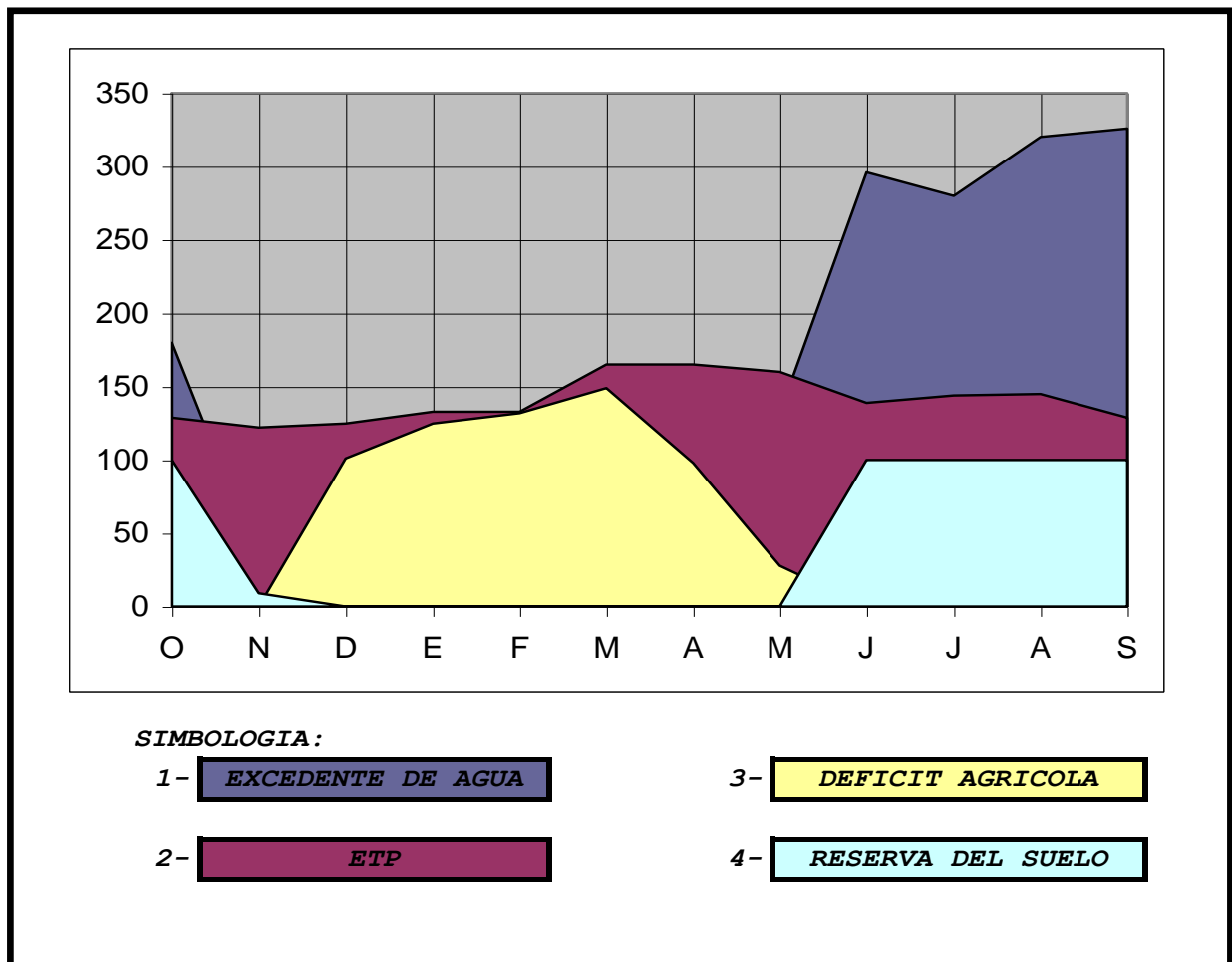


Fig. 3.1 Representación grafica del balance hidrológico de la sub-cuenca del río Sucio.

Como se puede observar en los cuadros N°3.8 y 3.9 se cumple la conservación de masa donde:

Precipitación = Evapotranspiración Real + Excedente; y

Excedente = Escurrimiento.

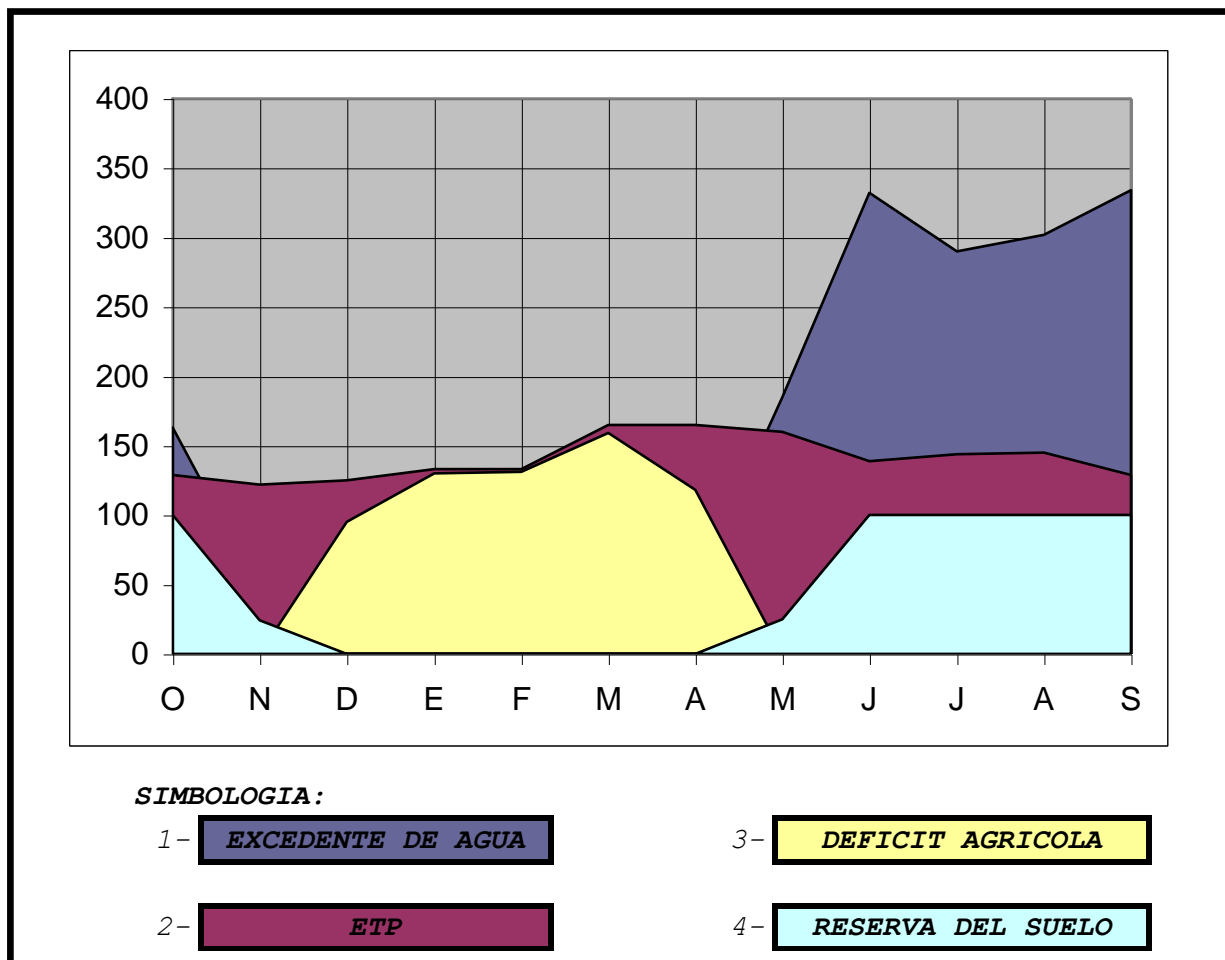
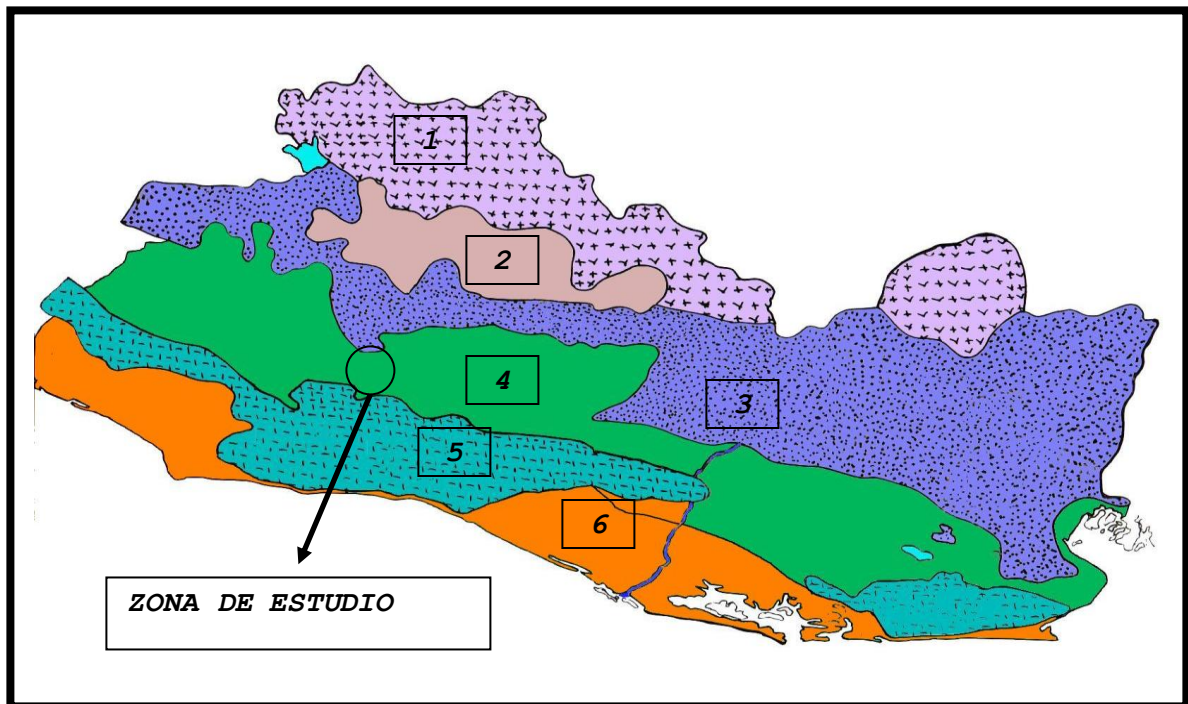


Fig. 3.2 Representación grafica del balance hidrológico de la microcuenca del río Banderas

3.3 GEOLOGÍA DE LA ZONA DE ESTUDIO

3.3.1 GEOMORFOLOGÍA

Armenia geomorfológicamente se localiza en el límite sur de la unidad conocida como Valle Central, la cual se extiende a todo lo largo del territorio nacional; el área se caracteriza por ser ondulada en los alrededores de la población, mientras que al sur de Armenia la topografía va subiendo, dado a que se va a encontrar con las elevaciones de montaña costera^{3.6}.



Fuente: Depto. de Hidrogeología y Pozos de ANDA

Fig. 3.3 Mapa geomorfológico de El Salvador

SIMBOLOGÍA:

- | | |
|---------------------|---------------------|
| 1. MONTAÑA NORTEÑA | 4. VALLE CENTRAL |
| 2. VALLE INTERIOR | 5. MONTAÑA COSTERA |
| 3. MONTAÑA INTERIOR | 6. PLANICIE COSTERA |

^{3.6} Estudio Hidrogeológico de Armenia, Depto. Sonsonate. ANDA. 1989

3.3.2 GEOLOGÍA

En el área investigada únicamente existe afloramientos de dos formaciones la formación Bálsamo y la formación San Salvador, en orden de antiguo a reciente.

Las rocas de la formación Bálsamo, de edad Terciaria afloran al sur de Armenia y están constituidos por una secuencia de lavas básicas descompuestas que yacen sobre aglomerados cementados alcanzando en conjunto un espesor considerable^{3.7}. Las rocas de la formación San Salvador, del Cuaternario medio hasta el reciente, consiste de depósitos sedimentarios y tobas con intercalación de piroclastos y lavas. Las tobas son aglomeráticas y también de pómez, en los dos casos se encuentran poco compactas. Los depósitos sedimentarios están constituidos de cantos rodados, grava, arena, limo y arcilla. La formación San Salvador descansa sobre las rocas de la formación Bálsamo. A continuación se hace una descripción de la geología de la zona en estudio.(véase el anexo N°4, mapa geológico de la zona de estudio):

➤ **Azacualpa**

En este cantón afloran tres unidades geológicas la más grande es la unidad de piroclástitas ácidas y epiclasticas volcánicas, ubicándose en toda la parte norte y sur-este, la otra unidad, aflora al oeste y está constituidas por epiclasticas volcánicas-piroclástitas-flujo de lava intercalada; la tercera unidad es la de efusivas andesíticas-basálticas ubicadas en la parte sur-este.

➤ **La Puerta**

Esta constituida por tres unidades, siendo la más grande la de epiclasticas volcánicas-piroclásticos-flujos de lava volcánica, la cual se ubica en casi toda el

^{3.7} Estudio Hidrogeológico de Armenia, Depto. Sonsonate. ANDA. 1989

área del cantón, la segunda son efusivas andesíticas-basálticas y se ubica en la parte este y la tercera es la unidad de piroclástitas ácidas y epiclasticas volcánicas hacia el noroeste y suroeste del cantón.

➤ Tres Ceibas

Esta constituida por tres unidades la más grande es la de piroclástitas ácidas y epiclasticas volcánicas, se ubica en casi toda el área central y al sureste del cantón, la segunda más grande, es la de aluviones, localmente con intercalaciones de piroclástos se ubica, con rumbo noreste, la tercera es la unidad de efusivas andesíticas-basálticas y se ubica al sur-oeste-sur.

3.3.3 PERFIL DE POZO

En la presente investigación se ha tomado como representativo del área de estudio un pozo perforado en Tres Ceibas, cuya información fue recopilada en la empresa perforaciones 2002. A continuación se muestra un cuadro de la litología del pozo mencionado.

Profundidad (pies)		Descripción Litológica
Desde	Hasta	
0	10	Sedimento Aluvional
10	20	Sedimento Aluvional Fluvial
20	33	Sedimento Aluvional
33	39	Sedimento Aluvional
39	52	Piroclásticos Retrabajados
52	69	Piroclásticos
69	79	Sedimento Aluvional
79	89	Piroclásticos Retrabajados
89	98	Lava
98	108	Piroclásticos
108	118	Sedimento Aluvional
118	138	Lava
138	157	Lava
157	171	Lava
171	177	Piroclásticos Retrabajados
177	200	Sedimento Aluvional
200	213	Lava
213	236	Piroclásticos Retrabajados
236	256	Lava
256	269	Lava
269	280	Sedimento Aluvional

Cuadro N°3.10 Perfil de pozo

3.4. APROVECHAMIENTO DE RECURSOS SUBTERRANEOS

3.4.1 INVENTARIO DE POZOS

En el área de estudio se inventariaron 25 pozos excavados los cuales están dentro del proyecto de instalación de las bombas de mecate detallándose en el siguiente cuadro:

POZO N°	NOMBRE DE LA PERSONA PROPIETARIA DEL POZO	CANTON A QUE PERTENECEN
*1	JOSE LUIS MELENDEZ	LA PUERTA
*2	LUZ HILDA HERCULES	
3	JULIA RODRIGUEZ	
4	BENJAMIN CABRERA	
5	BLANCA ESTELA VALENCIA	
6	BENITA TRUJILLO	
*7	ESCUELA DEL CANTON LA PUERTA	
8	FRANCISCO SANTOS	
9	SELSO GUEVARA	
*10	LUCILA CANDIDA PEREZ	
11	PASCUAL MANCIA	
12	TOMASA ARACELI VELASCO	
*13	JUAN ADOLFO ORELLANA	
14	MARIA ISABEL CASTRO	
15	BRIGIDA DELGADO	
16	AMADA GUADALUPE HIDALGO	
*17	YANIRA HERRERA DE RIVAS	
18	SANTOS GOMEZ	
19	CARMEN LEIVA	
20	ERIKA EDUVINA VASQUEZ	AZACUALPA
21	CECILIA MEMBREÑO	
22	PORFIRIO ERNESTO RODRIGUEZ	
*23	COMUNITARIO	
*24	MAURICIA ALVARADO	
*25	JUANA DIAZ PEREZ	

Cuadro N°3.11 *Pozos en los que se le realizaron análisis de calidad del agua.

Debido a la falta de información para conocer las características principales del acuífero y elaborar las curvas isofreáticas, se tomó a bien considerar dentro de esta etapa del estudio 73 pozos adicionales, que fueron monitoreados por el proyecto FIAS de ANDA los cuales se detallan a continuación:

IDENTIFICADOR DE POZO	COORD X (m)	COORD Y (m)	PROF. RELAT. (m)	ELEVACION (m.s.n.m.)	PROF. ABS. (m.s.n.m)
p_exc 1	444817.00	296716.00	59.90	565.00	505.10
p_exc 2	444856.05	296654.95	47.60	565.00	517.40
p_exc 3	445224.40	294423.19	74.30	590.50	516.20
p_exc 4	444822.90	296319.45	61.40	575.50	514.10
p_exc 5	444240.00	292976.00	33.50	560.00	526.50
p_exc 6	444068.00	295190.00	60.20	600.00	539.80
p_exc 7	445055.00	296791.00	38.50	553.90	515.40
p_exc 8	453280.00	290367.00	8.76	488.40	479.64
p_exc 9	452642.00	283403.00	4.02	985.00	980.98
p_exc 10	455736.00	289917.00	7.10	491.90	484.80
p_exc 11	455169.00	290244.00	1.00	479.60	478.60
p_exc 12	454973.00	288251.00	20.20	503.10	482.90
p_exc 13	452650.00	289380.00	10.92	490.00	479.08
p_exc 14	453120.00	289450.00	3.95	487.60	483.65
p_exc 15	454050.00	289250.00	3.40	485.50	482.10
p_exc 16	453470.00	288700.00	10.98	498.00	487.02
p_exc 17	453250.00	288120.00	23.25	508.80	485.55
p_exc 18	452350.00	287370.00	12.55	533.80	521.25
p_exc 19	443124.00	292382.00	22.00	630.00	608.00
p_exc 20	458369.00	290580.00	17.23	512.10	494.87
p_exc 21	458952.00	290850.00	20.74	511.70	490.96
p_exc 22	459520.00	290936.00	27.00	521.20	494.20

Cuadro N°3.12 Valores de profundidad del acuífero de la zona de estudio.

IDENTIFI- CADOR DE POZO	COORD X (m)	COORD Y (m)	PROF. RELAT. (m)	ELEVACION (m.s.n.m.)	PROF. ABS. (m.s.n.m)
p_exc 23	459706.00	290454.00	35.90	532.50	496.60
p_exc 24	459896.00	290789.00	31.46	530.00	498.54
p_exc 25	453013.00	291314.00	2.41	470.30	467.89
p_exc 26	453109.00	292528.00	4.08	463.60	459.52
p_exc 27	453849.00	293753.00	2.30	459.50	457.20
p_exc 28	455298.00	294096.00	0.65	459.10	458.45
p_exc 29	455922.00	293147.00	2.23	466.90	464.67
p_exc 30	456186.00	292329.00	1.96	475.10	473.14
p_exc 31	455915.00	292037.00	2.93	477.00	474.07
p_exc 32	456195.00	291479.00	2.61	483.20	480.59
p_exc 33	456815.00	291178.00	3.60	489.70	486.10
p_exc 34	457652.00	296394.00	3.40	452.90	449.50
p_exc 35	457291.00	295870.00	1.99	455.10	453.11
p_exc 36	456505.00	294825.00	2.46	459.00	456.54
p_exc 37	448839.00	292380.00	4.21	487.40	483.19
p_exc 38	450725.00	292961.00	3.60	466.40	462.80
p_exc 39	448945.00	292494.00	6.59	500.00	493.41
p_exc 40	444803.00	292449.00	32.14	557.40	525.26
p_exc 41	442319.00	293207.00	33.70	640.00	606.30
p_exc 42	441550.00	293396.00	65.00	677.40	612.40
p_exc 43	446425.00	292066.00	9.52	521.80	512.28
p_exc 44	447213.00	292411.00	18.37	526.30	507.93
p_exc 45	448516.00	292360.00	4.35	491.80	487.45
p_exc 46	453765.00	291191.00	4.13	470.40	466.27
p_exc 47	451512.00	291300.00	7.62	472.50	464.88
p_exc 48	452571.00	291171.00	1.59	472.10	470.51
p_exc 49	453333.00	288675.00	12.56	497.10	484.54
p_exc 50	453161.00	288105.00	24.03	508.70	484.67
p_exc 51	457906.00	290334.00	13.60	506.20	492.60
p_exc 52	455938.00	297383.00	2.50	457.20	454.70
p_exc 53	455923.00	295839.00	3.33	454.90	451.57
p_exc 54	455938.00	297383.00	2.66	457.20	454.54

Valores de profundidad del acuífero de la zona de estudio
(Continuación Cuadro N°3.12)

IDENTIFI- CADOR DE POZO	COORD X (m)	COORD Y (m)	PROF. RELAT. (m)	ELEVACION (m.s.n.m.)	PROF. ABS. (m.s.n.m)
p_exc 55	455824.00	296853.00	2.66	453.50	450.84
p_exc 56	441631.00	293035.00	24.26	682.50	658.24
p_exc 57	445428.00	291360.00	30.00	585.80	555.80
p_exc 58	456531.00	298406.00	8.64	461.70	453.06
p_exc 59	454523.00	298120.00	32.63	492.30	459.67
p_exc 60	454141.00	297330.00	15.62	470.00	454.38
p_exc 61	453431.00	296925.00	4.85	459.90	455.05
p_exc 62	454253.00	296411.00	4.95	457.30	452.35
p_exc 63	448383.00	293280.00	3.63	490.00	486.37
p_exc 64	453618.00	297806.00	23.47	494.10	470.63
p_exc 65	452911.00	297754.00	34.40	510.90	476.50
p_exc 66	452744.00	297777.00	27.60	505.00	477.40
p_exc 67	453073.00	297413.00	17.77	490.00	472.23
p_exc 68	452427.00	297244.00	18.31	480.00	461.69
p_exc 69	451904.00	297634.00	15.22	486.60	471.38
p_exc 70	451908.00	297206.00	8.46	478.80	470.34
p_exc 71	451980.00	296697.00	2.19	470.00	467.81
p_exc 72	450727.00	296421.00	1.40	459.80	458.40
p_exc 73	449637.00	295992.00	0.66	460.00	459.34

Valores de profundidad del acuífero de la zona de estudio
(Continuación Cuadro N°3.12)

Con referencia a la ubicación de los pozos en estudio no se logro conocer las coordenadas de los veinticinco pozos, solamente nueve de ellos por condiciones económicas y de tiempo, por eso se tomaron los pozos del cuadro anterior y nueve del estudio los cuales se lograron ubicar con ayuda del departamento de hidrogeología de ANDA las coordenadas por medio de GPS, detallándose a continuación:

		POZO N°	ELEVACIÓN DEL NIVEL DEL AGUA M.S.N.M	COORDENADAS
CANTÓN	AZACU ALPA	23	574.50	442623 / 293328
		24	639.50	443903 / 293488
		25	546.50	444536 / 293106
	LA PUERTA	1	611.50	443426 / 291526
		2	603.50	443276 / 291418
		7	586.40	442529 / 291034
	TRES CEIBAS	10	491.50	447987 / 292673
		13	480.50	447990 / 292595
		17	664.50	447354 / 292466

Cuadro N°3.13 Ubicación de nueve pozos que están considerados en el estudio.

3.4.2 HIDRÁULICA DE POZOS

Las características hidráulicas de un acuífero pueden obtenerse a través de ensayos o pruebas de bombeo debido a las limitaciones económicas se ha tomada en el área investigada como información básica para desarrollar este ítem el reporte de la perforación hecha en el cantón tres ceibas por la empresa Perforaciones 2000 por medio del cual detallaremos las principales características hidrogeológicas. La prueba de bombeo se realizó con el propósito de determinar el caudal de producción del pozo para su operación definitiva y se llevo acabo por el método de etapas sucesivas y de caudal constante. El primero se realizo con caudales de 56, 89 y 138 GPM. Y el segundo método se desarrollo con un caudal constante de 106 GPM^{3.8}; obteniéndose los siguientes resultados:

➤ Transmisividad

Este coeficiente indica cuanta agua se mueve a través de la formación, y se define como la tasa a la cual el agua fluye en una franja vertical de acuífero de ancho unitario extendiéndose en todo el espesor saturado del mismo, bajo un

^{3.8} Reporte de Perforación de Pozo en Cantón Tres Ceibas Municipio de Armenia. Empresa Perforaciones 2000 S.A. abril 2000. Responsable del informe Ing. José Montalvo Duran.

gradiente hidráulico de 1. La información obtenida da como resultado una transmisividad igual a $1119.36 \text{ GPD/pie} = 0.15 \text{ L/s/mt}$.

➤ **Coefficiente de almacenamiento**

En un acuífero, representa el volumen de agua removida de un depósito, o tomada como tal, por unidad de área de almacenamiento del acuífero por cambio de unidad de presión; del mismo informe antes mencionado se obtuvo el siguiente resultado: Coeficiente de Almacenamiento = $1.40\text{E}-02$.

➤ **Dirección del flujo y profundidad del nivel del agua subterránea**

La dirección del flujo subterráneo es del rumbo Sur-oeste hacia el rumbo Nor-este para ello se elaboraron las curvas isofreáticas de la zona de estudio por medio del programa Surfer 7.0 (ver anexo N°5), el cual utiliza el departamento de hidrogeología de ANDA, además la información de los pozos monitoreados por esta institución fueron de gran utilidad, ya que el número de pozos que teníamos información eran muy pocos para la obtención de resultados con mayor validez.

La profundidad del agua subterránea varía de cantón a cantón y por ello se describirá uno a uno a continuación, pero es importante mencionar que las profundidades que se mencionan es únicamente considerando los nueve pozos excavados georeferenciados en este estudio .

- a. Cantón Azacualpa. Este cantón tiene una característica muy particular de los otros dos cantones debido a que dos de los pozos estudiados están a la orilla de un río uno y el otro a la orilla de una quebrada por esa razón solo tomamos como referencia un pozo para determinar la profundidad del agua sobre el nivel del terreno que es de 33.50 mts. La ubicación de estos pozos en este lugar se debe a la falta del recurso de agua y por eso buscan

lugares cercanos al río o quebrada, ya que el agua en estos lugares se encuentra más alto el nivel freático.

- b. Cantón La Puerta. En este cantón el agua puede encontrarse a una profundidad desde 6 hasta 18 metros abajo del nivel del terreno natural ya que sobre este cantón pasa un riachuelo que baja desde un cerro que se encuentran al norte de este cantón.
- c. Cantón Tres Ceibas. En este cantón el agua puede encontrarse a una profundidad desde 20 hasta 45 metros abajo del nivel del terreno natural. Este cantón es donde más profunda se encuentra el agua. De los pozos estudiados no se encuentra alguno que sobrepase los 30 metros pero en el reconocimiento que hicimos a todos los pozos pudimos constatar esto.

3.5. HIDROGEOLOGÍA

➤ Características hidrogeológicas

Por las características litológicas, la cementación y/o descomposición de las rocas de los diferentes estratos, la formación Bálsamo, es de carácter impermeable, no existiendo en ella acuíferos. La formación Bálsamo, en el área es la formación basal impermeable sobre la cual descansan las rocas de la formación San Salvador^{3.9}.

La formación San Salvador al norte de Armenia se constituye en el único acuífero del área, el cual posee una moderada permeabilidad, dado a las características litológicas y compactación de los materiales que lo constituyen (ver anexo N°4).

^{3.9} Estudio Hidrogeológico de Armenia, Depto. Sonsonate. ANDA. 1989

Al Noroeste del área de estudio se ubica el valle de Zapotitán el cual por ofrecer un marcado interés hidrogeológico ha sido objeto de una intensa investigación, constituido principalmente por depósitos sedimentarios de la formación San Salvador, el valle de Zapotitán se llegó a convertir en el primer distrito de riego del país, dada a la inmejorable alternativa de estratos de granulometría diversa y a los buenos índices de infiltración calculados en otros estudios preparados por organizaciones internacionales.

3.6 CALIDAD DEL AGUA

La calidad del agua para el consumo humano es aquella cuya ingestión no causa efectos nocivos a la salud. Aunque por otra parte los requisitos bacteriológicos no constituyen por sí solos, fundamentos suficientes para calificar el agua, ya que en su asociación con otros caracteres físico-químicos lo que determinan, en definitiva la calidad de potabilidad. Los análisis de calidad del agua son muy importantes ya que estos permiten detectar diversos problemas, así como también el origen de enfermedades que pueden ocasionarse a los consumidores.

Para poder determinar la calidad del agua subterránea en la zona de estudio, fue necesario contar con puntos de muestreo, los que se escogieron tomando en cuenta varios aspectos como área de influencia del pozo, ubicación y vías de acceso; la cantidad de muestras para los análisis bacteriológicos y físico-químico variaron para los primeros se tomaron nueve muestras, en cambio para los segundos no se pudieron tomar y para la obtención de información de la zona se tomaron estudios realizados en febrero del año 2002 . La variación es por razones económicas ya que los análisis físico-químico son mas costosos que los bacteriológicos y por otra parte aplicando la norma salvadoreña de agua potable la cual establece para la calidad bacteriológica una relación de una muestra por cada cinco mil habitantes y tomando la población total de los

cantones se necesitaban dos muestras, pero se considero tres muestras para estudiar cada cantón por separado siendo en total nueve muestras.

El muestreo y el examen frecuente son necesarios en el caso de los componentes microbiológicos, pero cuando se tratan de compuestos orgánicos e inorgánicos presentes en el agua que están relacionados con la salud, se requieren tomas de muestras y análisis menos frecuentes. Debe realizarse un examen completo cuando se pone en servicio una fuente nueva de agua e inmediatamente después de cualquier modificación importante de los procesos de tratamiento. Además, es importante analizar los cambios ocurridos en la zona de captación (en particular actividades agrícolas e industriales), que puede usarse para pronosticar posibles problemas de contaminación y por consiguiente, determinar la necesidad de vigilar con más frecuencia la presencia de compuestos específicos. Después de seleccionar los diferentes pozos que se consideraron representativos de la región, se efectuaron visitas con el objeto de reconocer el área en estudio y la ubicación de los pozos, los cuales posteriormente fueron sometidos a los análisis es de hacer notar que alguno de estos análisis fueron hechos en el campo tales como: Salinidad, Temperatura, pH, Conductividad, Total de Sólidos Disueltos y Alcalinidad. Para los distintos análisis de laboratorio se contó con la colaboración de los laboratorios del Ministerio de Salud Pública y Asistencia Social; y del Departamento de Hidrogeología de la Administración Nacional de Acueductos y Alcantarillados en el trabajo de campo.

3.6.1 PROCEDIMIENTO PARA LA TOMA Y ENVIO DE MUESTRAS DE AGUA

Para que los resultados de los análisis de agua sean de utilidad al estudio de la calidad higiénica de las mismas, es necesario que las muestras sean verdaderas y representativas de aquella cuya composición se averigua. Una

muestra mal tomada no permite conocer la composición exacta del agua que pretende presentar, aunque sea analizada cuidadosamente.

Los frascos destinados a la toma de muestras de agua son de dos clases:

1. Para análisis bacteriológico, es un frasco con tapón esmerilado, estéril, protegido con un gorro de papel sujeto por un cordel (volumen mínimo de muestra 200 ml).
2. Para análisis físico-químico, es un frasco, el cual no es estéril, ni tiene protección de papel. Su capacidad será de un galón para muestras destinadas a examen, puede utilizarse botellas bien lavadas con tapón de corcho nuevo.

Al quitar el tapón del frasco en que se tomara la muestra, debe evitarse el contacto con las manos o de cualquier otra cosa con la parte esmerilada o con la boca del mismo pues esto puede contaminar la muestra.

El frasco que sirve para tomar la muestra destinada al examen bacteriológico es estéril y no se puede destaparse sino hasta el momento de tomar dicha muestra y nunca se llenaran los frascos completamente, dejando un espacio de aire suficiente.

En el anexo B se describe detalladamente el procedimiento de toma y envío de muestras, para el análisis bacteriológico y físico-químico de la calidad del agua.

3.6.2 CALIDAD FÍSICO-QUÍMICO DEL AGUA

Establecer una composición de las aguas de una región o de un país es imposible debido a una serie compleja de factores que inciden en la calidad del agua, sin embargo, a través de programas de investigación que incluyen

grandes coberturas puede tenerse una idea al menos, de la tendencia de algunos parámetros.

Los problemas que presenta el agua están directamente relacionados con el uso para el cual se destina, es decir, un agua con calidad "X" podría ser adecuada para uso piscícola, pero no para uso potable, por lo que el análisis se hace en función del aprovechamiento, tomando como referencia las normas o patrones establecidas.

Otra observación importante es considerar el efecto que puede tener la composición del agua a los equipos y estructuras hidráulicas que sirven de obras de aprovechamiento. A continuación se presentan los análisis de laboratorio físico-químico de los tres cantones en estudio realizados por el departamento de operación occidental de la Administración Nacional De Acueductos y alcantarillados (ANDA), a solicitud de la Organización No Gubernamental Atención Primaria de la Salud (A.P.S.) en febrero del 2002, los cuales son:

ADMINISTRACIÓN NACIONAL DE ACUEDUCTOS Y ALCANTARILLADOS
DEPARTAMENTO DE OPERACIONES REGIÓN OCCIDENTAL
SECCIÓN CALIDAD DEL AGUA
RESULTADOS DE ANÁLISIS FÍSICO-QUÍMICO

MUESTREADOR	MARTIN MUÑOZ	REFERENCIA	7301-40-2002		
NOMBRE DEL SOLICITANTE	ONG ITALIANA				
DIRECCIÓN DE LA TOMA	LAS CRUCES, AZACUALPA, ARMENIA				
	POZO #23				
FECHA Y HORA DE TOMA	26/06/2001 12:00HRS				
FECHA Y HORA DE RECEPCIÓN	26/06/2001 15:50HRS				
FECHA Y HORA DE ANÁLISIS	26/06/2001 15:50HRS				
PROCEDENCIA DE LA MUESTRA	CRUDA				
CARACTERÍSTICAS FÍSICAS Y SUSTANCIAS QUÍMICAS					
DETERMINACIÓN	RESULTA-DO	UNIDAD	DETERMINACIÓN	RESULTA-DO	UNIDAD
pH	7.11	----	ALCALINIDAD TOTAL	126.63	MG/L
OLOR	FETIDO	----	DUREZA TOTAL	107.87	MG/L
COLOR REAL	30	----	DIÓXIDO DE CARBONO	19.45	MG/L
COLOR APARENTE	30	----	CONDUCTIVIDAD	269	UMHOS/CM
TEMPERATURA	18	°C	COLORO RESIDUAL	CRUDA	MG/L
TURBIEDAD	6	CTU	ÍNDICE DE LANGELIER	-1.05	MG/L
SÓLIDOS TOTALES	----	MG/L	DUREZA CARBONATICA	107.87	MG/L
SÓLIDOS TOTALES DISUELTOS	127	MG/L	ALCALINIDAD AL BICARBONATO DE Na Y K.	18.76	MG/L
CALCIO	22.8	MG/L	DUREZA NO CARBONATICA	0	MG/L
MAGNESIO	12.36	MG/L	CARBONATOS	0	MG/L
SODIO	----	MG/L	BICARBONATOS	126.63	MG/L
POTASIO	----	MG/L	HIDROXIDOS	0	MG/L
HIERRO TOTAL	0.19	MG/L	CLORUROS	3.92	MG/L
HIERRO DISUELTO	----	MG/L	SULFATOS	3.4	MG/L
MANGANESO TOTAL	0	MG/L	NITRATOS	-----	MG/L
MANGANESO DISUELTO	----	MG/L	FLUOR	0.94	MG/L
ARSENICO	----	MG/L	SILICE	99	MG/L
BORO	----	MG/L			
OBSERVACIONES:	OLOR,COLOR, TURBIDEZ FUERA DE NORMA. LOS DEMAS PARAMETROS CUMPLEN CON LAS NORMAS. AGUA CON TENDENCIA CORROSIVA.				
RESPONSABLE:	LIC. MERCEDEZ DE HERNANDEZ				
	_____ COORDINADOR DE LABORATORIO		_____ JEFE DE DEPTO. DE OPERACIONES		

Cuadro N° 3.14 Resultados de análisis Físico-Químico del pozo #23, cantón Azacualpa

ADMINISTRACIÓN NACIONAL DE ACUEDUCTOS Y ALCANTARILLADOS
DEPARTAMENTO DE OPERACIONES REGIÓN OCCIDENTAL
SECCIÓN CALIDAD DEL AGUA
RESULTADOS DE ANÁLISIS FÍSICO-QUÍMICO

MUESTREADOR	MARTIN MUÑOZ	REFERENCIA	7301-40-2002		
NOMBRE DEL SOLICITANTE	ONG ITALIANA				
DIRECCIÓN DE LA TOMA	LOS BAÑOS, AZACUALPA, ARMENIA				
	POZO #24				
FECHA Y HORA DE TOMA	28/1/02 12:10 HRS				
FECHA Y HORA DE RECEPCIÓN	28/1/02 15:10 HRS				
FECHA Y HORA DE ANÁLISIS	28/1/02 15:10 HRS				
PROCEDENCIA DE LA MUESTRA	CRUDA				
CARACTERÍSTICAS FÍSICAS Y SUSTANCIAS QUÍMICAS					
DETERMINACIÓN	RESULTA-DO	UNIDAD	DETERMINACIÓN	RESULTA-DO	UNIDAD
Ph	6.52	----	ALCALINIDAD TOTAL	95.85	MG/L
OLOR	NORMAL	----	DUREZA TOTAL	100.39	MG/L
COLOR REAL	-	----	DIÓXIDO DE CARBONO	58.78	MG/L
COLOR APARENTE	0	----	CONDUCTIVIDAD	369	
TEMPERATURA	23	°C	COLOR RESIDUAL	CRUDA	MG/L
TURBIEDAD	0	CTU	ÍNDICE DE LANGELIER	-1.53	MG/L
SÓLIDOS TOTALES	175	MG/L	DUREZA CARBONATICA	95.85	MG/L
SÓLIDOS TOTALES DISUELTOS	175	MG/L	ALCALINIDAD AL BICARBONATO DE Na Y K.	0	MG/L
CALCIO	29.75	MG/L	DUREZA NO CARBONATICA	4.54	MG/L
MAGNESIO	6.34	MG/L	CARBONATOS	0	MG/L
ZINC	0	MG/L	BICARBONATOS	95.85	MG/L
FOSFATOS	0.02	MG/L	HIDROXIDOS	0	MG/L
HIERRO TOTAL	0.1	MG/L	CLORUROS	6.07	MG/L
HIERRO DISUELTO	----	MG/L	SULFATOS	21.58	MG/L
MANGANESO TOTAL	0	MG/L	NITRATOS	24.2	MG/L
MANGANESO DISUELTO	----	MG/L	FLUOR	0.03	MG/L
DETERGENTES	----	MG/L	SILICE	130.57	MG/L
CIANURO	0	MG/L	CROMO HEXAVALENTE	0	MG/L
COBRE	0	MG/L	SALINIDAD	0.2	PARTES/MIL
ALUMINIO	0	MG/L	SOLIDOS SUSPENDIDOS	0	MG/L
OBSERVACIONES:	SILICE FUERA DE NORMA				
	LOS DEMAS PARAMETROS CUMPLEN CON LAS NORMAS DE CALIDAD ESTABLECIDAS AGUA CON TENDENCIA CORROSIVA				
RESPONSABLE:	LIC. MERCEDEZ DE HERNANDEZ				
	_____ COORDINADOR DE LABORATORIO		_____ JEFE DE DEPTO. DE OPERACIONES		

Cuadro N° 3.15 Resultados de análisis Físico-Químico del pozo #24, cantón Azacualpa

ADMINISTRACIÓN NACIONAL DE ACUEDUCTOS Y ALCANTARILLADOS
DEPARTAMENTO DE OPERACIONES REGIÓN OCCIDENTAL
SECCIÓN CALIDAD DEL AGUA
RESULTADOS DE ANÁLISIS FÍSICO-QUÍMICO

MUESTREADOR	MARTIN MUÑOZ	REFERENCIA	7301-43-2002		
NOMBRE DEL SOLICITANTE	ONG ITALIANA				
DIRECCIÓN DE LA TOMA	LAS CRUCES AZACUALPA, ARMENIA				
	POZO #25				
FECHA Y HORA DE TOMA	26/61/01 11:00 HRS				
FECHA Y HORA DE RECEPCIÓN	26/61/01 15:00 HRS				
FECHA Y HORA DE ANÁLISIS	26/61/01 15:00 HRS				
PROCEDENCIA DE LA MUESTRA	CRUDA				
CARACTERÍSTICAS FÍSICAS Y SUSTANCIAS QUÍMICAS					
DETERMINACIÓN	RESULTA-DO	UNIDAD	DETERMINACIÓN	RESULTA-DO	UNIDAD
Ph	7.28	----	ALCALINIDAD TOTAL	120.6	MG/L
OLOR	RETENID	----	DUREZA TOTAL	92.11	MG/L
COLOR REAL	24	----	DIÓXIDO DE CARBONO	11.76	MG/L
COLOR APARENTE	75	----	CONDUCTIVIDAD	313	UMHOS/CM
TEMPERATURA	18	°C	CLORO RESIDUAL	CRUDA	MG/L
TURBIEDAD	14	CTU	ÍNDICE DE LANGELIER	-0.74	MG/L
SÓLIDOS TOTALES	----	MG/L	DUREZA CARBONATICA	92.11	MG/L
SÓLIDOS TOTALES DISUELTOS	149	MG/L	ALCALINIDAD AL BICARBONATO DE Na Y K.	28.49	MG/L
CALCIO	32.1	MG/L	DUREZA NO CARBONATICA	0	MG/L
MAGNESIO	2.93	MG/L	CARBONATOS	0	MG/L
SODIO	----	MG/L	BICARBONATOS	120.6	MG/L
POTASIO	----	MG/L	HIDROXIDOS	0	MG/L
HIERRO TOTAL	0.49	MG/L	CLORUROS	8.8	MG/L
HIERRO DISUELTO	0.13	MG/L	SULFATOS	13.98	MG/L
MANGANESO TOTAL	0.3	MG/L	NITRATOS	----	MG/L
MANGANESO DISUELTO	0	MG/L	FLUOR	0.72	MG/L
ARSENICO	---	MG/L	SALINIDAD	117.67	MG/L
BORO	----	MG/L			
OBSERVACIONES:	HIERRO, SILICE FUERA DE NORMA				
	LOS DEMAS PARAMETROS CUMPLEN CON LAS NORMAS DE CALIDAD ESTABLECIDAS AGUA CON TENDENCIA CORROSIVA				
RESPONSABLE:	LIC. MERCEDEZ DE HERNANDEZ				
	_____ COORDINADOR DE LABORATORIO			_____ JEFE DE DEPTO. DE OPERACIONES	

Cuadro N° 3.16 Resultados de análisis Físico-Químico del pozo #25, cantón Azacualpa

**ADMINISTRACION NACIONAL DE ACUEDUCTOS Y ALCANTARILLADOS
DEPARTAMENTO DE OPERACIONES REGION OCCIDENTAL
SECCION CALIDAD DEL AGUA
RESULTADOS DE ANALISIS FISICO-QUIMICO**

