

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD DE QUÍMICA Y FARMACIA



**DETERMINACIÓN DEL GRADO DE CONTAMINACIÓN PROVOCADO POR
LA GEOTÉRMICA DE BERLÍN EN LAS AGUAS DEL RÍO SAN SIMÓN,
USULUTÁN**

TRABAJO DE GRADUACIÓN PRESENTADO POR
KARLA FAUSTINA LÓPEZ HERNÁNDEZ

PARA OPTAR AL GRADO DE
LICENCIATURA EN QUÍMICA Y FARMACIA

NOVIEMBRE DE 2005

SAN SALVADOR, EL SALVADOR, CENTROAMÉRICA.



©2004, DERECHOS RESERVADOS

Prohibida la reproducción total o parcial de este documento,
sin la autorización escrita de la Universidad de El Salvador

<http://virtual.ues.edu.sv/>

SISTEMA BIBLIOTECARIO, UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR

Rectora

Dra. María Isabel Rodríguez

Secretaria General

Licda. Alicia Margarita Rivas de Recinos

FACULTAD DE QUÍMICA Y FARMACIA

Decano

Lic. Salvador Castillo Arévalo

Secretaria

MSc. Miriam del Carmen Ramos de Aguilar

COMITÉ DE TRABAJO DE GRADUACIÓN

Coordinadora General

Licda. María Concepción Odette Rauda Acevedo.

Asesora de Área de Gestión Ambiental, Toxicología y Química Legal.

Licda. María Luisa Ortiz de López.

Asesora de Área de Microbiología.

Licda. Coralia de los Ángeles González de Díaz.

Docentes Directores

Licda. Katia Eunice Leyton de Fernández.

Ing. Jorge Olivares.

AGRADECIMIENTOS

A mi Padre Celestial, por ser luz y fortaleza para afrontar este reto.

A mi madre, por sus oraciones y absoluta entrega en mi existir. ¡Gracias Mita!

A mi querido esposo, José Andrés, por todo su apoyo y paciencia que sólo alguien que ama puede ofrecer.

A mi pequeña Daniela, por darme permiso para dejarla tanto tiempo solita y ser mi motivación.

A la familia Hernández Martínez, por su apoyo incondicional cuando más lo necesité. Mil gracias y que Dios los bendiga hoy y siempre.

A mis hermanas Wendy y Dorita, y a sus esposos Nelson Cardoza y Juan Portillo. Gracias por sus palabras de aliento y por estar siempre conmigo.

A mis amigos y hermanos: Otto Moys, María Eugenia de Moys, Félix Pineda y Marta Suria de Pineda, por valorar este esfuerzo, haciéndolo suyo.

Al Comité de Trabajos de Graduación y a mis docentes directores. Agradezco su orientación y observaciones que me fueron dadas con respeto y cariño.

A los docentes Lic. Arturo G. Mazzini, Msc. Rocío de Sandoval y Licda. Ivonne de Márquez por compartir sus conocimientos.

Y a todas las personas que de alguna u otra forma facilitaron la realización de este trabajo.

DEDICATORIA

A mis padres Víctor Manuel López Guzmán y
María Dolores Hernández Vda. de López, por su ejemplo y entrega;

A mi princesa Karla Daniela,
Mi orgullo y motivo para seguir adelante.

Karla Faustina.

INDICE GENERAL

	Pág.
Resumen	
CAPÍTULO I	
1.0 Introducción	xvi
Capítulo II	
2.0 Objetivos	
Capítulo III	
3.0 Marco Teórico.	23
3.1 La Geotermia.	23
3.1.1 Geotermia en el mundo.	25
3.1.2 Geotermia en América Latina.	27
3.1.3 Antecedentes en El Salvador.	29
3.1.3.1 Central Geotérmica de Berlín.	31
3.1.3.2 LAGEO SA DE CV.	32
3.1.4 Disposición de los fluidos geotérmicos.	33
3.1.4.1 Sistemas de disposición de desechos geotérmicos utilizados en el país.	34
3.1.4.1.1 Reinyección.	36
3.1.4.1.2 Disposición superficial de los fluidos geotérmicos.	38
3.1.5 Características y clasificación de los fluidos geotérmicos.	39
3.1.6 Constituyentes químicos encontrados en los fluidos geotérmicos.	40
3.2 La contaminación del agua.	43
3.2.1 Principales contaminantes.	45
3.2.2 El recurso hídrico superficial.	46
3.2.2.1 Tipos de agua natural.	48
3.2.2.2 Aspectos físico-químicos naturales de los ríos.	48

3.2.3 Aspectos generales de la calidad del agua.	51
3.2.3.1 Norma Salvadoreña para la calidad del agua potable.	51
3.3 Patologías relacionadas con los principales constituyentes químicos de fluidos geotérmicos.	53
3.3.1 Efectos del arsénico en el ser humano.	53
3.3.2 Envenenamiento por la ingesta de boro.	55
3.4 Generalidades sobre toma de muestras y parámetros propuestos.	56
3.4.1 Toma de muestras.	56
3.4.2 Valor de pH.	56
3.4.3 Sólidos.	57
3.4.4 Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO).	58
3.4.5 Demanda Química de Oxígeno (DQO).	60
3.4.6 Cloruros.	62
3.4.7 Sulfatos.	63
3.4.8 Boro.	64
3.4.9 Arsénico.	66
Capítulo IV	
4.0 Diseño Metodológico.	69
4.1 Tipo de estudio.	69
4.2 Investigación bibliográfica.	69
4.3 Investigación de campo.	69
4.4 Parte Experimental.	71
4.5 Material y métodos.	72
4.5.1 Determinación de pH.	72
4.5.2 Sólidos Totales secados a 103-105° C.	73
4.5.3 Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO ₅).	75
4.5.4 Demanda Química de Oxígeno (DQO).	78
4.5.5 Determinación de cloruros.	79
4.5.6 Determinación de sulfatos.	81