MUESTRADOR	MARTIN MUÑOZ	REFERENCIA	7301-43-2002		
NOMBRE DEL SOLICITANTE	ONG ITALIANA				
DIRECCIÓN DE LA TOMA	POZO # 1, LA PUERTA ARMENIA				
FECHA Y HORA DE TOMA	26/61/01 11:00 HRS				
FECHA Y HORA DE RECEPCIÓN	26/61/01 15:00 HRS				
FECHA Y HORA DE ANÁLISIS	26/61/01 15:00 HRS				
PROCEDENCIA DE LA MUESTRA	CRUDA				
CARACTERÍSTICAS FÍSICAS Y SUSTANCIAS QUÍMICAS					
DETERMINACIÓN	RESULTA-DO	UNIDAD	DETERMINACIÓN	RESULTA-DO	UNIDAD
Ph	6.28	----	ALCALINIDAD TOTAL	42.21	MG/L
OLOR	NORMAL	----	DUREZA TOTAL	90.9	MG/L
COLOR REAL	33	----	DIÓXIDO DE CARBONO	40.96	MG/L
COLOR APARENTE	82	----	CONDUCTIVIDAD	297	UMHOS/CM
TEMPERATURA	18	°C	CLORO RESIDUAL	CRUDA	MG/L
TURBIEDAD	13	CTU	ÍNDICE DE LANGEIIEER	-2.44	MG/L
SÓLIDOS TOTALES	----	MG/L	DUREZA CARBONATICA	42.21	MG/L
SÓLIDOS TOTALES DISUELTOS	140	MG/L	ALCALINIDAD AL BICARBONATO DE Na Y K.	0	MG/L
CALCIO	18.7	MG/L	DUREZA NO CARBONATICA	48.69	MG/L
MAGNESIO	10.74	MG/L	CARBONATOS	0	MG/L
SODIO	----	MG/L	BICARBONATOS	42.21	MG/L
POTASIO	----	MG/L	HIDROXIDOS	0	MG/L
HIERRO TOTAL	0.85	MG/L	CLORUROS	3.47	MG/L
HIERRO DISUELTO	0.2	MG/L	SULFATOS	41	MG/L
MANGANESO TOTAL	0	MG/L	NITRATOS	----	MG/L
MANGANESO DISUELTO	-	MG/L	FLUOR	0.64	MG/L
ARSENICO	---	MG/L	SALINIDAD	118.42	MG/L
BORO	----	MG/L			
OBSERVACIONES:	HIERRO, SILICE FUERA DE NORMA				
	LOS DEMAS PARAMETROS CUMPLEN CON LAS NORMAS DE CALIDAD ESTABLECIDAS AGUA CON TENDENCIA CORROSIVA				
RESPONSABLE:	LIC. MERCEDEZ DE HERNANDEZ				
	_____ COORDINADOR DE LABORATORIO		_____ JEFE DE DEPTO. DE OPERACIONES		

Cuadro N° 3.17 Resultados de análisis Físico-Químico del pozo #1, cantón La Puerta

ADMINISTRACIÓN NACIONAL DE ACUEDUCTOS Y ALCANTARILLADOS
DEPARTAMENTO DE OPERACIONES REGIÓN OCCIDENTAL
SECCIÓN CALIDAD DEL AGUA
RESULTADOS DE ANÁLISIS FÍSICO-QUÍMICO

MUESTREADOR	MARTIN MUÑOZ	REFERENCIA	7301-42-2002		
NOMBRE DEL SOLICITANTE	ONG ITALIANA				
DIRECCIÓN DE LA TOMA	POZO #2 LA PUERTA				
FECHA Y HORA DE TOMA	29/1/02 10:00 HRS				
FECHA Y HORA DE RECEPCIÓN	29/1/02 15:00 HRS				
FECHA Y HORA DE ANÁLISIS	29/1/02 15:00 HRS				
PROCEDENCIA DE LA MUESTRA	CRUDA				
CARACTERÍSTICAS FÍSICAS Y SUSTANCIAS QUÍMICAS					
DETERMINACIÓN	RESULTA-DO	UNIDAD	DETERMINACIÓN	RESULTA-DO	UNIDAD
pH	7.46	----	ALCALINIDAD TOTAL	57.29	MG/L
OLOR	NORMAL	----	DUREZA TOTAL	72.52	MG/L
COLOR REAL	14	----	DIÓXIDO DE CARBONO	3.49	MG/L
COLOR APARENTE	14	----	CONDUCTIVIDAD	227	UMHOS/cm
TEMPERATURA	19	°C	CLORO RESIDUAL	CRUDA	MG/L
TURBIEDAD	3	CTU	ÍNDICE DE LANGELIER	-1.14	MG/L
SÓLIDOS TOTALES	-----	MG/L	DUREZA CARBONATICA	57.29	MG/L
SÓLIDOS TOTALES DISUELTOS	107	MG/L	ALCALINIDAD AL B CARBONATO DE Na Y K.	0	MG/L
CALCIO	18	MG/L	DUREZA NO CARBONATICA	15.23	MG/L
MAGNESIO	6.72	MG/L	CARBONATOS	0	MG/L
SODIO	-----	MG/L	BICARBONATOS	57.29	MG/L
POTASIO	-----	MG/L	HIDROXIDOS	0	MG/L
HIERRO TOTAL	0.21	MG/L	CLORUROS	7.79	MG/L
HIERRO DISUELTO	--	MG/L	SULFATOS	22.6	MG/L
MANGANESO TOTAL	0	MG/L	NITRATOS	-----	MG/L
MANGANESO DISUELTO	----	MG/L	FLUOR	0.52	MG/L
ARSENICO	----	MG/L	SILICE	86.14	MG/L
BORO	----	MG/L			
OBSERVACIONES:	TODOS LOS PARAMETROS CUMPLEN CON LAS NORMAS DE CALIDAD ESTABLECIDAS AGUA CON TENDENCIA CORROSIVA				
RESPONSABLE:	LIC. MERCEDEZ DE HERNANDEZ				
	_____ COORDINADOR DE LABORATORIO		_____ JEFE DE DEPTO. DE OPERACIONES		

Cuadro N° 3.18 Resultados de análisis Físico-Químico del pozo #2, cantón La Puerta

ADMINISTRACIÓN NACIONAL DE ACUEDUCTOS Y ALCANTARILLADOS
DEPARTAMENTO DE OPERACIONES REGIÓN OCCIDENTAL
SECCIÓN CALIDAD DEL AGUA
RESULTADOS DE ANÁLISIS FÍSICO-QUÍMICO

MUESTREADOR	MARTIN MUÑOZ	REFERENCIA	7301-40-2002		
NOMBRE DEL SOLICITANTE	ONG ITALIANA				
DIRECCIÓN DE LA TOMA	LA ESCUELA ,PUERTA, ARMENIA				
	POZO #7				
FECHA Y HORA DE TOMA	26/06/2001 12:00HRS				
FECHA Y HORA DE RECEPCIÓN	26/06/2001 15:50HRS				
FECHA Y HORA DE ANÁLISIS	26/06/2001 15:50HRS				
PROCEDENCIA DE LA MUESTRA	CRUDA				
CARACTERÍSTICAS FÍSICAS Y SUSTANCIAS QUÍMICAS					
DETERMINACIÓN	RESULTA-DO	UNIDAD	DETERMINACIÓN	RESULTA-DO	UNIDAD
pH	6.4	----	ALCALINIDAD TOTAL	52.26	MG/L
OLOR	NORMAL	----	DUREZA TOTAL	44.64	MG/L
COLOR REAL	42	----	DIÓXIDO DE CARBONO	40.33	MG/L
COLOR APARENTE	42	----	CONDUCTIVIDAD	206	UMHOS/CM
TEMPERATURA	20	°C	CLORO RESIDUAL	CRUDA	MG/L
TURBIEDAD	7	CTU	ÍNDICE DE LANGELIER	-2.23	MG/L
SÓLIDOS TOTALES	----	MG/L	DUREZA CARBONATICA	44.64	MG/L
SÓLIDOS TOTALES DISUELTOS	98	MG/L	ALCALINIDAD AL BICARBONATO DE Na Y K.	7.62	MG/L
CALCIO	17.7	MG/L	DUREZA NO CARBONATICA	0	MG/L
MAGNESIO	0.14	MG/L	CARBONATOS	0	MG/L
SODIO	----	MG/L	BICARBONATOS	52.26	MG/L
POTASIO	----	MG/L	HIDROXIDOS	0	MG/L
HIERRO TOTAL	0.65	MG/L	CLORUROS	3.67	MG/L
HIERRO DISUELTO	0.25	MG/L	SULFATOS	24.77	MG/L
MANGANESO TOTAL	0	MG/L	NITRATOS	-----	MG/L
MANGANESO DISUELTO	----	MG/L	FLUOR	0.06	MG/L
ARSENICO	----	MG/L	SILICE	111.05	MG/L
BORO	----	MG/L			
OBSERVACIONES:	COLOR, TURBIDEZ, HIERRO FUERA DE NORMA. LOS DEMAS PARAMETROS CUMPLEN CON LAS NORMAS. AGUA CON TENDENCIA CORROSIVA.				
RESPONSABLE:	LIC. MERCEDEZ DE HERNANDEZ				
	_____ COORDINADOR DE LABORATORIO		_____ JEFE DE DEPTO. DE OPERACIONES		

Cuadro N° 3.19 Resultados de análisis Físico-Químico del pozo #7, cantón La Puerta

ADMINISTRACIÓN NACIONAL DE ACUEDUCTOS Y ALCANTARILLADOS
DEPARTAMENTO DE OPERACIONES REGIÓN OCCIDENTAL
SECCIÓN CALIDAD DEL AGUA
RESULTADOS DE ANÁLISIS FÍSICO-QUÍMICO

MUESTREADOR	MARTIN MUÑOZ	REFERENCIA	7301-43-2002		
NOMBRE DEL SOLICITANTE	ONG ITALIANA				
DIRECCIÓN DE LA TOMA	POZO #10, COL. EL GUAJE, TRES CEIBAS ARMENIA				
FECHA Y HORA DE TOMA	29/1/02 10:35 HRS				
FECHA Y HORA DE RECEPCIÓN	29/1/02 15:00 HRS				
FECHA Y HORA DE ANÁLISIS	29/1/02 15:00 HRS				
PROCEDENCIA DE LA MUESTRA	CRUDA				
CARACTERÍSTICAS FÍSICAS Y SUSTANCIAS QUÍMICAS					
DETERMINACIÓN	RESULTA-DO	UNIDAD	DETERMINACIÓN	RESULTA-DO	UNIDAD
Ph	7.11	----	ALCALINIDAD TOTAL	105.43	MG/L
OLOR	NORMAL	----	DUREZA TOTAL	117.62	MG/L
COLOR REAL	9	----	DIÓXIDO DE CARBONO	16.3	MG/L
COLOR APARENTE	20	----	CONDUCTIVIDAD	314	
TEMPERATURA	28	°C	CLORO RESIDUAL	CRUDA	MG/L
TURBIEDAD	4	CTU	ÍNDICE DE LANGELIER	-0.75	MG/L
SÓLIDOS TOTALES	127	MG/L	DUREZA CARBONATICA	105.43	MG/L
SÓLIDOS TOTALES DISUELTOS	115	MG/L	ALCALINIDAD AL BICARBONATO DE Na Y K.	0	MG/L
CALCIO	34.38	MG/L	DUREZA NO CARBONATICA	12.19	MG/L
MAGNESIO	7.72	MG/L	CARBONATOS	0	MG/L
ZINC	0.04	MG/L	BICARBONATOS	105.43	MG/L
FOSFATOS	0.16	MG/L	HIDROXIDOS	0	MG/L
HIERRO TOTAL	0.38	MG/L	CLORUROS	10.58	MG/L
HIERRO DISUELTO	----	MG/L	SULFATOS	33.11	MG/L
MANGANESO TOTAL	0	MG/L	NITRATOS	22.44	MG/L
MANGANESO DISUELTO	----	MG/L	FLUOR	0.07	MG/L
DETERGENTES	----	MG/L	SILICE	133	MG/L
CIANURO	0	MG/L	CROMO HEXAVALENTE	0	MG/L
COBRE	0	MG/L	SALINIDAD	0.2	PARTES/MIL
ALUMINIO	----	MG/L	SOLIDOS SUSPENDIDOS	12	MG/L
OBSERVACIONES:	HIERRO, SILICE FUERA DE NORMA LOS DEMAS PARAMETROS CUMPLEN CON LAS NORMAS DE CALIDAD ESTABLECIDAS AGUA CON TENDENCIA CORROSIVA				
RESPONSABLE:	LIC. MERCEDEZ DE HERNANDEZ				
	_____ COORDINADOR DE LABORATORIO			_____ JEFE DE DEPTO. DE OPERACIONES	

Cuadro N°3.20 Resultados de análisis Físico-Químico pozo #10 cantón Tres Ceibas

ADMINISTRACIÓN NACIONAL DE ACUEDUCTOS Y ALCANTARILLADOS
DEPARTAMENTO DE OPERACIONES REGIÓN OCCIDENTAL
SECCIÓN CALIDAD DEL AGUA
RESULTADOS DE ANÁLISIS FÍSICO-QUÍMICO

MUESTREADOR	MARTIN MUÑOZ	REFERENCIA	7301-42-2002		
NOMBRE DEL SOLICITANTE	ONG ITALIANA				
DIRECCIÓN DE LA TOMA	POZO #13, TRES CEIBAS ARMENIA				
FECHA Y HORA DE TOMA	29/1/02 10:00 HRS				
FECHA Y HORA DE RECEPCIÓN	29/1/02 15:00 HRS				
FECHA Y HORA DE ANÁLISIS	29/1/02 15:00 HRS				
PROCEDENCIA DE LA MUESTRA	CRUDA				
CARACTERÍSTICAS FÍSICAS Y SUSTANCIAS QUÍMICAS					
DETERMINACIÓN	RESULTA-DO	UNIDAD	DETERMINACIÓN	RESULTA-DO	UNIDAD
Ph	7.53	----	ALCALINIDAD TOTAL	66.33	MG/L
OLOR	RETENIDO	----	DUREZA TOTAL	59.39	MG/L
COLOR REAL	23	----	DIÓXIDO DE CARBONO	4.04	MG/L
COLOR APARENTE	137	----	CONDUCTIVIDAD	215	UMHOS/cm
TEMPERATURA	31	°C	COLOR RESIDUAL	CRUDA	MG/L
TURBIEDAD	27	CTU	ÍNDICE DE LANGELIER	-0.88	MG/L
SÓLIDOS TOTALES	----	MG/L	DUREZA CARBONATICA	59.39	MG/L
SÓLIDOS TOTALES DISUELTOS	101	MG/L	ALCALINIDAD AL BICARBONATO DE Na Y K.	6.94	MG/L
CALCIO	14.1	MG/L	DUREZA NO CARBONATICA	0	MG/L
MAGNESIO	5.88	MG/L	CARBONATOS	0	MG/L
SODIO	-----	MG/L	BICARBONATOS	66.33	MG/L
POTASIO	-----	MG/L	HIDROXIDOS	0	MG/L
HIERRO TOTAL	0.53	MG/L	CLORUROS	1.51	MG/L
HIERRO DISUELTO	0.14	MG/L	SULFATOS	34.08	MG/L
MANGANESO TOTAL	0	MG/L	NITRATOS	-----	MG/L
MANGANESO DISUELTO	----	MG/L	FLUOR	0	MG/L
ARSENICO	----	MG/L	SILICE	121.3	MG/L
BORO	----	MG/L			
OBSERVACIONES:	EL OLOR,COLOR,TURBIDEZ Y HIERRO FUERA DE NORMA				
	LOS DEMAS PARAMETROS CUMPLEN CON LAS NORMAS DE				
	CALIDAD ESTABLECIDAS AGUA CON TENDENCIA CORROSIVA				
RESPONSABLE:	LIC. MERCEDEZ DE HERNANDEZ				
	_____ COORDINADOR DE LABORATORIO		_____ JEFE DE DEPTO. DE OPERACIONES		

Cuadro N°3.21 Resultados de análisis Físico-Químico pozo #13 cantón Tres Ceibas

ADMINISTRACIÓN NACIONAL DE ACUEDUCTOS Y ALCANTARILLADOS
DEPARTAMENTO DE OPERACIONES REGIÓN OCCIDENTAL
SECCIÓN CALIDAD DEL AGUA
RESULTADOS DE ANÁLISIS FÍSICO-QUÍMICO

MUESTREADOR	MARTIN MUÑOZ	REFERENCIA	7301-42-2002			
NOMBRE DEL SOLICITANTE	ONG ITALIANA					
DIRECCIÓN DE LA TOMA	POZO# 17 ASENTAMIENTO, TRES CEIBAS ARMENIA					
FECHA Y HORA DE TOMA	29/1/02 10:00 HRS					
FECHA Y HORA DE RECEPCIÓN	29/1/02 15:00 HRS					
FECHA Y HORA DE ANÁLISIS	29/1/02 15:00 HRS					
PROCEDENCIA DE LA MUESTRA	CRUDA					
CARACTERÍSTICAS FÍSICAS Y SUSTANCIAS QUÍMICAS						
DETERMINACIÓN	RESULTA-DO	UNIDAD	DETERMINACIÓN	RESULTA-DO	UNIDAD	
Ph	7.27	----	ALCALINIDAD TOTAL	99.68	MG/L	
OLOR	NORMAL	----	DUREZA TOTAL	88.42	MG/L	
COLOR REAL	34	----	DIÓXIDO DE CARBONO	10.94	MG/L	
COLOR APARENTE	156	----	CONDUCTIVIDAD	347		
TEMPERATURA	27	°C	CLORO RESIDUAL	CRUDA	MG/L	
TURBIEDAD	27	CTU	ÍNDICE DE LANGELIER	-0.84	MG/L	
SÓLIDOS TOTALES	250	MG/L	DUREZA CARBONATICA	88.42	MG/L	
SÓLIDOS TOTALES DISUELTOS	165	MG/L	ALCALINIDAD AL BCARBONATO DE Na Y K.	11.26	MG/L	
CALCIO	21.86	MG/L	DUREZA NO CARBONATICA	0	MG/L	
MAGNESIO	8.22	MG/L	CARBONATOS	0	MG/L	
ZINC	0.08	MG/L	BICARBONATOS	99.68	MG/L	
FOSFATOS	0.24	MG/L	HIDROXIDOS	0	MG/L	
HIERRO TOTAL	0.65	MG/L	CLORUROS	1.97	MG/L	
HIERRO DISUELTO	----	MG/L	SULFATOS	48.88	MG/L	
MANGANESO TOTAL	0	MG/L	NITRATOS	14.96	MG/L	
MANGANESO DISUELTO	----	MG/L	FLUOR	0.12	MG/L	
DETERGENTES	----	MG/L	SILICE	141.86	MG/L	
CIANURO	0	MG/L	CROMO HEXAVALENTE	0	MG/L	
COBRE	0.07	MG/L	SALINIDAD	0.2	PARTES/MIL	
ALUMINIO	----	MG/L	SOLIDOS SUSPENDIDOS	85	MG/L	
OBSERVACIONES:	COLOR, TURBIDEZ, HIERRO Y SILICE FUERA DE NORMA					
	LOS DEMAS PARAMETROS CUMPLEN CON LAS NORMAS DE					
	CALIDAD ESTABLECIDAS AGUA CON TENDENCIA CORROSIVA					
RESPONSABLE:	LIC. MERCEDEZ DE HERNANDEZ					
	_____ COORDINADOR DE LABORATORIO			_____ JEFE DE DEPTO. DE OPERACIONES		

Cuadro N°3.22 Resultados de análisis Físico-Químico pozo #17 cantón Tres Ceibas

A continuación se presentan los resultados de los análisis físico-químico hechos en campo por colaboración de ANDA en octubre del 2002:

PARAMETRO	UNIDADES	POZO N°23	POZO N°24	POZO N°25	NORMATIVA
pH		6.2	6.2	6.5	6.0-8.5
Conductividad	uS	256	317	427	500/max.1,600
TDS	Mg/L	121	150	225	300/max.600
T° del agua	°C	25	26	26.5	18 a 30max. NR
Alcalinidad	Mg/L	70	93	163	30.00/350.00
Salinidad	%	0.1	0.1	0.2	
Elevación	m.s.n.m.	580	670	550	
Profundidad del agua en el pozo	mts.	5.50	33.50	3.50	
Elevación del agua del pozo	m.s.n.m.	574.50	636.50	546.5	
T° al aire	°C	28	35	33	
Coordenadas		442623/ 293328	439030/ 293488	444536/ 293106	

CUADRO N°3.23 Analisis fisico-químico In Situ cantón Azacualpa

PARAMETRO	UNIDADES	POZO N°1	POZO N°2	POZO N°7	NORMATIVA
pH		6.1	6.34	6.0	6.0-8.5
Conductividad	uS	229	279	255	500/max.1,600
TDS	Mg/L	143	133	121	300/max.600
T° del agua	°C	26	26.5	27	18 a 30max. NR
Alcalinidad	Mg/L	41	86	71	30.00/350.00
Salinidad	%	0.1	0.1	0.1	
Elevación	m.s.n.m.	620	610	596	
Profundidad del agua en el pozo	mts.	8.50	6.50	9.60	
Elevación del agua del pozo	m.s.n.m.	611.50	603.50	586.4	
T° al aire	°C	28	33	34	
Coordenadas		443426/ 291526	443276/ 291418	442529/ 291034	

CUADRO N°3.24 Analisis fisico-químico In Situ cantón La Puerta

PARAMETRO	UNIDADES	POZO N°10	POZO N°13	POZO N°17	NORMATIVA
pH		6.7	6.6	6.56	6.0-8.5
Conductividad	uS	5.47	169.7	2.28	500/max.1,600
TDS	Mg/L	2.62	80	1.09	300/max.600
T° del agua	°C	26.5	26	25	18 a 30max. NR
Alcalinidad	Mg/L	174	59	75	30.00/350.00
Salinidad	%	0.3	0.1	0.1	
Elevación	m.s.n.m.	510	509	690	
Profundidad del agua en el pozo	mts.	18.50	28.50	25.50	
Elevación del agua del pozo	m.s.n.m.	491.50	480.50	664.5	
T° al aire	°C	34	33	34	
Coordenadas		447987/ 292673	447990/ 292595	447354/ 292466	

CUADRO N°3.25 Analisis fisico-químico In Situ cantón Tres Ceibas

3.6.3 CALIDAD BACTERIOLOGICA DEL AGUA

El agua potable es aquella agua para consumo humano, la cual debe estar exenta de organismos capaces de provocar enfermedades y de elementos o sustancias que pueden producir efectos fisiológicos perjudiciales cumpliendo con los requisitos de la Norma Salvadoreña Obligatoria^{3.10}.

El parámetro más importante de la calidad del agua potable es la calidad bacteriológica, por ejemplo, el contenido de bacterias y virus. No es factible examinar el agua para todos los organismos que posiblemente podría contener.

En lugar de esto, se examina el agua para descubrir la presencia de un tipo específico de bacterias que se originan en grandes números de la excreta humana y animal cuya presencia en el agua es indicativa de contaminación fecal. Tales bacterias indicativas deben ser específicamente fecales y no de vida libre fuera de las heces. Las bacterias fecales pertenecen a un grupo mayor de bacterias que son las coliformes.

Los requisitos para una buena calidad bacteriológica son los siguientes:

1. Coliformes (número promedio presentes en el agua de bebida muestreada)
5/100 ml
2. Escherichia-coli inferior a: 2.5/100 ml.

En el anexo C se detallan diferentes métodos para determinar el número de microorganismos presentes en muestras de agua.

^{3.10} Metodología para el estudio y corrección de problemas de funcionamiento en acueductos rurales. Tesis U.E.S. 1991.

En el caso del agua superficial en la totalidad de las muestras y en un porcentaje de aguas subterráneas de la zona occidental del país la concentración de organismos coliformes es alto.

Los requerimientos básicos para que el agua sea potable establecen que ésta deberá ser:

1. Libre de organismos patógenos (causantes de enfermedades).
2. No contener compuestos que tengan efecto adverso, agudo o crónico sobre la salud humana.
3. No salina (salubre).
4. Que no contenga compuestos que causen sabor u olor.
5. Que no causen corrosión o incrustaciones en el sistema de abastecimiento de agua, ni que manche la ropa lavada con ella.

A continuación se presentan los análisis de laboratorio bacteriológicos de los tres cantones en estudio:

MINISTERIO DE SALUD PUBLICA Y ASISTENCIA SOCIAL							
LABORATORIO DE SEGURIDAD MICROBIOLÓGICA AMBIENTAL							
RESULTADOS MICROBIOLÓGICOS DE:		MUESTRA #1					
ORIGEN DE LA MUESTRA:		Agua de Pozo #10					
PROCEDENCIA DE LA MUESTRA:		Armenia-Sonsonate					
FECHA DE RECOLECCIÓN DE LA MUESTRA:		15/10/2002					
FECHA DE RECIBO DE LA MUESTRA:		15/10/2002					
FECHA DE LA VERIFICACIÓN DEL ANÁLISIS:		15/10/2002					
NOMBRE Y TELÉFONO DEL CLIENTE:		Trabajo de Graduación					
CÓDIGO DE LA MUESTRA:	06-A	Objetivo del Muestreo:		Investigación			
CANTIDAD DE LA MUESTRA=	200 mL	a) Vigilancia Sanitaria		<table border="1" style="width: 30px; height: 60px; margin: auto;"> <tr><td> </td></tr> <tr><td> </td></tr> <tr><td> </td></tr> </table>			
COLORO RESIDUAL LIBRE	-	b) Denuncia					
pH	6.96	c) Investigación Epidemiológica					
Parametros	NMP/100 ML	UFC X ml	Observaciones	Valores Maximos Admisibles			
Coliformes Totales	50			< 1.1 NMP/100 MI			
Coliformes Fecales	50			Negativo			
Escherichia coli	50			Negativo			
Pseudomonas sp.				100 UFC X ml			
Clostridium perfringens				Negativo			
Bacteria Heterótrofas		10°	Enterobacter aerogenes	100 UFC X ml			
Cuantificación de fagos (virus)				Negativo			
Parasitos				Negativo			
* NOP = No Se Observa Parasitos							
FECHA: 28 DE OCTUBRE DEL 2002							
JEFE DE LABORATORIO Lic. Ma. Guadalupe Hidalgo							

Cuadro N°3.26 Resultado de análisis bacteriológico pozo N° 10, cantón Tres Ceibas

MINISTERIO DE SALUD PUBLICA Y ASISTENCIA SOCIAL LABORATORIO DE SEGURIDAD MICROBIOLÓGICA AMBIENTAL				
RESULTADOS MICROBIOLÓGICOS DE:		MUESTRA #2		
ORIGEN DE LA MUESTRA:		Agua de Pozo #13		
PROCEDENCIA DE LA MUESTRA:		Armenia-Sonsonate		
FECHA DE RECOLECCIÓN DE LA MUESTRA:		15/10/2002		
FECHA DE RECIBO DE LA MUESTRA:		15/10/2002		
FECHA DE LA VERIFICACIÓN DEL ANÁLISIS:		15/10/2002		
NOMBRE Y TELÉFONO DEL CLIENTE:		Trabajo de Graduación		
CÓDIGO DE LA MUESTRA:	07-A	Objetivo del Muestreo:		Investigación <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>
CANTIDAD DE LA MUESTRA=	200 mL	a) Vigilancia Sanitaria		
COLORO RESIDUAL LIBRE	-	b) Denuncia		
pH	6.80	c) Investigación Epidemiológica		
Parametros	NMP/100 ML	UFC X ml	Observaciones	Valores Maximos Admisibles
Coliformes Totales	130			< 1.1 NMP/100 MI
Coliformes Fecales	23			Negativo
Escherichia coli	23			Negativo
Pseudomonas sp.				100 UFC X ml
Clostridium perfringens				Negativo
Bacteria Heterótrofas		10°	Enterobacter aerogenes	100 UFC X ml
Cuantificación de fagos (virus)				Negativo
Parasitos				Negativo
* NOP = No Se Observa Parasitos				
FECHA: 28 DE OCTUBRE DEL 2002				
JEFE DE LABORATORIO Lic. Ma. Guadalupe Hidalgo				

Cuadro N°3.27 Resultado de análisis bacteriológico pozo N° 13, cantón Tres Ceibas

MINISTERIO DE SALUD PUBLICA Y ASISTENCIA SOCIAL							
LABORATORIO DE SEGURIDAD MICROBIOLÓGICA AMBIENTAL							
RESULTADOS MICROBIOLÓGICOS DE:		MUESTRA #3					
ORIGEN DE LA MUESTRA:		Agua de Pozo #17					
PROCEDENCIA DE LA MUESTRA:		Armenia-Sonsonate					
FECHA DE RECOLECCIÓN DE LA MUESTRA:		15/10/2002					
FECHA DE RECIBO DE LA MUESTRA:		15/10/2002					
FECHA DE LA VERIFICACIÓN DEL ANÁLISIS:		15/10/2002					
NOMBRE Y TELÉFONO DEL CLIENTE:		Trabajo de Graduación					
CÓDIGO DE LA MUESTRA:	08-A	Objetivo del Muestreo:		Investigación			
CANTIDAD DE LA MUESTRA=	200 mL	a) Vigilancia Sanitaria		<table border="1" style="width: 30px; height: 60px; border-collapse: collapse;"> <tr><td style="width: 100%; height: 100%;"></td></tr> <tr><td style="width: 100%; height: 100%;"></td></tr> <tr><td style="width: 100%; height: 100%;"></td></tr> </table>			
COLORO RESIDUAL LIBRE	-	b) Denuncia					
pH	6.74	c) Investigación Epidemiológica					
Parametros	NMP/100 ML	UFC X ml	Observaciones	Valores Maximos Admisibles			
Coliformes Totales	27			< 1.1 NMP/100 MI			
Coliformes Fecales	0			Negativo			
Escherichia coli	0			Negativo			
Pseudomonas sp.		10°		100 UFC X ml			
Clostridium perfringens				Negativo			
Bacteria Heterótrofas		10°	Enterobacter aerogenes	100 UFC X ml			
Cuantificación de fagos (virus)				Negativo			
Parasitos				Negativo			
* NOP = No Se Observa Parasitos							
FECHA: 28 DE OCTUBRE DEL 2002							
JEFE DE LABORATORIO Lic. Ma. Guadalupe Hidalgo							

Cuadro N°3.28 Resultado de análisis bacteriológico pozo N° 17, cantón Tres Ceibas

MINISTERIO DE SALUD PUBLICA Y ASISTENCIA SOCIAL LABORATORIO DE SEGURIDAD MICROBIOLÓGICA AMBIENTAL				
RESULTADOS MICROBIOLÓGICOS DE:		MUESTRA #4		
ORIGEN DE LA MUESTRA:		Agua de Pozo #23		
PROCEDENCIA DE LA MUESTRA:		Armenia-Sonsonate		
FECHA DE RECOLECCIÓN DE LA MUESTRA:		22/10/2002		
FECHA DE RECIBO DE LA MUESTRA:		22/10/2002		
FECHA DE LA VERIFICACIÓN DEL ANÁLISIS:		22/10/2002		
NOMBRE Y TELÉFONO DEL CLIENTE:		Trabajo de Graduación		
CÓDIGO DE LA MUESTRA:	12-A	Objetivo del Muestreo:		Investigación <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>
CANTIDAD DE LA MUESTRA=	200 mL	a) Vigilancia Sanitaria		
COLORO RESIDUAL LIBRE	-	b) Denuncia		
pH	6.58	c) Investigación Epidemiológica		
Parametros	NMP/100 ML	UFC X ml	Observaciones	Valores Maximos Admisibles
Coliformes Totales	1300			< 1.1 NMP/100 MI
Coliformes Fecales	240			Negativo
Escherichia coli	240			Negativo
Pseudomonas sp.				100 UFC X ml
Clostridium perfringens				Negativo
Bacteria Heterótrofas		10 ²	Enterobacter aerogenes	100 UFC X ml
Cuantificación de fagos (virus)				Negativo
Parasitos				Negativo
* NOP = No Se Observa Parasitos				
FECHA: 28 DE OCTUBRE DEL 2002				
JEFE DE LABORATORIO Lic. Ma. Guadalupe Hidalgo				

Cuadro N°3.29 Resultado de análisis bacteriológico pozo N° 23, cantón Azacualpa

MINISTERIO DE SALUD PUBLICA Y ASISTENCIA SOCIAL LABORATORIO DE SEGURIDAD MICROBIOLÓGICA AMBIENTAL				
RESULTADOS MICROBIOLÓGICOS DE:		MUESTRA #5		
ORIGEN DE LA MUESTRA:		Agua de Pozo #24		
PROCEDENCIA DE LA MUESTRA:		Armenia-Sonsonate		
FECHA DE RECOLECCIÓN DE LA MUESTRA:		22/10/2002		
FECHA DE RECIBO DE LA MUESTRA:		22/10/2002		
FECHA DE LA VERIFICACIÓN DEL ANÁLISIS:		22/10/2002		
NOMBRE Y TELÉFONO DEL CLIENTE:		Trabajo de Graduación		
CÓDIGO DE LA MUESTRA:	13-A	Objetivo del Muestreo:		Investigación <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>
CANTIDAD DE LA MUESTRA=	200 mL	a) Vigilancia Sanitaria		
COLORO RESIDUAL LIBRE	-	b) Denuncia		
pH	6.28	c) Investigación Epidemiológica		
Parametros	NMP/100 ML	UFC X ml	Observaciones	Valores Maximos Admisibles
Coliformes Totales	13000			< 1.1 NMP/100 MI
Coliformes Fecales	500			Negativo
Escherichia coli	500			Negativo
Pseudomonas sp.				100 UFC X ml
Clostridium perfringens				Negativo
Bacteria Heterótrofas		10 ²	Enterobacter aerogenes	100 UFC X ml
Cuantificación de fagos (virus)				Negativo
Parasitos				Negativo
* NOP = No Se Observa Parasitos				
FECHA: 28 DE OCTUBRE DEL 2002				
JEFE DE LABORATORIO Lic. Ma. Guadalupe Hidalgo				

Cuadro N°3.30 Resultado de análisis bacteriológico pozo N° 24, cantón Azacualpa

MINISTERIO DE SALUD PUBLICA Y ASISTENCIA SOCIAL LABORATORIO DE SEGURIDAD MICROBIOLÓGICA AMBIENTAL				
RESULTADOS MICROBIOLÓGICOS DE:		MUESTRA #6		
ORIGEN DE LA MUESTRA:	Agua de Pozo #25			
PROCEDENCIA DE LA MUESTRA:	Armenia-Sonsonate			
FECHA DE RECOLECCIÓN DE LA MUESTRA:	22/10/2002			
FECHA DE RECIBO DE LA MUESTRA:	22/10/2002			
FECHA DE LA VERIFICACIÓN DEL ANÁLISIS:	22/10/2002			
NOMBRE Y TELÉFONO DEL CLIENTE:	Trabajo de Graduación			
CÓDIGO DE LA MUESTRA:	14-A	Objetivo del Muestreo:		Investigación <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>
CANTIDAD DE LA MUESTRA=	200 mL	a) Vigilancia Sanitaria		
COLORO RESIDUAL LIBRE	-	b) Denuncia		
pH	6.69	c) Investigación Epidemiológica		
Parametros	NMP/100 ML	UFC X ml	Observaciones	Valores Maximos Admisibles
Coliformes Totales	2400			< 1.1 NMP/100 MI
Coliformes Fecales	500			Negativo
Escherichia coli	500			Negativo
Pseudomonas sp.		10		100 UFC X ml
Clostridium perfringens				Negativo
Bacteria Heterótrofas		10	Enterobacter aerogenes	100 UFC X ml
Cuantificación de fagos (virus)				Negativo
Parasitos				Negativo
* NOP = No Se Observa Parasitos				
FECHA: 28 DE OCTUBRE DEL 2002				
JEFE DE LABORATORIO Lic. Ma. Guadalupe Hidalgo				

Cuadro N°3.31 Resultado de análisis bacteriológico pozo N° 25, cantón Azacualpa

MINISTERIO DE SALUD PUBLICA Y ASISTENCIA SOCIAL LABORATORIO DE SEGURIDAD MICROBIOLÓGICA AMBIENTAL				
RESULTADOS MICROBIOLÓGICOS DE:		MUESTRA #7		
ORIGEN DE LA MUESTRA:		Agua de Pozo #1		
PROCEDENCIA DE LA MUESTRA:		Armenia-Sonsonate		
FECHA DE RECOLECCIÓN DE LA MUESTRA:		23/10/2002		
FECHA DE RECIBO DE LA MUESTRA:		23/10/2002		
FECHA DE LA VERIFICACIÓN DEL ANÁLISIS:		23/10/2002		
NOMBRE Y TELÉFONO DEL CLIENTE:		Trabajo de Graduación		
CÓDIGO DE LA MUESTRA:	15-A	Objetivo del Muestreo:		Investigación <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>
CANTIDAD DE LA MUESTRA=	200 mL	a) Vigilancia Sanitaria		
COLORO RESIDUAL LIBRE	-	b) Denuncia		
pH	6.20	c) Investigación Epidemiológica		
Parametros	NMP/100 ML	UFC X ml	Observaciones	Valores Maximos Admisibles
Coliformes Totales	170			< 1.1 NMP/100 MI
Coliformes Fecales	2			Negativo
Escherichia coli	2			Negativo
Pseudomonas sp.		10 ²		100 UFC X ml
Clostridium perfringens				Negativo
Bacteria Heterótrofas		10 ²	Enterobacter aerogenes	100 UFC X ml
Cuantificación de fagos (virus)				Negativo
Parasitos				Negativo
* NOP = No Se Observa Parasitos				
FECHA: 28 DE OCTUBRE DEL 2002				
JEFE DE LABORATORIO Lic. Ma. Guadalupe Hidalgo				

Cuadro N°3.32 Resultado de análisis bacteriológico pozo N° 1, cantón La Puerta

MINISTERIO DE SALUD PUBLICA Y ASISTENCIA SOCIAL				
LABORATORIO DE SEGURIDAD MICROBIOLÓGICA AMBIENTAL				
RESULTADOS MICROBIOLÓGICOS DE:		MUESTRA #8		
ORIGEN DE LA MUESTRA:		Agua de Pozo #2		
PROCEDENCIA DE LA MUESTRA:		Armenia-Sonsonate		
FECHA DE RECOLECCIÓN DE LA MUESTRA:		23/10/2002		
FECHA DE RECIBO DE LA MUESTRA:		23/10/2002		
FECHA DE LA VERIFICACIÓN DEL ANÁLISIS:		23/10/2002		
NOMBRE Y TELÉFONO DEL CLIENTE:		Trabajo de Graduación		
CÓDIGO DE LA MUESTRA:	16-A	Objetivo del Muestreo:		Investigación <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>
CANTIDAD DE LA MUESTRA=	200 mL	a) Vigilancia Sanitaria		
COLORO RESIDUAL LIBRE	-	b) Denuncia		
pH	6.47	c) Investigación Epidemiológica		
Parametros	NMP/100 ML	UFC X ml	Observaciones	Valores Maximos Admisibles
Coliformes Totales	230			< 1.1 NMP/100 MI
Coliformes Fecales	0			Negativo
Escherichia coli	0			Negativo
Pseudomonas sp.		10		100 UFC X ml
Clostridium perfringens				Negativo
Bacteria Heterótrofas		10	Enterobacter aerogenes	100 UFC X ml
Cuantificación de fagos (virus)				Negativo
Parasitos				Negativo
* NOP = No Se Observa Parasitos				
FECHA: 28 DE OCTUBRE DEL 2002				
JEFE DE LABORATORIO				
Lic. Ma. Guadalupe Hidalgo				

Cuadro N°3.33 Resultado de análisis bacteriológico pozo N° 2, cantón La Puerta

MINISTERIO DE SALUD PUBLICA Y ASISTENCIA SOCIAL LABORATORIO DE SEGURIDAD MICROBIOLÓGICA AMBIENTAL				
RESULTADOS MICROBIOLÓGICOS DE:		MUESTRA #9		
ORIGEN DE LA MUESTRA:		Agua de Pozo #7		
PROCEDENCIA DE LA MUESTRA:		Armenia-Sonsonate		
FECHA DE RECOLECCIÓN DE LA MUESTRA:		23/10/2002		
FECHA DE RECIBO DE LA MUESTRA:		23/10/2002		
FECHA DE LA VERIFICACIÓN DEL ANÁLISIS:		23/10/2002		
NOMBRE Y TELÉFONO DEL CLIENTE:		Trabajo de Graduación		
CÓDIGO DE LA MUESTRA:	17-A	Objetivo del Muestreo:		Investigación <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>
CANTIDAD DE LA MUESTRA=	200 mL	a) Vigilancia Sanitaria		
COLORO RESIDUAL LIBRE	-	b) Denuncia		
pH	6.15	c) Investigación Epidemiológica		
Parametros	NMP/100 ML	UFC X ml	Observaciones	Valores Maximos Admisibles
Coliformes Totales	3000			< 1.1 NMP/100 MI
Coliformes Fecales	900			Negativo
Escherichia coli	900			Negativo
Pseudomonas sp.		10 ²		100 UFC X ml
Clostridium perfringens				Negativo
Bacteria Heterótrofas			Enterobacter aerogenes	100 UFC X ml
Cuantificacion de fagos (virus)				Negativo
Parasitos				Negativo
* NOP = No Se Observa Parasitos				
FECHA: 28 DE OCTUBRE DEL 2002				
JEFE DE LABORATORIO Lic. Ma. Guadalupe Hidalgo				

Cuadro N°3.34 Resultado de análisis bacteriológico pozo N° 7, cantón La Puerta

CAPÍTULO IV
DIAGNÓSTICO
SOCIO-ECONÓMICO,
DE LA CAPACIDAD
DEL RECURSO HÍDRICO Y
LA CALIDAD DEL AGUA

4.1 EVALUACIÓN SOCIO-ECONÓMICO

Para una evaluación del funcionamiento de un acueducto rural, es necesario conocer algunos parámetros básicos que sirven de información más consistente y real de la situación socio-económica de la zona en estudio.

La información socio-económica de la población se pudo obtener a través de una encuesta básica, de la cual se adjunta un modelo; los datos se recogieron con una muestra de 25 tomando como parámetro el número de pozos en estudio.

La evaluación socio-económica se ha dividido en tres partes:

- a- Datos generales.
- b- Condiciones económicas y sociales.
- c- Servicios básicos.

A continuación se presenta el formato de la encuesta y posteriormente la interpretación junto a los resultados de la encuesta.

➤ EVALUACIÓN SOCIO-ECONÓMICA

a) GENERALIDADES.

1. Encuesta N° _____
2. Fecha: _____
3. Nombre de la persona entrevistada: _____
4. Habitantes por vivienda:
 - a- Menores de 1 año: _____
 - b- De 1 a 5 años: _____
 - c- De 6 a 14 años: _____
 - d- De 15 a 50 años: _____
 - e- Mayores de 50 años: _____

Total de habitantes en la vivienda: _____

b) CONDICIONES ECONÓMICAS Y SOCIALES.

5. Tenencia de la propiedad:

- a. Propietario
- b. Inquilino
- c. Alcaldía
- d. Otros

6. Tipo de construcción:

- a. Adobe b. Bahareque c. Mixto
- d. Lámina e. Otros

7. Estado de la construcción de la vivienda:

- a. Bueno b. Regular c. Malo

8. Ubicación de la vivienda: _____

9. Número de escuelas en la zona: _____

10. Total de personas del grupo familiar que estudian: _____

11. Cuantas personas trabajan del grupo familiar: _____

12. Total de gasto diario del grupo familiar: _____

c). SERVICIOS BÁSICOS

13. Existe energía eléctrica en la comunidad: _____

14. En que forma se abastece usted del servicio de agua:

- a. Conexión domiciliar _____ b. cantareras _____
- c. Pilas públicas _____ d. Pozo propio _____
- e. Pozo comunal _____ f. Otros _____

15. ¿ Que características encuentra en el agua?

- a. Mal olor _____ b. Mal sabor _____ c. Turbidez _____
- d. Ocasiona enfermedades infecciosas

intestinales: _____ e. Otros _____

16. ¿Qué cantidad de agua recibe?
- a. Suficiente _____
 - b. Regular _____
 - c. Poca _____
 - d. No recibe _____
17. Número de familias que se abastecen de la fuente de agua:

18. Extracción diaria de la fuente o gasto promedio diario por familia:

19. Profundidad del pozo: _____
20. Tiempo que tiene el sistema de abastecimiento de estar funcionando: _____
21. Cuanto estaría dispuesto a pagar mensualmente por el servicio de abastecimiento de agua: _____
22. Existen visitas a la fuente de abastecimiento por parte de alguna institución (si existen mencione el nombre de la institución y cuantas veces en el año la visitan): _____
23. Permanecen animales cerca o alrededor de la fuente _____
- Detalle: a. Aves _____ b. Perros _____
- c. Otros _____ d. Ganado _____ e. Cerdos _____
24. Existen las siguientes condiciones en la fuente de abastecimiento:
- a. Evacuación de agua lluvia en el suelo _____
 - b. Evacuación de agua sobrante _____
 - c. Techo _____
 - d. Broquel _____
 - e. Tapadera _____
25. Existen hacinamientos de basura cerca de la fuente: _____

26. Existen letrinas cerca de la fuente (si la respuesta es afirmativa indique la distancia hasta la fuente y su profundidad):_____
27. Existen obras de almacenamiento de agua:_____
28. Reciben algún tratamiento el agua que beben (detallar el tratamiento):_____
29. Detalle el deposito de almacenamiento de agua que se le efectúa tratamiento y cada cuanto tiempo se realiza:_____
30. Se realizan trabajos de limpieza a la fuente de abastecimiento o a la obra de almacenamiento (si respuesta es afirmativa indique cada cuanto tiempo se realizan):_____

➤ INTERPRETACIÓN DE LOS RESULTADOS DE LA ENCUESTA

1. la población actual de la zona de estudio tiene una población económicamente activa real del 55% tomando en consideración que la edad para trabajar esta en el rango de 15 a 50 años lo que representa una población incluyendo ambos sexos de 4513 personas (ver cuadro N°4.2 y figura 4.1).