4.5.7 Determinación de boro.	83
4.5.8 Determinación de arsénico.	85
Capítulo V	
5.0 Resultados	87
Capítulo VI	
6.0 Discusión de resultados.	92
6.1 Demanda Bioquímica de Oxígeno.	95
6.2 Determinación de pH.	96
6.3 Demanda Química de Oxígeno.	97
6.4 Determinación de boro.	98
6.5 Determinación de arsénico.	99
6.6 Sólidos totales.	100
6.7 Análisis de cloruros.	101
6.8 Análisis de sulfatos.	102
Capítulo VII	
7.0 Conclusiones	104
Capítulo VIII	
8.0 Recomendaciones	109
Bibliografía	
Glosario	
Anexos	

Índice de Tablas

TABLA N°		Pág.
1	Capacidad Geotermoeléctrica instalada en el mundo desde 1995 al 2003.	27
2	Clasificación de los fluidos geotérmicos por su temperatura.	39
3	Clasificación de los fluidos geotérmicos por su salinidad.	40
4	Descripción de puntos de muestreo en el río San Simón.	87
5	Resultados para los parámetros medidos en la estación seca.	88
6	Resultados para los parámetros medidos en la estación lluviosa.	89
7	Resultados para arsénico, sólidos totales, cloruros y sulfatos. Estación Lluviosa.	90
8	Comparación de resultados de DBO, DQO, pH y boro, en la estación seca, con la norma correspondiente.	93
9	Comparación de resultados de DBO, DQO, pH y boro, en la estación lluviosa, con la norma correspondiente.	93
10	Comparación de resultados para arsénico, cloruros y sulfatos con la norma correspondiente. Estación Lluviosa.	94
11	Resultados para arsénico en la estación Lluviosa.	99

Índice de Figuras.

FIGURA N°		Pág.
1	Gráfico de comparación de los resultados de DBO en las estaciones seca y lluviosa.	95
2	Gráfico de comparación de valores de pH reportados en las estaciones seca y lluviosa.	96
3	Gráfico de comparación de los resultados de DQO en las estaciones seca y lluviosa.	97
4	Gráfico de comparación de las concentraciones de boro en las estaciones seca y lluviosa.	98
5	Gráfico de análisis de sólidos totales. Estación lluviosa.	100
6	Gráfico de análisis de cloruros. Estación lluviosa.	101
7	Gráfico de análisis de resultados para sulfatos. Estación lluviosa.	102

Índice de Anexos

ANEXO N°

- 1 Caracterización Ambiental del río San Simón.
- 2 Requisitos de calidad.
Requisitos de calidad fisicoquímicos para valores de agua potable.
Valores para sustancias químicas.
Valores para sustancias químicas de tipo inorgánico de alto riesgo para la salud.
Valores máximos de parámetros de aguas residuales de tipo ordinario, para descargar a un cuerpo receptor.
Valores recomendados y máximos admisibles utilizados en el análisis de resultados.
- 3 Cálculos.
Corrección de volúmenes (DBO).
Corrección de volúmenes (cloruros).
Cálculo de la diferencia de pesos (sólidos totales).
Elaboración de la curva de calibración (sulfatos).
Curva de calibración (sulfatos).
Determinación de la concentración de $[\text{SO}_4^{-2}]$ a partir de la curva de calibración.
- 4 Preparación de reactivos.

RESUMEN

El río San Simón, por considerarse una fuente altamente aprovechada para el consumo de agua en el Departamento de Usulután y que abastece a una población de más de diez mil habitantes, se ha considerado trascendental determinar, si la contaminación de sus aguas se debe a la descarga de desechos de la Central Geotérmica de Berlín, los cuales contienen elementos químicos que pueden causar problemas significativos debido a su toxicidad.

Para llevar a cabo este estudio se establecieron ocho puntos de muestreo en forma aleatoria tomando en cuenta su ubicación y cercanía a la Geotérmica. Cuatro de estos puntos se situaron en el cauce del río San Simón y el resto, en los principales pozos de abastecimiento.

Las muestras, se recogieron manualmente durante un año en las estaciones seca y lluviosa y fueron analizadas en el Laboratorio Físico-químico de la Facultad de Química y Farmacia de la Universidad de El Salvador, midiendo algunos de los parámetros característicos de este tipo de contaminación, como son pH, DBO, DQO y boro. Posteriormente, se consideró analizar, específicamente en la estación lluviosa al arsénico, sólidos totales, cloruros y sulfatos ya que es en este período, cuando la Geotérmica descarga la mayor cantidad de geofluidos en el río.

Para realizar los análisis se siguió la metodología de la American Public Health Association y los resultados se compararon con los valores máximos admitidos en la Norma Salvadoreña Obligatoria para la Calidad del Agua Potable NSO

13.07.01:97 para poder establecer si existe o no, contaminación con fluidos geotérmicos y proporcionar estos resultados a organizaciones ambientalistas para que se gestionen soluciones, con el fin de recuperar la calidad de la subcuenca. Se utilizó dicha norma, debido a que en el país no existen estándares de calidad fisicoquímicos para aguas termales.

Se aclara que se utilizó la Norma para Agua Residual NSO 13.07.03:02 (en revisión) para efecto de análisis de resultados de DBO y DQO, ya que la norma para agua potable no incluye tales parámetros.

Los resultados de las fuentes de abastecimiento doméstico y aguas que recorren el cauce principal del río San Simón, no evidencian una contaminación geotérmica significativa, ya que las concentraciones de los componentes químicos característicos de aguas termales, son muy inferiores a los límites establecidos por la Norma Salvadoreña para agua potable.

La elevada concentración de sulfatos y DQO, indican que existe una contaminación química provocada por el uso de detergentes, agroquímicos y otras actividades antropogénicas.

Los resultados para boro son aceptables, ya que se mantienen por debajo del valor máximo admitido en la Norma para Agua Potable. No obstante, las concentraciones más altas de boro, se reportan en la estación seca, lo cual indica que las lluvias favorecen la dilución de los contaminantes químicos.

La concentración de arsénico en el río San Simón, se encuentra en cantidades tan pequeñas (trazas) que no lograron detectarse con el método semicuantitativo Spectroquant.

En base a los resultados de DBO y DQO, que superan el límite mínimo establecido por la Norma Salvadoreña para Agua Residual NSO 13.07.03:02 (en revisión), se determina que el agua proveniente del río San Simón, no es apta para el consumo humano. Por lo tanto, se recomienda el monitoreo del río, por lo menos dos veces al año, e informar a cerca de los resultados a la Unidad Ambiental de la Alcaldía de Mercedes Umaña, con el fin de que se realice un esfuerzo conjunto con las comunidades y organizaciones ambientalistas no gubernamentales, para recuperar la calidad de la subcuenca mediante el mejoramiento del sistema de alcantarillado así como la implementación de métodos adecuados de purificación del agua.

CAPÍTULO I
INTRODUCCIÓN

1.0 INTRODUCCIÓN

En El Salvador, la contaminación fisicoquímica y microbiológica de los recursos hídricos ha alcanzado niveles incontrolables, tanto que no existe manto acuífero en su territorio que esté plenamente puro, como lo demuestran las investigaciones realizadas por instancias gubernamentales, como el Ministerio de Salud, y no gubernamentales, e incluso informes internacionales como los de la Organización Panamericana de la Salud, lo cual es alarmante ya que la disponibilidad y calidad del agua determinan el grado de salud e higiene de cualquier sociedad ⁽³⁰⁾.

Existe, sin embargo un problema ambiental adicional y poco conocido que constituyó la base de esta investigación, el cual consiste en la descarga de fluidos provenientes de Plantas Geotérmicas hacia ríos y océanos. Dichos fluidos, contienen altas concentraciones de constituyentes químicos que son perjudiciales para la salud.

La utilización de fluidos geotermales con altas concentraciones de boro o arsénico, requiere que éstos sean tratados y/o reinyectados ⁽²⁰⁾. Pero debido a problemas técnicos como la escasa permeabilidad de los suelos y elevados costos, aún se está investigando la forma de efectuar la reinyección adecuadamente, por lo que se ha obligado eventualmente a prescindir de su uso y en consecuencia, a descargar los geofluidos en los ríos con el consiguiente impacto ambiental y humano ⁽⁵⁾.

Es de todos conocido que El Salvador ha sido en América y en el mundo uno de los países que ha logrado un alto desarrollo en lo que respecta a energía geotérmica. Actualmente se han reconocido a lo largo de la cadena volcánica un gran número de sitios que presentan manifestaciones geotérmicas, de éstos sólo dos son considerados fumarolas (es decir de vapor muy caliente): los Ausoles en Ahuachapán y el Tronador de Berlín, Usulután (siendo ésta la zona en estudio), en donde se encuentra instalada la Central Geotérmica, la cual está ubicada en la parte sur de la subcuenca del río San Simón en el Cantón Montañita del Municipio de Alegría.

Estas dos zonas han sido explotadas por una empresa subsidiaria de la Comisión Hidroeléctrica del río Lempa que se conoce como LAGEO S.A. de C.V., la cual se comprometió a evitar actividades que degraden la calidad de las aguas para consumo humano, así como asegurar la evaluación y tratamiento de todos los desechos que se producen para cumplir con la normativa exigida por la ley, por lo que ha incorporado el método conocido como reinyección.

Sin embargo la desventaja potencial de la reinyección es que no se puede decir, con seguridad, a dónde van los fluidos inyectados. Existe la posibilidad de que fallas desconocidas, fracturas, regiones de alta permeabilidad o pozos mal perforados puedan permitir la canalización de los fluidos dentro de acuíferos potables o aguas superficiales, por eso no en todos los casos la reinyección es posible, por lo que es preciso descargar los desechos en aguas superficiales.⁽⁵⁾

En la Planta Geotérmica de Berlín como en cualquier otra, la disposición de las aguas de desecho es un problema de gran importancia teniendo en cuenta los efectos de contaminación que podrían ocasionarse en la red hídrica de la subcuenca del río San Simón que se localiza al norte del departamento de Usulután. Ésta se encuentra incluida dentro del campo geotérmico El Tronador, en Berlín, por lo que recibe descargas específicas de aguas termales⁽³⁾.

Durante el viaje de campo realizado, se pudo conversar con personas de diferentes comunidades y ONG's, quienes manifestaron que en efecto, LAGEO estaba contaminando las aguas del río, al descargar grandes cantidades de fluidos provenientes de la Planta Geotérmica, ya que habían observado corrientes de agua cálida, que bajan hasta el río. Ésto es más visible en el invierno, estación en la que, aseguraron, se producen mayores descargas. Según la opinión del Sr. Daniel Morales, quien vive en las riberas de río, dichas descargas son las responsables de la muerte de ganado y del daño en la salud de los habitantes de la zona, así como el aumento de movimientos sísmicos, además de que el nivel del río ha disminuido considerablemente desde que comenzó el proyecto de suministro energético.

Este estudio establece el grado de contaminación provocado por los principales componentes de los fluidos geotérmicos en las aguas de esta subcuenca al oriente del país. Dicha evaluación tiene un interés especial al tratarse de una zona altamente aprovechada para el consumo de agua, en el Departamento de Usulután, ya que el río San Simón sirve de abastecimiento para más de 10,000 familias entre los Municipios de Mercedes Umaña, Alegría, Berlín, Santiago de María, California, Tecapán, Estanzuelas y Nueva Granada.

Durante el desarrollo de este trabajo de investigación se evaluaron algunos parámetros fisicoquímicos del agua natural del área de la subcuenca del río San Simón, para determinar si el agua de la zona en estudio (Municipio de Mercedes Umaña) presenta niveles por encima de los valores máximos admisibles según los estándares de calidad fisicoquímicos de la “Norma Salvadoreña Obligatoria”, aprobada como NSO 13.0701:97 “Agua.Potable”⁽¹⁾.

El agua natural que se consideró en el análisis fue de dos tipos:

- Agua superficial del cauce del río San Simón.
- Agua de las fuentes de abastecimiento doméstico que incluye las aguas subterráneas (pozos artesanales).

Tomando en cuenta ocho puntos de muestreo localizados en el Caserío Santa Anita, en el Municipio de Mercedes Umaña.

CAPÍTULO II

OBJETIVOS

2.0 OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GENERAL

Determinar el grado de contaminación provocado por la Geotérmica de Berlín en las aguas del río San Simón, Usulután.