La población total de cada vivienda se obtuvo en esta parte de la encuesta, la cual varia de un cantón a otro detallándose a continuación:

Cantón	Promedio de personas por vivienda
Azacualpa	7
La Puerta	5
Tres Ceibas	6
Promedio total de personas de la zona de estudio	6

Cuadro N°4.1 Población promedio por vivienda

Con este promedio del número de personas por vivienda se trabajara para determinar otras características de la zona de estudio.

GENERALIDADES	DATOS DE ENCUESTA POR CANTÓN	PORCENTAJE
HABITANTES POR VIVIENDA		
Menores de 1 año	232	3%
De 1 a 5 años	903	11%
De 6 a 14 años	1975	24%
De 15 a 50 años	4513	55%
Mayores de 51 años	550	7%
Total de habitantes	8173	100%

Cuadro N°4.2 Distribución de la población por edad.

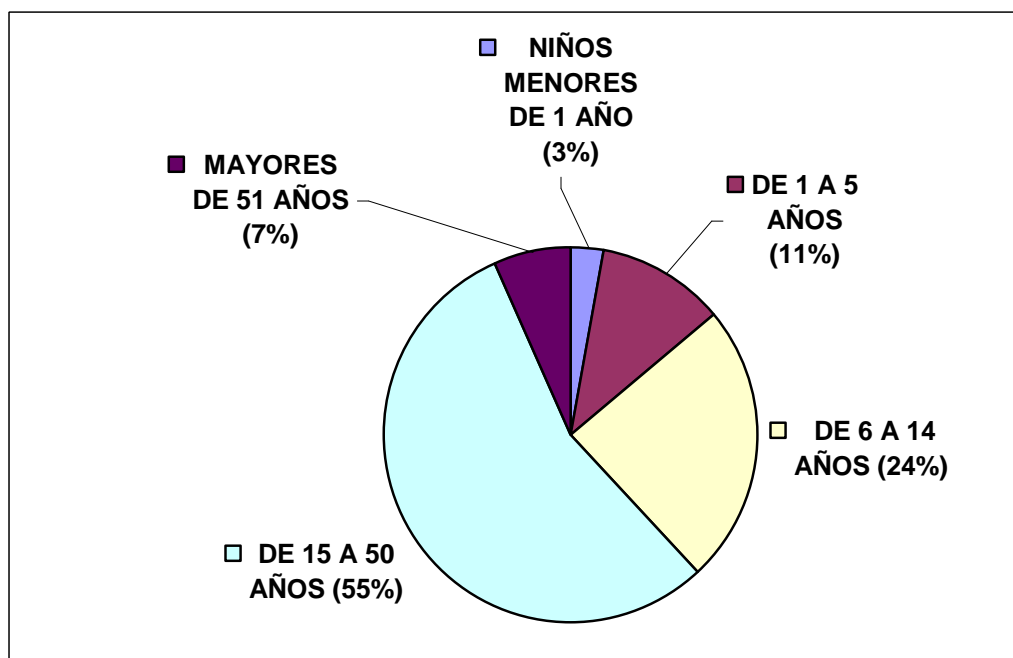


Fig 4.1 Representacion grafica de la poblacion de la zona de estudio

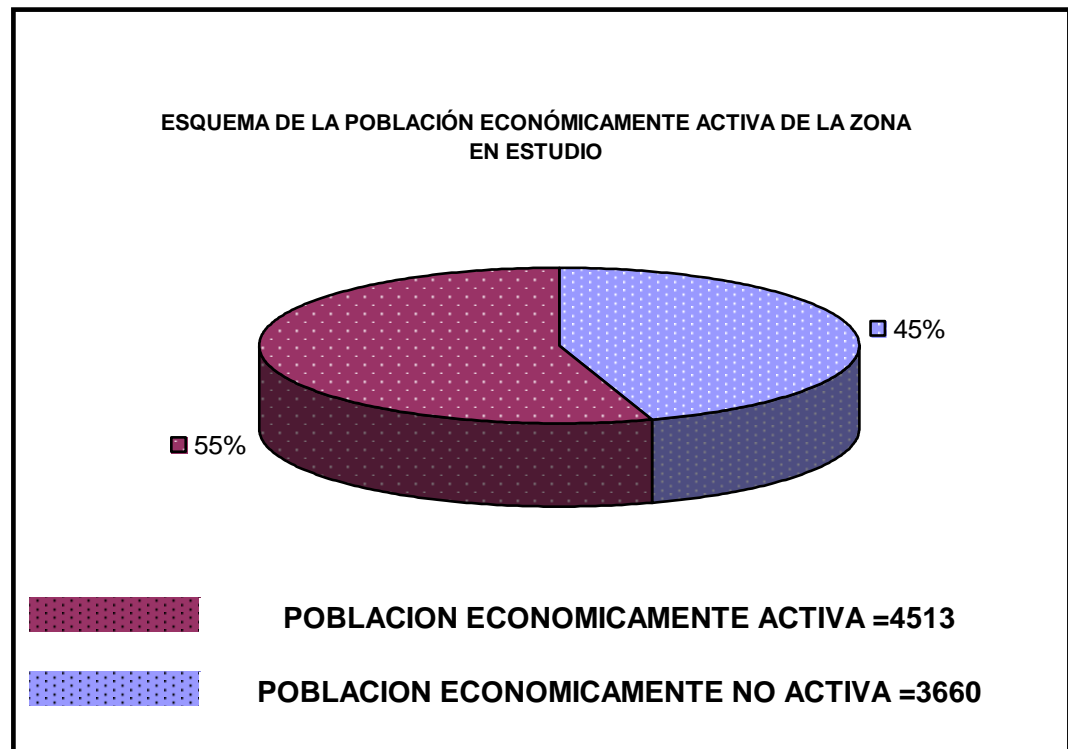


Fig. 4.2 Esquema de la población económicamente activa de la zona de estudio.

En cuanto a las condiciones económicas y sociales se puede observar que la tenencia de la propiedad es del 100%, lo que nos indica que esa zona se incrementara la tasa poblacional, con respecto al tipo de construcción el 70% de las viviendas es mixto y su estado es entre bueno y regular (89%), esto nos indica que la prioridad de tener vivienda se cumple y que ellos buscan tener un mejor servicio de condiciones básicos como agua o letrinización, ya que cada familia tiene techo para unos 10 años (ver figura 4.3 y 4.4).

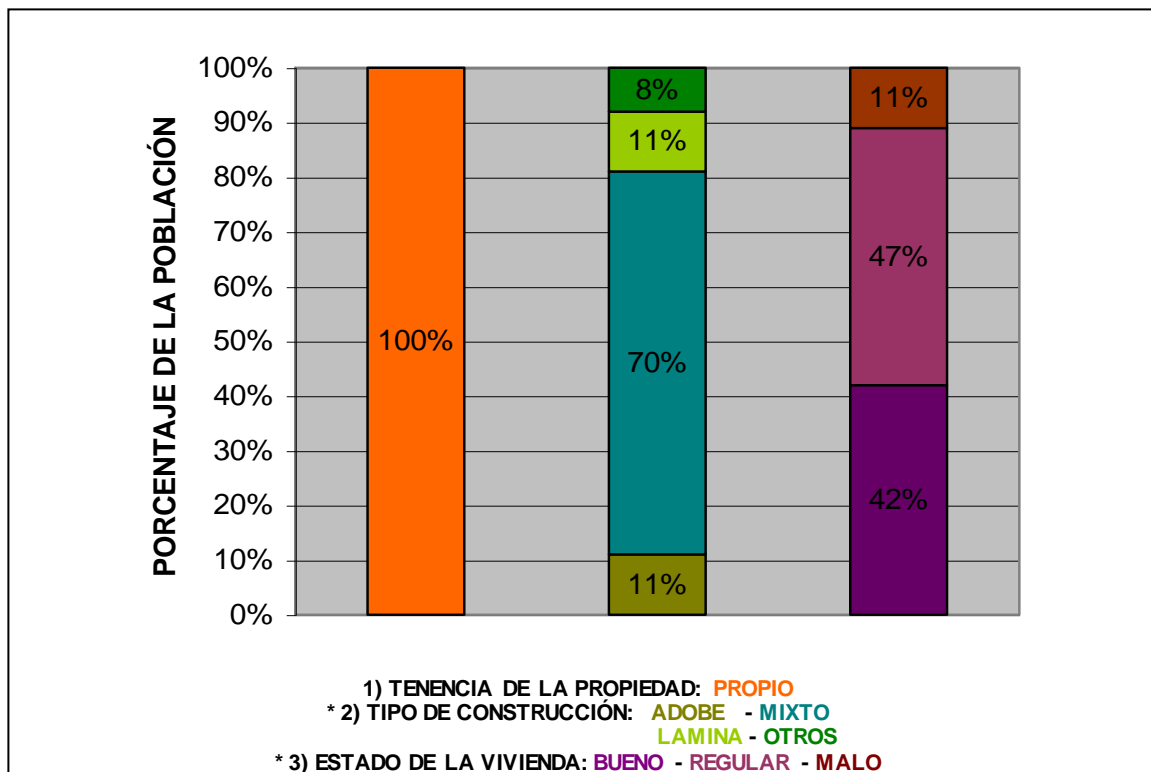


Fig. 4.3 Representación gráfica de las condiciones económicas de la zona de estudio.

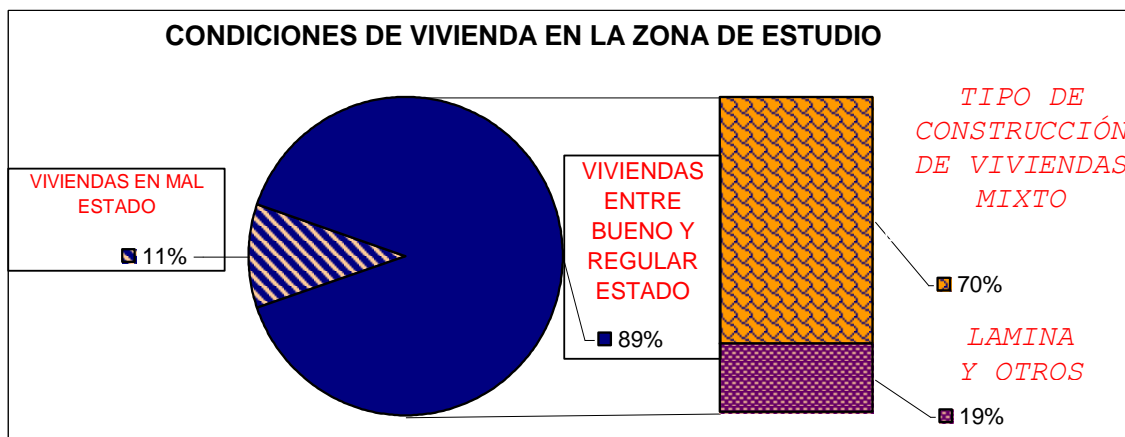


Fig. 4.4 Esquema representativo de las condiciones de vivienda.

Otro punto importante, es si existen escuelas cerca de la zona y actualmente para el cantón más pequeño como Azacualpa existe una escuela; y para los cantones La Puerta y Tres Ceibas cuentan con dos escuelas cada uno, esto nos indica que existen por lo menos una preparación hasta sexto grado, dependiendo de los padres de familia así como también de los ingresos con que cuentan, ya que si estos cubren las necesidades básicas es necesario que los niños abandonen la escuela para trabajar.

Observando la figura 4.5 existe un gran porcentaje de la población (64.9%) se alimenta con menos de \$0.51 al día, mientras existe otro porcentaje (31.4%) se alimenta con un rango de \$0.51 a \$0.99 y solo el 3.7% utiliza más de \$1.00 para cubrir su alimentación diaria.

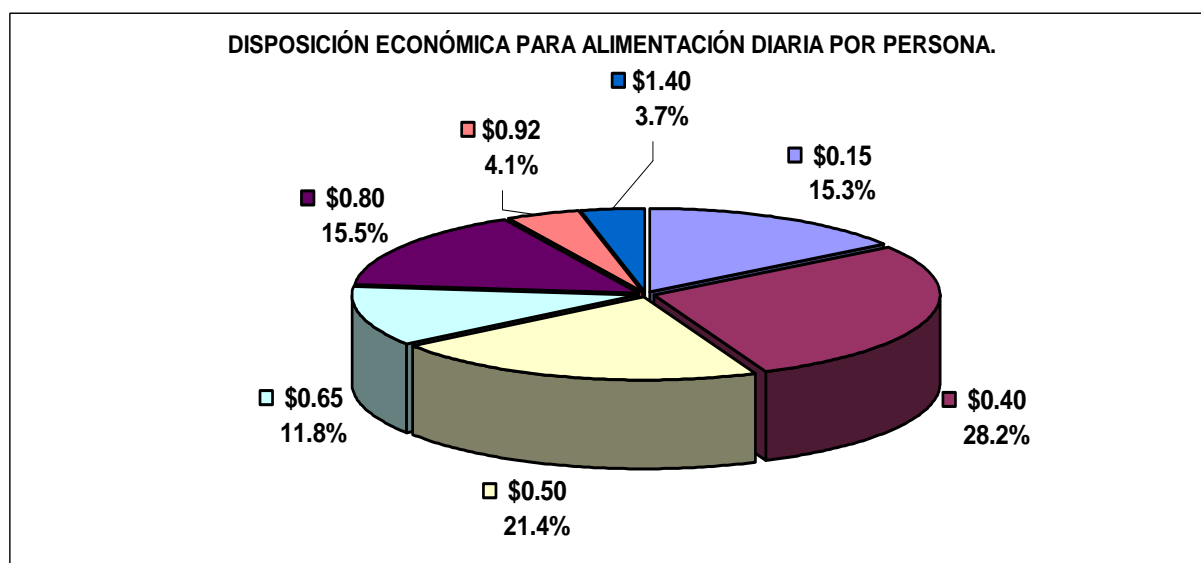


Fig. 4.5 Disposicion economica para alimetacion diaria

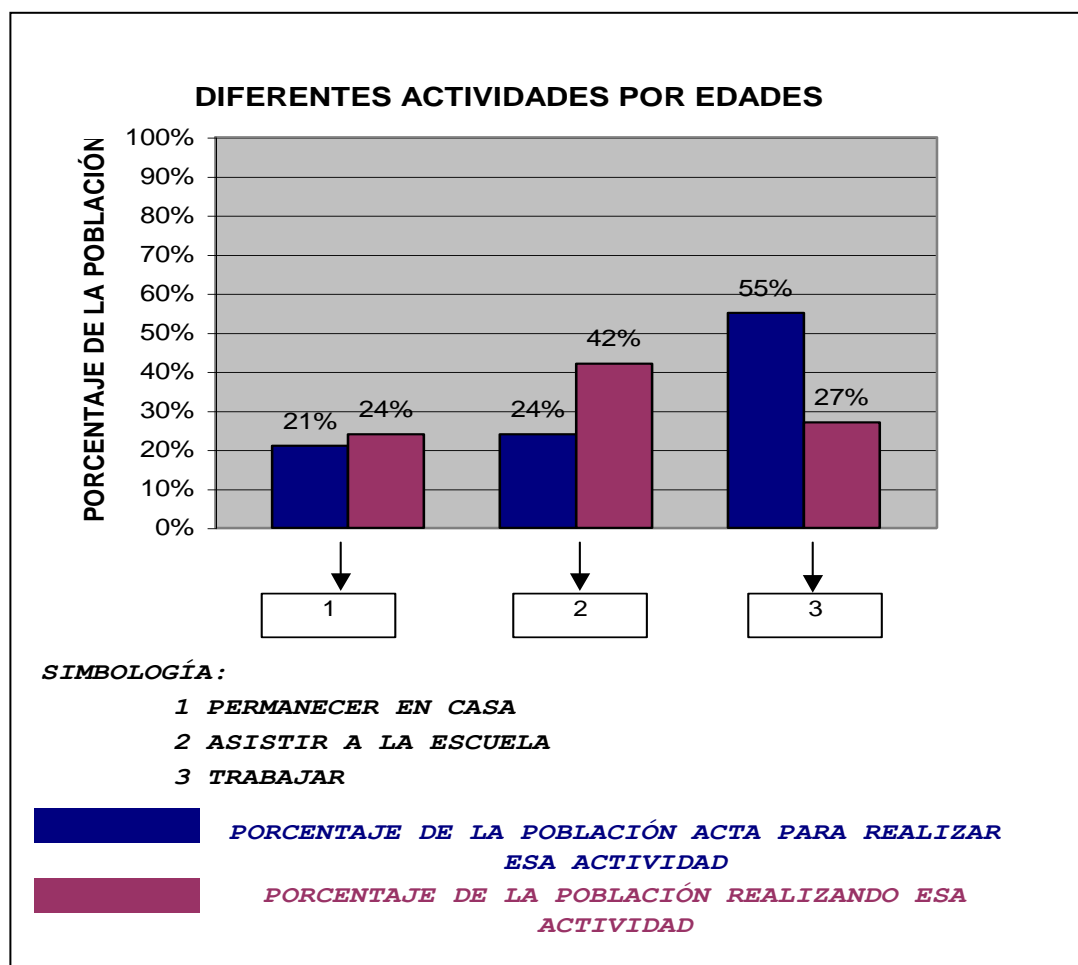


Fig. 4.6 Ocupación dentro del hogar por edades.

2. Las preguntas que no están reflejadas en las figuras correspondientes a esta parte de la encuesta se describen a continuación:

PREGUNTA	RESULTADOS DE ENCUESTA			
	CANTÓN			PROMEDIO
	AZACUALPA	LA PUERTA	TRES CEIBAS	
Existe energía eléctrica en la comunidad	100.00%	100.00%	100.00%	100.00%
Número de familias promedio que se abastecen de la fuente	21	16	6	14
Extracción diaria promedio de la fuente o gasto promedio diario por familia mt ³	2.21	4.10	4.31	3.54
Cuanto estaría dispuesto a pagar mensualmente por un mejor servicio de abastecimiento de agua	\$ 4.00	\$ 4.00	\$ 4.50	\$ 4.17

Cuadro N°4.3 Resultados de la encuesta no representados.

La forma de obtener la extracción diaria fue a través del conocimiento de los depósitos que utilizan para acarrear el agua, lo cual fue por medio de cantaros, luego medimos la capacidad volumétrica del cántaro en galones para convertirlos posteriormente a metros cúbicos. Con los datos del cuadro N°4.3 podemos conocer la dotación real de agua por persona así:

$$\text{Gasto diario de agua promedio por familia} = 3.54 \text{ m}^3$$

$$\text{Número de personas por familia} = 6$$

$$\text{Consumo diario por persona} = 3.54 \text{ m}^3 / 6 = 0.59 \text{ m}^3$$

$$\text{Dotación diaria} = 0.59 \times 1000 / 86400 = 0.0068 \text{ Lts/sg.}$$

El tiempo que tiene cada fuente de ser explotada se describe a continuación:

CANTÓN	TIEMPO DE SER EXPLOTADA LA FUENTE					
	0-1 AÑOS	1-5 AÑOS	5-10 AÑOS	10-15 AÑOS	15-20 AÑOS	MAS DE 20 AÑOS
PORCENTAJE CON RESPECTO AL TOTAL	8%	36%	36%	8%	4%	8%
LA PUERTA						
POZO N° 1	X					
POZO N° 2		X				
POZO N° 3			X			
POZO N° 4		X				
POZO N° 5			X			
POZO N° 6			X			
POZO N° 7				X		
POZO N° 8			X			
POZO N° 9				X		
TRES CEIBAS						
POZO N° 10						X
POZO N° 11		X				
POZO N° 12			X			
POZO N° 13		X				
POZO N° 14		X				
POZO N° 15		X				
POZO N° 16					X	
POZO N° 17		X				
POZO N° 18		X				
POZO N° 19			X			
POZO N° 20			X			
POZO N° 21			X			
AZACUALPA						
POZO N° 22			X			
POZO N° 23						X
POZO N° 24		X				
POZO N° 25	X					

Cuadro N°4.4 Tiempo de explotación de las fuentes.

Del cuadro N°4.4 podemos observar que la mayoría de las fuentes que sirven de abastecimiento de agua son nuevas acumulando un 80% las que tienen un periodo de utilización menores de 10 años y el porcentaje restante tiene mas de 10 años de ser explotada. Otra información importante es que no existen obras de almacenamiento de agua y que el agua que se utiliza para beber recibe tratamiento por medio de puriagua y este se le aplica diariamente en una cubeta que contiene agua para ser bebida posteriormente siendo del orden de 34.90% del total de la población que aplica este método. De los datos que se presentan en el cuadro N°4.5 podemos observar la necesidad de las obras de protección mínimas que no cuentan los pozos de esa zona.

CONDICIONES CON LAS QUE CUENTAN LAS FUENTES DE ABASTECIMIENTOS (EN PORCENTAJE CON RESPECTO AL TOTAL)				
EVACUACIÓN DE A.L.L.	EVACUACIÓN DE AGUA SOBRANTE	TECHO	BROQUEL	TAPADERA
48.00%	0.00%	16.00%	92.00%	88.00%

Cuadro N°4.5 Condiciones físicas de las fuentes.

La información que se presenta en las figuras 4.7 y 4.8 las describimos a continuación:

- a. Forma de Abastecimiento de agua: se puede observar la falta de alternativas para abastecer de agua a los pobladores ya que mas de un 90% tiene que hacer un desgaste físico para proveer de agua a la vivienda y un 39.33% tiene que acarrear el agua por lo menos 50 mts y esto implica una problemática en la zona.
- b. Características del agua de la zona: aquí se observa que la población reconoce que el agua que beben no es adecuada por las características que encuentran en ellas.

- c. Cantidad de agua que recibe: existe un déficit del 11.95% del porcentaje total de la población que cuenta con pozo propio pero que no recibe suficiente agua lo que indica que dichas fuentes no son capaces de ser explotadas abundantemente.

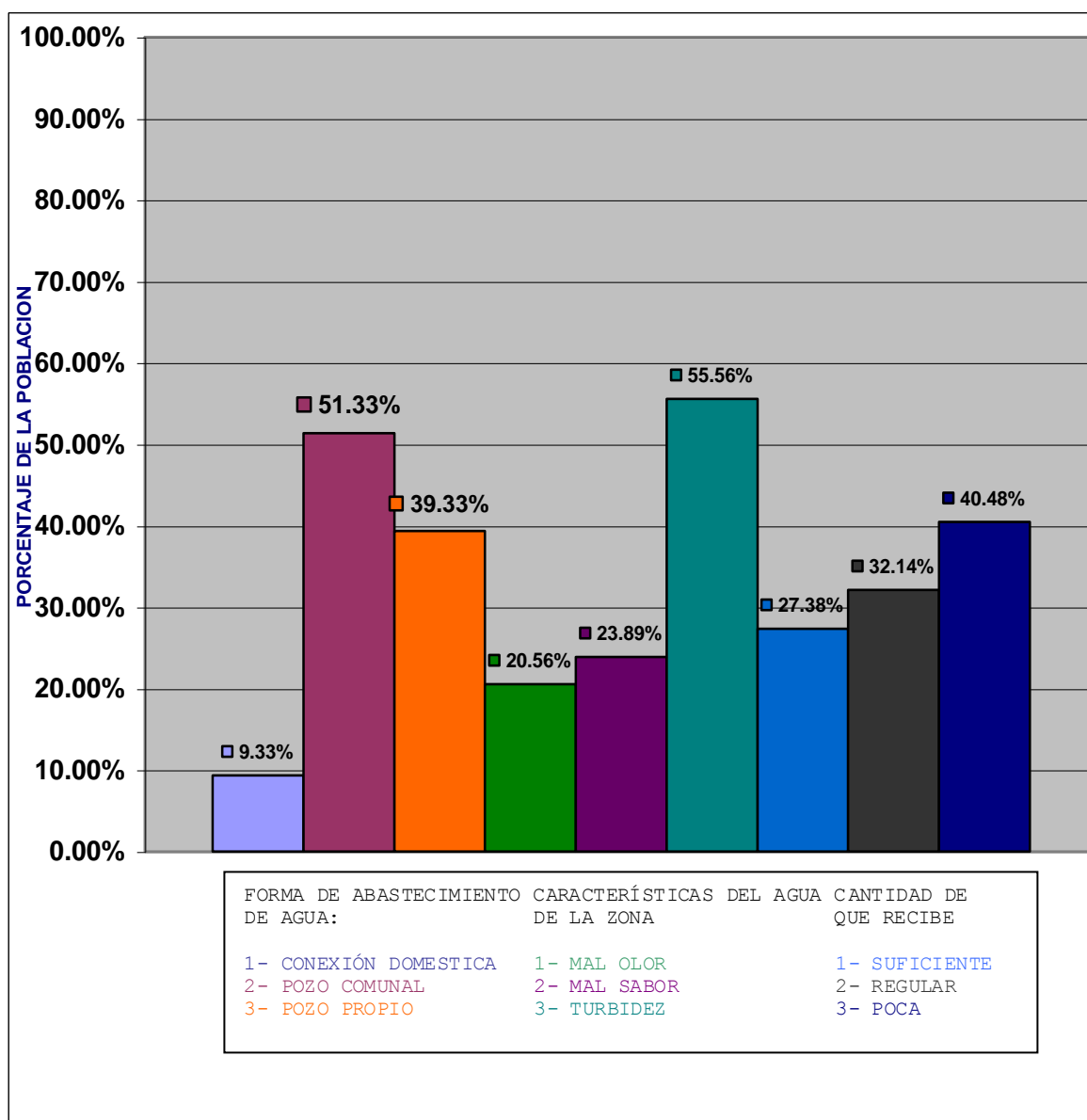


Fig. 4.7 Características de abastecimiento de la zona.

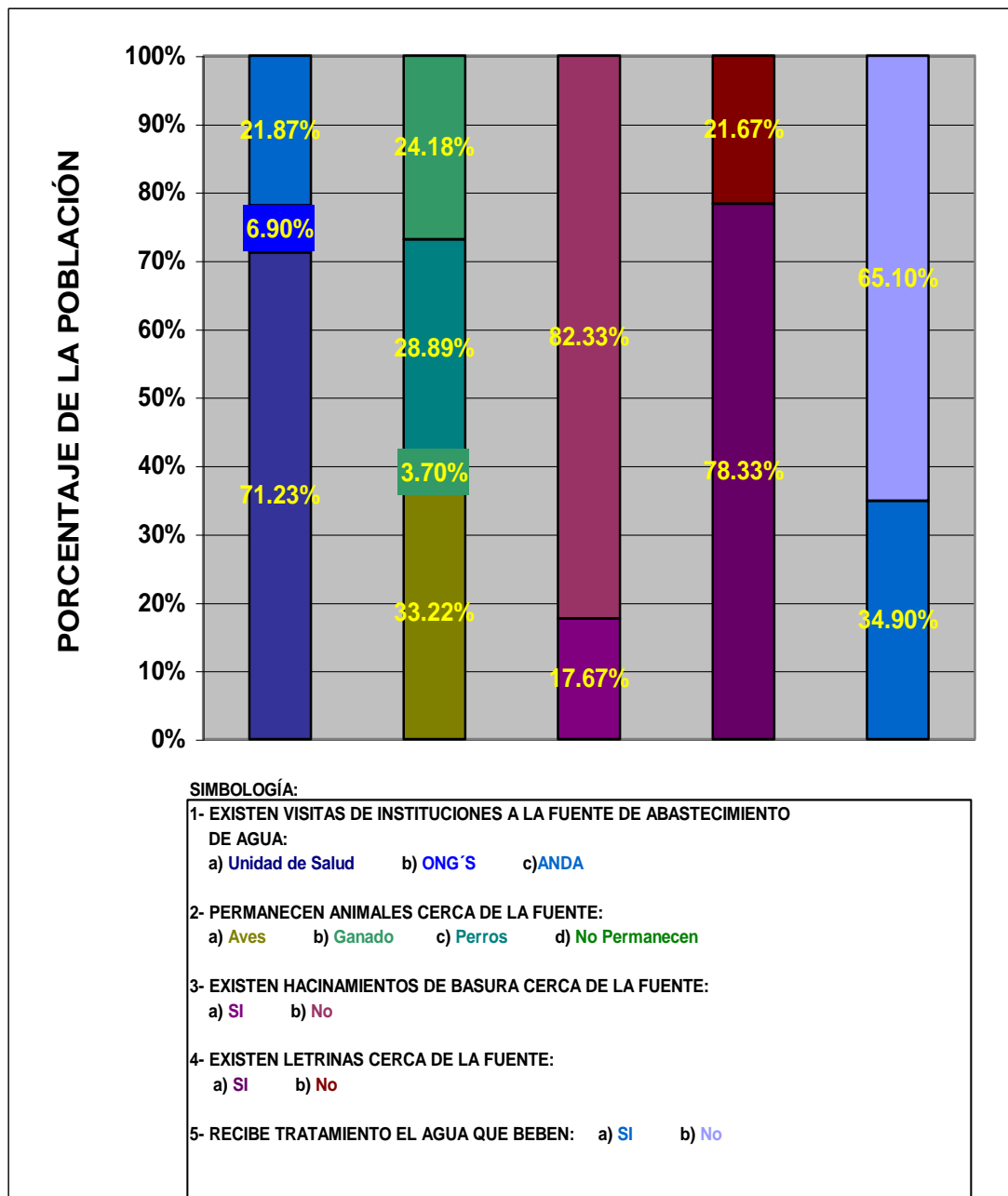


Fig. 4.8 Características de saneamiento de la zona.

4.2 CAPACIDAD DEL RECURSO HÍDRICO

De la presente investigación del estudio hidrogeológico efectuado en los cantones Azacualpa, La Puerta y Tres Ceibas se llegó a determinar lo siguiente:

1. Actualmente la población de los cantones Azacualpa y La Puerta no cuentan con un servicio de agua potable; para la obtención de este recurso lo hacen por medio de pozos artesanales que son capaces de servir en época de invierno hasta una cierta cantidad de agua tal como se describe a continuación:

- a. Azacualpa: El caudal que sirve cada una de las fuentes estudiadas en este cantón se describen a continuación:

	POZO # 22	POZO # 23	POZO # 24	POZO # 25
CAUDAL DIARIO EXTRAIDO DE LA FUENTE	1.01 M³	14.2 M³	0.5 M³	1.26 M³

Cuadro N°4.6 Capacidad de los pozos en Azacualpa

Como se observa en total las fuentes de abastecimientos de Azacualpa tienen un rendimiento diario de 16.97 M³, si comparamos la dotación adecuada para cada persona que es de 75L/P/D y el total de personas que se abastecen es de 608 ^{4.1}; por lo tanto se necesitaría un caudal para abastecer adecuadamente de:

$$608 \text{ personas} \times 0.075 \text{ M}^3/\text{P/D} = 45.6 \text{ M}^3/\text{DIA}$$

$$\text{Resultando un déficit de } 45.6 - 16.97 = 28.63 \text{ M}^3/\text{DIA}$$

- b. La Puerta: Los caudales de las fuentes estudiadas en este cantón son:

^{4.1} Unidad de Salud de Armenia.

	POZO #								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
CAUDAL DIARIO EXTRAIDO DE LA FUENTE	22.05 M³	1.58 M³	3.09 M³	5.11 M³	5.05 M³	3.79 M³	1.76 M³	2.21 M³	10.1 M³

Cuadro N°4.7 Capacidad de los pozos en La Puerta

Al observar el cuadro N°4.7, en total las fuentes de abastecimientos del cantón La Puerta tienen un rendimiento diario de 54.77 M³, si comparamos la dotación adecuada para cada persona que es de 75L/P/D y el total de personas que se abastecen de estas fuentes es de 725 personas^{4.2}; se necesitaría un caudal para abastecer adecuadamente de: 725 personas X 0.075 M³/P/D = 54.38 M³/DIA

No se obtiene déficit ya que el valor de oferta es mayor a la demanda en 0.39 M³/DIA.

- Un 70% de la población del cantón Tres Ceibas se abastece de igual manera que los cantones Azacualpa y La Puerta. El caudal que rinden diariamente estas fuentes se describen a continuación:

	POZO #											
	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21
CAUDAL DIARIO EXTRAIDO DE LA FUENTE	1.90 M³	1.90 M³	1.58 M³	2.02 M³	2.02 M³	1.89 M³	1.01 M³	17.68 M³	0.50 M³	0.76 M³	0.63 M³	2.02 M³

Cuadro N°4.8 Capacidad de los pozos en Tres Ceibas

^{4.2} Unidad de Salud de Armenia.

El rendimiento de agua diaria total de estas fuentes es de 33.91 M³ al comparar la dotación de 75L/P/D para el número de habitantes que cubren los doce pozos que es de 444 personas nos da un caudal diario para cubrir las necesidades diarias de esta zona de 33.30 M³. Esto nos indica que la oferta es mayor a la demanda en 0.61 M³.

Los problemas para los habitantes los podemos resumir en dos generales así:

- a. Deficiencia de los pozos en su caudal este problema cubre únicamente al cantón Azacualpa en época de invierno como en verano. Los otros dos cantones suplen sus necesidades del agua en invierno en cambio en verano los pozos bajan su productividad hasta un 30% (ver figura 4.9).
 - b. La segunda problemática es el gasto económico diario para transportar el recurso y/o el desgaste físico que trae como consecuencia.
3. La actividad volcánica de la zona a generado una geomorfología muy heterogénea del subsuelo encontrándose en toda la zona una estratigrafía constituida por alternancias de sedimentos volcánicos y rocas efusivas. Cada una de estas rocas tienen sus propias características físico-químicas las cuales influyen directamente las características físico-químicas de los acuíferos estudiados. En la zona de estudio se encuentran dos tipos de acuíferos:
- a. Acuíferos de porosidad primaria ubicados en estratos de rocas sedimentarias como son los sedimentos volcánicos, que poseen una permeabilidad variable.
 - b. Acuíferos de porosidad secundaria o de fracturas ubicados en estratos de rocas efusivas, con una permeabilidad variable.

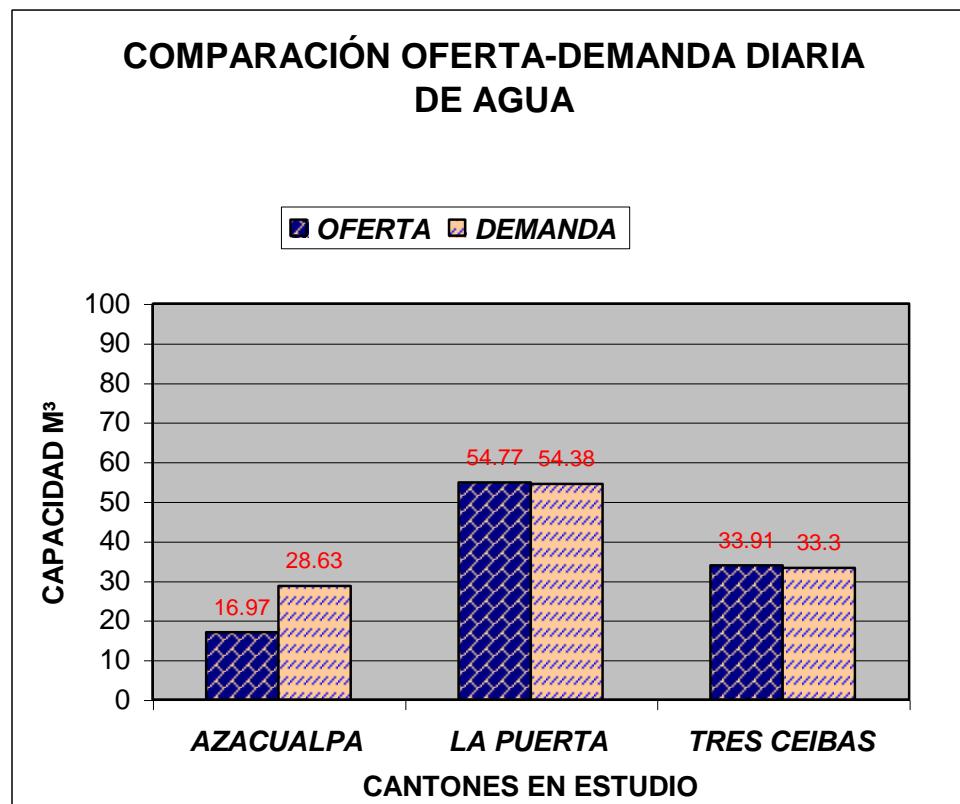


Fig. 4.9 Comparación de la oferta contra demanda de agua en la zona de estudio

La porosidad primaria esta ligada a los espacios intergranulares comprendidos en una roca sedimentaria, la cual esta completamente cementada. La porosidad secundaria esta ligada a los espacios creados por la fracturación de la roca. En ciertos lugares de la zona como Las Tres Ceibas y El Guayabo, se encuentran pozos que hacen contacto con ambos tipos de acuíferos. Los acuíferos de diferente tipo se comunican entre ellos debido a la gravedad y a la ausencia de estratos impermeables entre ellos o a la presencia de fracturas en los estratos intermedios.

La parte extrema Noreste y Este de la zona esta constituida por acuíferos fracturados con rangos de permeabilidad bajos, y dependiendo de la

fracturación pueden llegar a poseer valores de permeabilidad media. La parte Sureste de la zona presenta una compactación media con una presencia débil de partícula fina obteniéndose aquí una permeabilidad baja a media. Los sedimentos de la parte central de la zona muestran una compactación baja a nula y una presencia baja de material fino, siendo su permeabilidad media a alta.

Un análisis hecho por ANDA indica que no existe solamente un acuífero sino varios que no son continuos y que ocupan diferentes estratos (ver anexo N°6, que muestra el esquema de la estructura del subsuelo en el área de trabajo y los diferentes tipos de acuíferos explotados con sus conexiones).

La variación de la geología y la falta de información de la misma hacen imposible, hasta la fecha, delimitar los acuíferos existentes en la zona de estudio.

Cada capa permeable que se encuentra en la zona saturada constituye acuíferos de permeabilidad variable generalmente separados por capas impermeables o semipermeables (ver anexo N°6).

4. Los materiales que más predominan en los cantones Tres Ceibas y Azacualpa son de la Formación San Salvador caracterizados como materiales de buena permeabilidad y asentados sobre la unidad geomorfológica denominada Valle Central y el cantón La Puerta en su mayoría esta asentado en la formación Bálsamo característicos de baja permeabilidad. A continuación se presentan unos valores de permeabilidad según la formación a que corresponde cada tipo de material.

FORMACIÓN	MATERIAL	SIMBOLOGÍA	PERMEABILIDAD (m/día)
Balsamo	Epiclastitas volcánicas y piroclastitas	b1	0.06
	Efusivas básicas-intermedias	b3	0.06
San Salvador	Depósitos sedimentarios del cuaternario	Q'f	2.0-20.0
	Piroclastitas ácidas, epiclastitas volcánicas	s3'a	2.0-7.0
	Efusivas básicas-intermedias	s5'a	2.0

Fuente: Departamento de Hidrogeología y Pozos de ANDA

Cuadro N°4.9 Valores de permeabilidad de diferentes materiales

Como se puede observar existe una gran diferencia de los valores de permeabilidad de los materiales correspondientes a las formaciones Bálamo con los de San Salvador. Respectivamente si tomamos el valor más bajo de permeabilidad de la formación San Salvador no es comparable con el valor de la formación Bálamo sobrepasándola en treinta y tres veces más.

- Otro punto importante con respecto a la permeabilidad de la zona de estudio es que al observar la ubicación de los nueve pozos en el mapa geológico, estos se localizan en las zonas más permeables. En el siguiente cuadro se presentan esta información:

CANTÓN	POZO N°	FORMACION GEOLOGICA EN LA QUE SE UBICAN	SIMBOLOGIA DEL MATERIAL CORRESPONDIENTE
AZACUALPA	23	San Salvador	s3á
	24		
	25		
LA PUERTA	1	San Salvador	s3á
	2		
	7		
TRES CEIBAS	17	San Salvador	s3á
	18		
	19		

Cuadro N°4.10 Ubicación de pozos según formación geológica

El cuadro anterior nos indica que exactamente predomina la formación San Salvador sobre la del Bálsamo, siendo muy representativo por estar ubicados un 100% de estos pozos en el material Piroclástitas ácidas y Epiclastitas volcánicas perteneciendo a la formación San Salvador (ver figura 4.10).

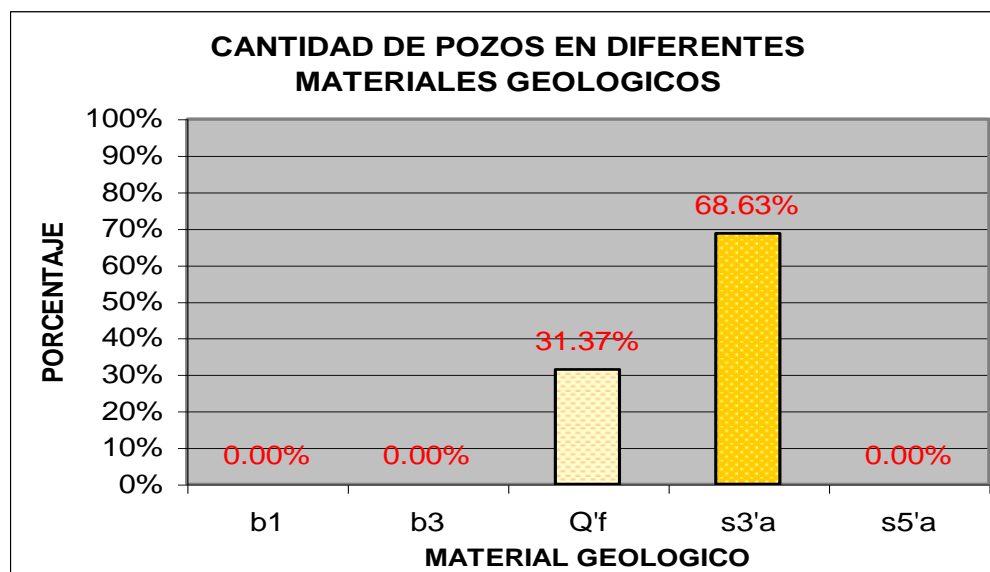


Fig. 4.10 Representación grafica de pozos en diferentes materiales geológicos

6. Los pozos de los cuales se obtuvo información por el Departamento de Hidrogeología y Pozos de ANDA; los representamos conjuntamente en el cuadro N°4.11, obteniéndose los siguientes resultados:

UBICACIÓN DE LOS POZOS	NÚMERO DE POZOS	PORCENTAJE DEL TOTAL	SIMBOLOGÍA DEL MATERIAL CORRESPONDIENTE EN EL QUE SE UBICAN	PORCENTAJE ACUMULADO DEL TOTAL DE POZOS QUE CAEN DENTRO DE LA ZONA DEL MATERIAL
ARMENIA				
AZACUALPA	7	13.73%	s3'a	13.73%
LA PUERTA	3	5.88%	s3'a	19.61%
TRES CEIBAS	2	3.92%	Q'f	3.92%
	7	13.73%	s3'a	33.34%
EL CERRO	-	-	-	-
LAS CRUCITAS	1	1.96%	s3'a	35.30%
EL ROSARIO	1	1.96%	Q'f	5.88%
	4	7.84%	s3'a	43.14%
VALLE NUEVO	-	-	-	-
EL GUAYABO	-	-	-	-
LOS MANGOS	1	1.96%	s3'a	45.10%
EL CONGO	-	-	-	-
CIUDAD ARCE	5	9.80%	Q'f	15.68%
	10	19.61%	s3'a	64.71%
SACACOYO	8	15.69%	Q'f	31.37%
	2	3.92%	s3'a	68.63%
TEPECOYO	-	-	-	-
SAN JULIAN	-	-	-	-
IZALCO	-	-	-	-
TOTAL	51	100.00%		

Cuadro N°4.11 Ubicación de pozos según formación geológica

Del cuadro anterior se aclara lo siguiente:

- a. Que del número total de pozos que ANDA proporcione información y los que ubicó el grupo de tesis es de 82 y la suma de los pozos en el cuadro N°4.11 es 51. La diferencia es que se ha tomado en este cuadro la ubicación de pozos delimitados por las coordenadas Latitud N 285.00-300.00 y Longitud W 440,000-455,000, ya que estas delimitan el mapa geológico de la zona por tal motivo no se representa el restante de pozos que caen fuera de esta delimitación.