2.2 OBJETIVOS ESPECIFICOS

- 2.2.1 Realizar los análisis de DBO, DQO, boro y pH en muestras de agua de diferentes puntos de la subcuenca del río San Simón en el Municipio de Mercedes Umaña, durante la estación seca y lluviosa.
- 2.2.2 Realizar los análisis de arsénico, sólidos totales, cloruros y sulfatos durante la estación lluviosa, en muestras de agua de la subcuenca del río San Simón.
- 2.2.3 Analizar los resultados obtenidos en los diferentes ensayos para determinar si existe o no contaminación de origen geotérmico.
- 2.2.4 Comparar los resultados obtenidos con la Norma Salvadoreña Obligatoria de Calidad del Agua Potable NSO 13.07.01:97.
- 2.2.5 Proporcionar los resultados de esta investigación a organizaciones como la Unidad Ecológica Salvadoreña (UNES), el Centro Salvadoreño de Tecnología Alternativa (CESTA), u otra institución interesada en brindar protección al medio ambiente, para que se gestionen soluciones y poder recuperar la calidad del agua del río San Simón.

CAPÍTULO III
MARCO TEÓRICO

3.0 MARCO TEÓRICO

3.1 LA GEOTERMIA.

La utilización del agua termal por parte del hombre es tan antigua como la civilización misma. Los griegos y los romanos dejaron numerosos ejemplos de su aplicación en la calefacción urbana y en las tradicionales termas o baños públicos. Los hammams o baños turcos fueron inventados por los turcos otomanos aprovechando las manifestaciones termales superficiales de la región de Anatolia (en el Asia Menor), que en algunos casos, superaban los 100 °C de temperatura promedio.

Las aguas termales, los géiseres, los volcanes de lodo, las fumarolas y las erupciones volcánicas son manifestaciones de un mismo fenómeno: el calor terrestre ⁽¹⁶⁾.

Geotermia significa literalmente calor terrestre, sin embargo, el término se refiere en la práctica al aprovechamiento industrial del vapor de agua extraído artificialmente con suficiente presión y temperatura como para mover un turbogenerador de electricidad desde un reservorio situado a cientos o millares de metros por debajo del suelo, el cual fue o está siendo calentado por el alto flujo de calor proveniente de una fuente calórica natural, aún más profunda que el reservorio. Esta es el núcleo de la Tierra, que posee una temperatura aproximada de 4000 °C ⁽¹¹⁾.



A partir del calor que produce nuestro planeta, la teoría llamada tectónica de placas explica fenómenos como sismos y volcanes, mediante el mecanismo que lleva el calor del interior a la superficie de la Tierra.

La corteza de nuestro planeta actúa como una especie de aislante de las capas interiores (magma y núcleo) y está constituida de grandes placas de roca que se deslizan unas sobre otras por convección. Las juntas entre las placas están representadas por zonas de subducción que son en general, los medios naturales de escape o movimiento frecuente del magma y consecuentemente, focos de producción alta de calor terrestre. Generalmente una placa oceánica se mete debajo de una continental, provocando fracturas en las rocas por donde pueden escapar gases y vapores de magma (sílice y minerales con hierro y magnesio), formándose burbujas magmáticas que llegan a las proximidades de la superficie.

El agua que se ha filtrado por las fisuras de la corteza, en el transcurso de los años, es generalmente meteórica, es decir agua lluvia que alcanza grandes profundidades, se calienta y presuriza el reservorio geotérmico. Perforar el reservorio en forma controlada es lo que hace un pozo geotérmico y utilizar la fuerza y energía del vapor del agua que se genera al despresurizar un agua encerrada con mucho más de 100 °C de temperatura, es lo que hace un turbogenerador o planta geotérmica. La temperatura promedio del agua o vapor geotérmicos está entre 150 y 340 °C, aunque con temperaturas menores también puede aprovecharse la energía geotérmica.

La profundidad a la que se encuentra un pozo geotérmico oscila entre 200 y 3,500 m. La eficiencia real de una planta geotérmica es de 10 a 13% y la duración promedio de un pozo geotérmico es de 10 años ⁽¹⁶⁾.

3.1.1 GEOTERMIA EN EL MUNDO ⁽¹²⁾

En el año 1904, el príncipe Piero Ginori Conti impulsa la construcción en Larderello, Italia, de la primera central eléctrica geotérmica de 250 kW. Actualmente la potencia instalada es de 390 MW en Larderello y 483 MW en la región de Toscana que es de vapor seco.

Durante el quinquenio 1925-1930 los Estados Unidos siguieron el ejemplo de Italia y en la zona de los géiseres de California donde se había descubierto vapor en un pozo de poca profundidad, se instaló una pequeña máquina de vapor que conectada a una dínamo, produjo electricidad para un pequeño establecimiento termal. En el año 1960 se construyó la mayor central geotermoeléctrica del mundo de vapor seco, con una potencia actual instalada de 1792 MW.

El servicio vulcanólogo de Indonesia, comenzó en el año 1926, un programa de investigación geotérmica en la isla de Java perforando una serie de pozos de varias decenas de metros en la zona de Kawah Kamojang. En 1978, el gobierno de Indonesia dio comienzo a la explotación del campo geotérmico a través de una central inicial de 0.25 MW y construyendo una segunda de 30 MW de vapor seco en 1982.

Tanto Nueva Zelanda como México iniciaron la producción de energía geotérmica en 1958. Desde esa fecha Nueva Zelanda tiene una potencia instalada de 167 MW, con vapor húmedo. México construyó su primera planta de 3,5 MW en Pathe, en el estado de Hidalgo. Actualmente la central más importante es la de Cerro Prieto en Baja California, de 325 MW, e inaugurada en 1973 y en la que se está construyendo una ampliación de 220 MW adicionales. Además, los campos geotérmicos de Los Azufres en Michoacán y La Primavera de Jalisco, tienen un gran potencial geotérmico. México alcanzará una producción geotérmica de 700 MW con 115 MW en construcción y 230 MW en proyecto.