- b. Aquellas casillas en las que no se reflejan datos es porque no se pudo obtener información de pozos ubicados dentro de su límite geográfico como El Cerro, Valle Nuevo y El guayabo y no por que no existan pozos.

Observando el cuadro N°4.11 podemos concluir lo siguiente:

- a. Que los pozos están mayormente ubicados en materiales Piroclastitos ácidos y Epiclastitas volcánicas (s3'a) teniendo un 68.63% del total de pozos, el complemento para el 100% se ubican dentro de materiales Depósitos sedimentarios del cuaternario (Q'f). Aunque parece ilógico esta relación teniendo en cuenta que los depósitos sedimentarios tienen una mejor permeabilidad.

- b. La ubicación de los pozos tienen una característica muy particular al observar la limitación entre dos tipos de materiales estos se ubican exactamente dentro de esta frontera. Razón por la cual tienen muy poco rendimiento en su caudal diario; ejemplo de esto son aquellos pozos que se ubican entre materiales de mucha permeabilidad y de poca o muy baja permeabilidad como los de la formación Bálsamo. Esto es muy evidente en el cantón La Puerta.

- c. Otro caso es cuando se encuentran pozos entre materiales de alta permeabilidad (Q'f) y de media permeabilidad (s3'a). Esto se observa en Tres Ceibas y Sacacoyo.
7. En el área de Armenia, geológicamente predominan más los materiales de la formación San Salvador esto nos indica que Armenia esta ubicada en un buen acuífero. El problema se concentra en la forma que se abastecen las comunidades de agua que es por medio de pozos artesanales que son hechos dentro de los limites de las viviendas las cuales están asentadas en las zonas de baja permeabilidad. En el siguiente cuadro se describen los porcentajes de cada material geológico de los cantones Armenia:

CANTONES DE ARMENIA	SIMBOLOGÍA DE LOS MATERIALES QUE SE ENCUENTRAN EN LA ZONA				
	b1	b3	Q'f	s3'a	s5'a
	PORCENTAJE DEL AREA QUE CUBRE EL MATERIAL EN EL CANTÓN				
AZACUALPA	10%	0%	0%	90%	0%
LA PUERTA	60%	10%	0%	30%	0%
TRES CEIBAS	3%	20%	45%	32%	0%
EL CERRO	25%	55%	0%	20%	0%
LAS CRUCITAS	0%	0%	0%	100%	0%
EL ROSARIO	0%	0%	15%	55%	30%
VALLE NUEVO	0%	0%	0%	100%	0%
EL GUAYABO	0%	0%	0%	50%	50%
LOS MANGOS	0%	0%	0%	75%	25%
PORCENTAJE TOTAL DEL MATERIAL EN LA ZONA DE ESTUDIO	24%	10%	15%	51%	0%
PORCENTAJE TOTAL DEL MATERIAL EN LA ARMENIA	11%	9%	7%	61%	12%

Cuadro N°4.12 Descripción de materiales predominante en Armenia

Los resultados del cuadro N°4.12 en la penúltima fila indican que aproximadamente más del 65% del área de la zona de estudio está cubierto por material de alta permeabilidad. El problema se basa específicamente en la mal ubicación de los pozos.

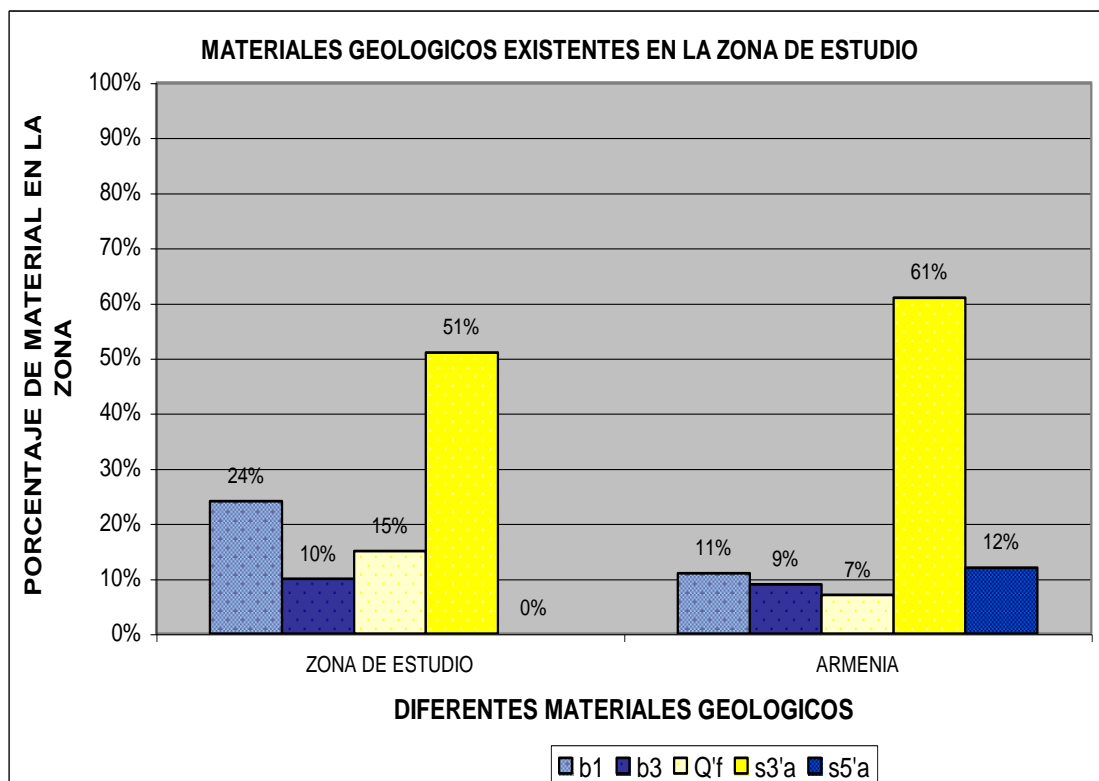


Fig. 4.11 Materiales geológicos predominantes en Armenia

8. Se encuentran dos áreas de drenaje superficial, la primera abarca solamente el cantón La Puerta que está ubicado al occidente de los otros dos cantones esta área es denominada como Microcuenca del Río Banderas que abarca el Río Los Lagartos; los cantones Azacualpa y Tres Ceibas es abarcada por una subcuenca del Río Sucio donde se encuentra el Río Copapayo.

9. Analizaremos los valores del balance hidrológico de las dos cuencas siguiendo el siguiente procedimiento:

a. Calcularemos la densidad poblacional de la zona de estudio:

CANTÓN	Área (Km ²)	Población (Personas)	Densidad Poblacional (Personas/Km ²)
AZACUALPA	3.50	608	174
TRES CEIBAS	15.14	6840	452
LA PUERTA	7.67	725	95

Cuadro N°4.13 Cálculo de la densidad poblacional

b. Tomaremos el dato mayor por ser el más desfavorable, que es de 452 personas/KM², a continuación calculamos el caudal para las poblaciones de cada cuenca:

CUENCA	Área (Km ²)	Densidad Poblacional (Personas/Km ²)	Población (Personas)	Dotacion (L/P/D)	CAUDAL (M ³ /AÑO)
MICROCUENCA DEL RIO BANDERAS	30.80	452	13921.6	75	381,104
SUB-CUENCA DEL RIO SUCIO	101.01	452	45656.52	75	1,249,847

Cuadro N°4.14 Cálculo del caudal para cubrir demanda de agua

c. Si el caudal de la Sub-cuenca del Río Sucio es de 62,222,776 M³/año teniendo un rendimiento seguro (70%) de 43,555,943 M³/año y obteniendo el 33.7% que corresponde al porcentaje de demanda de agua para uso domestico^{4.3} que es igual a 14,678,353 M³/año; al comparar

^{4.3} MARN, Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales (2000). Estado del Medio Ambiente. El Salvador.

este caudal con el requerido que es de 1,249,847 M³/año, podemos concluir que existe suficiente agua para abastecer la zona de la sub-cuenca del Río Sucio (ver figura 4.12).

d. La oferta de la Micro-cuenca del Río Banderas es de 19,558,000 M³/año teniendo un rendimiento seguro (70%) de 13,690,600 M³/año si obtenemos el 33.7% que corresponde al porcentaje de agua para uso doméstico^{4.4}: 4,613,732 M³/año; al comparar este caudal con el requerido que es de 381,104 M³/año podemos concluir que existe suficiente agua para abastecer la zona (ver figura 4.12).

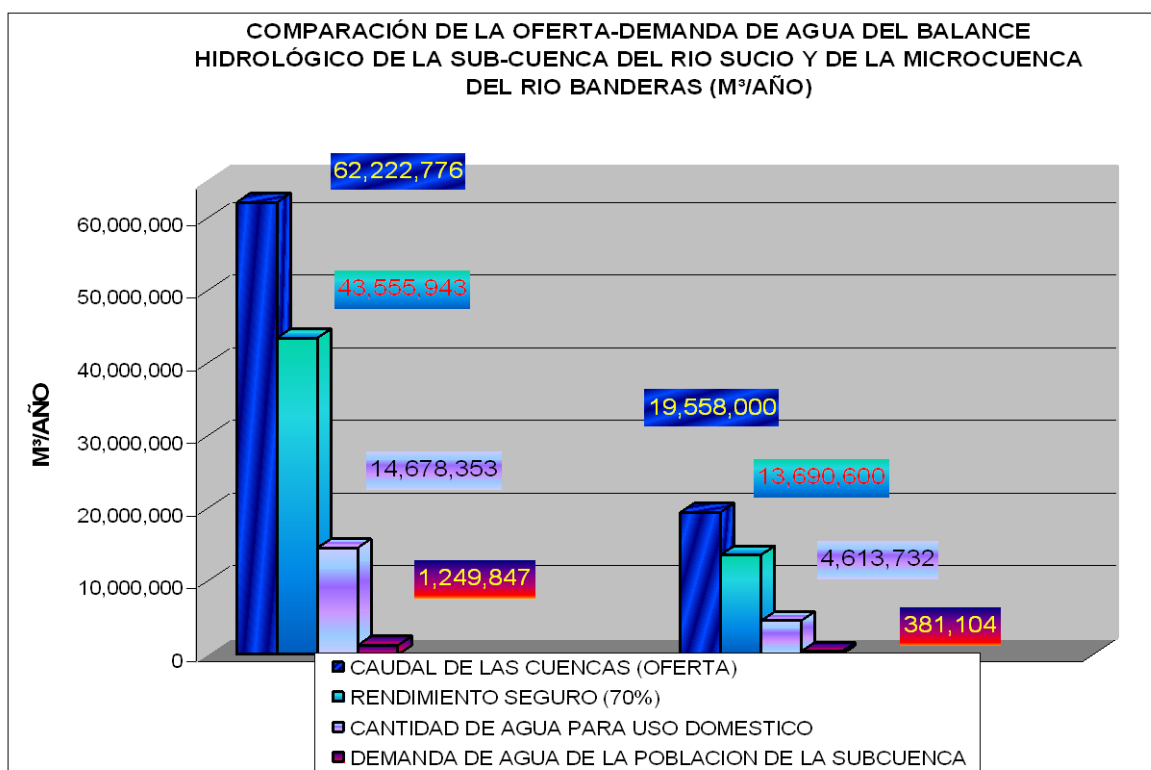


Fig. 4.12 Comparación de la oferta-demanda de agua de los balances hidrológicos de la zona de estudio

^{4.4} MARN, Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales (2000). Estado del Medio Ambiente. El Salvador.

10. Apoyándonos en los siguientes cuadros y al reporte de perforaciones 2000, SA de CV, evaluaremos el acuífero de la zona de estudio, por medio de la conductividad hidráulica para diferentes materiales.

Clasificación Litológica			VALORES DE CONDUCTIVIDAD HIDRÁULICA K (m/día)
Caliza arcillosa	Porosidad	2%	8.3×10^{-5}
Caliza	Porosidad	16%	2.2×10^{-3}
Arenisca limosa	Porosidad	12%	1.2×10^{-1}
Arenisca de grano grueso	Porosidad	12%	9.2×10^{-1}
Arenisca	Porosidad	29%	2.0
Arena muy fina			8.3
Arena de grano medio			2.2×10^2
Arena de grano grueso			2.6×10^3
Grava			3.6×10^4
Arcilla monmorolonítica			10^{-5}
Arcilla caolinítica			10^{-3}

Cuadro N°4.15 Valores de la conductividad hidráulica en función de los distintos materiales

Conductividad Hidráulica (m/día)	Tipo de Terreno	Clasificación	Capacidad de drenaje
10 ⁴	Grava limpia	Buenos acuíferos	Drenan bien
10 ³	Arena limpia mezclada con grava		
10 ²			
10			
1			
10 ⁻¹	Arena fina, arena arcillosa, mezcla de arena, limo y arcilla, arcillas estratiformes	Acuíferos pobres	Drenan mal
10 ⁻²			
10 ⁻³			
10 ⁻⁴			
10 ⁻⁵	Arcillas no meteorizadas	Impermeables	No drenan
10 ⁻⁶			

Cuadro N°4.16 Valores de la conductividad hidráulica en función de los distintos materiales

La conductividad hidráulica se define como “el caudal de agua que se infiltra a través de una sección de terreno unidad, bajo la carga producida por un gradiente hidráulico unitario”. Esta propiedad depende de la naturaleza de los materiales del medio acuífero, el tamaño y disposición de los poros, el tipo de estratigrafía y grado de compactación de los materiales que conforman el estrato saturado, y de las características intrínsecas del fluido, como la viscosidad. Hay que agregar que la zona no saturada de los suelos próximos al acuífero posee una conductividad hidráulica, solo que según observaciones la conductividad hidráulica asociada con flujos no saturados

es más pequeña que la asociada a flujos saturados, ya que cuanto más pequeño es el grado de saturación más pequeña es la conductividad. Al desconocer exactamente el espesor de la zona saturada, la conductividad hidráulica es obtenida a partir de pruebas de bombeo en pozos, de los cuales se obtiene la transmisividad, para luego dividirla entre el tamaño de la rejilla, la cual es ubicada en el fondo de los pozos perforados^{4.5}

La magnitud del flujo de las aguas en el acuífero depende principalmente de la conductividad hidráulica, aunque también depende de la topografía del lugar. De aquí que la verificación de la conductividad hidráulica en campo se puede calcular introduciendo en los pozos que penetran el acuífero en estudio, una sustancia colorante llamada trazadora, con la cual se mide el tiempo que tarda en aparecer en un punto más bajo o próximo. El empleo de sustancias trazadoras se ha limitado solamente a distancias pequeñas de unos pocos metros, y los resultados solo son aproximados^{4.5}.

El movimiento del agua se debe básicamente a la acción de la gravedad. Con esto la pendiente del terreno influye en la dirección y velocidad del flujo. A raíz de esto los expertos definen el concepto de gradiente hidráulico.

Se define la conductividad hidráulica como el caudal que se filtra a través de una sección vertical de terreno de ancho unidad y altura igual a la del acuífero saturado, bajo gradiente unidad y temperatura constante.

La medición en campo de la conductividad hidráulica se hace a partir de pozos excavados o perforados. Puesto que se desconoce exactamente el espesor de la zona saturada, la transmisividad es calculada

^{4.5} Metodología para la evaluación de la vulnerabilidad de las aguas subterráneas aplicadas en el valle Zapotitán.2002. Mario E. Escobar A. Tesis UCA.

aproximadamente a partir de rejillas que tienen una sección vertical determinada, que son ubicadas en el fondo de pozos perforados. Medida la transmisividad, la conductividad hidráulica se obtiene de despejarse de la ecuación:

$$T = K * b.$$

Donde:

T: transmisividad (m² / día)

K: conductividad hidráulica (m / día)

b: sección vertical de rejilla o espesor del acuífero saturado (m).

Del reporte de Perforaciones 2000 conocemos los siguientes datos:

- ✓ La transmisividad es = 1,119.36 GPD/pie ≈ 14 M³/día/M.
- ✓ El caudal máximo para no dejar seco la rejilla es de 93 Galones Por Minuto (GPM) para un nivel dinámico de 160 pies.
- ✓ Coeficiente de almacenamiento = 0.014
- ✓ Abatimiento para 93 GPM = 111 pies.

Con los datos anteriores iniciaremos los diferentes cálculos así:

Altura de Rejilla (b) = Abatimiento – Altura de seguridad

Altura de Rejilla (b) = 111 – 10 pies = 101 pies ≈ 33 M.

Al despejar de la ecuación de transmisividad, la conductividad hidráulica tenemos $K = T/b$.

Al sustituir los datos conocidos obtenemos:

$$K = \frac{14 \text{ M}^3/\text{día}/\text{M}}{33 \text{ M}} = 0.42 \text{ M}/\text{día}.$$

Relacionando el valor de conductividad hidráulica del acuífero perforado en el cantón Tres Ceibas en el cuadro N°4.15 y 4.16 se concluye lo siguiente:

- a. El valor calculado por nosotros esta dentro del rango de 0.12 a 0.92 m/día (ver cuadro N°4.15), correspondiéndole una porosidad del 12% y clasificándose litológicamente en materiales Arenisca Limosa y Arenisca de Grano Grueso.
- b. Al referirnos al cuadro N°4.16, la conductividad cae en el rango de 1 a 0.1 m/día, clasificando el terreno en arena limpia mezclada con grava y arena fina y arcillosa; mezcla de arena, limo y arcilla; y arcillas estratiformes.
- c. La clasificación del acuífero es entre bueno y pobre; y su capacidad de drenaje es intermedia, entre drenar bien y mal.
- d. El valor de porosidad esta dentro del rango medio y pertenece a las rocas sedimentarias. Esta clasificación la hacemos con ayuda de los siguientes datos:

Tipo de Roca	Porosidad en %
Roca Ígnea	0.4-3.84
Roca Metamórfica	0.4-2.10
Roca Sedimentaria	1.9-31.0

Cuadro N°4.17 Tabla de porosidad

- e. A continuación presentamos en el siguiente cuadro datos de conductividad hidráulica calculados por el Departamento de Hidrogeología y Pozos de ANDA. Estos datos tienen coordenados y

estos sirven para reforzar la interpretación de los resultados en los ítem del 1 al 4, más precisamente la conductividad hidráulica del punto 740.

IDENTIFICAD OR DE PUNTO	COORD X (m)	COORD Y (m)	COND. HIDRAUL. (m/día)
760	453200.000	293250.000	13.666
764	453300.000	291980.000	19.788
765	453950.000	291400.000	9.385
740	448383.000	293280.000	0.456

Cuadro N°4.18 Conductividades hidráulicas de la zona de estudio

Si observamos las coordenadas de los cuatro puntos anteriores todos pertenecen al cantón Tres Ceibas.

f. El coeficiente de almacenamiento que tenemos es de $0.014 \approx 1.4\%$, clasificándose como un acuífero libre ($S = 1$ a 35%).

g. Analizando el perfil del pozo en el cuadro N°3.10 tenemos solamente tres tipos de materiales los cuales son: Sedimento Aluvional, Piroclásticos y Lava. Observamos que quienes predominan más son los primeros dos y exactamente son los mejores materiales para un acuífero, al buscar la profundidad del nivel dinámico (160 pies) la descripción litológica encontramos que a esta profundidad encontramos lava la que se considerada como una roca compacta y resistente; y su porosidad es casi nula. Ahora la forma en que sucede esto es que la lava puede almacenar agua cuando esta fracturada.

h. Se detallaran diferentes puntos según la litología de cada uno, esta información fué proporcionada por ANDA.

IDENTIFICADOR DE PUNTO	COORDENADA (X)	COORDENADA (Y)	LITOLOGÍA
LT 1	453,280	290,367	Piroclastitos
LT 2	452,605	286,843	Piroclastitos
LT 3	452,633	286,281	Piroclastitos
LT 4	452,593	287,280	Piroclastitos
LT 5	453,000	288,795	Sedimentos
LT 6	454,973	288,251	Sedimentos
LT 7	448,000	289,500	Piroclastitos
LT 8	447,110	289,159	Piroclastitos
LT 9	448,518	287,408	Piroclastitos
LT 10	449,082	286,677	Piroclastitos
LT 11	450,113	286,539	Piroclastitos
LT 12	452,177	290,019	Piroclastitos
LT 13	451,030	287,665	Piroclastitos
LT 14	447,929	284,185	Piroclastitos
LT 15	453,302	290,405	Piroclastitos
LT 16	443,984	296,583	Piroclastitos
LT 17	445,025	297,106	Piroclastitos
LT 18	445,298	293,466	Piroclastitos
LT 19	448,228	293,020	Piroclastitos
LT 20	448,383	293,280	Sedimentos
LT 21	444,240	292,976	Piroclastitos
LT 22	441,036	296,962	Piroclastitos
LT 23	443,800	295,204	Piroclastitos
LT 24	444,817	296,716	Piroclastitos
LT 25	444,856	296,654	Piroclastitos
LT 26	445,224	294,423	Piroclastitos
LT 27	444,822	296,319	Piroclastitos
LT 28	444,068	295,190	Piroclastitos
LT 29	445,055	296,791	Piroclastitos
LT 30	441,631	293,035	Piroclastitos
LT 31	445,428	291,360	Piroclastitos

Cuadro N°4.19 Litología de diferentes puntos en la zona de estudio

IDENTIFICADOR DE PUNTO	COORDENADA (X)	COORDENADA (Y)	LITOLOGÍA
LT 32	454,523	298,120	Piroclastitos
LT 33	454,141	297,330	Piroclastitos
LT 34	453,431	296,925	Piroclastitos
LT 35	454,253	296,411	Sedimentos
LT 36	453,395	297,062	Piroclastitos
LT 37	447,707	294,986	Piroclastitos
LT 38	448,316	295,324	Sedimentos
LT 39	453,618	297,806	Piroclastitos
LT 40	453,206	298,058	Piroclastitos
LT 41	452,911	297,754	Piroclastitos
LT 42	452,744	297,777	Piroclastitos
LT 43	453,073	297,413	Piroclastitos
LT 44	452,427	297,244	Piroclastitos
LT 45	451,904	297,634	Piroclastitos
LT 46	451,908	297,206	Piroclastitos
LT 47	451,980	296,697	Sedimentos
LT 48	450,727	296,421	Sedimentos
LT 49	449,637	295,992	Sedimentos

Cuadro N°4.19 Litología de diferentes puntos en la zona de estudio.

(Continuación)

De esta información encontramos que el 16% de los pozos están ubicados en materiales Sedimentarios y el 84% restante se encuentran en Piroclastitos estos materiales pertenecen a la formación San Salvador (ver figura N°4.13).

El problema se concentra más por la ubicación poblacional; la cual ubican los pozos dentro del limite de las viviendas los cuales se ven afectados por lo siguiente:

- i. Ubicación de pozos en los limites fronterizos de las dos formaciones geológicas.

- ii. Los pozos están ubicadas mayormente en materiales Piroclasticos que tienen una permeabilidad menor a los Sedimentarios.
- iii. El punto anterior se produce por dos factores:
 - ✓ La ubicación de los asentamientos poblacionales y
 - ✓ La topografía ondulada de la zona en estudio.

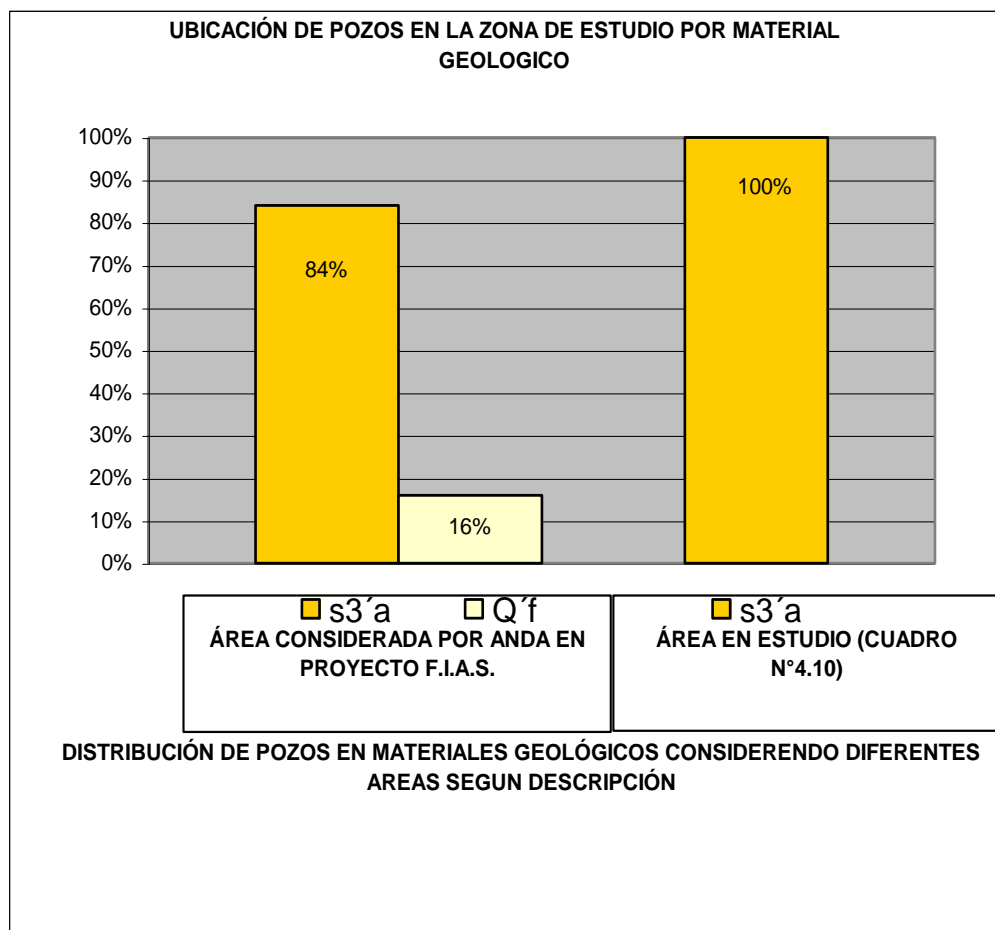


Fig. 4.13 Ubicación de pozos excavados según material geológico

4.2.1 ESTUDIOS GEOFÍSICOS

A nivel de investigaciones de trabajo de graduación se recomienda realizar en cada cantón un estudio geofísico por medio de sondeos eléctricos verticales (sev), con ayuda de la Administración Nacional de Acueductos y Alcantarillados (ANDA) con su Departamento de Hidrogeología y Pozos, el cual esta ejecutando diferentes investigaciones en otras zonas del país para proyectos de esa institución, ya que ellos cuentan con el equipo para realizar dichas pruebas. Estas pruebas se utilizan para determinar las características hidrogeológicas del sub-suelo, tales como capas permeables e impermeables, su composición litológica y sus espesores.

Los métodos de prospección geofísica, tienen como propósito general la determinación de las variaciones en las características físicas de los diferentes estratos del subsuelo o los contornos de la roca basal que subyace a depósitos sedimentarios.

El método que más se emplea para tales fines es el denominado método de resistividad eléctrica, basado en el hecho que los suelos, dependiendo de su naturaleza, presentan una mayor o menor resistividad eléctrica cuando una corriente es inducida a través del mismo. El método consistente en el empleo de dispositivos eléctricos, los cuales al ponerse unos electrodos en contacto con el terreno envían a su interior señales eléctricas con las cuales se logra medir la magnitud de intensidad de corriente, potencial eléctrico y resistividad eléctrica de los diferentes materiales contenidos en los estratos.

La resistividad eléctrica es medida a diferentes profundidades, logrando esto con la variación de la distancia entre electrodos, consiguiendo que la corriente eléctrica penetre a mayor profundidad; además se mide la resistividad a una

misma profundidad a lo largo de un perfil, manteniendo constante la distancia entre electrodos y desplazando todo el equipo sobre la línea de estudio.

Según la práctica, las rocas duras, las rocas suaves y las gravas compactas presentan mayor resistividad, mientras que el caso contrario lo presentan los suelos suaves saturados. Un dato importante es que la conductividad eléctrica del agua oscila entre 100 a 1000 micro mhos/cm. Con los resultados obtenidos es posible la realización de un perfil de la zona de estudio como el que se presenta en la figura 4.14.

La obtención de resultados de la exploración geofísica nos indicaría con un mayor factor de seguridad la localización más favorable para ubicar nuevas fuentes de abastecimiento (por ejemplo pozos con un caudal determinado, así mismo se conocería el costo que aproximado de la inversión, por conocer la profundidad aproximada del acuífero).

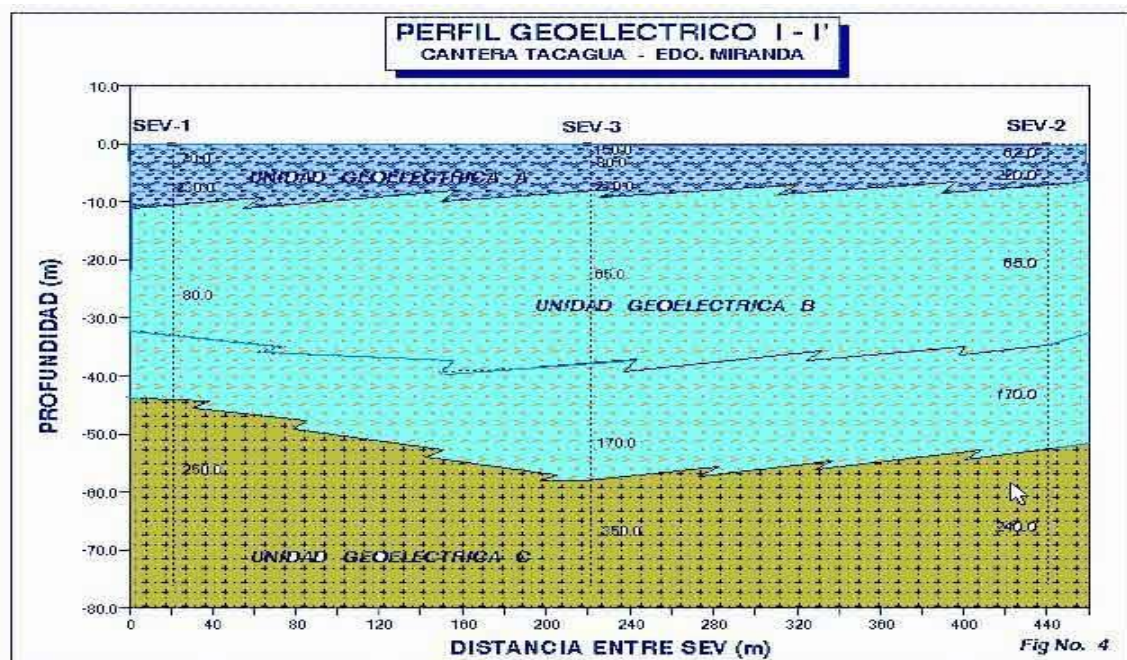


Fig. 4.14 Perfil litológico según exploración por métodos indirectos

4.3 CALIDAD DEL AGUA

4.3.1 CALIDAD BACTERIOLÓGICA DEL AGUA

De acuerdo, a los resultados obtenidos de la evaluación de la calidad del agua que se realizó en nueve pozos excavados ubicados en los cantones Azacualpa, Tres Ceibas y La Puerta, en el capítulo III se llegó a determinar que el agua de las fuentes analizadas no es apta para el consumo humano.

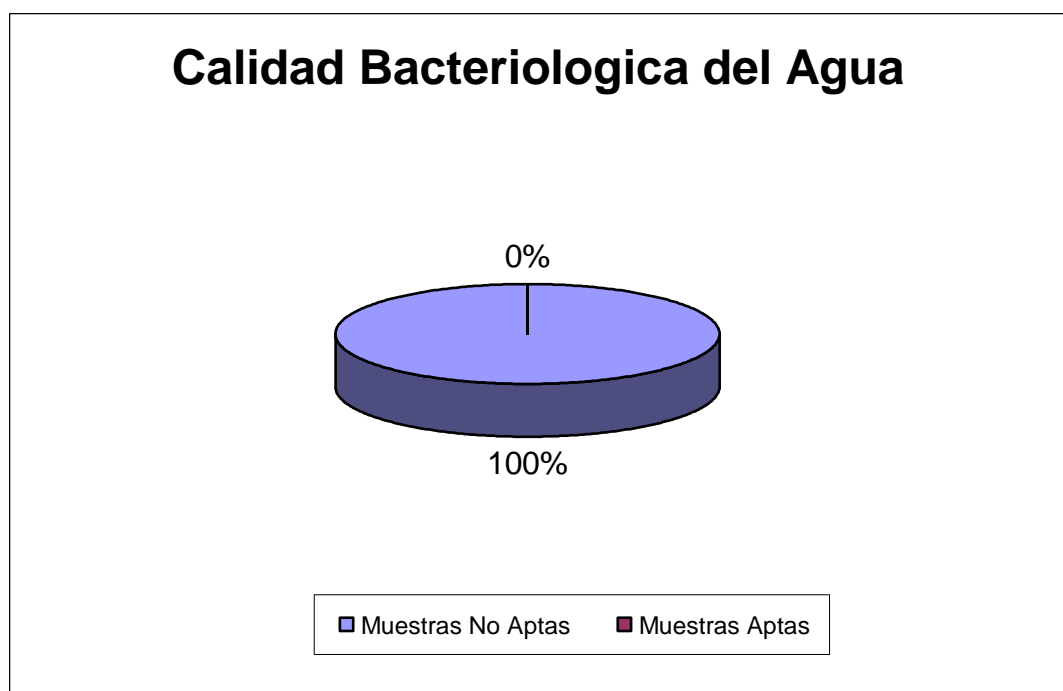


Fig. 4.15 Esquema en porcentaje de las muestras aptas y no aptas para consumo humano según los análisis bacteriológicos.

Teniendo en cuenta que los valores recomendados por la Norma Salvadoreña del Agua Potable son: coliformes totales < 1NMP/100ml y la ausencia de coliformes fecales y E. Coli, la siguiente figura nos da una idea del grado de contaminación del agua de la zona en estudio:

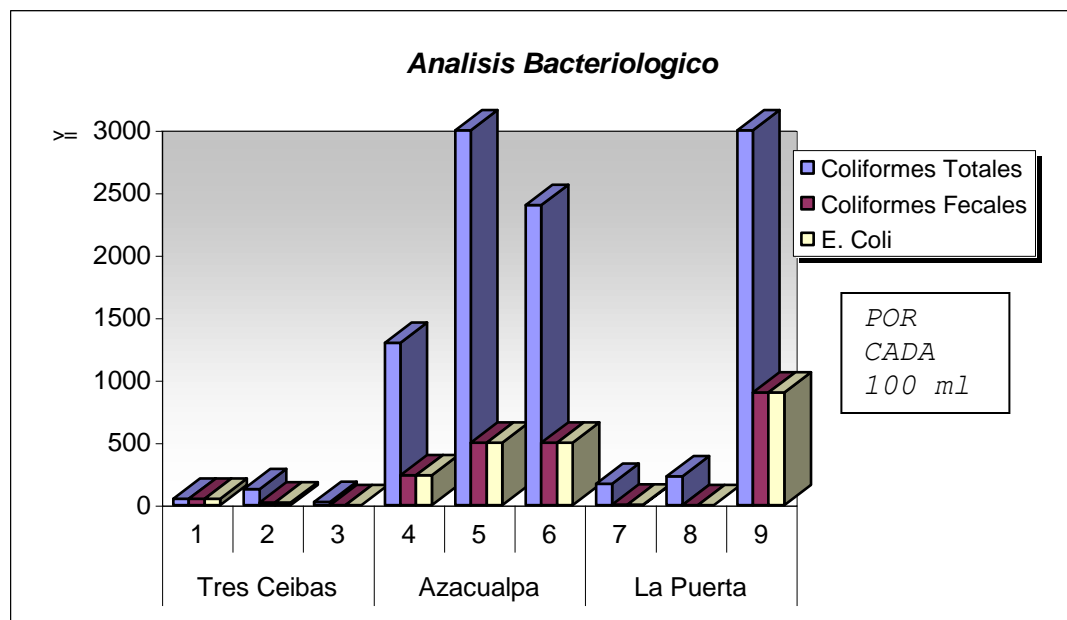


Fig. 4.16 Representación gráfica de resultados de análisis bacteriológica del agua

Los valores de los parámetros analizados resultaron mas bajos en el Cantón Tres Ceibas lo que nos indica que la contaminación en este lugar es menor en comparación con los otros cantones, siendo las fuentes de abastecimiento de agua mas contaminadas las del cantón Azacualpa. Cabe mencionar también que los pozos mas contaminados se localizan cerca de quebradas o ríos en los que fluye agua solamente en invierno.

Si se observa en la figura anterior los coliformes totales están presentes en todas las muestras y existe una igualdad entre los valores de coliformes fecales y E. Coli, lo cual significa que la bacteria E. Coli es la única especie de origen fecal que se logró determinar en dichas muestras. Por lo cual podemos establecer que en promedio solamente el 10.90% del total de coliformes tiene procedencia fecal.

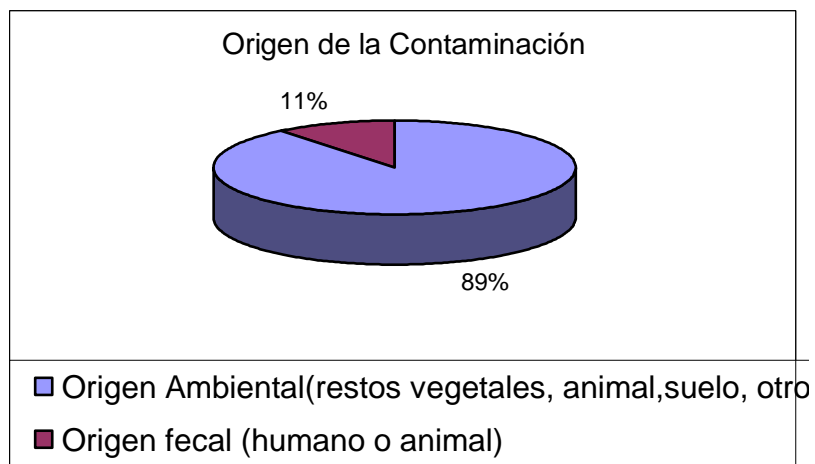


Fig. 4.17 Representación gráfica del origen de la contaminación del agua

➤ Presencia de coliformes totales

La presencia de coliformes fecales nos indica la existencia en el agua de microorganismos que son capaces de fermentar lactosa a temperaturas de 44.0 ó 44.5 C; entre ellas se encuentran los del genero E. Coli, Citrobacter, Enterobacter y Klebsiella entre otros, y son potencialmente capaces de provocar enfermedades en seres humanos.

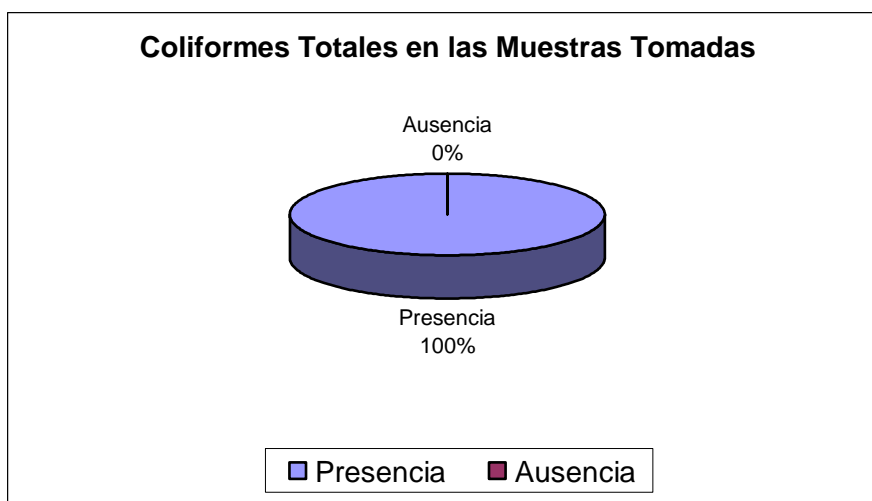


Fig. 4.18 Representación gráfica de las muestras con presencia de coliformes totales

➤ **Presencia de coliformes fecales y E. Coli**

La presencia de Coliformes fecales y E. coli nos indica que el agua esta contaminada con heces fecales humanas o de animales. Los microbios que provocan enfermedades (patógenos) y que están presentes en las heces, causan diarrea, náuseas, cefaleas u otros síntomas. Estos patógenos representan un riesgo de salud muy importante para bebés, niños pequeños y personas con sistemas inmunológicos gravemente comprometidos.

Cabe mencionar que las fuentes donde se obtuvieron las muestras con los valores más elevados de contaminación fecal, se encuentran a menos de 30 metros de quebradas o riachuelos en los cuales fluye agua solamente en invierno; Y dos de estos son pozos comunales de donde se abastecen muchas familias de los alrededores.

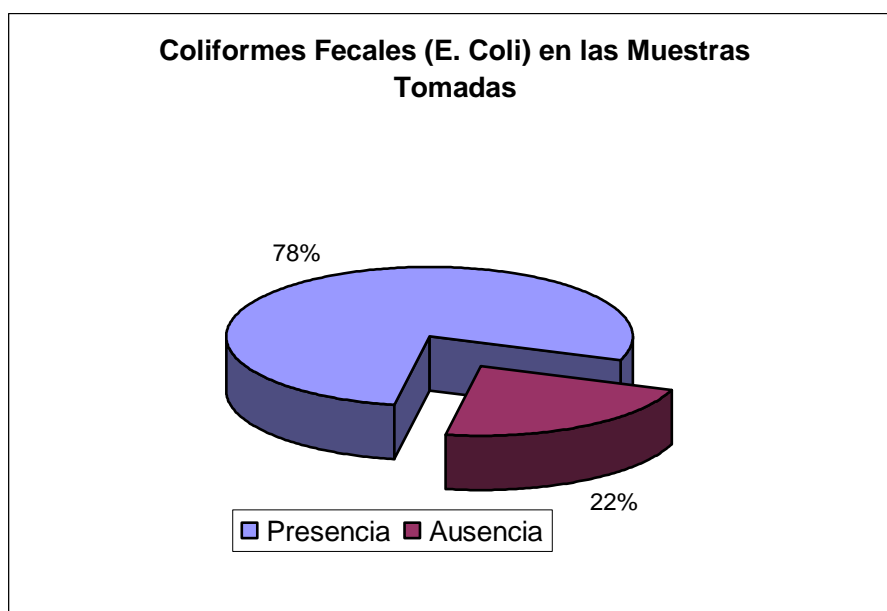


Fig. 4.19 Representación gráfica de las muestras con presencia de coliformes fecales E. Coli

➤ **Factores que influyen para la contaminación**

1. SANEAMIENTO BÁSICO DEFICIENTE:

a. Deficiencia en la cobertura de letrización.

Según la información de coberturas sanitarias que maneja la OPS en El Salvador solamente 1 de cada 4 residentes del área rural cuenta con un sistema de disposición de excretas(letrinas)^{4,6}

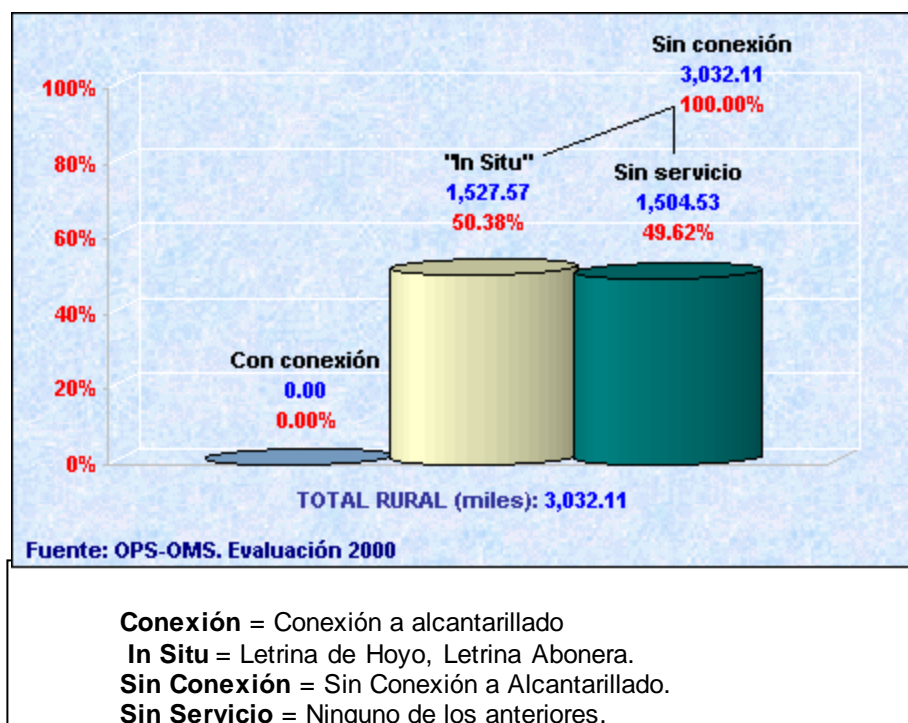


Fig. 4.20 Representación grafica de los factores que influyen en la contaminación

- b. Inadecuados sistemas de disposición de excretas (letrinas de hoyo a menos de 30 mts. de las fuentes de agua con poca profundidad) .
- c. Presencia de animales en las cercanías de los pozos.
- d. Basurales cerca de las quebradas.

^{4,6} <http://www.cepis.ops-oms.org/eswww/eva2000/salvador/informe/inf-01.htm>

2. VULNERABILIDAD A LA CONTAMINACIÓN.

- a. La poca profundidad de los pozos y la buena permeabilidad en la zona, la hacen vulnerable a la contaminación, ya que el tránsito del efluente contaminante fluye más rápido hasta alcanzar el nivel freático.
- b. La cercanía de los pozos a quebradas y riachuelos, facilita el transporte de contaminantes procedentes de otros lugares entre los cuales se puede mencionar: materia fecal humana o animal, materia orgánica e inorgánica producto de la evacuación de los desechos sólidos resultante de las actividades humanas en la zona, pesticidas y fertilizantes que empleados para la siembra de maíz, frijol y la caña de azúcar los cuales pueden ser fácilmente transmitidos a los acuíferos cercanos.

4.3.2 CALIDAD FISICO-QUIMICO DEL AGUA

De acuerdo a los resultados obtenidos del análisis de la conductividad, temperatura, T.D.S., Alcalinidad, y pH de las fuentes de agua muestreadas, todos los parámetros analizados cumplen con la Norma Salvadoreña del Agua Potable.(ver figura 4.21)

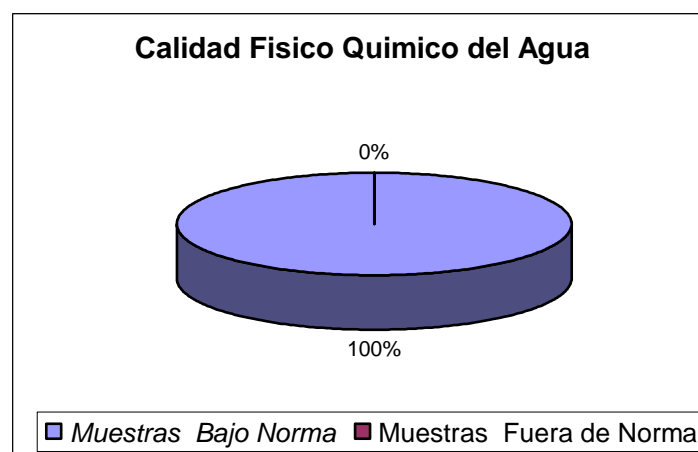


Fig. 4.21 Esquema en porcentaje de las muestras bajo y fuera de norma del agua según análisis físico-químico.

➤ **Estudios físico químico realizado anteriormente**

De un estudio realizado por la A.P.S. una O.N.G. Italiana (año 2001) en la misma zona, se pudo extraer los resultados de los análisis físico-químico de los pozos objeto de nuestro estudio . En las siguientes figuras se describe en porcentaje las muestras que resultaron con parámetros fuera de norma.

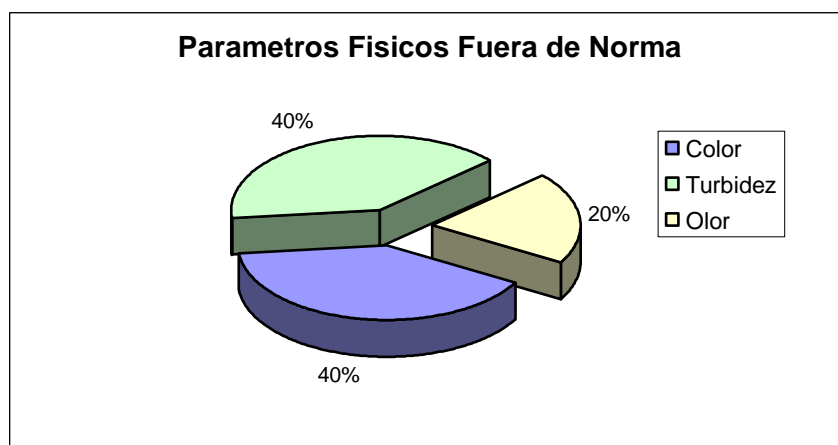


Fig. 4.22 Parámetros físico fuera de norma.

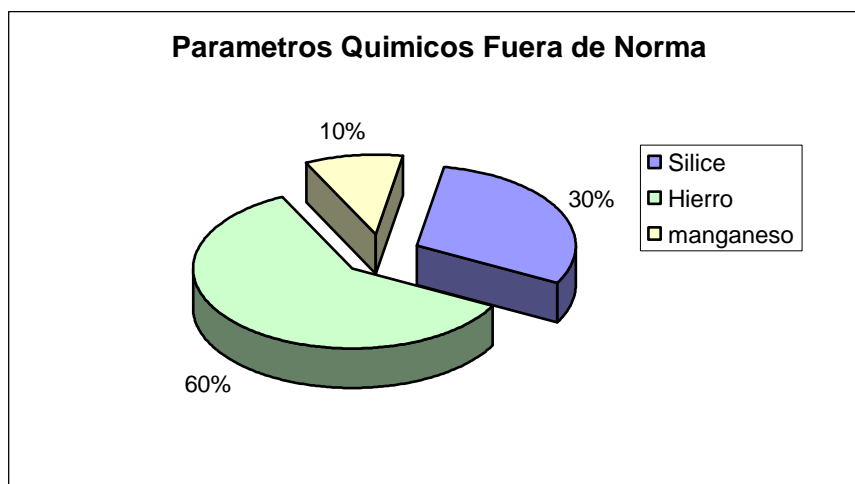


Fig. 4.23 Parámetros químicos fuera de norma.

El color y olor presentes en las muestras de agua tomadas, tiene relación con la presencia del hierro y el manganeso los cuales en sus distintos estados de oxidación pueden dar un color y olor al agua, incluso a bajas temperaturas. Los valores de pH bajos, también tienden a dar color al agua.

La presencia en grandes cantidades de hierro, manganeso, sílice y la turbidez se le puede atribuir a la gran cantidad de materia orgánica e inorgánica presente en el agua, debido a los desechos producidos por la actividad humana o la erosión de los suelos, que son transportados por el agua lluvia hasta alcanzar el nivel freático, así como a la existencia de estos minerales en la corteza terrestre.

CAPÍTULO V
PROPUESTAS PARA
EL MEJORAMIENTO
DEL SERVICIO Y LA
CALIDAD DEL AGUA

5.1. PROPUESTAS PARA REALIZARSE A CORTO PLAZO

A continuación se proponen medidas del tipo correctivas, que deben realizarse inmediatamente pues es un hecho que el 100% de las fuentes de abastecimientos analizadas bacteriológicamente en este estudio no cumplen con las normas de calidad del agua salvadoreña y según el diagnóstico socio-económico solamente un 34.90% de la población encuestada trata el agua que consumen, por ende podrían surgir brotes de enfermedades gastrointestinales.

Las medidas propuestas son:

1. Tratamiento a nivel domiciliario del agua de consumo.
2. Limpieza de pozos excavados.

5.1.1. TRATAMIENTO A NIVEL DOMICILIARIO DEL AGUA DE CONSUMO

Este tipo de tratamiento se puede lograr a través de la eliminación de la turbiedad (filtración) y la eliminación de bacterias en el agua (desinfección domiciliar).

➤ Eliminación de la turbiedad

Para eliminar la turbidez del agua y lograr una mejor desinfección posterior se debe filtrar el agua haciéndola pasar a través de un filtro casero.

Una de las primeras técnicas aplicadas para la depuración de las aguas fue la de filtros lentos de arena (ver figura 5.1). Por medio de su utilización, fue posible eliminar impurezas existentes y reducir drásticamente la cantidad de personas padeciendo enfermedades como el cólera.

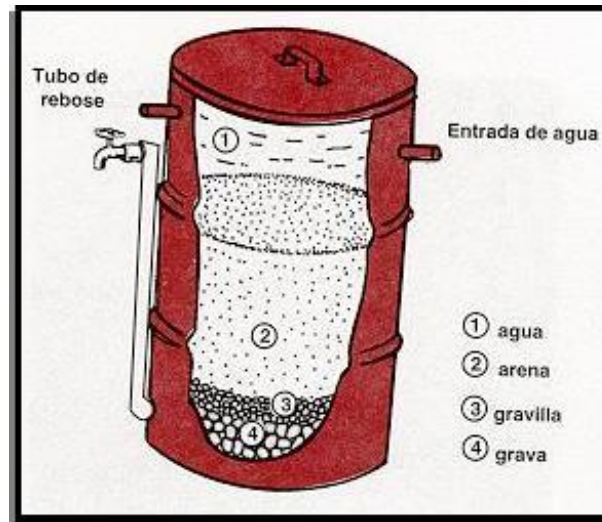


Fig. 5.1. Filtro lento de arena

Este principio para el tratamiento de aguas ha sido adaptado para dar soluciones a pequeña escala, y de uso unifamiliar. De esta forma, aquellas aguas que tengan un aspecto turbio, podrán ser pasadas por materiales filtrantes y lograr mediante ese proceso mejores condiciones. En estos filtros, se desarrollan bacterias colaboradoras útiles para la eliminación de parásitos causantes de enfermedades que podrían tener las aguas turbias a filtrar.

Características.

- Estos filtros se fabrican a nivel casero en recipientes de plástico (barriles), de ferrocemento o de concreto.
- Para que un filtro nuevo pueda eliminar bacterias y virus deberá ponerse a funcionar (de 2 a 3 semanas) antes de que ésta cualidad se desarrolle.
- El filtro no debe usarse como recipiente para el almacenamiento de agua.
- Alrededor del tubo de drenaje, en el fondo del tanque, se colocan 7,5 cm de grava (piedrín), sobre ésta se colocan 5 cm de arena gruesa y sobre ésta, se ubica la arena fina y para eliminar el sabor u olor del agua, puede agregarse una capa de carbón natural.

- Para mantener siempre húmedo el material filtrante, la salida del tubo por el que se sirve el agua filtrada deberá estar por lo menos 5 cm más alto que el nivel superior de la arena.

Cuando la velocidad de la salida del agua disminuye demasiado, es tiempo de darle mantenimiento(lavar los materiales que lo componen).

Si no se tiene filtro casero entonces se deberá pasar el agua a través de un colador hecho de manta de tela muy fina (tela de pañales de niño). Si no se cuenta con este tipo de tela deberá dejar el agua reposando en el recipiente debidamente tapado durante 24 horas para que las sustancias sólidas se asienten y luego se pasa el agua a otro deposito (tratando de no pasar los sedimentos), en donde se desinfectara el agua.^{5.1}

➤ **Desinfección**

▪ **Hervir del agua (Ebullición):**

Este método es el más efectivo, ya que la temperatura alta elimina todos los microorganismos presentes en el agua, y que pueden ser causantes de muchas enfermedades.

Procedimiento:

1. Hervir el agua en una olla con tapadera.
2. Una vez salgan las burbujas, déjela en el fuego por 20 minutos. Si no es posible dejarla tanto tiempo, hiérvala por lo menos 3 minutos, este tiempo es suficiente para matar todos los microbios.
3. Déjela enfriar y luego viértala a recipientes limpios y tapados.

^{5.1} Guía Latinoamericana de Tecnologías Alternativas en Agua y Saneamiento
www.cepis.ops-oms.org/eswww/fulltext/saneami/guia/guia.html

- **Uso de puriagua:**

El puriagua es otro método para purificar (desinfectar) el agua. Consiste en una solución base de Hipoclorito de Sodio al 0.5% que ya viene preparada y se añade al agua para su desinfección. Este es promovido por el Ministerio de Salud Pública a través de las Unidades de Salud las que se encargan de la producción, distribución y la parte educativa para el uso del puriagua en las comunidades.



Fig. 5.2. Presentación de puriagua.

Procedimiento:

1. Filtrar el agua haciéndola pasar a través de un filtro casero, si no se tiene filtro casero entonces se deberá pasar a través de un colador hecho de una manta de tela muy fina (tela de pañales de niño), para eliminar la turbidez del agua y así lograr una mejor desinfección posterior.
2. Aplicar la solución de puriagua al agua, tomando en cuenta las medidas correspondientes, según la cantidad de agua que se desee desinfectar:

3. Luego tape el recipiente y deje reposar por 20 minutos antes de tomarla.^{5.2}

Solución de puriagua	Cantidad de agua
8 gotas	1 litro
1 tapón de envase de puriagua	1 cántaro(16 a 21 botellas)
1½ tapón de envase de puriagua	1 cántaro(26 a 36 botellas)

Cuadro N° 5.1. Relación cantidad de solución por agua a desinfectar

5.1.2. LIMPIEZA DE POZOS EXCAVADOS

Los pozos excavados pueden contaminarse con sustancias que provengan de la superficie, ya sea durante la construcción, reparación o mantenimiento, por el equipo instalado (bomba), o simplemente porque no cuentan con una tapadera apropiada. El Hipoclorito de Calcio es el compuesto químico generalmente utilizado para la desinfección de estos. La desinfección debe realizarse en cualquiera de los siguientes casos:

- Cuando se construye un pozo nuevo, se debe realizar antes del primer uso.
- Cuando se tenga sospecha de que el pozo esta contaminado. Lo cual se puede determinar a través del análisis de la calidad bacteriológica del agua.
- Cuando se realice alguna reparación o un mantenimiento.
- Por rutina, con una frecuencia de 3 a 6 meses entre cada limpieza como mínimo.

La desinfección de pozos involucra el cálculo de la cantidad requerida del compuesto de cloro, la mezcla de una solución de cloro y su aplicación:

Procedimiento:

1. Para medir la cantidad de agua del pozo, se utiliza la formula siguiente:

$$V = 3.14 * d^2 * h / 4$$

^{5.2} MSPAS, Ministerio de Salud Publica y Asistencia Social(1997). El Agua para Tomar. El Salvador.

Donde:

V = Volumen de agua (mts³)

3.14 = constante

d = diámetro del pozo(mts)

h = altura de agua(medido desde el fondo en mts)

Para convertir el volumen de agua de metros cúbicos a litros, multiplíquelo por 1000, ya que: 1 metro cúbico = 1000 litros.

2. Para calcular de la cantidad de cloro a agregar, se utiliza la siguiente formula:

$$\text{Pcloro} = \frac{\text{Vagua} \times \text{Dcloro}}{\text{Ccloro} \times 10}$$

Donde:

Pcloro: Es la cantidad de cloro a agregar, expresada en gramos.

Vagua: Es el volumen de agua que se va a desinfectar, expresado en litros.

Dcloro: Dosis de cloro a agregar en el agua a desinfectar, expresada en mg/L.

Normalmente se necesitan 50mg de cloro activo al 100% por litro de agua para garantizar la eliminación de los microorganismos presentes en el pozo.

Ccloro: Concentración del producto de cloro expresado en porcentaje por el fabricante, en la formula hay que colocar sólo el número.

Ej: 65 cuando sea 65% ó 70 cuando sea 70%

10: Es un factor de conversión que siempre debe de colocarse para que el resultado final de en gramos de cloro.

3. Si existen recursos, vaciar el pozo para proceder al limpieza de las paredes internas del pozo. De lo contrario, agregar la solución de cloro sobre el pozo lleno.

4. Mezclar la solución de cloro con el agua del pozo, utilizando una cuerda con una piedra limpia amarrada en un extremo, moviéndola hacia arriba y abajo.
5. Deje que la solución de cloro permanezca en el agua durante 24 horas.
6. Proceda a extraer el agua para consumo hasta que esta, no tenga sabor u olor a cloro.^{5.3}

5.2. PROPUESTAS PARA REALIZARSE A MEDIANO PLAZO

Las medidas propuestas a continuación son del tipo preventivas con las que se quiere lograr minimizar la contaminación de las fuentes de abastecimiento y están relacionadas con el saneamiento básico, que resulto ser el principal factor de contaminación, sumado a la vulnerabilidad de la zona donde se encuentran suelos con buena permeabilidad y con capacidad de drenaje intermedia (entre drenar bien y drenar mal), lo que facilita el transito del efluente contaminante hasta alcanzar el nivel freático. Estas propuestas son:

1. Mejoramiento y protección de pozos.
2. Eliminación de excretas y disposición de desechos líquidos.
3. Disposición de desechos sólidos.

5.2.1 MEJORAMIENTO Y PROTECCIÓN DE POZOS

Se sabe que el agua de los pozos excavados esta expuesta a peligrosos agentes de contaminantes procedentes de la superficie. Ante estos riesgos de contaminación, es que se deben tomar medidas de protección para los pozos excavados:

- a) Tapadera: Cubre la parte superior del broquel del pozo impidiendo que penetre polvo, basura, animales, agua lluvia y aquella que se derrama en la precolación.

^{5.3} MARN, Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales(1999). Tratamiento del Agua. El Salvador.

- b) La acera: Cubre el área mas cercana al broquel del pozo, evitando que se filtra agua contaminada.
- c) El canal de desagüe: Impide que el agua se estanque en las cercanías del pozo, conduciéndola a sitios de reutilización tales como piletas y huertos.
- d) La bomba: Reduce el esfuerzo de extracción del agua, y limita la manipulación directa del agua.^{5.4}

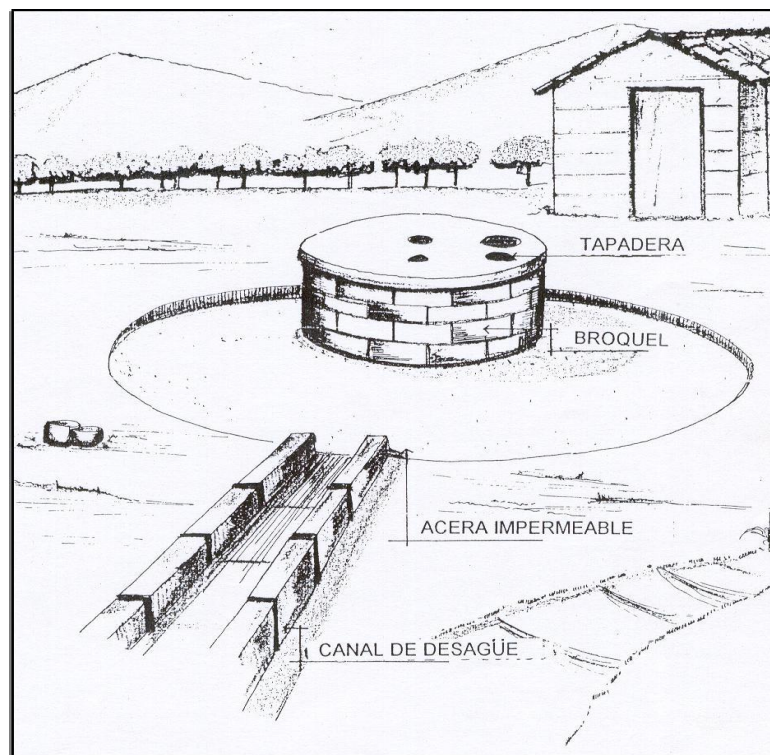


Fig. 5.3. Componentes superficiales para protección de pozos

En el mercado existen varios tipos de estas bombas, las mas comúnmente usadas son:

^{5.4} MSPAS, Ministerio de Salud Publica y Asistencia Social(1998). Manual de Tecnologías Apropriadas para Mejoramiento de la Calidad del Agua a Nivel Rural (Mejoramiento de Pozos) . El Salvador.

➤ **Bomba manual de mecate**

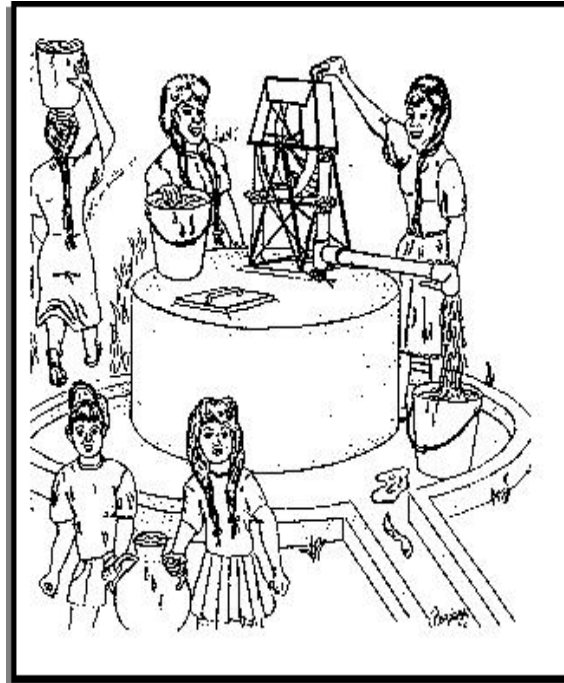


Fig. 5.4. Bomba manual de mecate

Esta bomba manual es utilizada para extraer agua del subsuelo, tiene como elemento fundamental un mecate auto enlazado o "sinfín", por medio del cual y accionándolo en "circuito cerrado", hace posible mover hasta la superficie porciones continuas de agua. (ver figura 5.4)

La bomba de mecate se puede utilizar en pozos comunales o en pozos de uso individual familiar.

La profundidad máxima a la que se han instalado comúnmente estas bombas es de 40 m (50 varas). Sin embargo, diseños especiales tienen capacidad para instalarse a los 80 m.

Características

- El mecate tiene dispuestos pequeños pistones plásticos en toda su extensión, los que tienen en el mecate una posición definida; ubicación lograda por medio de simples nudos (uno antes y otro después).
- El movimiento continuo del mecate, es accionado en la superficie por la rotación que manualmente, con un maneral, puede dársele a una rueda.
- La rueda se fabrica haciendo un aro base o circuito metálico. Esa rueda utiliza pedazos de hule (cejas de llanta en desuso) como medio de tracción o de arrastre del mecate.
- En el fondo del pozo se coloca una guía, fabricada en cerámica o concreto, con el propósito de facilitar, sin roce o desgaste, la entrada del mecate en la tubería de impulsión.
- Debe engrasarse el eje de la rueda periódicamente y cambiarse el mecate al año o a los tres años, según las condiciones de uso.^{5.5}

➤ **Bomba manual catracha (centroamericana)**

Consiste en un cuerpo metálico, en hierro fundido que se coloca en la parte superior del pozo por medio de la cual se descarga el agua extraída del subsuelo.

El pistón es movido con la palanca, desde la superficie, ante la acción directa de una varilla de acero; utiliza tuberías de hierro galvanizado como elementos de impulsión para conducir el agua hasta la superficie, un cilindro metálico que se coloca bajo el nivel freático, el cual alberga el pistón y la válvula de pie (check). (ver figura 5.5)

^{5.5} Guía Latinoamericana de Tecnologías Alternativas en Agua y Saneamiento
www.cepis.ops-oms.org/eswww/fulltext/saneami/guia/guia.html



Fig. 5.5. Bomba manual catracha

Durante el proceso de instalación de estas bombas es necesario que junto con el acero de refuerzo para la losa de concreto de soporte, se coloque una pieza metálica ("araña") con tornillos, los que deben estar dispuestos de forma tal que el cuerpo metálico superior de la bomba pueda fijarse apropiadamente.

Características:

- El cuerpo superior externo de la bomba deberá estar atornillado a la "araña" durante el proceso de colocación del concreto en la losa de soporte con el propósito de mantener la verticalidad o escuadra requerida.
- El cilindro de esta bomba se coloca bajo el nivel freático y por lo menos 30 cm sobre el nivel del fondo del pozo.

- El empaque del pistón es de cuero tratado.
- La medición correcta de la profundidad del pozo es muy importante para definir la longitud requerida por la tubería de impulsión y por la varilla. Esto es de cuidado porque la tubería llega hasta el nivel por donde se hará la descarga del agua y la varilla debe continuar hacia arriba, un trecho adicional, para poderse fijar en los dispositivos que con ese propósito tiene la palanca.
- La apropiada instalación de estas bombas se verifica con los siguientes dos pasos: cuando al subir la palanca lentamente, la arandela del ecualizador (elemento de conexión con la palanca) pega con el "bushing" de la tapa en el cuerpo superior de la bomba, y cuando al bajar la palanca, su lomo inferior pega con el tope de hule existente también en el cuerpo superior de la bomba.^{5.6}

➤ **Bombas eléctricas**

Considerando que el 51.34% de las personas que habitan la comunidad en estudio se abastecen de pozos comunales, y que en la zona de estudio se cuenta con el servicio de red de electricidad del 100%, se propone la instalación de bombas de succión no sumergibles del tipo comercial, de ½ hp para pozos de profundidades menores de 15 metros y de 1 hp para pozos de mayor profundidad (hasta 30 metros), con su instalación completa de fontanería, electricidad y panel de control para la bomba.

Para el almacenamiento se puede utilizar un tanque elevado (de 2 a 3 metros) cuyas dimensiones, dependerán del numero real de personas que serian abastecidas. El mismo criterio se tomaría para decidir, aumentar la profundidad del pozo y asi aumentar el rendimiento de este. El tanque de almacenamiento

^{5.6} Guía Latinoamericana de Tecnologías Alternativas en Agua y Saneamiento
www.cepis.ops-oms.org/eswww/fulltext/saneami/guia/guia.html

puede ser construido de concreto o puede utilizarse tanques prefabricados. El bombeo deberá ser continua hasta llenar el tanque; y de allí el agua sería servida a las personas por grifos o mangueras con su correspondiente válvula.

Cantón	No Pozo	Propiedad de:
Tres Ceibas	17	Yanira Herrera Rivas
Azacualpa	25	Juana Díaz Pérez
	23	Comunidad
La Puerta	7	Centro Escolar Cantón La Puerta

Cuadro N° 5.2. Pozos propuestos para la instalación de bombas eléctricas

Además de las contaminación superficial las aguas de pozos excavados principalmente los poco profundos, también se pueden contaminar subterráneamente por líquidos percolados provenientes de la superficie. Es por ello que se debe tener en cuenta la protección interna de las paredes del pozo:

- e) Paredes del pozo: es necesario proveer a los pozos de paredes internas impermeables (tuberías o alcantarillas de concreto, ladrillo repellado, piedra, etc), y aunque el nivel del agua se encuentre a poca profundidad se debe introducir las paredes lo mas posible y recubrir o sellar las juntas de modo que no se filtre ningún liquido contaminante.(ver figura 5.6)

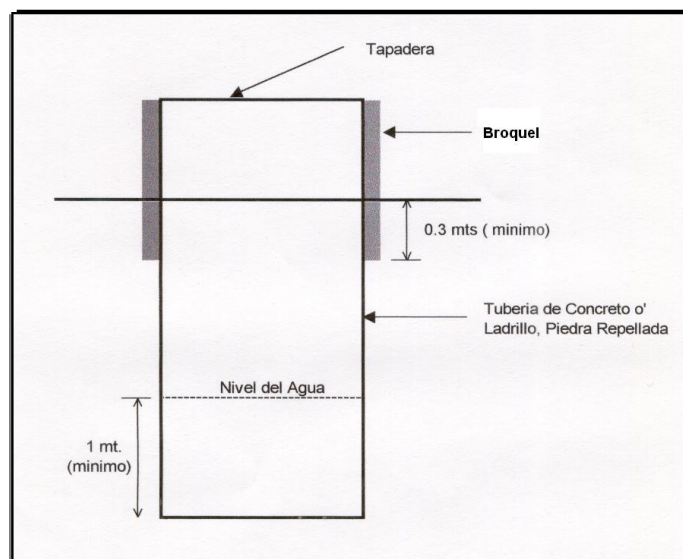


Fig. 5.6. Paredes de pozo impermeables

5.2.2 ELIMINACIÓN DE EXCRETAS Y DISPOSICIÓN DE DESECHOS LÍQUIDOS

Se proponen la construcción de dos tipos de letrina y resumideros:

Tipo de letrina	Tipo de resumidero	Recomendada en :
Letrina Abonera Seca	Filtro Resumidero	Donde el nivel freático se encuentre poco profundo, en donde la letrina este ubicada a una distancia menor de 30mts de las fuentes de abastecimiento y la permeabilidad del suelo sea buena.
Letrina de hoyo modificada	Pozo Resumidero	Donde el nivel freático este profundo y exista una distancia mínima de 30mts entre la letrina y la fuentes de abastecimiento de agua. Además la permeabilidad del suelo debe ser baja (para la letrina de hoyo).

Cuadro N° 5.3. Propuestas para la eliminación desechos sólidos

➤ **Letrina abonera seca familiar**

La LASF consiste en una taza o asiento especial (con separación para heces y orina) y poseedora de dos cámaras recipientes de material impermeables que se usan en forma alterna; una se está llenando mientras la otra descompone el material previamente depositado.(ver figura 5.7 y anexo 7) Para conveniencia del varón se puede instalar un orinal aparte, así no tendrá que sentarse para llevar a cabo esta función.

Esta es una letrina lenta que le da tiempo suficiente a las heces para que sufran su descomposición. El proceso seguido es seco, utiliza cal o ceniza, y por esa razón básica desde el inicio se separan los orines. Los lodos o material seco que de ellas se extrae puede ser aplicado como abono o acondicionador de suelos.



Fig. 5.7. Letrina abonera seca familiar

Características

- Las heces caen en la cámara y la orina llega por un tubo hasta afuera de las cámaras. Este tubo o manguera saliendo del asiento se une con la que viene del orinal para recolectar toda la orina en un recipiente adecuado, antes de su posible aplicación posterior.
- Una de las funciones de la ceniza es secar las heces para lograr una mejor descomposición y muerte de los microbios.
- La LASF produce menor cantidad de gases olientes y algo de humedad. Unas pequeñas aberturas en la sisa de los bloques son suficientes para que esos gases escapen.
- Cada persona produce aproximadamente la cantidad de 1,5 costales (sacos) por año de abono, de lo cual una parte consiste en cenizas.^{5.7}

Recomendaciones para el buen funcionamiento:

- Sellar una de las tazas con plástico resistente y poner en ambos tapaderas.
- Después de defecar, debe arrojar en el foso material secante para absorber los olores y humedad; no agregar ningún desinfectante.
- Se pueden utilizar varios tipos de material secante. El más común es la ceniza sola. Pero también se puede utilizar una mezcla de cal con tierra seca (1 medida de cal mas 5 de tierra seca)
- No deberá introducir residuos sólidos (plásticos, vidrio, etc.) ni líquidos (aguas lluvias o residuales u otros.)
- Para la orina este tipo de letrina tiene un depósito especial.
- Deposite los papeles dentro de la letrina.
- Manténgala limpia y tapada.

^{5.7} Guía Latinoamericana de Tecnologías Alternativas en Agua y Saneamiento
www.cepis.ops-oms.org/eswww/fulltext/saneami/guia/guia.html

- Revuelva con un palo el contenido de la recámara por lo menos 2 veces por semana.
- Sellar e iniciar el uso de la otra cámara cuando la primera este llena.
- Usar el abono para los cultivos después de prepararlos.^{5.8}

➤ **Letrina de hoyo modificado**

Es un medio para eliminar las excretas del ambiente exterior y consiste en un hoyo con una profundidad de 2 a 3 metros y esta cubierto con una plancha de cemento, con un asiento donde defeca el usuario el que debe permanecer tapado cuando no se encuentra en uso; la plancha por lo común esta protegida por una caseta. También cuenta con un tubo de ventilación vertical para la eliminación de los malos olores.^{5.9} (ver figura 5.8 y anexo 7)

Consideraciones a tomar para el uso:

- Debe tener 30 metros de distancia entre cualquier suministro de agua y la letrina y 10 metros de distancia a la casa.(ver figura 5.9)
- Son preferibles en terrenos firmes y secos, libre de inundaciones.
- Colocarla en la parte más baja del terreno.
- Cuando las excretas estén a 50cms del nivel del suelo, debe cerrarse y hacer otro hoyo.^{5.10}

^{5.8} MSPAS, Ministerio de Salud Publica y Asistencia Social(1996). LA Letrina Abonera Seca. El Salvador.

^{5.9} MSPAS, Ministerio de Salud Publica y Asistencia Social. Letrinización (Saneamiento Ambiental). El Salvador.

^{5.10} MARN, Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales (1999). Saneamiento Básico Rural. El Salvador.

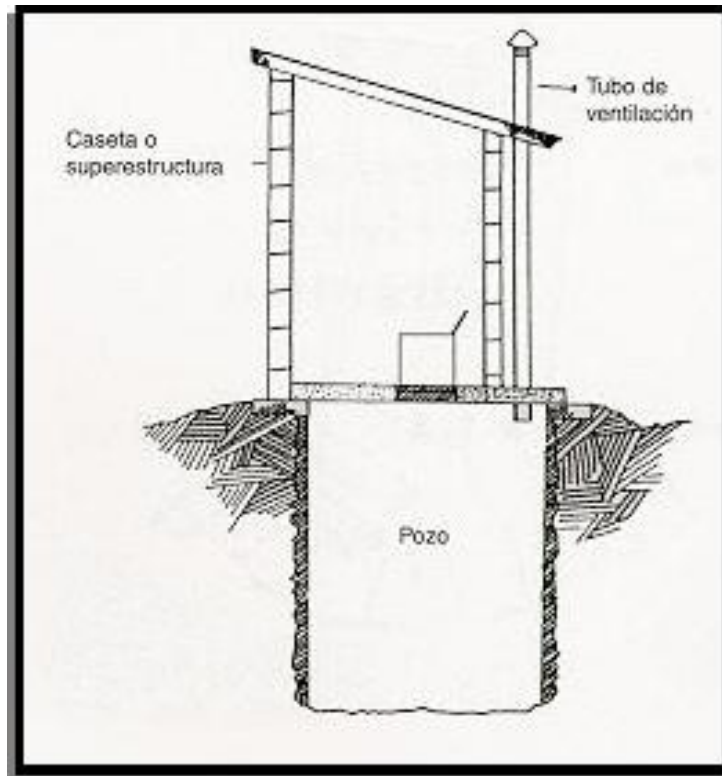


Fig. 5.8. Letrina de hoyo modificado

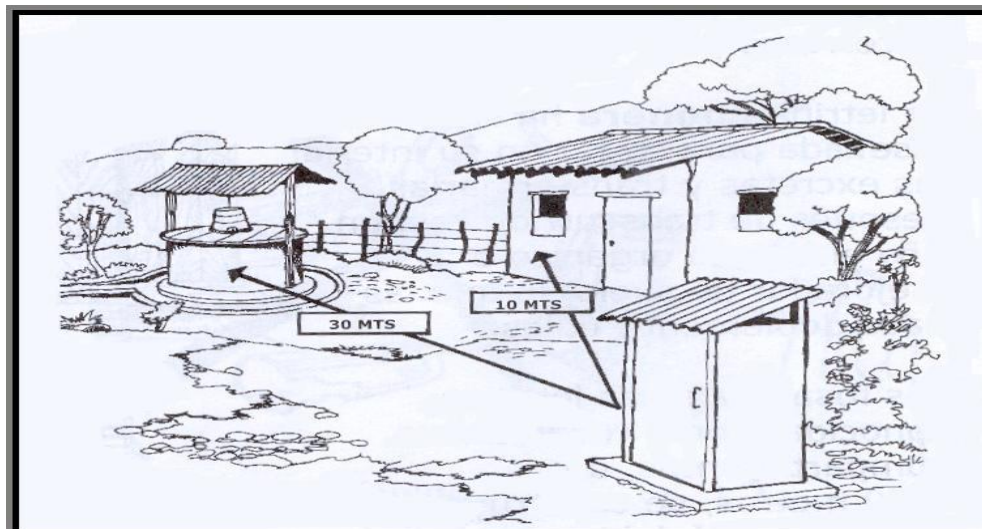


Fig. 5.9. Ubicación adecuada de una letrina de hoyo modificado

➤ Filtro resumidero

La construcción de filtros resumideros es una forma sencilla y barata para evitar charcos en el hogar ya que eliminan adecuadamente las aguas servidas. El filtro se construye al final del tubo o canaleta de desagüe de la pila o de donde sale aguas servidas hacia el suelo.

Procedimiento para la construcción:

- Se excava un hoyo de 1 metro de profundidad, 1/2 metro de largo y de ancho.
- Una vez hecho el hoyo se colocan piedras de $\frac{3}{4}$ de grueso en el fondo y luego la piedra fina por encima.

La piedra gruesa colocada en el fondo permite mayor porosidad en el suelo y aumenta su capacidad para filtrar el agua, evitando con ello la formación de charcos.

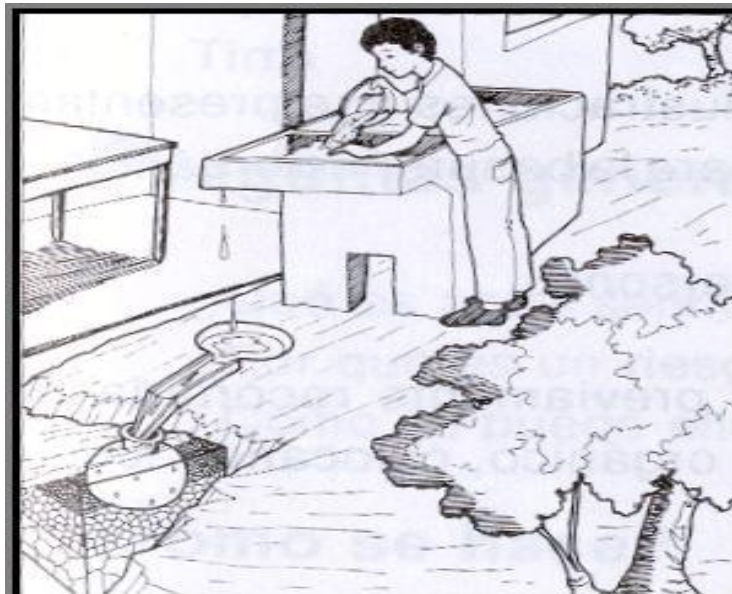


Fig. 5.10. Ubicación filtro resumidero

Mantenimiento:

Si se observa que el nivel del agua dentro del filtro comienza a subir y no hay suficiente filtración, es porque la suciedad se ha acumulado por efecto del jabón formándose una especie de nata. En este caso se debe remover la piedra y lavarla con agua y jabón volviendo luego a colocarla en el hoyo.^{5.11}

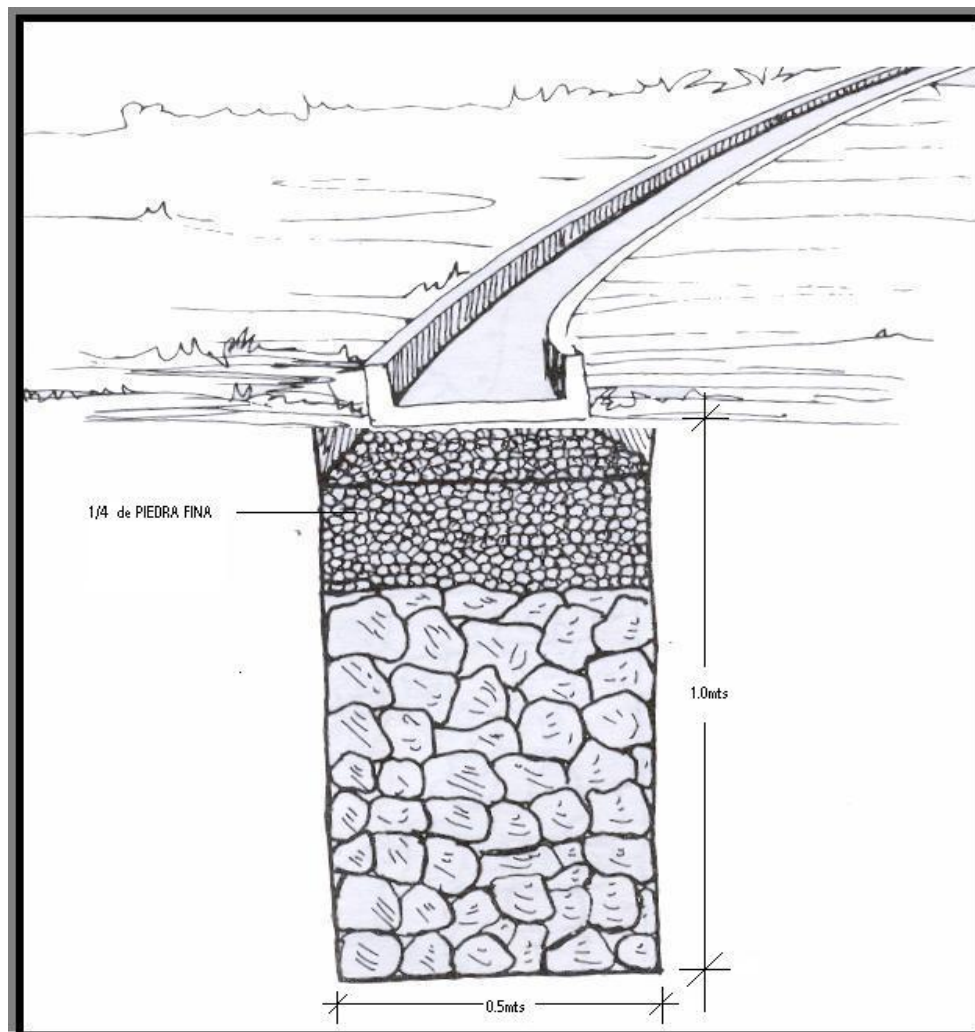


Fig. 5.11. Perfil Filtro Resumidero

^{5.11} UNICEF, Programa Agua y Saneamiento (1998). Higiene Básica. El Salvador.

➤ **Pozo resumidero**

El pozo resumidero es una alternativa de saneamiento básico cuya implementación es de bajo costo, es una construcción sencilla que se usa exclusivamente para aguas grises, y consiste en hacer un hoyo directamente en la tierra. En casos que debido al tipo de suelo (cuando no son cohesivos o cuando son arenosos) se requerirá hacer un broquel más debajo de lo recomendado. (ver anexo 7).

Dentro del pozo se coloca un lecho filtrante el cual consiste en poner primero una capa permeable de 40 cms. que puede ser de arena gruesa o cascajo etc., después se coloca una capa de 40cms de grava No 1 y otra de 40 cms. de piedra cuarta o de río. En lugares donde el nivel freático sea poco profundo, superficial o que quede cerca de ríos, las capas de lecho serán: 25cms. de arena, 25 cms. de grava No 1 y 25cms, de piedra cuarta o río, 25cms. de carbón natural. Las consideraciones a tomar en la construcción de este pozo es que todos los materiales a utilizar para formar el lecho filtrante deben ser lavados previamente y que cada pozo debe tener tapa de inspección.

La profundidad que se le dará a los pozos puede tener variaciones dependiendo de lo siguiente:

- Permeabilidad del tipo de suelo y nivel freático.
- Cantidad de agua que se pretenda infiltrar.
- Numero de personas a servir.