Japón se incorporó a la nómina de países productores de electricidad geotérmica en 1966.

Durante los años 70's varios países de América Central se incorporaron a la producción de electricidad geotérmica. Nicaragua y El Salvador, por ejemplo, se incorporaron a un balance energético positivo ya que cubren una parte importante de la demanda energética.

El caso más reciente es el de las Islas Filipinas que tiene en la actualidad y con tan solo dos años de investigación, una potencia instalada de 894 MW. Esta cifra coloca a las Filipinas en el segundo país productor de electricidad geotérmica del mundo, desplazando a Italia que era, históricamente el segundo país productor después de los Estados Unidos.

La capacidad geotermoeléctrica instalada a nivel mundial a enero de 1990 fue de 5,852.87 MW de los cuales casi la mitad estaban en Estados Unidos.

TABLA N° 1. CAPACIDAD GEOTERMOELÉCTRICA INSTALADA EN EL MUNDO DESDE 1995 AL 2003 ⁽²⁰⁾

PAIS	1995 (MW)	2000 (MW)	INCREMENTO %	2003 (MW)
ESTADOS UNIDOS	2,816.70	2,228.00	0.00	2,020.00
FILIPINAS	1,227.00	1,909.00	55.80	1,931.00
MÉXICO	753.00	755.00	0.30	953.00
ITALIA	631.00	785.00	24.30	790.50
NUEVA ZELANDA	286.00	437.00	52.80	421.30
JAPON	413.70	546.90	32.20	560.90
INDONESIA	309.80	589.50	90.30	807.00
EL SALVADOR	105.00	161.00	53.30	161.00
KENIA	45.00	45.00	0.00	121.00
ISLANDIA	50.00	170.00	240.00	200.00
NICARAGUA	70.00	70.00	0.00	77.50
CHINA	28.80	29.20	1.40	28.20
TURQUIA	20.40	20.40	0.00	20.40
RUSIA	11.00	23.00	109.00	73.00
COSTA RICA	55.00	142.50	159.00	162.50
FRANCIA	4.20	4.20	0.00	15.00
PORTUGAL	5.00	16.00	220.00	16.00
AUSTRALIA	0.15	0.15	0.00	0.15
GUATEMALA	-	33.40	0.00	29.00
ARGENTINA	0.67	0.00	0.00	0.00
TAILANDIA	0.30	0.30	0.00	0.30
TOTAL	6,832.70	7,965.50	1,038.40	8,387.80

(-) No ha sido reportado.

3.1.2 GEOTERMIA EN AMERICA LATINA ⁽¹²⁾

La energía geotérmica es un recurso energético que se aprovecha a nivel mundial debido a sus ventajas técnicas y económicas en comparación con las de otras fuentes convencionales.

La generación de electricidad a partir de la geotermia es particularmente atractiva para los países en vías de desarrollo dada su economicidad. Los costos de producción de vapor son inferiores a los de una planta termoeléctrica convencional, y las inversiones de capital y los costos de instalación y los operativos son de magnitud similar por kilovatio de capacidad instalada.

A modo de ejemplo, el costo de generación del kilovatio-hora en la central geotérmica de Ahuachapán en El Salvador es de 13.6 milésimos de dólar, mientras que el costo de energía térmica es de 37.7, de energía hidroeléctrica es de 12.7 y la térmica a gas es de 156.8 milésimos de dólar. Esta central geotérmica contribuye con un promedio de generación directa anual del 25 al 35% del consumo total de energía del país.

Las primeras investigaciones realizadas en América Latina con el propósito concreto de utilizar la geotermia como fuente de energía se remonta a los años 50' s cuando El Salvador y México, con una tecnología incipiente, comenzaron el estudio de sus recursos. Nicaragua, Costa Rica, Jamaica, Colombia y Chile se sumaron, en la década de los 60' s, al grupo de países interesados en este tipo de aprovechamiento energético. Durante la década siguiente la crisis del petróleo dio lugar a que varios países de la región, fuertemente dependientes de la provisión de hidrocarburos, volcaran parte de sus esfuerzos hacia la geotermia como una alternativa energética más económica que el de las fuentes convencionales. Países como Bolivia, Brasil, Ecuador, Guatemala, Haití, Panamá y Venezuela rápidamente ingresaron en el terreno del desarrollo geotérmico

A finales de la década de los 70' s, la geotermia en América Latina tuvo un impulso importante y logró alcanzar un promisorio desarrollo. Actualmente existen 15 campos geotérmicos en los que se han efectuado o se están efectuando diversos desarrollos geotérmicos: 4 en México, 8 en Centroamérica

y 3 en Sudamérica. Cuatro de ellos han alcanzado la fase de explotación y a la fecha la capacidad instalada es de 865,67 MW distribuidos de la siguiente forma: el 80,8% en México, el 11% en El Salvador, 8,1% en Nicaragua y solamente el 0,1% en Argentina.

Actualmente se están construyendo plantas geotérmicas por un total de 115 MW de las cuales, diez de 5 MW corresponden a México, una central de 55 MW a Costa Rica y dos unidades de 5 MW cada una a El Salvador.

3.1.3 ANTECEDENTES EN EL SALVADOR.

El Salvador es el primero de los países de Centroamérica en construir y operar una planta de generación de energía eléctrica geotérmica. La exploración comenzó a mediados de 1960 en el campo geotérmico cercano a la ciudad de Ahuachapán, en el occidente del país.

Las investigaciones dieron como resultado la instalación de una unidad con una capacidad instalada de 30 MW en junio de 1975. La segunda unidad entró en operación en julio de 1976, con igual capacidad; y la tercera, que utiliza vapor de media presión proveniente de algunos pozos además de vapor de baja presión obtenido por flasheo del agua caliente de otros pozos, con una capacidad instalada de 35 MW, a partir de 1981.⁽⁵⁾

Se tienen antecedentes de la existencia de otras manifestaciones termales en las siguientes zonas: Coatepeque, San Salvador, Tenancingo, Tecapán, Jucuapa, Jucuarán, Laguna de Olomega, Ciudad Barrios, Berlín, etc. La

mayoría son fuentes termales y las pocas exhalaciones volcánicas son, en su mayor parte, solfataras es decir, emisiones tranquilas de vapor moderado y sólo el Tronador en Berlín y los ausoles de Cuyamansul, en Ahuachapán, pueden considerarse como fumarolas cuyos vapores son más calientes.

Siendo El Salvador un país dotado de un gran potencial geotérmico con abundancia de manifestaciones hidrotermales se hace necesario el aprovechamiento de esta energía.

Actualmente se ha reconocido un gran número de sitios que presentan manifestaciones geotérmicas, sin embargo son cinco los lugares donde se encuentra una actividad más intensa y en los cuales las investigaciones realizadas demuestran que poseen las condiciones necesarias para ser explotados. Estos lugares son: Berlín, Chinameca, San Vicente, Chipilapa y Coatepeque. Es de importancia fundamental el hecho de que las plantas geotérmicas operan con recursos naturales, lo cual ayuda a no depender de la importación de combustibles así como los bajos costos de operación, mantenimiento e inversión en comparación con los proyectos térmicos e hidráulicos.⁽¹⁵⁾

3.1.3.1 CENTRAL GEOTERMICA DE BERLIN.

Este campo está localizado al oriente del país, a 112 Km. al este de San Salvador, 18 Km. al este del río Lempa y 6 Km. al sur de la carretera Panamericana, en el lugar conocido como Cantón Montañita del Municipio de Alegría y Departamento de Usulután. La exploración tuvo lugar en Berlín simultáneamente con Ahuachapán en 1965. El terreno es considerablemente más inclinado que en Ahuachapán lo cual influyó en la decisión de construir la primera planta geotérmica de energía en el occidente del país ⁽⁵⁾. Sin embargo Berlín tiene mayor temperatura en el reservorio y por lo tanto mayor producción de vapor en el fluido producido por los pozos. En otras palabras, mayor eficiencia desde el punto de vista de la generación eléctrica ⁽¹¹⁾.

El campo geotérmico de Berlín pertenece a la categoría de líquido dominante o vapor húmedo.

Los sistemas de vapor dominante o de vapor seco ofrecen las condiciones óptimas para la producción de electricidad. En los sistemas de líquido dominante, la presión es controlada, en su fase líquida. Pueden contener algo de vapor encontrado como ebullición discreta en la superficie. En zonas de baja presión el agua en estos reservorios es una solución acuosa diluida que contiene sodio, potasio, litio, calcio, cloro, bicarbonato, sulfato, boro y alto grado de sílice ⁽¹¹⁾.

La temperatura del reservorio oscila entre 200 y 300 °C, y las presiones de producción de 9 a 12 bar ⁽⁵⁾.

El área de perforación profunda ocupa unos 42 Km², e incluye la actual zona de explotación y reinyección. La zona sur tiene la posibilidad de ampliar la zona de producción y se está trabajando en su desarrollo.

Debido al conflicto armado que se vivió en el país, el desarrollo geotérmico en la zona de estudio, se paralizó por un tiempo pero, a principios de la década de los 90 se retomó la actividad en el campo geotérmico de Berlín (en la jurisdicción de Alegría, Usulután) con el apoyo de los gobiernos de Francia y Bélgica.

En 1992 se instalaron dos unidades a contrapresión de 5 MW cada una. Debido al éxito de este pequeño desarrollo, con el financiamiento del Banco Interamericano para el Desarrollo (BID), se efectuaron los estudios necesarios para empezar a construir una nueva central con la condensación de 56 MW a fines de 1996, la cual se inauguró en julio de 1999⁽⁴⁾

3.1.3.2 LAGEO SA DE CV ⁽⁴⁾.

El Laboratorio Geoquímico, LAGEO, nace en 1999 como una subsidiaria de la Comisión Hidroeléctrica del Río Lempa (CEL), dedicada a la exploración, desarrollo y explotación de los recursos geotérmicos, especialmente, con fines de generación de electricidad, para su venta en mercados mayoristas. En la actualidad, LAGEO tiene concesiones en dos áreas geotérmicas en donde se encuentran instaladas las centrales geotérmicas de Ahuachapán y Berlín.

Ambas operan con respeto al medio ambiente, ya que se ha incorporado el proceso de reinyección, además de contar, dentro de la estructura organizativa formal, con la Unidad Geoambiental con el objetivo de promover, desarrollar y manejar el control ambiental del suelo, el agua y el aire de las instalaciones en las centrales geotérmicas y en las oficinas administrativas.

LAGEO presentó un estudio de Impacto Ambiental para la Central Geotérmica de Ahuachapán obteniendo el permiso correspondiente para la operación por parte del Ministerio del Medio Ambiente.

En el caso de la Central Geotérmica de Berlín, aún se está implementando el sistema de Gestión Ambiental, en el cual LAGEO se compromete a controlar la extracción y reinyección del flujo másico del reservorio para conseguir niveles de producción sostenibles a largo plazo; evitar actividades que degraden la calidad de las aguas superficiales y subterráneas de consumo humano y asegurar que todos los desechos sólidos, líquidos o gaseosos que se producen, sean evaluados y tratados si fuese necesario para cumplir con las cantidades y/o concentraciones que son exigidas por la ley.

3.1.4 DISPOSICION DE LOS FLUIDOS GEOTÉRMICOS⁽¹⁰⁾.

La energía geotérmica, a pesar de ser considerada una de las fuentes de energía más limpia, presenta la desventaja de tener que evacuar grandes volúmenes de fluidos (líquidos y gases) del subsuelo.

En cuanto a los gases, la mayoría de plantas geotérmicas alrededor del mundo, realiza la descarga directamente a la atmósfera, a pesar de que en algunos casos como en Cerro Prieto en México, ésto representa problemas debido a la elevada cantidad de sulfuro de hidrógeno presente.

Respecto a los desechos líquidos, se han utilizado dos métodos principales de disposición:

- Disposición subterránea o REINYECCIÓN
- Disposición superficial.

3.1.4.1 SISTEMAS DE DISPOSICION DE DESECHOS GEOTÉRMICOS UTILIZADOS EN EL PAIS ⁽⁵⁾.

Los gases residuales como CO₂, H₂S, CH₄ y amoníaco son vertidos a la atmósfera.