Para interceptar las grasas, aceites, restos de alimentos y jabones presentes en las aguas grises, previo al pozo resumidero se construye a esta se un pequeño tanque o trampa de grasas (diferente a una fosa séptica) de bloque, ladrillo o concreto preferiblemente, aunque se puede utilizar una cubeta de 5 galones de capacidad, la cual debe estar tapada, en esta se dispone de una tubería de

entrada con una curva de 90 grados de 3" a la que se le instala una curva vertical de 15 cms, para que la capa de grasa no obstruya el tubo y permita llevar el agua hasta el fondo, facilitando la separación de la grasa, porque esta sube la superficie. (ver anexo 7)

En la tubería de salida también se instala una curva de 90 grados de 3", adherida a otro tubo vertical cuya boca inferior se coloca hasta unos 15 cms. del fondo de la caja, con el objetivo de proporcionar un balance entre el volumen de almacenamiento de natas. El agua clarificada pasa a través de la tubería vertical y luego a una tubería con una pendiente del 1% hasta llegar al centro del pozo resumidero.

En la trampa no tienen que ser depositadas aguas negras (el agua que sale de los inodoros lavables), porque su función no es retener los sólidos de las heces.

Mantenimiento:

- La trampa de grasas debe taparse para evitar malos olores y la entrada de insectos y roedores.
- Debe limpiarse cada 15 días o dependiendo del uso, la cantidad de agua o la cantidad de nata que se acumule, de esa forma se evita la fuga de grasa al filtro.
- Debe de observarse el espesor de la nata para removerla cada determinado tiempo y la grasa que se saque debe de enterrarse.^{5.12}

^{5.12} ANDA, Gerencia de Sistemas Rurales (2001). Pozo Resumidero y Zanjias de Absorción.

5.2.3 DISPOSICION DE DESECHOS SÓLIDOS

Se proponen dos métodos para disponer de las basuras:

1. Enterramiento domiciliar.
2. Compostaje.

➤ Enterramiento domiciliar

Es una manera sencilla, económica y sanitaria de disponer de las basuras caseras mediante la excavación de un hueco de 1.20 x 1.20 m de área y 1.50 m de profundidad.

Procedimiento

1. Excavar un hueco en el solar de la vivienda o en el lugar que considere adecuado (lo más alejado posible de las fuentes de agua), de tal manera que no vaya a causar molestias.
2. Alrededor del pozo excavado colocar una hilera de bloques formando un broquel que va a servir de base para las tapaderas del relleno domiciliar para impedir el ingreso de aguas superficiales.
3. Elaborar dos tapaderas de 1.40 x 0.70 m cada una; para la mezcla utilice una proporción de cemento por tres de arena gruesa; estas tapas pueden ser elaboradas en ferro-cemento (arena, cemento y malla).
4. Coloque las tapas encima del brocal. De esta forma se mantiene cubierto el hueco evitando molestias sanitarias.

El funcionamiento consiste en vaciar dentro del hueco las basuras producidas en el día e ir tapando y compactando con tierra hasta que la basura se cubra totalmente. Cuando la basura llega a una profundidad de 0.40 m con respecto a

la superficie del terreno, se sella el hueco con tierra para evitar la proliferación de insectos y roedores se debe retirar la tapa hacia el otro hueco que se excavará próximo al primero; estas ayudan a evitar el ingreso de aguas lluvias y superficiales.^{5.13}

➤ **Compostaje**

Es la producción de abono utilizando basuras biodegradables, es decir, las que se descomponen fácilmente.

Procedimiento.

- Excavar un hoyo en el suelo, de unos 80 cms de lado por 1 mt de profundidad.^{5.14} Debe ubicarse lo mas alejado de las fuentes de agua, en una superficie plana o la parte mas baja del terreno y en un lugar sombreado ya que se necesita mantener su contenido húmedo.
- Para iniciar su uso se le echa en el fondo una capa de material vegetal que sirva de base para la descomposición . Es recomendable tapar la fosa para evitar que su contenido sea arrastrado por la lluvia o se seque por efecto del sol y viento.
- Se vacía diariamente el recipiente con la basura orgánica, y si la basura esta húmeda o fresca cúbrala con ceniza o tierra.
- Semanalmente se cubre la basura con una capa de estiércol fresco de bestia o gallinaza, que facilita la descomposición.
- Cada 15 días se debe remojar y revolver el contenido de la fosa para que entre el aire.
- Tape la compostera con un nailon negro preferiblemente para que su contenido guarde el calor(55-70°C) para facilitar la descomposición.

^{5.13} Tecnologías Apropriadas en Agua Potable y Saneamiento Básico.

www.disaster-info.net/desplazados/publicaciones/saneamiento.html

^{5.14} MARN, Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales (1999).

- Cuando la fosa esta llena, se sella con una capa de tierra de 10 cms. de grosor.^{5.15}
- Después de 4 meses esta listo para aplicarse a los cultivos y plantas.

NOTA : También pueden hacerse compoteras comunitarias, en cuyo caso las dimensiones pueden cambiar.

5.3. PROPUESTAS PARA REALIZARSE A LARGO PLAZO

Estas propuestas se consideran de realización a largo plazo, pues para la ejecución de esta clase de proyectos se requiere una gran inversión que podría ser factible en un tiempo futuro y que actualmente no son prioridad.

5.3.1 CONSERVACION DEL RECURSO HIDRICO

Las acciones para poder conservar el recurso hídrico son muchas e involucran a todos los miembros de la comunidad, entre estas acciones están:

➤ Reforestación

La reforestación es la acción de reponer árboles en el lugar donde otros que por cualquier causa han sido cortados. Se debe reforestar principalmente las partes altas de las sub-cuenca o micro-cuenca donde se produce la mayor infiltración del agua, lográndose con esto lo siguiente:

- Atraer las nubes cargadas de agua y al acercarse a las parte alta, harán su descarga, convirtiéndose en lluvias o tormentas.(ver figura 5.12)
- Retener el agua lluvia en el suelo, debido que los árboles sirven de amortiguamiento de las gotas de lluvia, ya que estas al caer sobre el follaje disminuye la velocidad de caída, lo que permite que el agua se infiltre o se consuma lentamente por los poros del suelo a lo que también contribuyen

^{5.15} UNICEF, Programa Agua y Saneamiento (1998). Higiene Básica. El Salvador.

las raíces de las plantas asimismo las hojas ayudan a disminuir la evaporación, mejorando el clima.(ver figura 5.13)

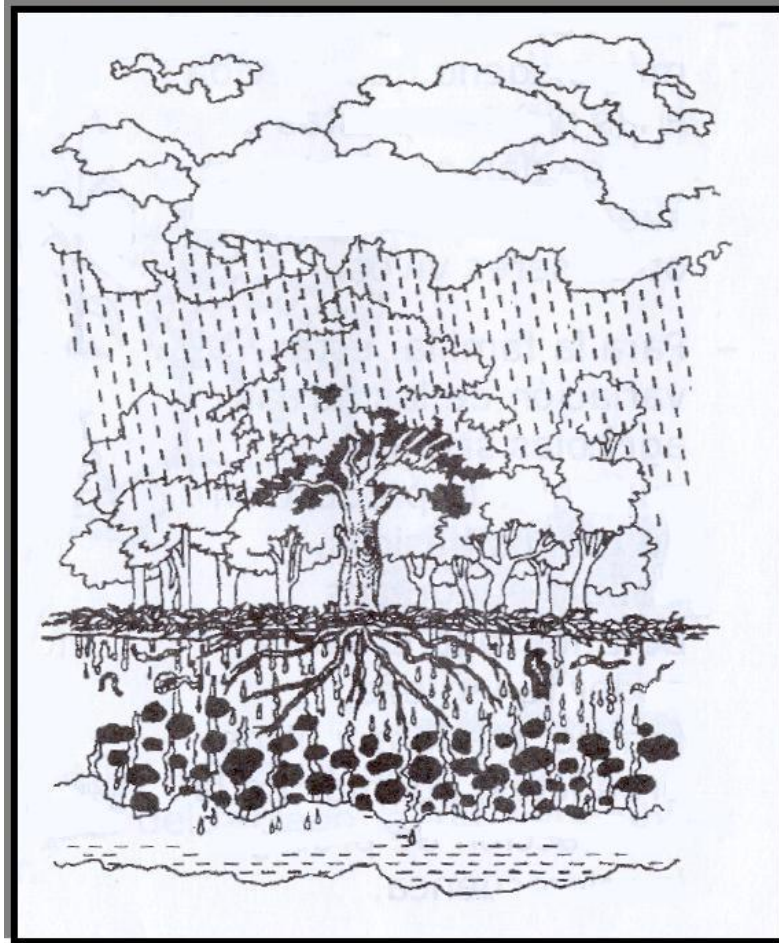


Fig. 5.12. Nubes atraídas por los árboles

- Guardar el agua, pues cuando los árboles dejan caer sus hojas y ramas pequeñas, especialmente en la época seca, van acumulando en el suelo una capa de materia orgánica, lo cual evita que el agua se escurra por la superficie y que el suelo se erosione, favoreciendo así la retención de la humedad y penetración del agua para alimentar los mantos acuíferos subterráneos.



Fig. 5.13. Retención del agua lluvia por el suelo

Entre otros sitios donde sembrar árboles están:

- Terrenos con grandes pendientes para evitar el lavado de los suelos.
- A la orilla de los ríos y cerca de las fuentes de agua (manantiales y pozos).
- Como cercas vivas delimitando algún terreno.
- Como árboles de sombra en las casas u otro lugar publico o privado(iglesia, parque , escuela, etc).

➤ Agroforestería

La agroforestería nos permite asociar la siembra de árboles y cultivos agrícolas como maíz, frijol, café, maicillo y otros, o animales sobre un mismo terreno. (ver figura 5.14)



Fig. 5.14. Siembra de árboles, cultivos agrícolas y ganadería

Este sistema se podrá aplicar a las partes medias y bajas de la cuenca, con lo que se lograra:

- Obtener cosechas como maíz, fríjol o maicillo, favoreciendo y diversificando la productividad, promoviendo la conservación del suelo y por consiguiente los mantos acuíferos.
- Combatir la erosión: salva el suelo y el agua, esto significa que debemos conservar el suelo realizando un conjunto de practicas para mantenerlo en condiciones apropiadas, logrando una alta productividad agrícola y facilitando la infiltración o penetración del agua.

En terrenos con pendiente es importante cultivar en curvas “a nivel” o sea que todos los puntos que se encuentran en la curva se encuentran a la misma altura o elevación.

Siguiendo este método se construyen todas las obras de conservación de suelos, entre estas se encuentran:

- Curvas al contorno: es una línea que se traza siguiendo el contorno de los terrenos y puede ir a nivel o desnivel.
- Acequias de laderas: son zanjas o andenes que se hacen en los terrenos en curvas al contorno, para disminuir la lavazón y aumentar la humedad del suelo.
- Barreras de piedra: son pequeños muros contruidos y alineados en curvas al contorno en los terrenos pedregosos.
- Barreras vivas: Se forman con hileras de plantas permanentes, plantadas muy tupidas. En El Salvador, las más comúnmente usadas son el izote, la piña, sácate limón, piña de cerco, maicillo, sácate vetiver.
- Cultivo en callejones: intercala hileras de leguminosas (madre cacao), leñosas de crecimiento rápido, espaciadas de 3 a 4 metros entre un cultivo de ciclo corto como el maíz u hortalizas. Esta es podada para evitar la sombra y el follaje es incorporado al suelo como abono verde, o aprovechada como forraje, habiendo producción adicional de leña, estacas, postes, control de plagas y competencia de malezas.^{5.16} (ver figura 5.15)

NOTA: Para poder aplicar las practicas de la reforestación y agroforestería en la forma correcta se necesitara del apoyo y asesoramiento técnico de las entidades correspondientes (CENTA, MAG, etc.), así como también para el buen uso y almacenamiento de los fertilizantes y pesticidas empleados en los cultivos.

^{5.16} MARN, Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales (1999). Protección de Microcuencas. El Salvador.
MARN, Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales (1999). Reforestación y Agroforestería. El Salvador.

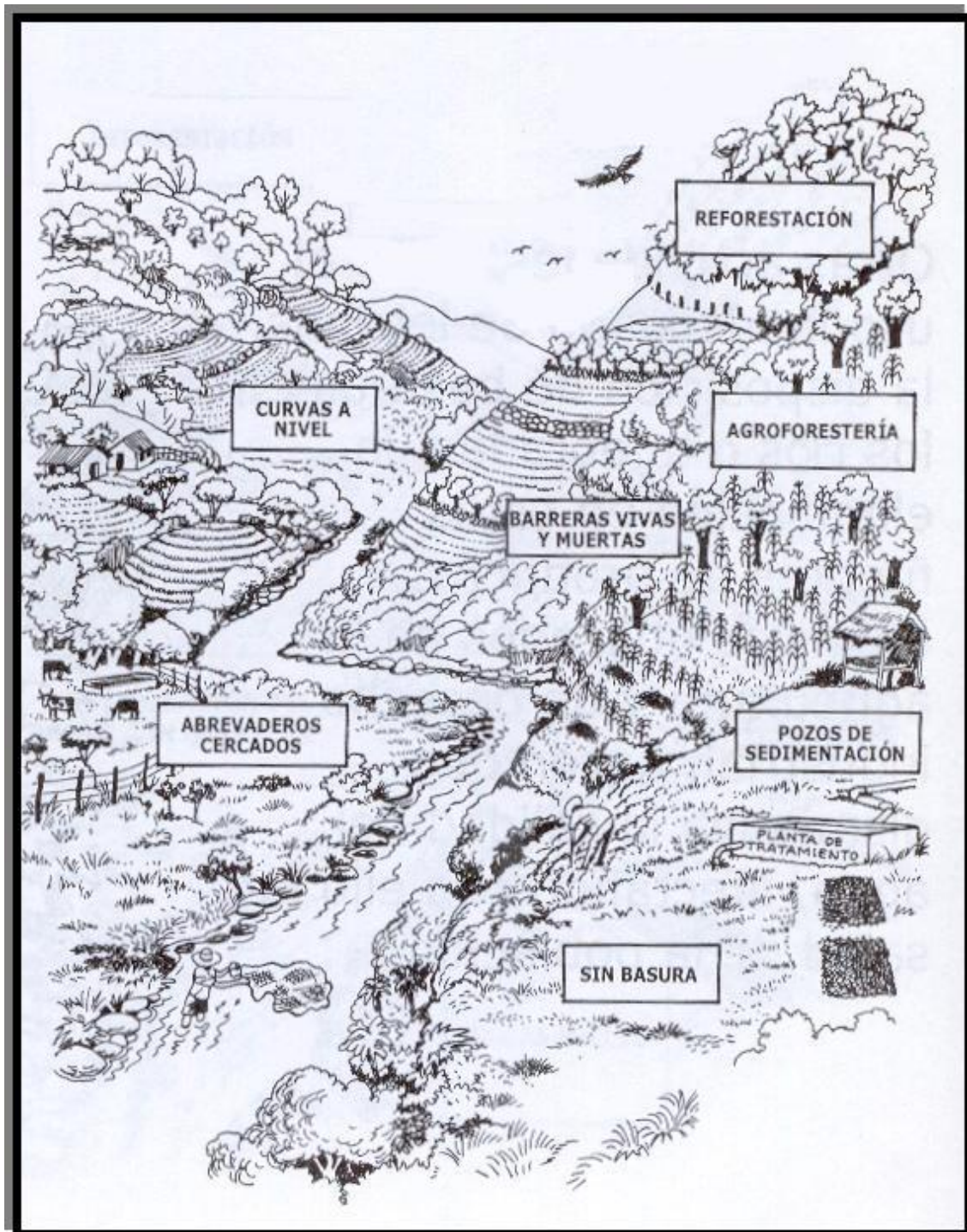


Fig. 5.15. Acciones que protegen las micro-cuencas y sub-cuencas

5.3.2 EXPLOTACION DE NUEVAS FUENTES DE ABASTECIMIENTO

Para solucionar la problemática del abastecimiento de agua y a la vez mejorar la calidad del servicio, para la población actual y futura de la zona en estudio, se propone la explotación de uno de los recursos hídricos más importantes con los que se cuenta : el agua subterránea. La zona en estudio esta situada sobre uno de los mejores acuíferos de El Salvador, según estudios realizados por la OPS/OMS en mas de 600 cantones y municipios y todas las cabeceras departamentales, se cuenta con un valioso banco de datos de 704 pozos perforados, y se conoce que por las características litológicas de la formación San Salvador, constituye en su conjunto, un acuífero de alta permeabilidad y transmisibilidad, capaz de rendir caudales importantes en pozos perforados bien ubicados y construidos.

Las mejores condiciones hidrogeológicas para la selección del sitio de perforación se encuentran al Norte de Armenia. En el Cantón Tres Ceibas al Nor-este se tienen materiales del tipo Q'f y s3'a de muy buena y buena permeabilidad, y se cuenta con información de un pozo perforado de 85 metros que con una columna de agua de aproximadamente 33 mts. rinde 5.85 lts/seg. suficiente para abastecer a una población futura de 6,000 personas.

En el Cantón Azacualpa y La Puerta se tienen materiales del tipo s3'a de buena permeabilidad. El sitio de perforación debe de estar hacia el norte y lo más alejado de los materiales impermeables de la formación El Bálsamo, principalmente en la zona del cantón La Puerta. (ver Mapa Geológico anexo 4)

Para determinar con mayor precisión la ubicación de la perforación debe de realizarse estudios geofísicos, para determinar con mayor exactitud los espesores del acuífero.

Entre otros factores que deben considerarse para la selección del sitio de perforación están:

- Vegetación
- Topografía
- Accesibilidad
- Fuentes de contaminación y otros

Una vez seleccionado el sitio debe continuarse con la construcción de un sistema de abastecimiento de agua potable con los siguientes elementos:

1. Perforación, ademe, protección y equipamiento de un pozo con una bomba sumergible. Instalación completa de fontanería, electricidad y panel de control para la bomba.
2. Construcción de un tanque elevado con sus respectivas tuberías, elementos de seguridad y accesorios.
3. Instalación de sistema de cloración.
4. Construcción de caseta de protección.
5. Instalación de red de impulsión, de conducción y de distribución. Con sus respectivas conexiones domiciliarias.
6. El tipo y capacidad de la bomba al igual que las dimensiones del tanque dependerán de la población real a abastecer.

El proyecto podría individualizarse para cada cantón o podría llevarse a cabo en conjunto con otros cantones y caseríos aledaños, lo cual resultaría más económico.

**CAPITULO VI
CONCLUSIONES Y
RECOMENDACIONES**

6.1 CONCLUSIONES

➤ GENERALES

1. El agua en la tierra aparece en muchas formas distintas : el agua salada en los océanos (97.2%), el agua superficial (lagos y ríos) y atmosférica (agua lluvia y la nieve) que representan el 0.02%, el agua de los glaciares (2.15%) y el agua que se encuentra bajo la superficie terrestre: agua subterránea dulce (0.3%) y agua subterránea salada (0.3%). El hombre tiene disponible, para fines de abastecimiento urbano rural, riego, industria y otros, solamente el 0.32% de toda el agua del planeta, siendo al menos el 3% de la disponibilidad agua dulce fluida y el 97% restante se encuentra en el subsuelo.
2. El país cuenta con una abundante oferta hídrica(37,826 millones de m³ de agua al año). Y la cantidad de agua necesaria para fines de abastecimiento poblacional total del país, considerando 6 millones de habitantes y una dotación diaria de 250 litros por persona, es de 548 millones de m³ de agua anuales, lo cual representa solo un 4.4% DE LA DISPONIBILIDAD HÍDRICA POTENCIAL, quedando un 95.6% que pudiera ser utilizada para otros usos. Sin embargo, el agua es escasa debido a que la excelente precipitación se filtra poco en los mantos acuíferos producto del mal uso del suelo, a las malas prácticas agrícolas y el creciente proceso de deforestación, la que reduce la vegetación natural de las laderas de los cerros incrementando el desplazamiento de tierra debido a la lluvia, lo que no permite que exista el tiempo necesario para que la lluvia sea absorbida por el suelo y que recargue los acuíferos.
3. El abastecimiento de agua en el país se basa casi en su totalidad en las fuentes de abastecimiento subterráneas profundas, pues su calidad es generalmente buena, y no así de los acuíferos de poca profundidad o

superficiales. Se estima que el 90 % de los cuerpos de agua dulce superficiales están siendo contaminados debido a la mala disposición de excretas de animales y humanos, fertilizantes y pesticidas y otros residuos domésticos e industriales.

En áreas urbanas, aproximadamente el 86.30% de la población tiene acceso a servicios de abastecimiento de agua potable y el 63.99% a servicios de alcantarillado. En áreas rurales, aproximadamente el 16.70% de la población tiene acceso a servicios de abastecimiento de agua potable y el 50.38% cuenta con un sistema adecuado de disposición de excretas. El abastecimiento de agua para las necesidades básicas del ser humano en El Salvador es un problema severo, presentando los niveles de cobertura y disponibilidad más bajos de la región centroamericana.

4. Un porcentaje grande de familias en las zonas rurales consumen agua contaminada, siendo la contaminación bacteriana la más generalizada y más limitada la contaminación química. La contaminación puede provenir de dos fuentes principales: contaminación de las fuentes de agua y por el manejo inadecuado del agua de consumo por parte de las familias. Como resultado de la ingestión y uso de agua contaminada se producen numerosas enfermedades entre las cuales se puede mencionar: Poliomielitis, Diarrea y Vómitos, Tifoidea, enfermedades de la piel entre otras, y algunas de estas pueden causar hasta la muerte, especialmente de niños.

Esto se podría evitar en parte si se hicieran esfuerzos e inversiones en proyectos de explotación sostenible de los recursos hídricos. El resto corresponde a la población tomar conciencia de lo importante que es conservar y proteger el agua.

➤ ESPECIFICAS

1. La zona de estudio esta comprendida por los Cantones Azacualpa, La Puerta y Tres Ceibas del Municipio de Armenia departamento de Sonsonate. La población actual de los cantones es de aproximadamente 8,173 habitantes, y la población futura proyectada hasta el año 2022, será de aproximadamente de 11,909 personas.

Considerando una dotación diaria de 75 litros de agua potable por persona, resulta que la demanda actual de agua de la población conjunta de los tres cantones es de 613 metros cúbicos por día, equivalentes a 7.09 litros por segundo. La demanda futura proyectada hasta el año 2022, de esta población conjunta será de 894 metros cúbicos por día, equivalentes a 10.34 litros por segundo.

2. Las comunidades encontradas en estos cantones son de escasos recursos económicos, sin embargo la tenencia de la propiedad y la cobertura del servicio de energía eléctrica son del 100%. El abastecimiento de agua actual se logra a través de pozos comunales(51.34%), pozo propio(39.33%) y conexión domiciliar(9.33%), este ultimo solamente en el Cantón Tres Ceibas y es un sistema de red de distribución de agua abierta que es administrado por la comunidad. El consumo promedio diario por persona es de 59 litros y solamente el 34.90% del agua de consumo recibe tratamiento (con puriagua).
3. El área investigada se localiza dentro de las cuencas hidrográficas de los Ríos Banderas y Sucio. Es por ello, que para realizar el estudio hidrológico y de calidad del agua la zona en estudio se dividió en dos: Sub- cuenca del Río Sucio (Río Copapayo) que abarca los Cantones Azacualpa y Tres Ceibas, y una Micro-cuenca del Río Banderas (Río Los Lagartos) Que abarca el Cantón La Puerta.

Para la Sub- cuenca del Río Sucio (Río Copapayo) se cuenta con una precipitación anual de 168,890,392 m³ y un escurrimiento superficial y subterráneo de 62,222,776 m³. La cantidad de agua necesaria para fines de abastecimiento poblacional en esa área, considerando 17,576 habitantes y una dotación diaria de 250 litros por persona, es de 1,603,810 m³ de agua anuales, lo cual representa solo un 2.57% DE LA DISPONIBILIDAD HÍDRICA SUPERFICIAL Y SUBTERRANEA, quedando un 97.43% que pudiera ser utilizada para otros usos.

Para la Micro- cuenca del Río Banderas (Río Los Lagartos) se cuenta con una precipitación anual de 52,852,800 m³ y un escurrimiento superficial y subterráneo de 19,558,000 m³. La cantidad de agua necesaria para fines de abastecimiento poblacional en esa área, considerando 5359 habitantes y una dotación diaria de 250 litros por persona, es de 489,009 m³ de agua anuales, lo cual representa solo un 2.5% DE LA DISPONIBILIDAD HÍDRICA SUPERFICIAL Y SUBTERRANEA, quedando un 97.5% que pudiera ser utilizada para otros usos.

4. En el área de estudio afloran dos tipos de formaciones: la formación Bálsamo y la formación San Salvador. La formación el Bálsamo, en esa área es la formación basal impermeable sobre la que descansa la formación San Salvador (Valle Central), siendo esta última el único acuífero del área, el cual posee de una moderada a buena permeabilidad y se extiende ampliamente al norte de Armenia. Consiste en depósitos sedimentarios, tobas con intercalación de piroclásticos y lavas. Por estudios realizados por la OPS/OMS en más de 600 cantones y municipios y todas las cabeceras departamentales, se cuenta con un valioso banco de datos de 704 pozos perforados, y se conoce que por las características litológicas de la formación San Salvador, constituye en su conjunto, un acuífero de alta

permeabilidad y transmisibilidad, capaz de rendir caudales importantes en pozos perforados bien ubicados y construidos .

Las mejores características de un buen acuífero se presentan en el Cantón Tres Ceibas donde se encuentran materiales como: depósitos sedimentarios del cuaternario (45%) con muy buena permeabilidad, Piroclásticas ácidas, y epiclasticas volcánicas (32%), con buena permeabilidad y el resto pertenece a la formación impermeable el Bálsamo. La transmisividad corresponde a 1119.36 G/D/Pie, obtenida de un pozo perforado en esa zona.

En el Cantón Azacualpa se encuentran materiales como: Piroclásticas ácidas, y epiclasticas volcánicas (90%), con buena permeabilidad y el resto pertenece a la formación impermeable el Bálsamo.

Las peores características las presenta El Cantón La Puerta con solo el 30% de Piroclásticas ácidas, y epiclasticas volcánicas con buena permeabilidad y el resto pertenece a la formación impermeable el Bálsamo.

De lo anteriormente expuesto se concluye, que existen vastos recursos de agua subterránea en la zona, suficientes para cubrir las demandas de agua no solo para los cantones en estudio sino para otros, situados en la parte norte de Armenia.

5. De los recursos superficiales que podrían ser aprovechados para el abastecimiento de agua, en la zona de estudio encontramos solamente el Río Copapayo y algunas quebradas de invierno. Por la ubicación en la parte más baja de la cuenca estos son vulnerables a la contaminación, por lo que para fines de abastecimiento se tendría que darles un tratamiento que encarecería en gran manera los costos para el manteniendo del sistema de abastecimiento.

6. De las fuentes de abastecimiento analizadas en los cantones Azacualpa, La Puerta Y Tres Ceibas el 100% se encontraron con altos niveles de contaminación bacteriana, siendo el 11% de origen específicamente fecal y el resto ambiental (restos de animales, vegetal, suelo, otros), considerando que solo el 34.90% tratan las aguas de consumo, el resto de las personas están consumiendo agua contaminada. Con respecto al análisis físico-químico realizado in-situ el 100% de las muestras resultó apto para el consumo humano, aunque de estudios realizados en el laboratorio resultaron ciertos parámetros físicos y químicos fuera de norma : hierro, manganeso, sabor, olor, color y sílice. La presencia de los parámetros químicos en el agua se debe a la existencia de estos en grandes cantidades en la corteza terrestre y son los que le dan una apariencia diferente al agua: sabor, olor, color y contribuyen a la turbidez al igual que las sustancias superficiales como lixiviados, heces, y otros que se filtran en el suelo hasta llegar al nivel freático.

7. La contaminación bacteriana se le atribuye al deficiente saneamiento básico y a la vulnerabilidad de la zona en estudio.

La cobertura de letrización en el área rural de El Salvador es solamente de 50.38% y algunas de estas letrinas (de hoyo específicamente) no cumplen con las distancias mínimas a las fuentes de abastecimiento de agua (pozos a menos de 30 mts.) o se ubican en zonas donde el nivel freático está poco profundo y la permeabilidad del suelo es alta o muy buena, cabe mencionar que el 66% de la zona de estudio cae en este rango de permeabilidad. La inadecuada disposición de los desechos sólidos y líquidos. Durante las visitas de campo se pudo observar promontorios de basura cerca de los ríos, lo que facilita el tránsito del efluente contaminante hacia las aguas subterráneas y la poca protección a los pozos de donde se abastecen de agua.

6.2 RECOMENDACIONES

Para el mejoramiento del servicio y la calidad del agua de los cantones en estudio se recomienda:

1. La explotación del recurso hídrico subterráneo para satisfacer las demandas actuales y futuras, a través de la perforación de pozos profundos, cercanos a los caseríos en donde la elevación topográfica sea mas baja. Cualquiera que sea la ubicación debe perforarse sobre la formación San Salvador en cada uno de los cantones o en su conjunto a los cuales se podrían unir otros cantones de los alrededores, debe considerarse también, la vegetación, las fuentes de contaminación y la accesibilidad a la zona en donde se perforará.

Las mejores condiciones hidrogeológicas para la selección del sitio de perforación se encuentran al norte de Armenia. En el Cantón Tres Ceibas, al Nor-este tenemos los materiales del tipo Q'f, en el Cantón Azacualpa y La Puerta se tiene del tipo s3'a, El sitio de perforación debe de estar lo mas alejado de los materiales impermeables de la formación El Bálsamo, principalmente en la zona del cantón La Puerta. (ver Mapa Geológico)

Para determinar con mayor precisión la ubicación de la perforación, debe de realizarse estudios geofísicos para determinar con mayor exactitud los espesores del acuífero.

Detalles de todo el sistema de abastecimiento de agua deberán ser establecidos, mediante el diseño completo respectivo que incluya el tratamiento y desinfección del agua, posterior a los trabajos de topografía, aforos, censos y otros que para ello son requeridos.

2. Instalación de bombas de mecate en los pozos familiares y bombas eléctricas en los pozos comunales, lo que facilitaría aun mas la extracción para las personas que tienen que acarrear el agua. Para el almacenamiento

se propone un tanque elevado a una altura de 2 a 3 metros del nivel del terreno. Para el diseño de este se necesitaría realizar un censo que determine el número real de personas que se abastecen de estas fuentes. En ambos tipos de bombas si el rendimiento de los pozos no resultara satisfactorio se deberá profundizar estos hasta alcanzar un volumen de agua que sea suficiente para la extracción. Estos pozos deben recibir una limpieza continua y sellado de las paredes internas como anillos impermeables que impidan la contaminación con los efluentes de la superficie.

3. Se debe realizar un estudio de factibilidad técnica-económica entre la instalación de bombas manuales o bombas eléctricas y un sistema de abastecimiento completo por conexión domiciliar o cantareras, que permita dirigir la inversión hacia la mejor alternativa tomando en cuenta los recursos con los que se cuente para ello.
4. Para lograr mejorar la calidad del agua en la zona de estudio, se deben proteger el acuífero de la parte norte de Armenia , correspondiente a la formación San Salvador . (ver mapa geológico anexo 4) Es por ello que en toda esa zona se deben construir letrinas del tipo aboneras, a menos que la profundidad del nivel freático sea profundo, y se cumpla con la distancia mínima de 30 metros de distancia a las fuentes de agua (ríos, quebradas y pozos). También debe tomarse en cuenta que los desechos sólidos y líquidos vertidos en esa zona de buena a muy buena permeabilidad debe de dársele un buen tratamiento para lo que se ha propuesto: el enterramiento domiciliar, compostaje, filtros resumideros y pozos resumideros con su correspondiente trampa de grasas.

5. A través del reconocimiento en el campo identificar las zonas de la Sub-cuenca del Río Sucio (Río Copapayo) y la Micro- cuenca del Río Banderas (Río Los Lagartos) que se encuentran mas deforestadas para, fomentar la reforestación (en las partes altas) y la Agroforestería (en las partes bajas). También la capacitación técnica es necesaria para el mejoramiento de las practicas agrícolas principalmente en lo relacionado al uso y almacenamiento de los fertilizantes y pesticidas. Con lo que se estará logrando la conservación y protección del recurso hídrico tanto superficial como subterráneo.

BIBLIOGRAFÍA

1. Ministerio de Salud Pública y Asistencia Social(1983). Curso breve sobre hidrogeología y evaluación del recurso de agua subterránea. El Salvador.
2. Ministerio de Salud Pública y Asistencia Social(1999). Norma obligatoria para la calidad del agua potable. El Salvador.
3. Ministerio de Salud Pública y Asistencia Social(1983). Calidad físico-química y microbiológica del agua en el área de desagüe del lago Guija y su incidencia en la salud pública. El Salvador.
4. RASES (2001). Diagnostico sobre la situación del agua y saneamiento en El Salvador.
5. Núñez, Ricardo(1995). Estudio Hidrogeológico del cantón el Ámate, San Miguel. El Salvador.
6. Organización Panamericana de la Salud(1988). Guías para la calidad del agua potable, Volúmenes 1,2,3. Washington D.C.
7. Ministerio de Educación(1995). Historia natural y ecología de El Salvador, Tomo 2. El Salvador.
8. Cuerpo de Ingenieros de los Estados Unidos (1998). Evaluación de Recursos de agua de la republica de El Salvador.
9. Ministerio del Medio Ambiente y Recursos Naturales(2000). Estado del Medio Ambiente. El Salvador.
10. FUSADES, Fundación Salvadoreña para el Desarrollo Económico(2001). Determinación de la calidad del agua de consumo humano de las familias rurales: Estudio socioeconómico. El Salvador.
11. FUSADES, Fundación Salvadoreña para el Desarrollo Económico(2000). Investigación de la contaminación del río Lempa y sus afluentes. El Salvador.
12. Ministerio del Medio Ambiente y Recursos Naturales(1999). Tratamiento del agua. El Salvador.

13. Ministerio del Medio Ambiente y Recursos Naturales(1999). La desinfección del agua. El Salvador.
14. www.marn.gob.sv
15. www.cepis.ops-oms.org
16. Metodología para el estudio y corrección de problemas de funcionamiento de acueductos rurales. Rafael Ángel Reyes Ramírez. Tesis U.E.S. 1991.
17. Estudio para el mejoramiento de la calidad del agua potable abastecida en la zona urbana del municipio de Aguilares. Oscar Gavidia Valle. Tesis Universidad Tecnológica de El Salvador. 2000
18. Metodología para la evaluación de la vulnerabilidad de las aguas subterráneas aplicadas en el valle Zapotitán. Mario Ernesto Escobar Ayala. Tesis Universidad CentroAmericana José Simeón Cañas. 2002.
19. Monografía sobre las cuencas hidrográficas de El Salvador. Roxana Guadalupe Hernández. Tesis Universidad CentroAmericana José Simeón Cañas. 2002.
20. Estudio Hidrogeológico de la Sub-cuenca de las quebradas: La Jutera, Quiomalapa, La Sierpe y Tecualuya, en el departamento de La Paz. José Ricardo Galicia. Tesis U.E.S. 1991.
21. Elementos de Hidrología de superficie del libro Tratado practico de las aguas subterráneas. G. Castany.
22. Estudio Hidrogeológico del Área del Cantón El Rebalse, J/Santa Elena, Departamento de Usulután. ANDA Mayo 2002.
23. Hidrología subterránea. E. Custodio, Segunda Edición. 1996.
24. Reporte de Perforación de Pozo para ANDA en Cantón Tres Ceibas, Armenia-Sonsonate. Perforaciones 2000 S.A. de C.V. Abril de 2000. Responsable del informe Ing. José Montalvo Duran.

25. Reporte de los análisis de laboratorio físico-químico de la zona rural de Armenia solicitados por la Organización No Gubernamental A.P.S. a la Unidad Occidental de A.N.D.A, para una evaluación post-terremoto. 2001.

GLOSARIO

1. **Acuicludo o Acuicluso:** Capa o estrato impermeable que limita el techo de un acuífero confinado; es una formación geológica que contiene agua hasta la saturación del mismo, pero que no es capaz de transmitirla.
2. **Acuífero:** Capa o zona litológica que contiene agua, en virtud de su porosidad coadyuvada por su permeabilidad.
3. **Acuífero Confinado:** Es aquel que se encuentra limitado, por encima y por debajo, de estratos impermeables.
4. **Acuífero Libre:** Es aquel en el que el agua subterránea posee una superficie libre sujeta a la presión atmosférica.
5. **Acuitardo:** Capa o estrato que limita el techo de un acuífero pero no es totalmente impermeable son formaciones de materiales que permiten la filtración vertical del agua en forma lenta, proveniente de un acuífero o masa de agua cercana por encima o por debajo del acuífero principal
6. **Afloramiento de Agua:** Nacimiento de agua de la superficie terrestre debido a una diferencia de presiones dentro de la corteza superficial.
7. **Aluviones:** Depósitos de materiales sueltos, gravas, o arenas dejadas por un curso de agua.
8. **Arcillas:** Rocas sueltas clásticas finamente terrosas formadas de cuarzo y minerales arcillosos.
9. **Arena:** Roca suelta compuesta de granitos minerales de 0.06 a 2 mm de diámetro, producto de la meteorización de rocas y de la selección del material detrítico llevada a cabo por agentes móviles.
10. **Arenisca:** Roca sedimentaria permeable procedente de la cementación de la arena.
11. **Basalto:** Roca efusiva joven, básica, de color gris oscuro a negro y de estructura densa.

12. **Balance Hídrico:** Es la medición cuantitativa del ciclo hidrológico de una determinada cuenca, una región o de toda la tierra.
13. **Calizas:** Cualquier roca sedimentaria constituida esencialmente de carbonatos.
14. **Cauce:** Lecho de un río.
15. **Caudal:** Volumen de agua de un río o de una fuente que pasa en un segundo por un punto dado de su curso.
16. **Ciclo Hidrológico:** Circulación del agua en la tierra a través de eventos en los que interviene la atmósfera, la hidrósfera y la litosfera.
17. **Columna Litológica:** Término aplicado generalmente a sedimentos, refiriéndose, a sus características generales en una subdivisión estratigráfica.
18. **Conductividad Hidráulica o Permeabilidad:** Facilidad con la cual un fluido se mueve a través de un medio poroso.
19. **Consolidación:** Fijación de partes de la corteza, mediante plegamientos y empujes.
20. **Corteza Terrestre:** La parte de la tierra situada por encima de la discontinuidad de mohorovicic.
21. **Cuaternario:** La era geológica más reciente, comienza tras el terciario y comprende la era actual.
22. **Cuenca Hidrográfica:** Área definida topográficamente, drenada por un curso de agua o un sistema conectado de cursos de agua, tal que todo el caudal efluente es descargado a través de una salida simple.
23. **Dacíticas:** Rocas volcánicas recientes; son andesitas que contienen cuarzo.
24. **Erosión:** Conjunto de fenómenos exteriores a la corteza terrestre que contribuyen a modificar las formas creadas por los fenómenos endógenos.

25. **Escorrentía Superficial:** Fenómeno hidrológico que consiste en la ocurrencia y el transporte de agua en la superficie terrestre, causado del excedente de aguas retenidas en los suelos debido a la precipitación.
26. **Estiaje:** Nivel más bajo que tienen las aguas de un río en el verano.
27. **Estratigrafía:** Parte de la geología que se ocupa de la disposición de los estratos que contienen, así como de las rocas depositadas.
28. **Estrato:** Masa mineral en forma de capa, de espesor aproximadamente uniforme, que constituye los terrenos sedimentarios.
29. **Evapotranspiración:** La evaporación que procede del agua, suelo, nieve, hielo, vegetación y otras superficies, a la que se le agrega la transpiración.
30. **Fluvial:** Pertenece o relativo a ríos.
31. **Formaciones Efusivas:** Término aplicado a rocas eruptivas que han alcanzado la superficie terrestre.
32. **Geofísica:** La parte de las ciencias de la tierra que estudia todos los fenómenos físicos relevantes relacionados con la estructura, condiciones físicas y la historia evolutiva de la tierra.
33. **Geología:** Ciencia que estudia la estructura y el desarrollo de la tierra, especialmente la parte accesible de la corteza terrestre.
34. **Geomorfología:** Ciencia que estudia el relieve terrestre y su evolución.
35. **Gradiente Hidráulico:** Es la razón de cambio de la altura h a partir de un nivel de referencia con respecto a la distancia recorrida por el flujo.
36. **Grava:** Se refiere a un tamaño de grano determinado y en general el término se aplica a granos mayores que la arena gruesa y más pequeños que los cantos.
37. **Hidrología de las Aguas Subterráneas:** Es la ciencia que estudia el afloramiento, distribución y el movimiento de las aguas dentro de los estratos que conforman las capas más cercanas a la superficie de la corteza terrestre.

38. **Índice de Infiltración o Porcentaje de Infiltración:** Es la cantidad en porcentaje de la precipitación que penetra en la zona no saturada.
39. **Irrigación:** Acción de las aguas superficiales de aplicar riego a la superficie terrestre.
40. **Lava:** Flujo rocoso en estado incandescente que asciende desde el interior de la tierra.
41. **Limo:** Arcilla muy fina, con más o menos cantidad de cuarzo, en grano o en polvo.
42. **Litología:** Clases de rocas presentes en una subdivisión estratigráfica.
43. **Nivel freático:** Plano que forma la superficie superior de la zona de saturación.
44. **Nivel Piezométrico:** Es el nivel superior del agua en un pozo perforado en una capa acuífera.
45. **Piroclastos:** Material sólido arrojado por una chimenea o conducto volcánico.
46. **Plaguicida:** Sustancias utilizadas para combatir las plagas.
47. **Pleistoceno:** Período cuaternario que, comenzando hace alrededor de un millón de años, llega hasta la glaciación del würm, hace unos 12,000 años. Se caracteriza por la existencia, a lo largo de él, de varios períodos glaciares e interglaciares, con el correspondiente avance o retroceso de glaciares e inlandsis.
48. **Porosidad:** Relación existente entre el volumen de vacíos y el volumen total de una roca, un terreno o un suelo. Los vacíos son susceptibles de estar rellenos de aire o de agua.
49. **Profundidad del acuífero:** Se define como la distancia medida verticalmente entre la superficie terrestre hasta la capa superior del acuífero, generalmente medida en metros. En un acuífero libre se refiere al nivel freático del mismo y en un acuífero confinado se refiere al nivel piezométrico.

50. **Punto de sequedad:** Es aquel que tiene humedad tal, que por debajo de las plantas no pueden vivir.
51. **Recarga:** Cantidad de agua que entra desde la superficie terrestre pasando por la capa del suelo, la zona no saturada y llega al acuífero.
52. **Resistividad Eléctrica:** Resistencia a la cantidad de corriente que pasa por la formación cuando un campo eléctrico es aplicado.
53. **Roca efusiva:** Material solidificado de la corteza terrestre que ha salido a la superficie terrestre por una grieta.
54. **Rocas metamórficas:** Son el resultado de un proceso de metamorfismo que, en relación con procesos orogénicos, transforma mineralogía, estructura y aun químicamente tanto las rocas exógenas como las endógenas.
55. **Sedimentos:** Depósitos formados como fruto de la destrucción mecánica y de la alteración de las rocas debido al transporte de ríos y lagos.
56. **Sistema de Coordenada Geográfica:** Sistema que representa la ubicación de un punto, contorno o área en unidades de grados, minutos y segundos, teniendo como referencia en latitud al meridiano de Greenwich y en longitud al ecuador.
57. **Suelo Orgánico:** Capa de suelo que se caracteriza por una intensa actividad de procesos físicos, químicos y biológicos.
58. **Transmisividad:** Caudal que se filtra a través de una sección vertical de terreno de ancho unidad y altura igual a la del acuífero saturado, bajo gradiente unidad y temperatura constante.
59. **Trasvase:** Intercambio de agua subterráneas entre acuíferos.
60. **Trazadora:** Sustancia colorante o sales químicas que siguen el movimiento del agua subterránea.
61. **Uso de la Tierra:** Término que define la actividad humana que se realiza en una área de terreno determinada.

- 62. Zona no Saturada:** Zona que se encuentra sin saturación ubicada sobre la zona saturada
- 63. Zona Saturada:** Es el acuífero mismo.

ANEXOS

ANEXO A

**NORMA SALVADOREÑA OBLIGATORIA PARA LA CALIDAD DEL AGUA
POTABLE DEL MINISTERIO DE SALUD Y ASISTENCIA SOCIAL (MSPAS) Y
RATIFICADA POR CONACYT.**

1. DEFINICIONES TÉCNICAS PARA AGUA POTABLE.

- 1.1 Agua Potable:** Es el agua apta para el consumo humano, la cual debe estar exenta de organismos capaces de provocar enfermedades y de elementos o sustancias que pueden producir efectos fisiológicos perjudiciales cumpliendo con los requisitos de la Norma Salvadoreña Obligatoria NSO 13.07.01:97.
- 1.2 Agua Tratada:** Corresponde al agua cuyas características han sido modificadas por medio de procesos físicos, químicos, biológicos y microbiológicos.
- 1.3 Agua Clorada:** Es el agua sometida a un proceso de desinfección por medio de cloro y sus derivados en concentraciones que cumplen la norma.
- 1.4 Agua Fluorada:** Es el agua a la que se le adiciona compuestos derivados del fluor, en concentraciones que cumplan la norma.
- 1.5 Alcalinidad:** Es la capacidad cuantitativa para neutralizar un ácido.
- 1.6 Bacterias Heterótrofas:** Son bacterias que obtienen el carbono a partir de compuestos orgánicos.
- 1.7 Bacterias Aerobias:** Son bacterias que se desarrollan en presencia de oxígeno, pueden ser obligadas o facultativas.
- 1.8 Bacterias Mesofilas:** Son bacterias que crecen y viven a temperatura óptima comprendida entre 15°C y 45°C.
- 1.9 Compuestos Fenólicos:** Son compuestos orgánicos que se clasifican como, Mono-, di-, o- polihidricos, dependiendo del número de grupos hidroxilos unidos al anillo aromático del benceno.
- 1.10 Conductividad:** Es una expresión numérica de la capacidad de una muestra de agua, para conducir la corriente eléctrica. Este número depende de la concentración total de sustancias ionizadas disueltas en el agua a la temperatura que se realiza la medición.
- 1.11 Dureza:** Características del agua que representa la concentración total de los iones de calcio y mangasio expresados como carbonato de calcio.
- 1.12 Escherichia coli:** Son bacilos gram-negativos, no formadores de esporas que fermentan la lactosa con producción de gas y dan las pruebas del **IMViC** con respuesta ++ -- 0 +- --.

- 1.13** Cuando se utiliza un medio **MUG**, la *Escherichia coli* se define como la bacteriacoliforme que posee la enzima β D-glucuronidasa que hidroliza al substrato fluorogenico con **MUG** con producción de fluorescencia.
- 1.14 Grupo Coliforme Total:**
- a) Cuando se utiliza la técnica de tubos múltiples de fermentación, el grupo coliforme total se define como todos los bacilos anaerobios facultativos, gram- negativos, no formadoras de esporas que fermentan la lactosa con producción de ácido y gas dentro de 48 horas de incubación a $35^{\circ}\text{C} + o -0.2^{\circ}\text{C}$.
 - b) Cuando se utiliza la técnica de filtración por membranas, el grupo coliforme total se define como todas las bacterias anaerobias o anaerobias facultativas, gram-negativas, no formadoras de esporas que se desarrollan colonias rosadas o rojas con brillo verde metálico en 24 horas de incubación a $35^{\circ}\text{C} + o -0.5^{\circ}\text{C}$ en medio **ENDO**.
 - c) Cuando se usa la técnica del substrato cromogenico, el grupo coliforme total se define como toda bacteria que posee la enzima β d-galactosidasa, la cual hidroliza al substrato cromogenico produciendo un color característico según indicador utilizado.
- 1.15 Grupo Coliforme Fecal:** Se llaman bacterias coliformes termotolerantes y son bacterias que tienen las mismas propiedades de los coliformes fecales totales. A $44.5 + o -0.2^{\circ}\text{C}$ en 24 horas, que producen gas en medio EC y colonias azules en medio ENDO M-FC.
- 1.16 IMViC:** Realización de cuatro pruebas: Indol; Rojo de metilo; Voges-Proskaver; Citrato.
- 1.17 Numero Mas Probable (NMP):** Este numero da un valor estimado de la densidad media de bacterias coliformes en una muestra de agua.
- 1.18 Plaguicida:** Es cualquier sustancia destinada a prevenir, destruir, atraer, repeler o combatir cualquier plaga, incluidas las especies indeseadas de plantas o animales, durante la producción, almacenamiento, transporte, distribución y elaboración de alimentos, productos agrícolas o alimentos para animales, y aquellos que se administren a los animales para combatir ectoparásitos.
- 1.19 Parámetros:** Es aquella característica que es sometida a medición.

- 1.20 Residuos de Plaguicida:** Cualquier sustancia especificada presente en alimentos, productos agrícolas o alimentos para animales como consecuencia del uso de un plaguicida. El termino incluye cualquier derivado de un plaguicida, como productos de conversión, metabolitos y productos de reacción y las impurezas consideradas de importancia toxicológica.
- 1.21 Radiactividad:** Es la emisión de energía atómica radiante (alpha, beta y/o rayos gamma) de algunos elementos (radio, radon, uranio, torio, etc.) causada por la desintegración espontánea del núcleo de los átomos de estos elementos.
- 1.22 Turbiedad:** Es una expresión de la propiedad óptica que causa la luz al ser dispersada y absorbida antes de ser transmitida en líneas rectas a través de la muestra.
- 1.23 UFC:** Unidad Formadora de Colonias.
- 1.24 Valor Recomendado:** Corresponde a la concentración de sustancias o densidad de bacterias donde no hay riesgo sobre la salud de los consumidores.
- 1.25 Valor Máximo Admisible:** Corresponde a la concentración de sustancias o bacterias a partir de la cual provoca rechazo por parte de los consumidores o donde existe un riesgo para la salud. La superación de estos valores implica la toma de acciones correctivas inmediatas.

2. REQUISITOS

2.1 REQUISITOS DE CALIDAD MICROBIOLÓGICOS

Tabla No. 1

Valores máximos admisibles para la calidad microbiológica.

PARÁMETRO	VALOR MÁXIMO ADMISIBLE		
	TECNICA		
	FILTRACIÓN POR MENBRANAS	TUBOS MULTIPLES	PLACA VERTIDA
Bacterias Coliformes totales	O UFG/100 ml	< 1.1 NPM/100 ml	-
Bacterias Coliformes fecales	O UFG/100 ml	Negativo	-
Escherichia coli	O UFG/100 ml	Negativo	-
Conteo de bacterias heterótrofas, aerobias y mesófilas	100 UFG/ml max	-	100 UFG/ml
Organismos patógenos	Ausencia		

Cuando en una muestra se presentan organismos Coliformes totales fuera de la Norma, según la tabla No. 1, se deben aplicar medidas correctivas y se deben tomar inmediatamente muestras diarias del mismo punto de muestreo y se les debe de examinar hasta que los resultados que se obtengan, cuando menos en dos muestras consecutivas demuestren que el agua es de una calidad que reúne los requisitos exigidos por la tabla No. 1.

Un número mayor de 100 microorganismos por ml en el recuento total de bacterias heterotróficas, es señal de que deben tomarse medidas correctivas e indica la necesidad de una inspección sanitaria completa del sistema de abastecimiento para determinar cualquier fuente de contaminación.

2.2 REQUISITOS DE CALIDAD FÍSICO-QUÍMICOS

Tabla No. 2

Valores para agua potable

PARÁMETRO	UNIDAD	VALOR RECOMENDADO	VALOR MÁXIMO ADMISIBLE
Color aparente	-	NR	-
Color verdadero	mg/l (Pt-Co)	-	15
Conductividad	µmhos/cm	500	1600
Olor	No. De umbral de olor	NR	3
PH	-	6.0-8.5	-
Sabor	No. De umbral de sabor	NR	1
Sólidos totales disueltos	mg/l	300	600
Temperatura	°C	18-30	NR*
Turbiedad	UNT	1	5

NR: No rechazable

- De no encontrarse en el rango recomendado queda sujeto a evaluaciones de potabilidad.

Tabla No. 3
Valores de sustancias Químicas

PARAMETROS	VALOR RECOMENDADO (mg/l)	VALOR MAX. ADMISIBLE (mg/l)
Ácido sulfhídrico	No detectable	< 0.05
Alcalinidad total como (CaCO3)	30.00	350.00
Antimonio	-	0.005
Calcio	-	75.00
Cloruros	25.00	250.00
Cobre	0.10	1.00
Dureza total como (CaCO3)	100.00	400.00
Fluoruros	-	1.50
Hierro total	0.05	0.30
Magnesio	-	50.00
Manganeso	0.05	0.1
Nitrógeno amoniacal (NH4)	-	0.50
Nitrógeno (Kjendahl) N de NO2 y NO3	-	1.00
Plata	-	0.10
Potasio	-	10.00
Sílice	60.00	125.00
Sodio	25.00	150.00
Sulfatos	25.00	250.00

Tabla No. 4

Valores para sustancias Químicas de tipo inorgánico de alto riesgo para la salud

PARAMETRO	VALOR MAXIMO ADMISIBLE (mg/l)
Aluminio	0.05
Arsénico	0.01
Bario	0.70
Boro	0.30
Cadmio	0.003
Cianuros	0.05
Cromo (Cr+6)	0.05
MERCURIO	0.001
Níquel	0.02
Nitrato (medido como Nitrógeno)	10.00
Nitrato (NO3)	45.00
Nitrito (medido como Nitrógeno)	1.00
Plomo	0.01
Selenio	0.01
Zinc	5.00

• Sujeto a mayores restricciones

** Dado que los nitratos y los nitritos pueden estar simultáneamente presentes en el agua de bebida, la suma de las razones de cada uno de ellos y su respectivo valor máximo admisible (VMA) no debe superar la unidad, es decir

$$\frac{NO3}{VMA_{NO3}} + \frac{NO2}{VMA_{NO2}} < 1$$

VMA_{NO3} VMA_{NO2}

Tabla No. 5

Valores para sustancias orgánicas de riesgo a la salud

PARAMETRO	MAXIMO ADMISIBLE (µg/l)
Aceites y grasas	No detectables
Ácido edético (EDTA)	200.00
Ácido nitrilo acético	200.00
Acrilamina	0.00
Adipato di (2-Etilhexilo) ADDH	80.00
Benceno	5.00
Benzopireno	0.20
Cloruro de vinilo	2.00
Diclorobenceno 1-2	600.00
Diclorobenceno 1-4	75.00
Dicloroetano 1-2	5.00
Dicloroetano 1-1	30.00
Dicloroetano 1-2	50.00
Diclorometano	5.00
Epilclorohidrina	0.40
Estireno	20.00
Ftalato de di (2-Etilhexil)	6.00
Etilbenceno	300.00
Hexaclorobutadieno	0.60
Monoclorobenceno	100.00
Oxido de tributilestaño	2.00
Tetracloroetano	40.00
Tetracloruro de carbono	2.00
Tolueno	700.00
Triclorobenceno (total)	20.00
Tricloroetano (1,1,1)	200.00
Tricloroetano	70.00
Xileno	500.00

- Sujeto a mayores restricciones.

Tabla No. 6
Valores para residuos de plaguicidas

PARAMETRO	VALOR MAX. ADMISIBLE (µg/l)*
Alacloro	2.00
Aldicarb	3.00
Aldrin/Dieldrin	0.03
Ametrina	63.00
Atrazina	2.00
Benomil	350.00
Bentazona	17.50
Bromacyl	90.00
Bromuro de metilo	10.00
Carbaril	700.00
Carbofurano	5.00
Cipermetrina	70.00
Clordano	0.20
Clorpirifos	21.00
Clorpirifos metil	70.00
Cobre metálico	1000.00
2.4-D	30.00
Diazinon	6.30
2.4. DB	90.00
DDT	0.10
1.2-Dibromo-3-Cloropropano	0.20
Dicloroprop	100.00
Dicloropropano	5.00
1-2 Dicloropropano	5.00
1-3 Dicloropropeno	1.00
Dimetoato	5.00
Diguat	20.00
Disulfuton	0.50
Diuron	14.00
Endosulfan	0.35
Fenamifos	1.75
Glifosato	700.00
Heptacloro	0.40
Heptacloroepoxido	0.20
Hexazinona	231.00
Isiproturon	9.00
Lindano	0.20
Malation	140.00
Mancozeb	25.00
Maneb	85.00
Mecoprop	10.00
MCPA	2.00

Tabla No. 6 (continuación)

PARAMETRO	VALOR MAX. ADMISIBLE (µg/l)*
Metalaxil	420.00
Metamidofos	5.00
Metilparation	100.00
Metolacloro	10.00
Metoxicloro	20.00
Molinato	6.00
Oxamil	200.00
Paraquat	31.00
Pendimetalina	20.00
Pentaclorofenol	1.00
Permetrina	20.00
Picloran	500.00
Piridato	100.00
Propanil	20.00
Propuxur	28.00
Simazina	2.00
2,4,5-T	9.00
Terbufos	0.18
Trifuralina	5.00

*Sujeto a mayores restricciones

Tabla No. 7

Parámetro para desinfectantes y subproductos de la desinfección

PARAMETRO	VALOR MAX. ADMISIBLE (µg/l)
Cloraminas	
Monocloroamina	3
Di-cloroamina	5
Tri-cloroamina	5
Halogenos	
Bromato	25
Clorito	200
Clorofenoles	
2.4.6-triclorofenol	200
Formaldehído	
Trihalometanos (totales) ¹	900
Bromoformo	100
Dibromoclorometano	100
Bromodiclorometano	60
Cloroformo	100
Acidos aceticos clorados	
Acidodicloroacetico	50
Acido tricloroacetico	100
Hidrato de cloral (tricloroactaldehido)	10
Acetonitrilos halogenados	
Dicloroacetoniitrilo	90
Dibromoacetoniitrilo	100
Tricloroacetoniitrilo	1
Cloruro de cianogeno (como CN)	50

(*) La sumatoria de la relación de la concentración con sus valores máximos admisibles no debe de exceder a uno.

$$\sum C/VMA \leq 1$$

Tabla No. 8

Valores para cloro residual

PARAMETRO	VALOR RECOMENDADO	VALOR MAXIMO ADMISIBLE
Cloro residual libre	0.5 mg/l	1.0 mg/l

El limite recomendado seguro y deseable de cloro residual libre, en los puntos más alejados del sistema de distribución es de 0.5 mg/l después de 30 minutos de contacto, con el propósito principal de reducir al 99% de patógenos entericos.

En aquellas ocasiones en que amanecen o prevalezcan brotes de enfermedades de origen hídrico el residual de cloro debe mantenerse en un valor máximo admisible de 1.5 mg/l en todas las partes del sistema de distribución, haciendo caso omiso de los olores y sabores en el agua de consumo. Deben tomarse medidas similares en los casos de interrupciones o bajas en la eficiencia de los tratamientos para potabilizar el agua.

Los valores recomendados y el valor máximo admisible de estas especificaciones están sujetos a modificarse cuando se pueda emplear un método analítico sencillo pero preciso y exacto para determinar la presencia de las sustancias denominadas "trihalometanos" (THM) en el agua de consumo, siempre que no sobrepasen el limite de 0.1 mg/l.

Tabla No. 9

**Valores de los parámetros radioactivos para el agua potable
(radionuclidos)**

PARÁMETRO	VALOR MÁXIMO ADMISIBLE
Alpha global	15 (pCi/l) equivalente a dosis anual
Actividad particula beta y fotones	4 (mrem) equivalentes a dosis anual
Radio 226 y 228	5 (pCi/l) equivalente a dosis anual

mrem = mileren

pCi/l = picocuries/l

3.MUESTREO

Tabla No. 10

Frecuencia del muestreo para la calidad bacteriana del agua potable	
TAMAÑO DE LA POBLACIÓN (Habitantes)	NÚMERO MÍNIMO DE MUESTRAS/MES
<5000	1
5000-100,000	1 Muestra/5000 usuarios
>100,000	1 Muestra/10,000 usuarios más de 10 muestras adicionales

Frecuencia del examen físico-químico

El muestreo y el examen frecuente son necesarios en el caso de los componentes microbiológicos, pero cuando se trata de compuestos orgánicos e inorgánicos presentes en el agua que están relacionados con la salud, se requieren tomas de muestras y análisis menos frecuentes. Debe realizarse un examen completo cuando se pone en servicio una fuente nueva de agua e inmediatamente después de cualquier modificación importante de los procesos de tratamiento. Más adelante, es preciso analizar periódicamente muestras con una frecuencia dependiente de las condiciones locales. Además es importante la información local sobre los cambios ocurridos en la zona de captación (en particular actividades agrícolas e industriales), que puede usarse para pronosticar posibles problemas de contaminación y por consiguiente, determinar la necesidad de vigilar con más frecuencia la presencia de compuestos específicos.

No se puede generalizar en lo tocante a la frecuencia con que ha de examinarse el agua potable para evaluar sus características organolépticas. Algunos componentes, por ejemplo el sodio o el cloruro se encuentran en el agua de la fuente, mientras que otros se agregan durante los procesos de tratamiento. Otras características y componentes, como el sabor, el hierro, el zinc, etc. Pueden variar considerablemente debido a otros factores o según el tipo de sistema de distribución y la prevalencia de los problemas de corrosión. Es obvio que en el caso de algunos componentes y parámetros, el examen deberá ser bastante frecuente, mientras que con otros, cuyas concentraciones varían poco, será suficiente una menor frecuencia.

Tabla No. 11
Métodos de análisis

PARAMETRO	METODO
Aluminio	Absorción atómica
	Plasma de acopiado inductivo
	Colorimetricos
Amonio	Colorimetrico
	Titrimetrico
	Electrodo selectivo
Antimonio	Absorción atomica
	Plasma acoplado inductivo
Arsénico	Absorción atomica
	Dietilditiocarbonato de plata
	Plasma acoplado inductivo
Cadmio	Absorción atómica
	Plasma acoplado inductivo
Calcio	Absorción atomica
	Plasma acoplado inductivo
	Titrimetrico
	Titulación con permanganato
Cianuros	Titrimetrico
	Colorimetro
	Electrodo selectivo
	Cloruro de cianogeno
Cloro residual	Yodometrico
	Titulación amperometrica
	Colorimetro
Cloruros	Argentometrico
	Potenciometro
	Ferrocianuro-automatico
	Cromatografía de iones
Cobre	Absorción atomica
	Plasma acoplado inductivo
	Colorimetro
Coliforme fecal	Tubos multiples-Filtración por membrana
Coliforme total	Tubos multiples-Filtración por membrana
Color aparente	Comparación visual espectrofotometrico
Color verdadero	Comparación visual espectrofotometrico
Conductividad	Puente de Wheastone

Tabla No. 11 (continuación)

PARAMETRO	METODO
Cromo	Absorción atómica
	Plasma acoplado inductivo
	Colorímetro
Dureza	Titulación con EDTA
	Absorción atómica
Escherichia coli	Tubos múltiples-Filtración por membrana
Fluoruro	Electrodo selectivo SPADNS
	Complexona
	Absorción atómica
Hierro	Absorción atómica
	Plasma acoplado inductivo
	Colorímetro

Tabla No. 12

Métodos de análisis para componentes orgánicos en agua

PARAMETRO	METODO
Aceites y grasas	Gravimetría-Partición-Soxhlet
Ácido fenoxiacético	Cromatografía de gases-HPLC
Ácido nitrosotriacético (ATN)	Polarografía
Fenólicos	Espectrofotométrico-HPLC
Herbicidas	Cromatografía de gases-HPLC- HPTLC
MCPA y MCPB	Cromatografía de gases
Plaguidas, N-Metil carbono	Cromatografía de gases y HPLC
Nitrógeno	KJELDAHL
Nitrógeno total y orgánico	Titrimétrico, Kjeldahl, colorímetro
Pentaclorofenol	Cromatografía de gases
Plaguicidas organoclorados y PCB's	Cromatografía de gases-HPLC-Extracción de resina XAD

3.1 PROCEDIMIENTO PARA LA TOMA Y ENVIÓ DE MUESTRAS DE AGUA

Para que los resultados de los análisis de agua sean de utilidad al estudio de la calidad higiénica de las mismas, es necesario que las muestras sean verdaderas y representativas de aquella cuya composición se averigua. Una muestra mal tomada no permitirá conocer la composición exacta del agua que pretenda representar, aunque sea analizada cuidadosamente y además malgasta el trabajo del laboratorio.

Los frascos destinados a la toma de muestras de agua son de dos clases:

- 1- Para análisis bacteriológico, frasco con tapón esmerilado, estéril, protegido con un gorro de papel sujeto por un cordel (volumen mínimo de muestra 200 ml).
- 2- Para análisis físico-químico, frasco, el cual no es estéril, ni tiene protección de papel. Su capacidad será de 4 litros para muestras destinadas a examen físico-químico pueden utilizarse botellas bien lavadas con tapón de corcho nuevo.

Al quitar el tapón el frasco en que se tomará la muestra, evítese el contacto con las manos o de cualquier otra cosa con la parte esmerilada o con la boca del mismo pues esto puede contaminar la muestra. La muestra de agua no debe ponerse en contacto con cosa alguna, mientras pasa de la fuente a la botella o frasco.

El frasco que facilita el laboratorio para tomar la muestra destinada a examen bacteriológico esta esterilizado y no debe destaparse sino hasta el momento de tomar dicha muestra. No cometer el error de quitar una tira de papel que muchas veces se encontrara debajo del tapón, este está estéril y en nada afectara los resultados del análisis.

Nunca se llenaran los frascos completamente, dejar siempre un espacio de aire suficiente. Cuando halla tomado la muestra tape el frasco inmediatamente y sujete la cubierta del papel con el cordel de que van provistos todos los frascos.

Es indispensable llenar completamente la tarjeta de información que va agregada a estas instrucciones; sus datos ayudaran mucho a la interpretación de los resultados de los análisis.

No es prudente tomar las muestras cuando hace mucho viento o llueve intensamente, porque ambos eventos aumentan la posibilidad de una contaminación. Es aconsejable, tomarla poco tiempo antes de la salida de su transporte al laboratorio para ser analizadas.

Las muestras para examen bacteriológico deben ser mantenidas a baja temperatura (de 4°C a 10°C) durante su transporte al laboratorio.

4. TOMA DE MUESTRAS DE AGUA PARA ANÁLISIS BACTERIOLÓGICO

4.1 Procedimiento

4.1.1 Limpie el grifo: utilizando una tela o algodón limpio, frote la boca del grifo para quitar cualquier suciedad que pudiera existir.

4.1.2 Abra la válvula del grifo: de vuelta a la llave del grifo hasta que alcance su flujo máximo y deje correr el agua durante 1 a 2 minutos.

4.1.3 Esterilice el grifo: esterilice el grifo durante un minuto con la llama encendida de una torunda de algodón o gasa remojada con alcohol o encendedor.

4.1.4 Soltar la cubierta del papel: desamarre el cordón que ajusta la cubierta protectora de papel.

4.1.5 Abrir el frasco: Hale hacia fuera o desenrosque el tapón, teniendo cuidado de no tocar la boca del frasco ni la parte interna del tapón.

4.1.6 Toma de la muestra: debe flamearse los alrededores del grifo a fin de preparar un espacio estéril en el momento del llenado del frasco.

4.1.7 Llenado del frasco: el frasco debe de llenarse hasta el comienzo de los hombros permitiendo así una cámara de aire.

4.1.8 Tapar el frasco: teniendo cuidado de no tocar el interior del tapón ni la boca del frasco.

4.1.9 Sujetar la cubierta del papel: amarrar el cordel al contorno de la boca del frasco sujetando a la vez la cubierta de papel que protege el tapón.

5. TOMA DE LA MUESTRA DE AGUA PARA ANÁLISIS FÍSICO-QUÍMICO.

Úsese un frasco de vidrio o de plástico limpio de un galón de capacidad. En el servicio de agua corriente, se abre el grifo y se deja correr el agua por 5 minutos, se llena un tercio del frasco con agua que se examinara, se agita bien y se bota esta agua; se vuelve a llenar siempre hasta un tercio de su capacidad, y se agita otra vez botando el agua; por tercera vez se llena casi completamente, se tapa, se rotula y se envía al laboratorio.

6. TÉCNICA PARA LA LECTURA DE CLORO RESIDUAL

6.1 Tubo de observación de color: saque el tubo de observación de color, del lado izquierdo y enjuáguelo completamente con agua limpia.

6.2 Llenado del tubo de observación: llene el tubo de observación del color, con agua limpia, hasta la marca de 5 ml y colóquelo en su lugar.

6.3 Tubo de observación de color: saque el tubo de observación del color, del lado derecho y enjuáguelo completamente con agua limpia.

6.4 Llenado del tubo de observación: llene el tubo de observación del color, con agua limpia, hasta la marca de 5 ml.

6.5 Adición de reactivo (OTO-DPD): agregue al agua en el tubo de observación del color, la cantidad del reactivo recomendado según el caso (cloro residual-cloro total).

6.6 Agitar el contenido del tubo: agite el tubo de observación del color con el contenido, a fin de mezclar en forma homogénea al reactivo con el agua.

6.7 Tubo de observación del color: coloque el tubo de observación del color, en un sitio correspondiente.

6.8 Lectura del cloro: rote el disco hasta obtener por comparación el color de la muestra.

NOTAS:

- a) Si usa DPD para cloro residual libre, lea dentro del tiempo de 1 minuto.
- b) Si usa DPD para cloro total, lea dentro del tiempo de 3 a 6 minutos para permitir que el color se desarrolle.

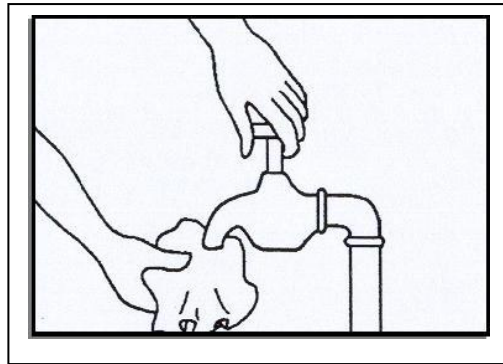
ANEXO B

PROCEDIMIENTO PARA LA TOMA Y ENVIO DE LAS MUESTRAS DE AGUA PARA REALIZAR EL ANÁLISIS BACTERIOLOGICO

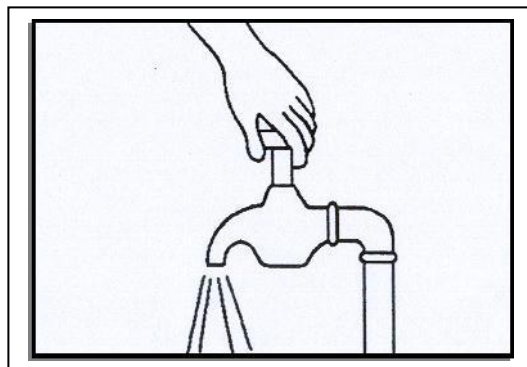
TOMA DE LAS MUESTRAS

a. Muestreo de agua de un grifo o del tubo de salida de una bomba

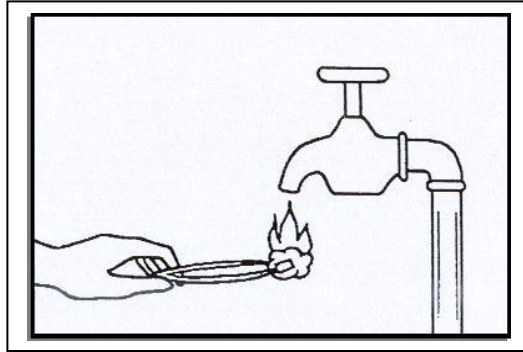
- Limpiar el grifo: Eliminar del grifo cualquier adherencia que podría causar salpicaduras. Utilizar un trapo limpio, y secar el orificio de salida para eliminar cualquier suciedad.



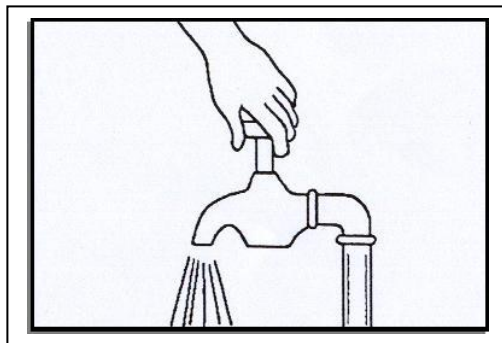
- Abrir el grifo: Abrir el grifo al máximo y dejar que emane el agua durante 1-2 minutos.



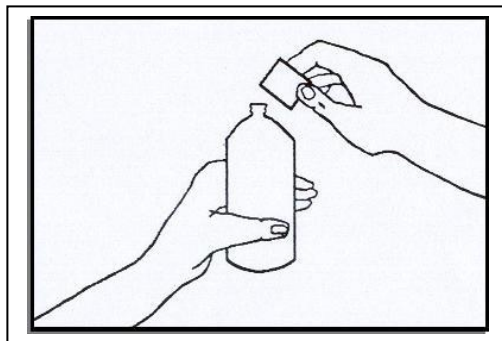
- Esterilizar el grifo: Esterilizar el grifo durante un minuto con la llama de un mechero de gas, un encendedor corriente o una torunda empapada en alcohol.



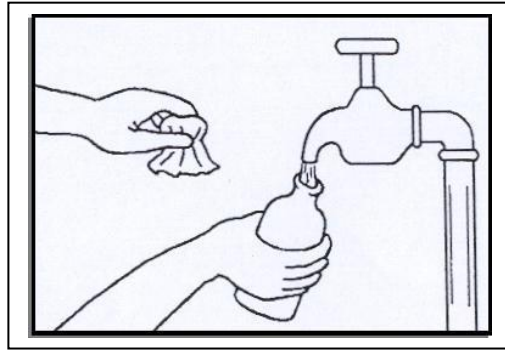
- Abrir el grifo antes de la muestra: Abrir cuidadosamente el grifo y deje que el agua emane durante uno o dos minutos a mitad de fuerza. No ajustar el chorro una vez fijado.



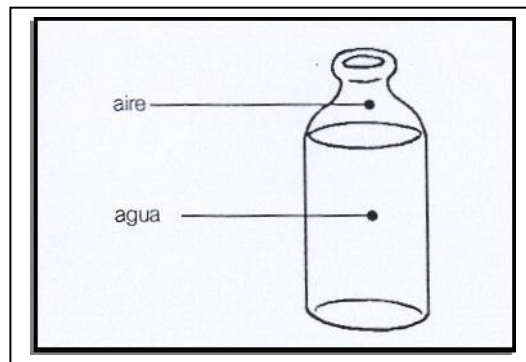
- Abrir el frasco esterilizado: Coger un frasco y desenroscar cuidadosamente el tapón de rosca o tirar del tapón de corcho o de goma.



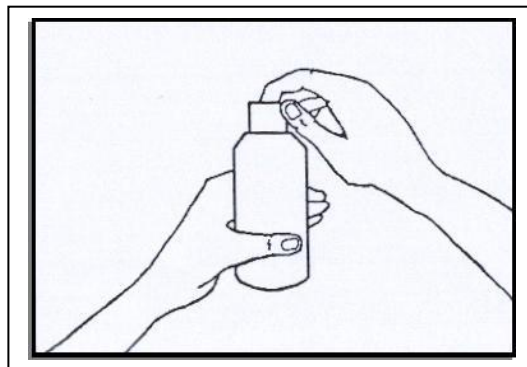
- Llenar el frasco: Manteniendo el tapón y el capuchón protector boca abajo (para prevenir la entrada de polvo, que puede contaminar la muestra), poner inmediatamente el frasco bajo el chorro de agua y llenarlo.



Hay que dejar un pequeño espacio de aire para que sea mas fácil agitar la muestra antes del análisis.

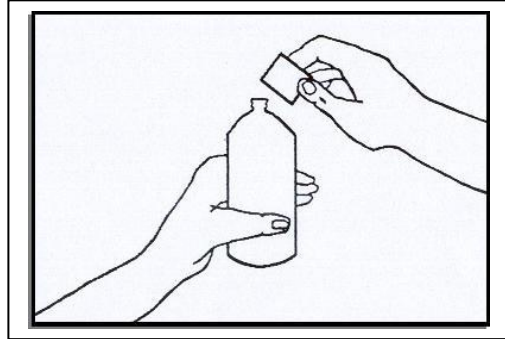


- Tapar el frasco: Introducir el tapón y fijar el capuchón con el cordel

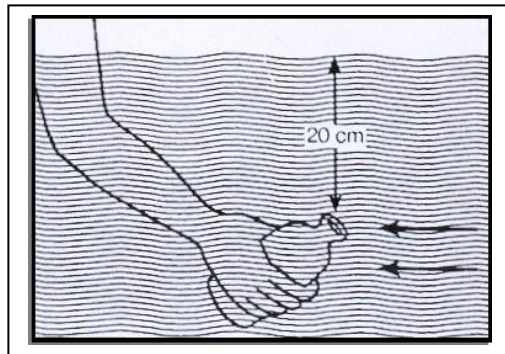


b. Muestreo de agua de una corriente (río) o un deposito

- Abrir el frasco esterilizado: Coger un frasco y desenroscar cuidadosamente el tapón de rosca o tirar del tapón de corcho o de goma.

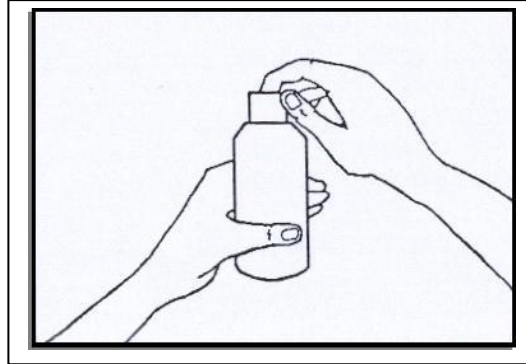


- Llenar el frasco : Sujetando el frasco por su parte inferior, sumergirlo a unos 20 cms. de profundidad, con la boca ligeramente inclinada hacia arriba. Si hay corriente la boca del frasco debe de quedar situada hacia la corriente.



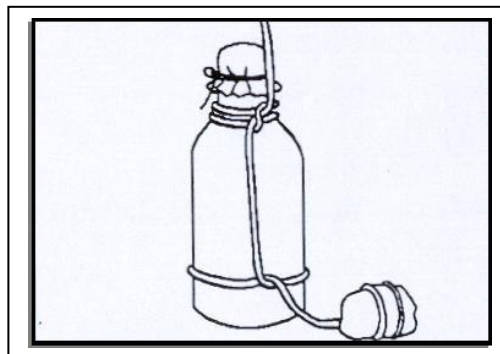
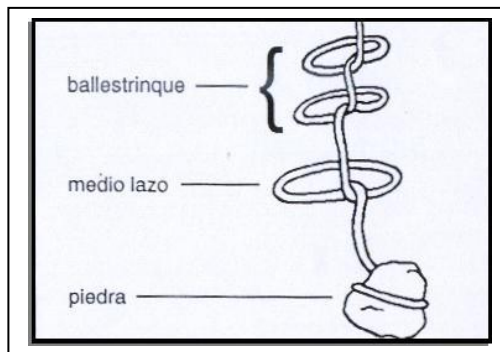
Hay que dejar un pequeño espacio de aire para que sea mas fácil agitar la muestra antes del análisis.

- Tapar el frasco: Introducir el tapón y fijar el capuchón con el cordel

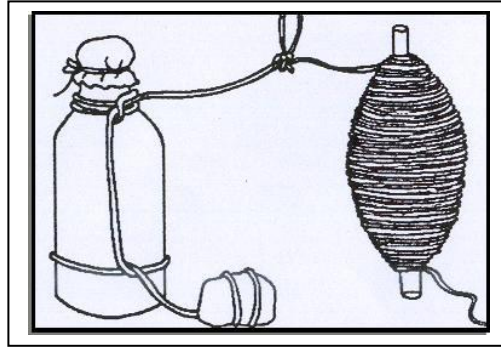


c. Muestreo de agua de pozos excavados o fuentes análogas

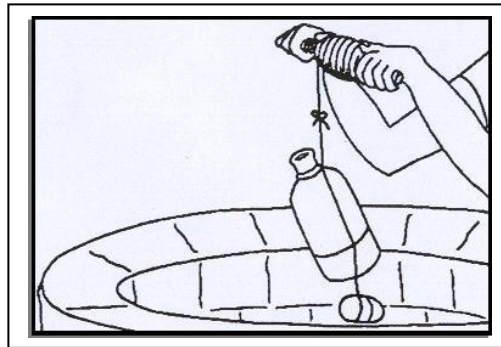
- Preparar el frasco: Con un cordel, atar un peso limpio al frasco del muestreo.



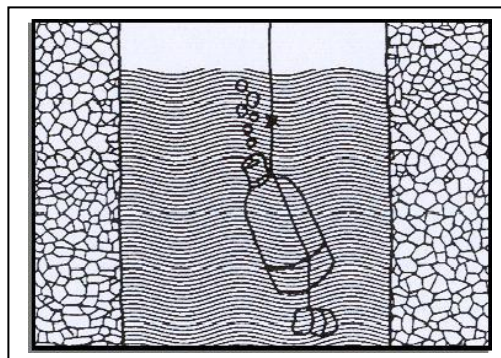
- Atar el frasco al cordel: Coger 20cms. de cordel limpio enrollado en un palo y atarlo al cordel de frasco.



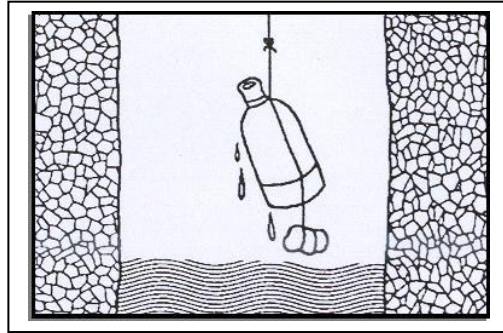
- Hacer bajar el frasco: Hacer bajar el frasco , con el peso, por el pozo, desenrollando lentamente el cordel. No dejar que el frasco toque las paredes del pozo.



- Llenar el frasco: Sumergir completamente el frasco en el agua y hacerlo descender bastante por debajo de la superficie, sin chocar con el fondo ni remover los sedimentos.



- Recuperar el frasco: Cuando se supone que el frasco esta lleno, enrollar el cordel para subir el frasco. Si esta completamente lleno, tirar un poco de agua para dejar un espacio de aire. Tapar el frasco.



TRANSPORTE DE LAS MUESTRAS AL LABORATORIO

Una vez tomadas las muestras, se vuelve necesario el empleo de técnicas de preservación que posibiliten la conservación de muestras prácticamente inalteradas, por lo que se deben colocar en depósitos (termos) que mantengan la muestra a baja temperatura, y en la oscuridad con el fin de reducir los cambios producidos por la proliferación de bacterias.

Estas técnicas de conservación de muestras se hace indispensable cuando existe gran distancia entre el punto de muestreo y el laboratorio.

El lapso de tiempo para el transporte de la muestra es de 6 horas, si se tiene que prolongar mas tiempo debe de conservarse en refrigeración (sin congelarse) y se permite hasta 24 horas después de la toma de las muestras.

ANEXO C

MÉTODOS PARA DETERMINAR EL NÚMERO DE MICROORGANISMOS EN MUESTRAS DE AGUA

➤ RECuento EN PLACA

Permite la determinación de los microorganismos presentes en una muestra, en base al desarrollo en un medio de cultivo, en placa y formando colonias. Por lo tanto se determinan por este método sólo las células microbianas VIABLES en las condiciones de trabajo (nutrientes, atmósfera, temperatura).

Como las colonias pueden originarse tanto de una célula como de un grupo, pares, cadenas de células, se utiliza el término: **UNIDADES FORMADORAS DE COLONIAS (U.F.C.)** Además, a los efectos de que todas las células que queden en una placa tengan una adecuada disponibilidad de nutrientes, y que los errores del método sean menores, se establece que las condiciones óptimas de conteo se dan cuando desarrollan entre 30 y 300 colonias por placa o menos según el caso. Cuando esto no se cumple se considera el valor obtenido como una estimación del recuento, y si es posible se repite hasta caer en las condiciones óptimas.

Procedimiento:

La preparación de la muestra se realiza como para cualquier método utilizando diluyentes adecuados. Se preparan diluciones de 1 en 10 sucesivas, partiendo en general de 10 gramos de muestra para la primer dilución, y tomando 1 mL de ésta descargándolo en 9 mL de diluyente y así sucesivamente.

Cada vez que se prepara una dilución se carga y descarga la pipeta tres veces, descargándola finalmente sobre el tubo con diluyente estéril. Se descarta la pipeta luego de preparada cada dilución.

Según la carga esperada, o permitida, se eligen las diluciones a sembrar. Generalmente, se siembran no menos de tres diluciones consecutivas.

Ej.: 1:10 (10-1), 1:100 (10-2), 1:1000 (10-3).

Una vez preparadas las diluciones, se siembra dentro de los 15 minutos siguientes .

Antes de proceder a la siembra se rotulan las placas, en el fondo, con los siguientes datos:

1. Identificación de la muestra: Nombre y/o Número de lote.
2. Dilución.
3. Volumen sembrado.
4. Superficie ó incorporado.
5. Fecha.
6. Operador.

a) Siembra en superficie.

- i- Se deposita en la superficie de las placas que ya contienen el medio de cultivo, 0.1 mL de cada dilución.
- ii- Se realiza duplicado para cada dilución. Se emplea la misma pipeta para todas las diluciones y se comienza por la más diluida. Luego de realizada la descarga de la muestra, se procede a extenderla sobre toda la superficie de las placas, usando rastrillo estéril, en el mismo orden que la siembra (o sea de la más diluida a la más concentrada).

b) Siembra incorporada.

Se procede de la dilución mayor a la menor, y se deposita 1 mL de cada dilución en placas estériles vacías, por duplicado. Posteriormente, se agrega a cada placa 15 a 20 mL del medio de cultivo a emplear, previamente fundido y termostatzado a 45°C en baño o estufa. Se agita moviendo la placa tapada sobre la superficie de la mesa con movimiento circular horario (4 veces o más para polvos insolubles) y antihorario (4 veces) y movimiento hacia arriba y hacia abajo (siempre sin levantar la placa de la mesa). En algunas situaciones puede sembrarse un volumen diferente, en general no más de 2.5 mL por placa.

c) Medio de cultivo.

Se elige según el tipo de microorganismo que se quiere contar pudiendo emplearse medios selectivos o no selectivos.

d) Incubación.

Una vez enfriado el agar (en el caso del incorporado), y secada la muestra (en el caso de superficie), las placas se invierten, y se ponen en la estufa que corresponde según los microorganismos a contar, incubándose el tiempo propuesto en la técnica correspondiente.

e) Interpretación.

i-. Finalizado el período de incubación, observar con buena luz a efectos de visualizar las colonias puntiformes y diferenciar cualquier partícula de muestra que pueda haber.

ii-. Contar las colonias desarrolladas por placa. Se cuentan como colonias individuales, todas aquellas que disten de las colonias próximas una distancia al menos igual al diámetro de la colonia más pequeña.

iii-. Cuando se utilizan medios NO SELECTIVOS se procede de la siguiente forma:

a- Se cuentan en primer lugar las placas que tengan entre 30 y 300 colonias. Se hace el cálculo promediando los valores y multiplicando por la inversa de la dilución.

b- Si sólo hubiera placas con menos de 30 colonias, se informa igualmente el resultado, expresándolo por g o mL de muestra.

iv-. Procedimiento de interpretación de resultados.

a- Si no hubiera colonias en ninguna de las placas, se informa como: Menor que 1 o 10 (según sea incorporado ó en superficie) por la inversa de la dilución menor.

b- Si en todas las placas hubiera más de 300 colonias, se estima el resultado contando las colonias en una superficie conocida de la placa y luego llevando a la superficie total de la placa: 65 cm² para las de vidrio comunes, o 57 cm² para las de plástico.

c- Si hay menos de 10 colonias por cm², se cuentan 13 cuadrados de 1 cm de lado: 7 consecutivos horizontales y 6 consecutivos verticales.