Para los líquidos se usan dos métodos de disposición:

- Reinyección
- Descarga al Océano Pacífico a través de una canaleta de concreto (disposición superficial).

Este último, ya no es considerado un método usual de disposición, debido a que tanto en la Central Geotérmica de Ahuachapán como en la de Berlín se ha incorporado el proceso de reinyección, siendo entonces la disposición superficial, necesaria en casos especiales, por lo que debe ser considerada en el diseño. Por otro lado, por razones de escasa permeabilidad y otros factores, la reinyección podría no ser realizable técnicamente.

Cuando se construyó la primera Unidad Geotérmica de Ahuachapán los conocimientos sobre los procedimientos de disposición presentaban muchas dudas en cuanto a aspectos técnicos, además la reinyección no había probado ser satisfactoria por lo que la disposición superficial era la única alternativa viable. Entonces se comenzaron a plantear opciones para minimizar el impacto ambiental.

La descarga, en el caso de Ahuachapán, comenzó a hacerse directamente en el río Paz. Más adelante, se construyó un canal de concreto para poder realizar estas descargas al Océano Pacífico, lo cual, a pesar de que representaba una buena alternativa, por la alta dilución en el mar, presentó desventajas respecto al tiempo de construcción y costos elevados. Desastres naturales como terremotos y huracanes, provocaron la ruptura del canal, obligando, hasta el día de hoy y cuando no es posible la reinyección, a descargar los desechos en el río Paz.

En Berlín, los geofluidos son reinyectados. Sin embargo, al igual que en los Ausoles, eventualmente dichos geofluidos son descargados en el río San Simón, para poder así reducir los costos que involucra el proceso de reinyección.

Por problemas técnicos como la escasa permeabilidad del reservorio que provoca el enfriamiento de algunas zonas, a parte de su costo elevado por la utilización de una gran cantidad de equipo, actualmente aún se está investigando la forma de efectuar adecuadamente la reinyección, lo cual ha obligado a prescindir de su uso en varias ocasiones, y por ende a descargar desechos en los ríos, con el consiguiente impacto ambiental.

3.1.4.1.1 REINYECCIÓN ⁽⁵⁾

Se entiende por reinyección a la disposición subterránea de los geofluidos y cuando es posible utilizarla es muy beneficiosa ya que:

- Se evita la posibilidad de que existan problemas de contaminación ambiental en las aguas superficiales.
- Se previenen hundimientos que podrían ocurrir debido a la gran extracción de masa del subsuelo.
- Se conserva el agua y parte de su energía térmica dentro del reservorio, lo que incrementa la vida útil de éste.

La DESVENTAJA POTENCIAL DE LA REINYECCIÓN como un método de disposición, es que NO podemos decir, con seguridad, a dónde van a ir los fluidos al inyectarlos. Existe la posibilidad de que fallas desconocidas, fracturas, regiones altamente permeables o pozos mal perforados puedan permitir la canalización de los fluidos dentro de acuíferos potables o aguas superficiales.

Por otra parte, la reincorporación de líquido geotérmico a temperatura inferior a la del reservorio, puede provocar problemas tales como el taponamiento de los pozos de reinyección debido a la presencia de sales incrustantes, o enfriamientos no deseados en el reservorio.

Otra desventaja es su costo elevado, debido a las grandes cantidades de equipo utilizadas y los gastos en la investigación.

Las maneras de realizar este tipo de disposición son las siguientes:

- *Inyección en la zona productiva*: Se realiza inyectando directamente el fluido en la zona de donde se está extrayendo a presión y temperatura un poco inferior a la del reservorio. Se ha observado que esto provoca enfriamiento en la zona de producción, sin embargo, algunas veces, por la escasa permeabilidad del reservorio, no es posible realizarlo de otra manera.
- *Inyección en la zona no productiva*: Se utiliza cuando la permeabilidad del reservorio permite el fácil flujo desde zonas relativamente alejadas, evitando de este modo enfriamientos, ya que hay un calentamiento gradual del fluido.
- *Tratamiento previo e inyección*: Se ha utilizado en Cerro Prieto, México, donde las concentraciones de sólidos en el efluente sobrepasan el nivel de saturación, lo que provoca taponamiento en los pozos reinyectores. El efluente es tratado para eliminarle los sólidos y luego reinyectado a presión en zonas previamente investigadas.

3.1.4.1.2 DISPOSICIÓN SUPERFICIAL DE LOS FLUIDOS GEOTÉRMICOS ⁽⁵⁾

Consiste en la descarga de los fluidos hacia áreas externas al reservorio como el océano y ríos. Es el método más frecuentemente utilizado en las plantas geotérmicas de potencia alrededor del mundo. Las ventajas principales que presenta son la simplicidad de la operación y los costos relativamente bajos.

La manera en que se realiza es diferente para cada campo geotérmico en particular, debido a la diversidad de factores que intervienen y que varían para cada uno de ellos.

Algunos factores importantes a considerar son:

- Las regulaciones legales, tanto locales como internacionales, para este tipo de disposición.
- La concentración de sustancias químicas tóxicas presentes en el efluente líquido, que signifiquen un peligro potencial para el medio ambiente (generalmente son el mercurio, arsénico y boro).
- Temperatura y pH del efluente.
- Si existe espacio suficiente para retener grandes cantidades de líquido que permita un enfriamiento adecuado o evaporación del agua por calentamiento solar y separación de sales.
- Si las aguas superficiales de la zona están en capacidad de recibir grandes cantidades del efluente líquido sin exceder los límites permisibles de la concentración de las sustancias tóxicas.

Los problemas técnicos derivados del efecto ambiental que este tipo de disposición ha provocado en los diversos lugares, han sido muchos y diferentes para cada campo, dependiendo de las características fisicoquímicas de sus aguas de desecho, su volumen y situación geográfica.

3.1.5 CARACTERÍSTICAS Y CLASIFICACIÓN DE LOS FLUIDOS GEOTÉRMICOS ⁽⁵⁾

Los reservorios de energía geotérmica pueden ser distinguidos por la salinidad, temperatura y acidez de sus sistemas fluidos.