- d- El total de colonias contadas se multiplica por 5 o 4.4 según el tipo de placa, para estimar el número de colonias en toda la placa.
- e- Si hay más de 10 colonias por cm^2 , se cuentan 4 cuadrados de 1 cm de lado, y el promedio se multiplica por 65 o 57 según el tipo de placa.
- f- Si hay más de 100 colonias en 1 cm^2 , no se cuentan sino que se estima el resultado como Mayor de 6500 o 5700 por placa.
- g- Una vez estimado el número de colonias por placa, se aplica el factor de corrección para expresar el resultado por gramo o mL de muestra, de acuerdo al método (incorporado ó superficie), y a las diluciones plaqueadas.
- h- Es frecuente que desarrollen colonias extendidas, sobre la superficie, o el fondo y bordes de la placa, o que se den cadenas de colonias unidas. Este tipo de crecimiento se denomina "spreaders" y se cuentan como uno.
- i- Cuando el spreader cubre más del 50% de la placa, esta no debe contarse.
- j- Cuando el spreader cubre una superficie menor del 50%, se cuentan las colonias en el resto de la placa, solo si están uniformemente distribuidas.
Si en todas las placas hay spreaders se informa : Spreaders
- k- Todas las situaciones en las que no se pueda informar el recuento por no caer en los casos anteriores, (ejemplo: contaminación, mal funcionamiento del medio), se informa como: "Accidente de laboratorio".
- l- Cuando se emplean medios SELECTIVOS, el número de colonias que se considera óptimo para contar, suele ser menor de 300, es necesario referirse a la técnica correspondiente (de referencia) para efectos de interpretación de resultados.

v-. Expresión de los resultados.

Se informan los resultados de recuento con sólo dos cifras significativas, redondeando los valores cuando corresponda.

Ej: 142 se informa 140

155 se informa 160

La ecuación empleada para presentar los valores resultantes de las pruebas es la siguiente:

$$\text{UFC/ mL} = \frac{\text{Colonias contadas}}{\text{Volumen Actual de la Muestra En el Plato, mL}}$$

El informe debe decir:

Recuento de microorganismos (tipo): X u.f.c. /g o mL

➤ **NÚMERO MÁS PROBABLE O MÉTODO DE LOS TUBOS MÚLTIPLES.**

Se basa en la determinación de la presencia o ausencia de un determinado tipo de microorganismo (en función de que crezcan o de que produzcan determinada reacción en el medio o no), en diferentes cantidades de muestra.

Se analizan en forma paralela por triplicado o quintuplicado porciones de la muestra cada vez menores que se dejan crecer en medio líquido. Por ejemplo se utilizan un total de nueve tubos con medio de cultivo, en tres de los cuales se siembra 0.1 g. de muestra, en tres 0,01 g. y en los otros tres 0.001 g. Luego de la incubación, se observan y cuenta el número de tubos positivos.

Según el tipo de microorganismo que se desea contar se utilizan medios de enriquecimiento selectivo, o medios de propagación.

En función de esto se puede considerar como positivos aquellos tubos en los que:

1. hubo crecimiento.
2. hubo crecimiento y se produjo gas que se ve en campana invertida (Durham).
3. hubo crecimiento y se produjo viraje de indicador.
4. hubo crecimiento y se produjo pigmento.

Ocasionalmente, es necesario subcultivar cada uno de los tubos positivos, o sospechosos de serlo a una placa, o a otro tubo a efectos de confirmarlo. El número (de tubos positivos) que se busca en las tablas para el informe final es el que resulta de esta etapa de confirmación, siendo el valor anterior sólo un valor presuntivo. Cada tubo positivo, significa que en la cantidad de muestra en él sembrada había por lo menos 1 microorganismo de los que se está contando.

Las tablas N° 1 y 2 usadas para el cálculo del valor NMP, incluyen un límite de confianza del 95% por cada valor de NMP determinado y los volúmenes de agua indicados, que se mostrarán en estas tablas se refieren específicamente para los análisis de aguas con fines de consumo.

No de tubos resultando con reacción positiva de 5 de 20 mL cada uno	NMP Índice /100MI	Límite de confianza de 95%(Aproximadamente)	
		Min	Max
0	<1.1	0	3.0
1	1.1	0.05	6.3
2	2.6	0.3	9.6
3	4.6	0.8	14.7
4	8.0	1.7	26.4
5	>8.0	4.0	Infinito

Tabla N° 1: NMP índice y límite de confianza de 95% para varias combinaciones de resultados positivos y negativos cuando se usan porciones de cinco de 20 mL.

No de tubos resultando con reacción positiva de 10 de 10 mL cada uno	NMP Índice /100MI	Limite de confianza de 95%(Aproximadamente)	
		Min	Max
0	<1.1	0	3.0
1	1.1	0.03	5.9
2	2.2	0.026	8.1
3	3.6	0.69	10.6
4	5.1	1.3	13.4
5	6.9	2.1	16.8
6	9.2	3.1	21.1
7	12.0	4.3	27.1
8	16.1	5.9	36.8
9	23.0	8.1	59.5
10	>23.0	13.5	Infinito

Tabla N° 2: NMP índice y limite de confianza de 95% para varias combinaciones de resultados positivos y negativos cuando se usan porciones de diez de 10 mL.

El NMP para combinaciones que no aparezcan en la tabla, se puede calcular utilizando la formula de Thomas:

$$\text{NMP/100 mL} = \frac{\text{No de tubos positivos} * 100}{\sqrt{(\text{mL en muestras negativas} * \text{mL en muestras positivas})}}$$

Este método es muy utilizado para el recuento de coliformes en agua. El método de NMP para coliformes totales se basan, en primera instancia, en una selección de los microorganismos que producen ácido y gas de lactosa a 35°C. Por ello, el primer paso es siempre la siembra en tubos de algún caldo lactosado, con o sin inhibidores, con tubo de fermentación para recoger el gas que pueda producirse. A esto sigue una confirmación en un medio líquido selectivo y/o una determinación de los coliformes

fecales cuya diferenciación se realiza en base al hecho de que pueda producir gas de lactosa en un medio apropiado cuando se incubaba a 44,5°C mientras que los demás coliformes no.

➤ **FILTRACION POR MEMBRANA**

Este método consiste en hacer pasar un volumen determinado de muestra líquida, o solución en agua o en solvente apropiado (miristato de isopropilo) a través de un filtro de membrana estéril (diámetro 50 mm, poro 0.45 mm), colocado en un equipo de filtración. Luego de enjuagar con soluciones estériles apropiadas se retira el filtro, y se lo coloca sobre la superficie de una placa de Petri con el medio de cultivo a utilizar e incubar.

Los filtros pueden ser de distintos materiales; en microbiología se emplean de nitrato o acetato de celulosa generalmente, y pueden tener bordes hidrofóbicos, que minimizan la adsorción de conservadores y antimicrobianos.

Luego de transcurrido el tiempo de incubación, se cuentan las colonias desarrolladas en el filtro. Se considera que las condiciones óptimas del método se dan cuando desarrollan entre 20 y 200 colonias en el filtro. Se utilizan filtros reticulados, y existen reglas para el conteo:

- a) Si hay 1 o 2 colonias por cuadrado del retículo, o menos, se cuentan todas.
- b) Si hay entre 3 y 10 por cuadrado, se cuentan 10 cuadrados, y se promedia, multiplicando por 100 para obtener el número de colonias en el filtro (se multiplica por 100 porque el área del cuadrado representa la centésima parte del área total del filtro).
- c) Si hay entre 10 y 20 se cuentan 5 cuadrados y promedia, multiplicando luego por 100.
- d) Si hay más de 20 se considera >2000 por filtro.
- e) Toda vez que se utilice el promedio por cuadrado, el recuento se informa como estimado.

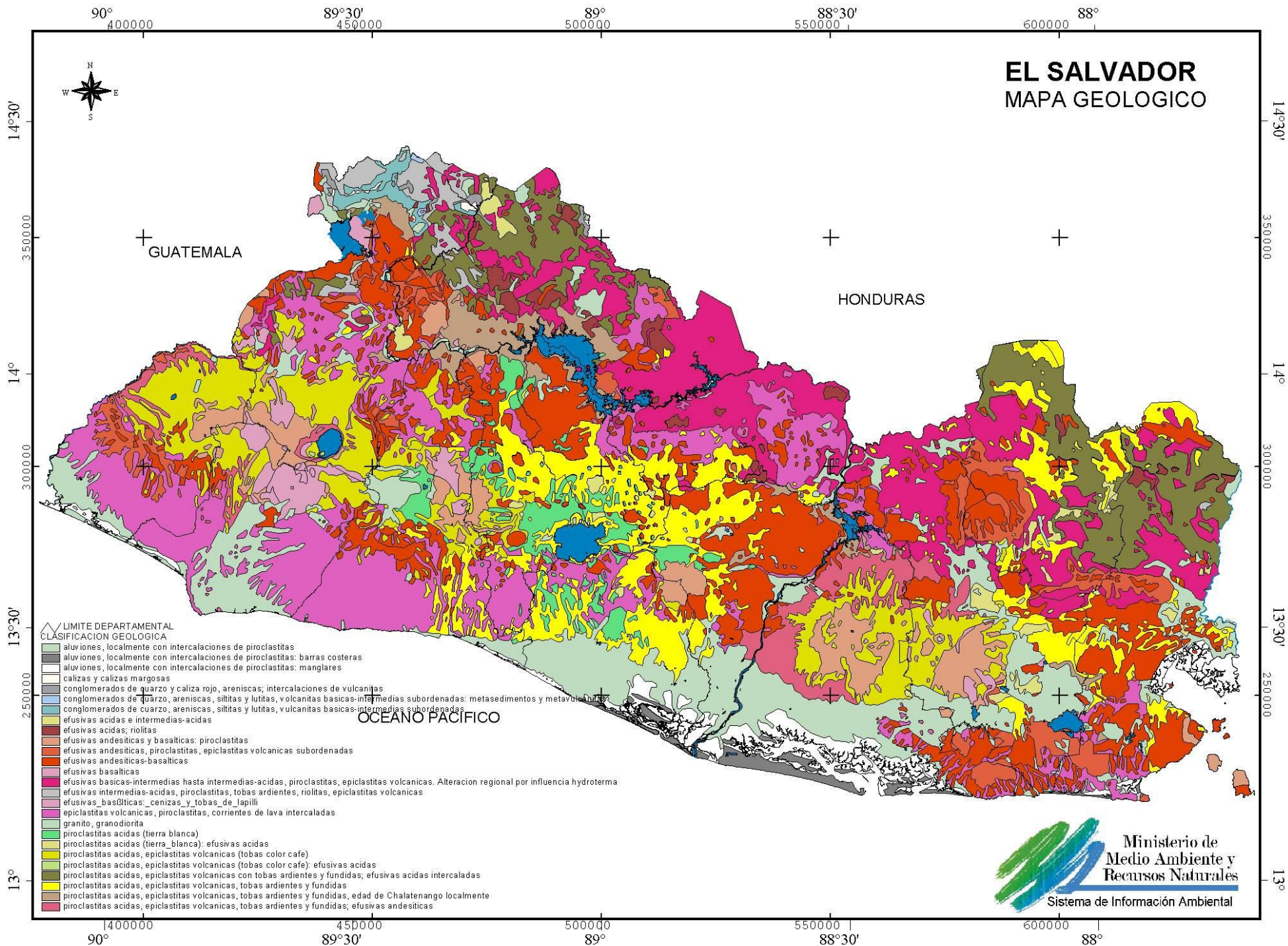
Una vez conocido el número de colonias por filtro, se expresa el valor en U.F.C. al igual que el recuento en placa expresándolo por gramo, o mililitro de muestra.

Ventajas y desventajas:

- a) Sirve para determinar cargas muy bajas, pues se puede filtrar volúmenes de 100 y hasta 500 mL por vez.
- b) Es además el método de elección para muestras líquidas o solubles que contienen agentes antimicrobianos, por cuanto no es necesario neutralizarlos.

El método de filtración por membrana es utilizado para el recuento de bacterias coliformes totales y fecales. Es un método altamente reproducible, puede usarse para analizar volúmenes de muestra relativamente grandes y se obtienen resultados en menor tiempo que con el NMP. Sin embargo, no puede aplicarse a cualquier tipo de muestra y tiene sus limitaciones. También se encuentra entre los métodos standard. A los efectos de la filtración por membrana debe replantearse la definición de coliformes: bastones Gram (-), aerobios o anaerobios facultativos, que dan colonias oscuras con brillo metálico en medio Endo, luego de 24 horas de incubación a 35°C. La determinación de coliformes fecales por filtración puede hacerse a partir de las colonias desarrolladas en Endo o directamente incubando la membrana en un medio m-FC e incubando a 44,5°C.

ANEXO 1



ANEXO 2

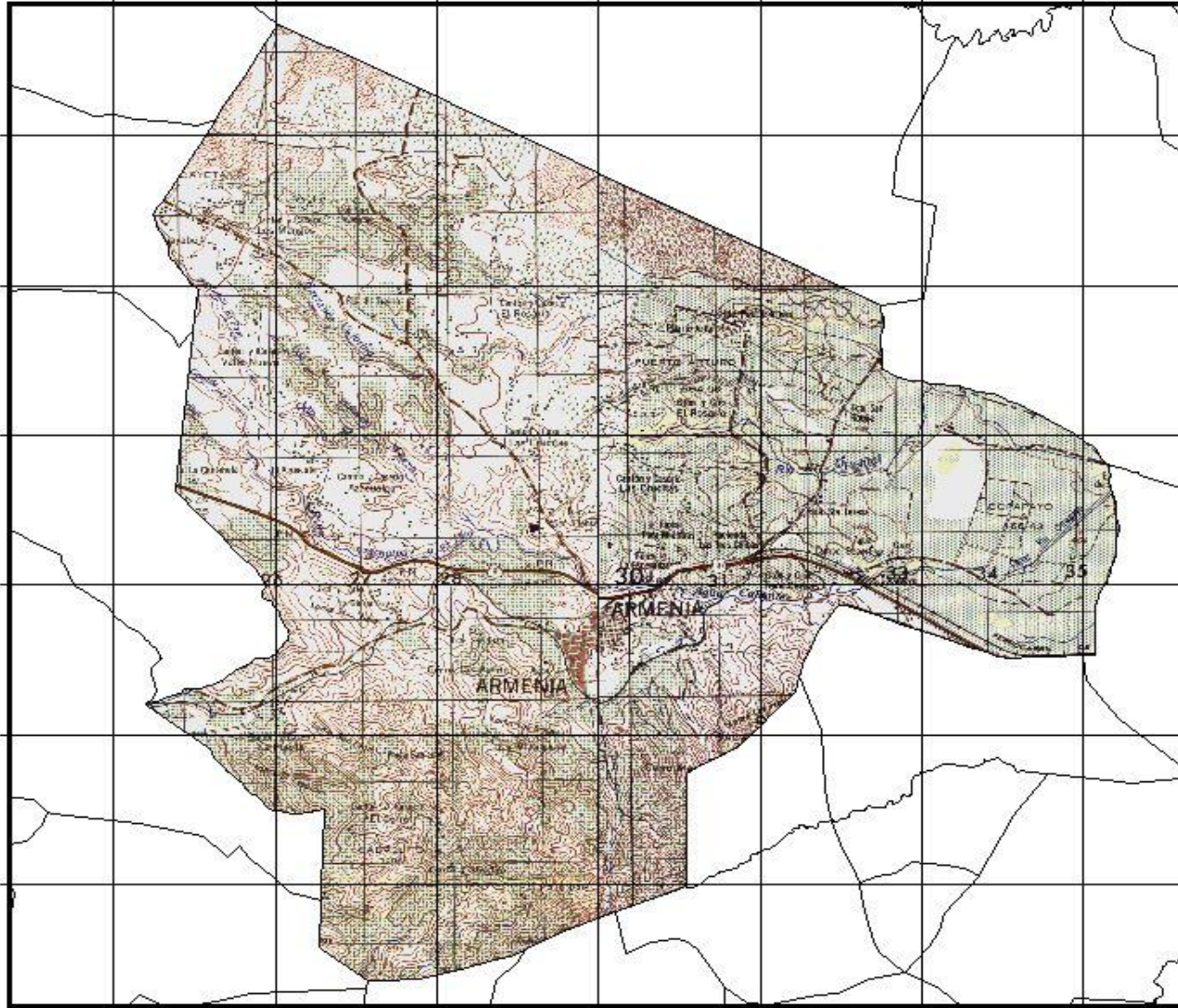
89°38' 89°32' 89°26' 89°20' 89°24' 89°28' 89°27'



Municipio de Armenia

Departamento de Sonsonate

18°48'
18°47'
18°46'
18°45'
18°44'
18°43'



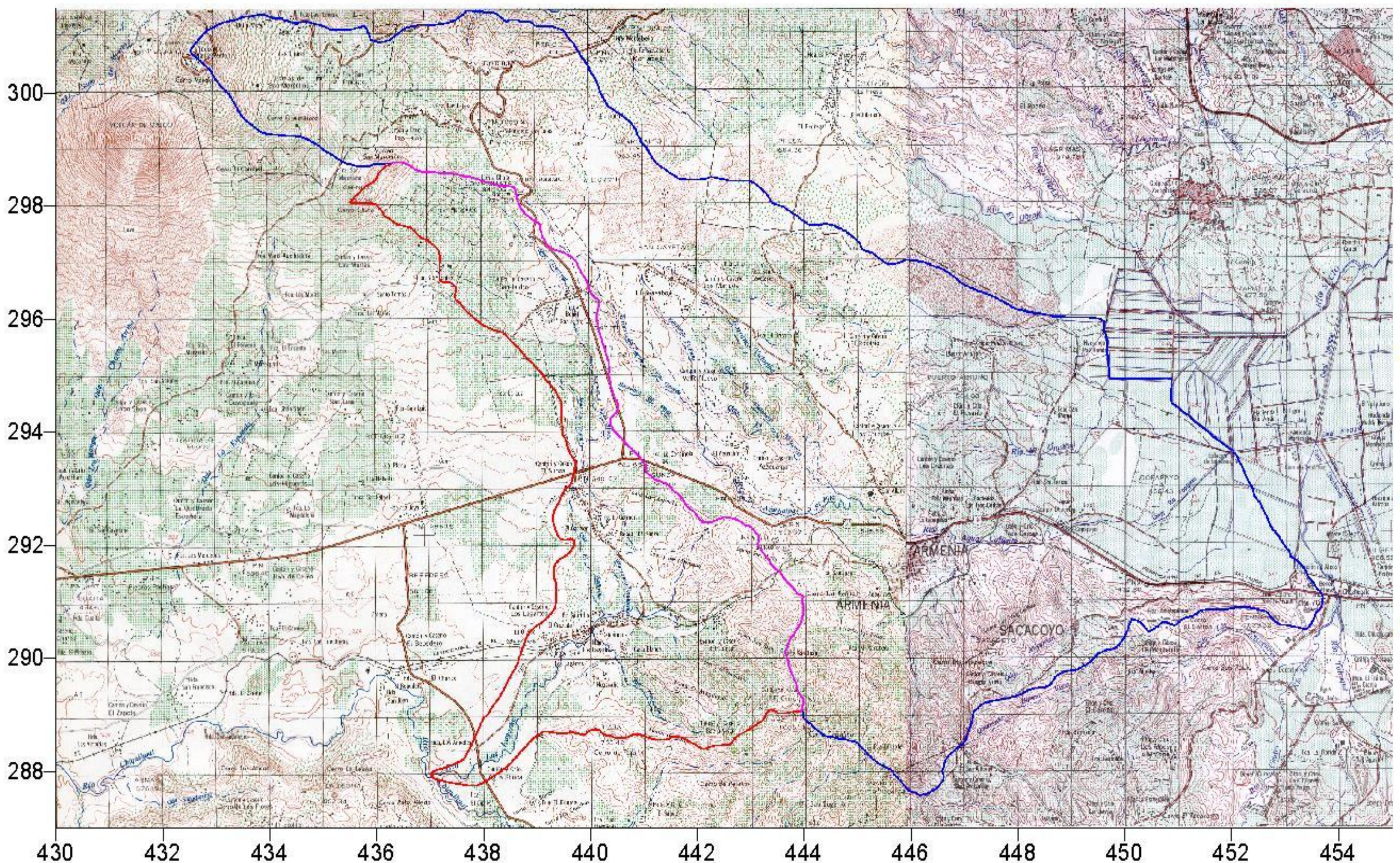
Ubicación del Municipio



89°38' 89°32' 89°26' 89°20' 89°24' 89°28' 89°27'



ANEXO 3



SIMBOLOGIA

- Sub-cuenca Rio Sucio
- Sub-cuenca Rio Banderas
- Interseccion entre Sub-cuencas Rio Sucio Y Banderas

DIAGNOSTICO PARA EL MEJORAMIENTO DEL SERVICIO Y LA CALIDAD DEL AGUA EN LA ZONA RURAL DE ARMENIA DEPARTAMENTO DE SONSONATE

SUB-CUENCA RIO SUCIO Y BANDERAS

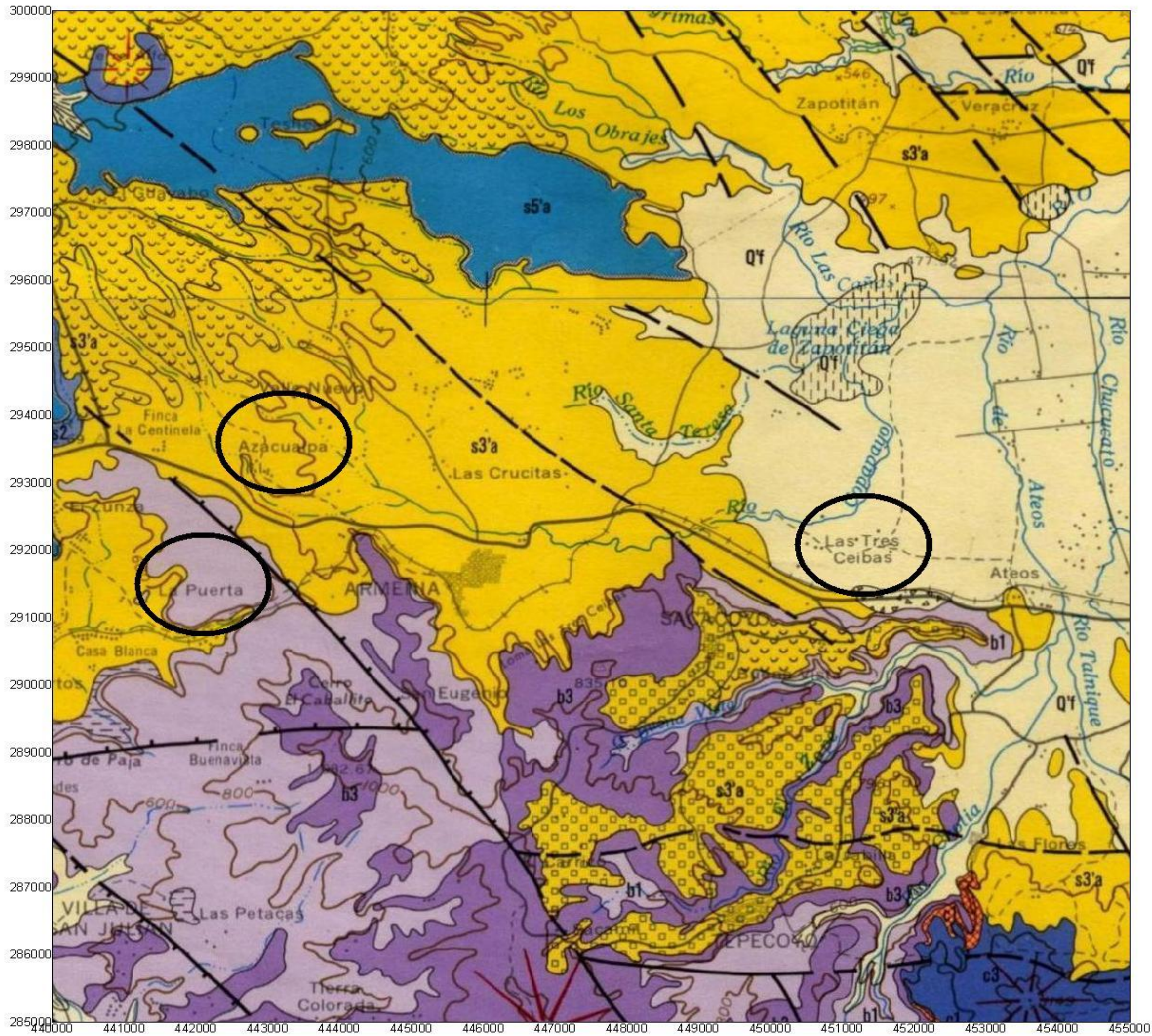
ELABORADO POR: GRUPO DE TESIS

ESCALA : SIN ESCALA **FECHA : DICIEMBRE 2002**

CARACTERISTICAS

	Area(km2)	Perimetro(km)	Elev. mim.(m)	Elev. max(m)
Sub-cuenca Rio Sucio	101.0	58.3	464	2030
Sub-cuenca Banderas	30.8	36.1	500	1323

ANEXO 4

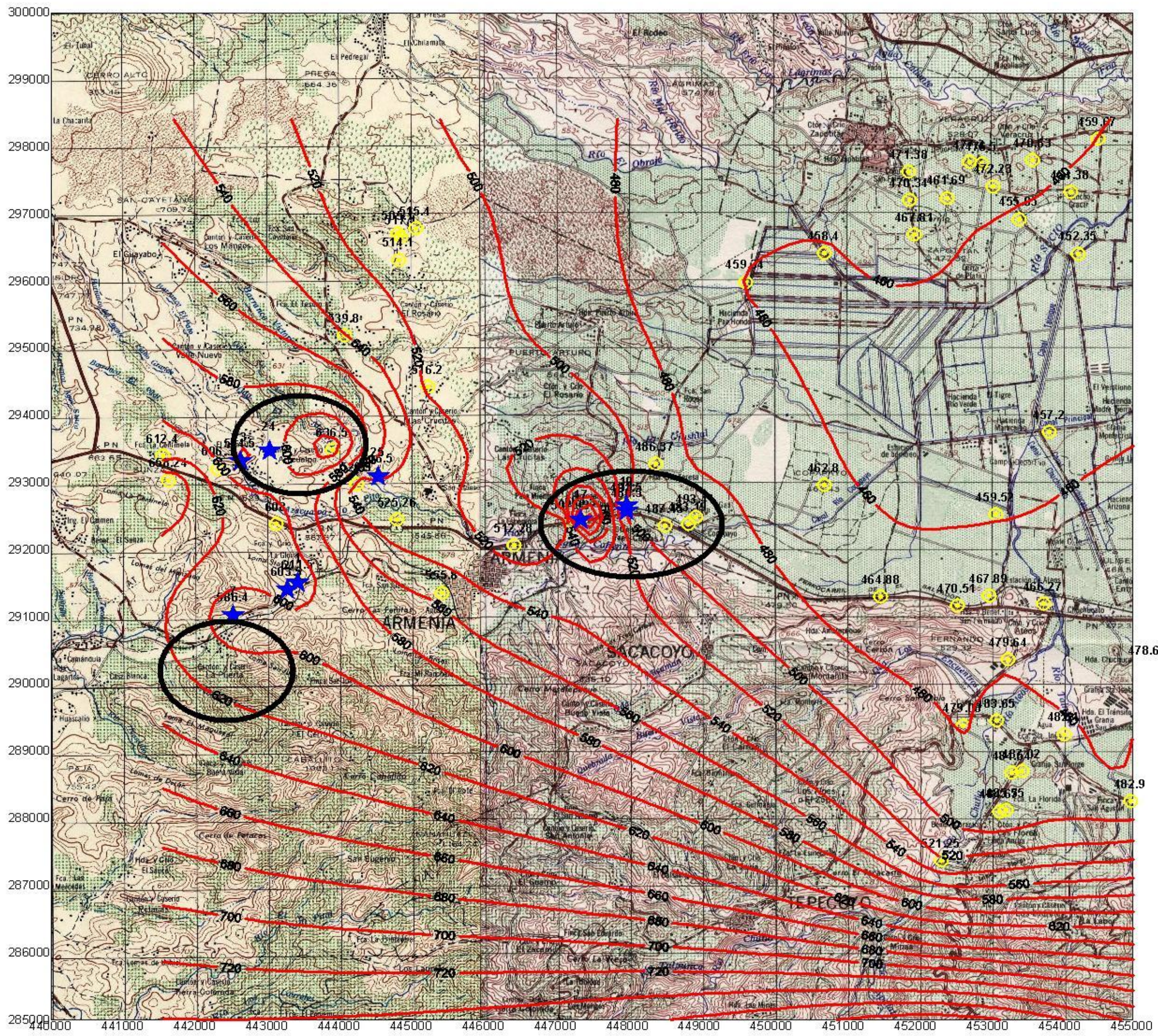


SIMBOLOGIA

-  Zonas de estudio
- FORMACION SAN SALVADOR**
-  Depósitos sedimentarios cuaternarios
-  Piroclasticas acidas, epiclasticas volcanicas (Tobas color cafe)
-  Efusivas basicas intermedias
- FORMACION EL BALSAMO**
-  Epiclasticas volcanicas y piroclasticas; localmente efucivas basicas
-  Efusivas basicas- intermedias

DIAGNOSTICO PARA EL MEJORAMIENTO DEL SERVICIO Y LA CALIDAD DEL AGUA EN LA ZONA RURAL DE ARMENIA DEPARTAMENTO DE SONSONATE	
MAPA GEOLOGICO	
ELABORO: GRUPO DE TESIS	
ESCALA: 1 : 50000	FECHA: DICIEMBRE DE 2002

ANEXO 5

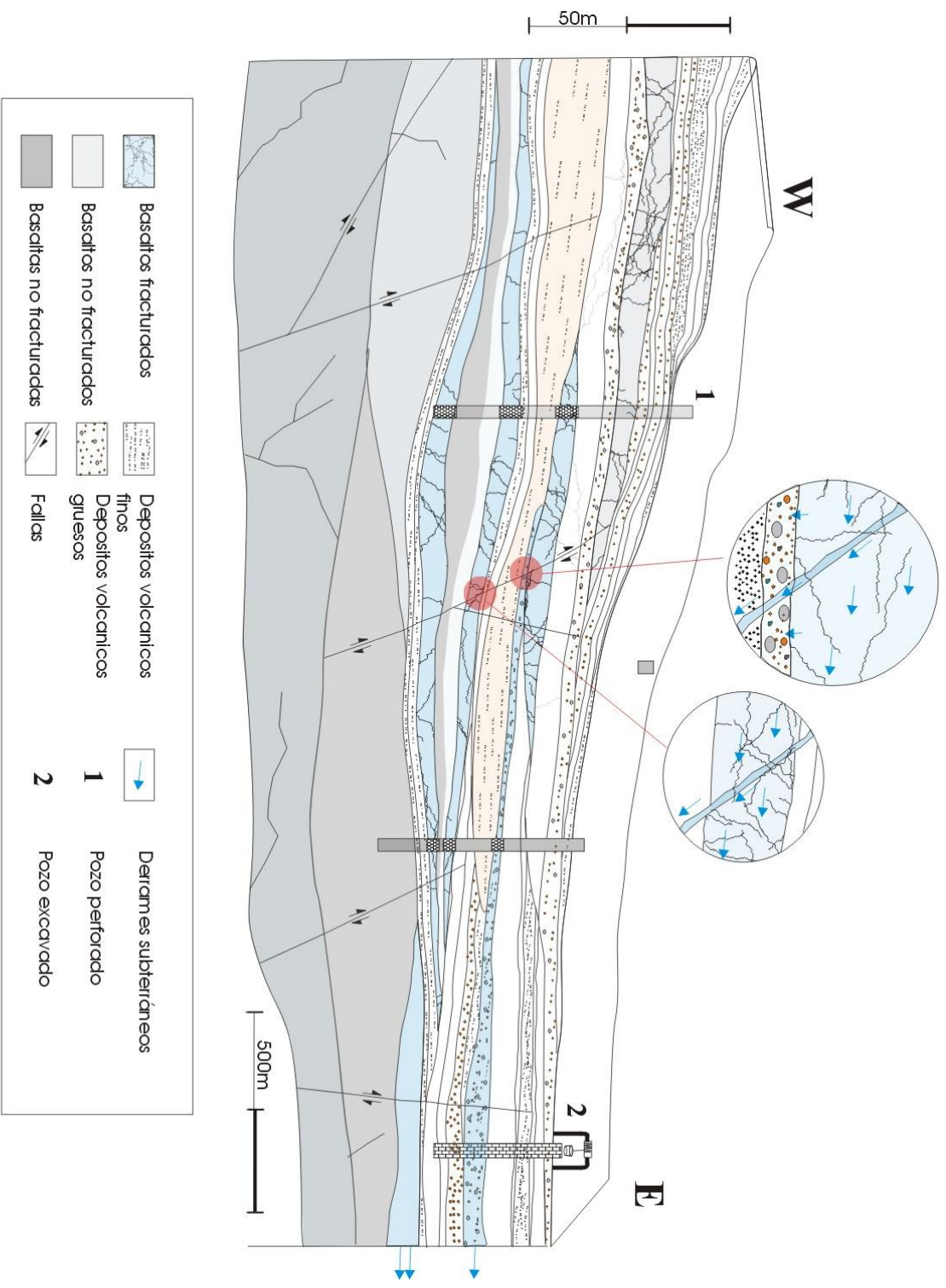


SIMBOLOGIA

-  Zonas de estudio
-  Pozos Excavados y Analizados bacteriologicamente
-  Pozos Excavados
-  Curvas Isofreaticas

DIAGNOSTICO PARA EL MEJORAMIENTO DEL SERVICIO Y LA CALIDAD DEL AGUA EN LA ZONA RURAL DE ARMENIA DEPARTAMENTO DE SONSONATE	
MAPA HIDROGEOLOGICO	
ELABORO: GRUPO DE TESIS	
ESCALA: 1: 50000	FECHA: DICIEMBRE DE 2002

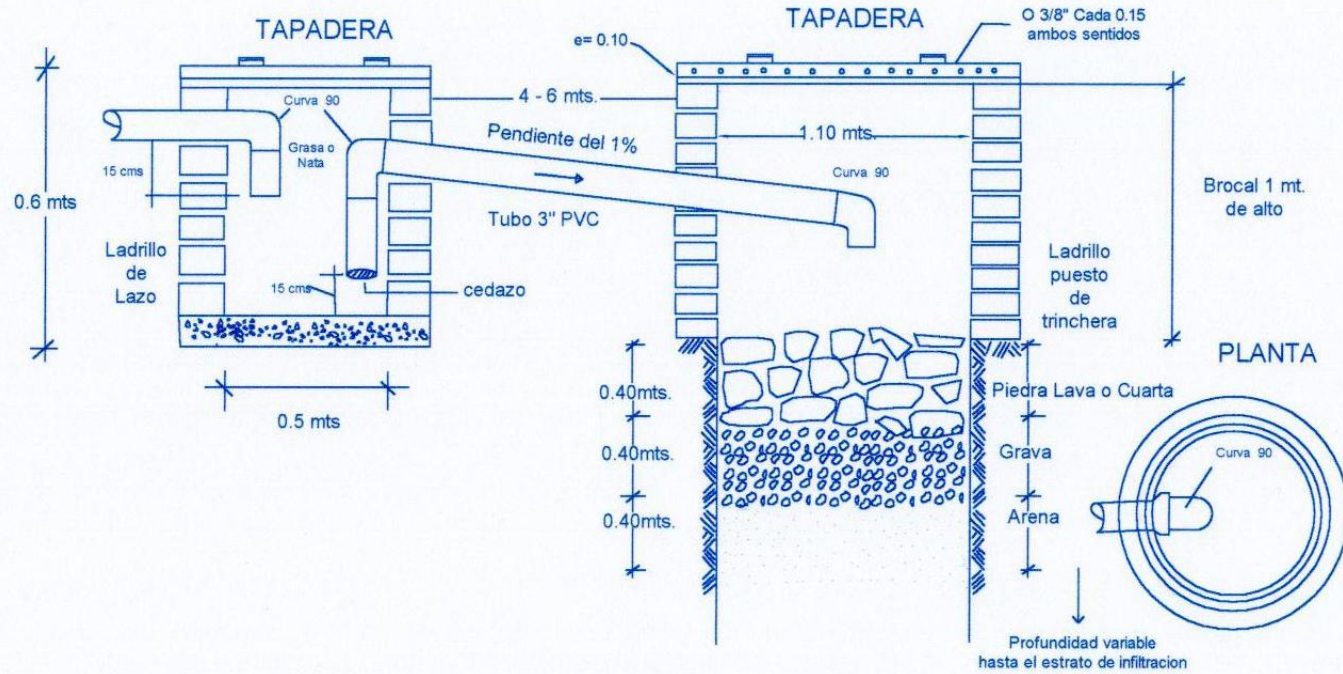
ANEXO 6



ANEXO 7

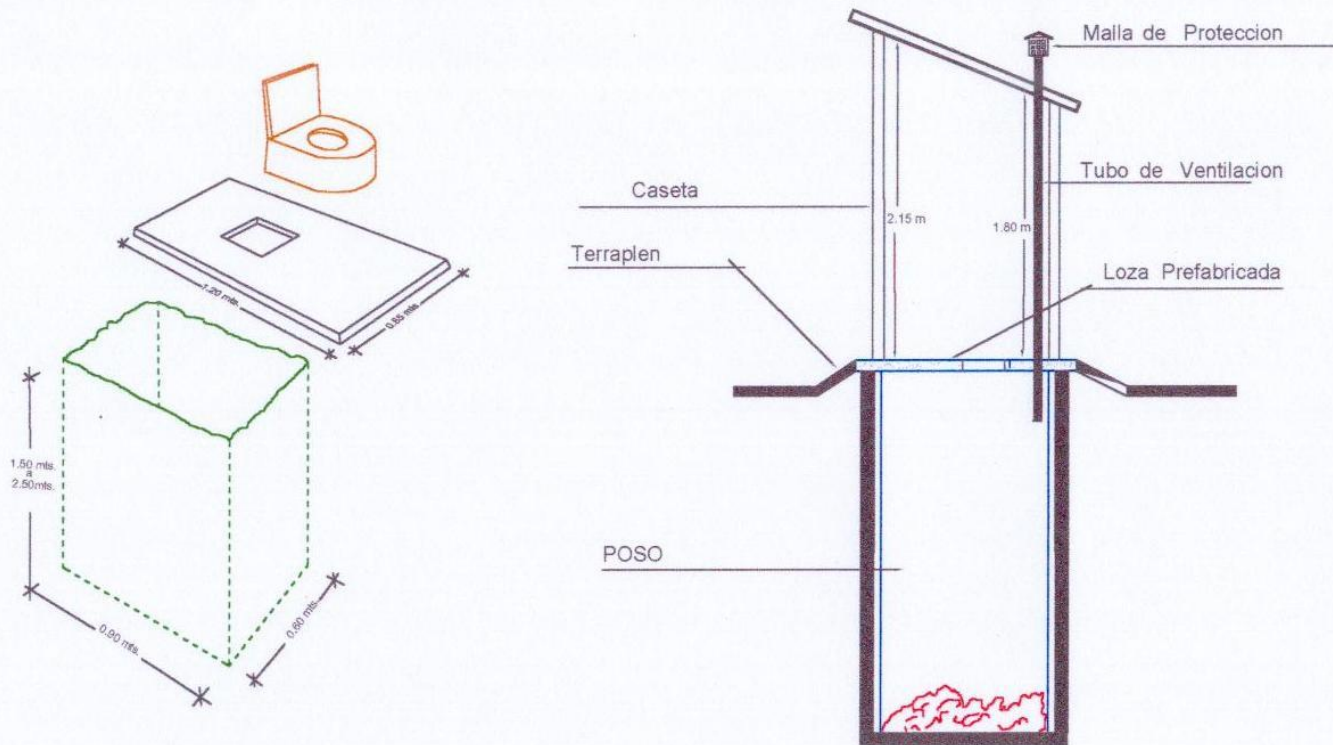
TRAMPA

RESUMIDERO



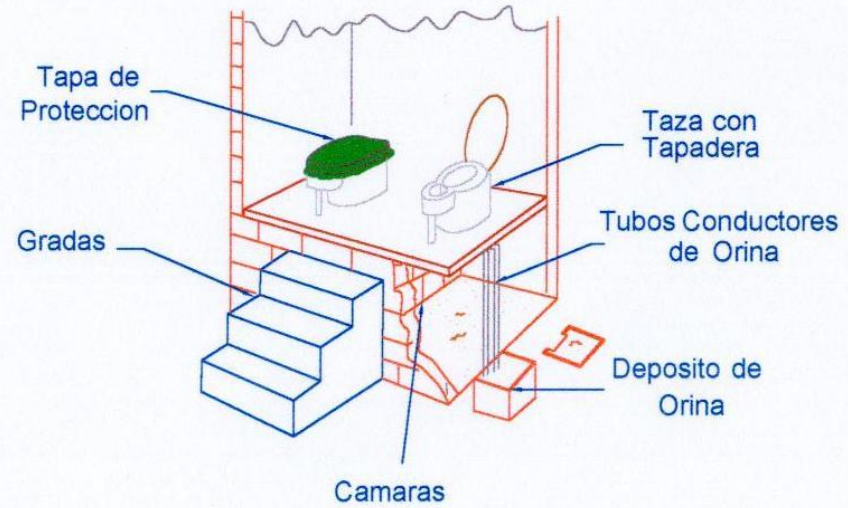
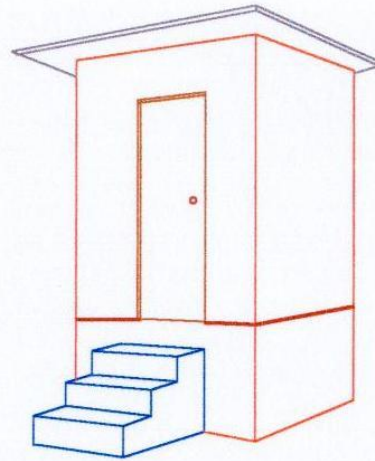
ANDA	TRAMPA DE GRASAS / POZO RESUMIDERO PARA LA DISPOSICION DE AGUAS SERVIDAS
ADMINISTRACION NACIONAL DE ACUEDUCTOS Y ALCANTARILLADOS	ESCALA: SIN ESCALA FECHA: JULIO 2001
GERENCIA DE SISTEMAS RURALES	DIBUJO: LIC. L. CANDEL

LETRINA DE HOYO MODIFICADA

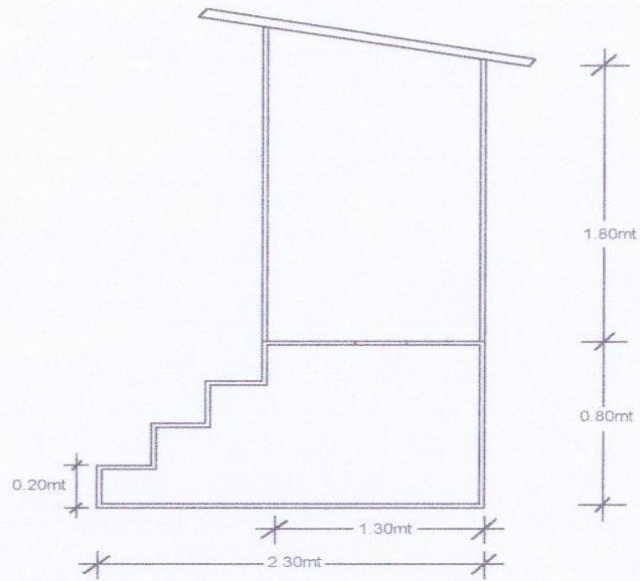


LETRINA DE HOYO MODIFICADO	MINISTERIO DE SALUD PUBLICA Y ASISTENCIA SOCIAL
	DEPTO. DE SANEAMIENTO BASICO

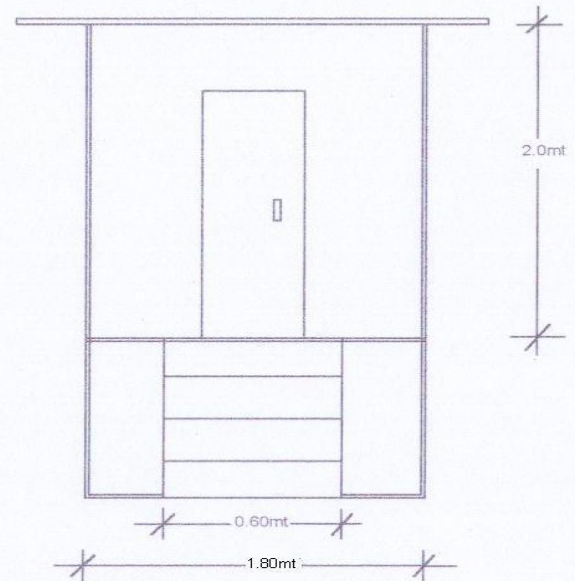
LETRINA ABONERA



LETRINA ABONERA



VISTA LATERAL



VISTA FRONTAL