La salinidad es frecuentemente medida por los sólidos totales disueltos y es una indicación de los problemas que pueden ser encontrados debido a incrustación, corrosión, precipitación y disposición de fluidos en general.

Igualmente importante es la acidez (medida en pH) de los fluidos geotérmicos.

TABLA N° 2. CLASIFICACIÓN DE LOS FLUIDOS GEOTÉRMICOS POR SU TEMPERATURA ⁽⁵⁾

TEMPERATURA	TIPO	APLICACIÓN
CLASE 1: >150° C	Alta temperatura	Generación de potencia, Aplicaciones industriales.
CLASE 2: 90-150° C	Temperatura media	Aplicaciones industriales, Calentamiento de espacios.
CLASE 3: <90° C	Temperatura baja	Calentamiento de espacios, Agricultura, baños termales.

Similarmente podemos clasificar los fluidos por su salinidad usando los sólidos totales disueltos como una medida de salinidad.

TABLA N° 3. CLASIFICACIÓN DE LOS FLUIDOS GEOTÉRMICOS POR SU SALINIDAD ⁽⁵⁾

CLASE A:	< 1000 ppm	Agua fresca
CLASE B:	1000-10,000 ppm	Agua salobre
CLASE C:	10,000-36,000 ppm	Agua salina
CLASE D:	> 36,000 ppm	Salmuera

Los sólidos totales disueltos tienden a incrementarse proporcionalmente con la temperatura.

Así mismo los sólidos totales suspendidos constituyen un parámetro importante de los efluentes líquidos de instalaciones de generación geotérmica ⁽²⁴⁾.

Desde el punto de vista de la corrosión, la acidez de los fluidos podría ser más importante que su salinidad. Los fluidos geotérmicos varían de altamente ácidos a moderadamente alcalinos.

La corrosión en plantas de potencia eléctrica puede ser controlada si el pH de los fluidos geotérmicos es mayor que 7. Se podrían añadir productos químicos a los fluidos geotérmicos para llevar el pH a los valores deseados. Sin embargo, la adición de productos químicos afecta no sólo la economía de la operación, sino también la disposición de los fluidos ⁽⁵⁾.

3.1.6 CONSTITUYENTES QUÍMICOS ENCONTRADOS EN FLUÍDOS GEOTÉRMICOS.

En un campo de vapor seco los residuos más importantes son CO₂ y H₂S (sulfuro de hidrógeno). La expulsión de gases se efectúa en chimeneas de hasta 40 m. de altura. La producción de energía eléctrica a partir de vapor natural se considera ideal desde el punto de vista ambiental. Sin embargo en sistemas de vapor húmedo manejan volúmenes elevados de agua residual con alto contenido de sales (SiO₂, Na, Ca, K, cloruros, sulfatos, bicarbonatos). Los niveles elevados de sales, son un riesgo para la agricultura, salud humana, flora y fauna regional ⁽²³⁾.

Los componentes químicos encontrados en los desechos geotérmicos están limitados únicamente por el número de elementos encontrados en el reservorio productivo y por su solubilidad en el agua a las temperaturas existentes.

Los principales componentes son:

- Cationes: sodio, potasio, calcio, magnesio, litio, etc.
- Aniones: cloruro, sulfato, carbonato, bicarbonato, arseniato, etc.
- Elementos conservativos: cloro, litio, boro, arsénico, mercurio, etc.

De acuerdo con dichos componentes es posible identificar y diferenciar el agua termal de agua superficial, por sus características propias en cuanto a sus concentraciones relativas:

- Agua termal: $\text{Na} > \text{Ca} > \text{Mg}$; $\text{Cl} > \text{SO}_4 > \text{HCO}_3$
- Agua de río: $\text{Ca} > \text{Mg} > \text{Na}$; $\text{HCO}_3 > \text{SO}_4 > \text{Cl}$

El agua geotérmica se caracteriza en componentes específicos que tienen su origen definido por el tipo de roca presente y la alta temperatura. La mayoría de elementos presentes son sales solubles que se encuentran en estado iónico y cuya variación con la temperatura y la presión está en relación directa con su solubilidad y presentan la característica de que al pasar a la fase líquida ya no intervienen en reacciones de intercambio agua-roca, de tal forma que su contenido original se conserva, por eso se les denomina elementos conservativos ⁽¹⁵⁾.

Sin embargo, estos elementos, aunque tienden a estar presentes sólo en pequeñas cantidades, pueden ocasionar problemas de disposición significativos debido a su toxicidad. Por ejemplo, las concentraciones de arsénico en fluidos geotérmicos se ha encontrado que pueden variar 100 veces de 0.1 a 10 mg/L.

Por comparación, las concentraciones en agua fresca varían desde 0.003 a 0.050 mg/L. De acuerdo a la disposición de seguridad del agua potable de la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos, EPA, la concentración de arsénico no deberá exceder los 0.05 mg/L. Patrones típicos son 1 mg/L para alimentos y 0.1 mg/L para bebidas ⁽⁵⁾.

La toxicidad del arsénico depende de su estado químico. En la forma de óxido arsenioso, una dosis de 100 a 300 mg es usualmente fatal para los humanos. Se reporta la muerte de ganado en Nueva Zelanda después de haberse alimentado con plantas que crecen en aguas geotérmicas que contienen pequeñas cantidades de arsénico. Aparentemente las plantas absorbieron y almacenaron dicho tóxico ⁽⁵⁾.

Se sabe que los mariscos, y en particular los camarones, tienden a concentrar el arsénico. En estos animales se ha encontrado valores de hasta 42 mg/L. La concentración normal de arsénico en el cuerpo humano es de 0.2 a 0.3 mg/L ⁽⁵⁾

Los constituyentes químicos de los fluidos pueden variar durante la producción del reservorio como una función de los cambios físicos en el tiempo. Este fenómeno ha sido observado en Landerello, Italia, donde la pureza del agua se incrementó cuando agua fresca de recarga entró en el reservorio.

El análisis químico de los fluidos periódicamente, podría ser un requerimiento previo para modificar los tratamientos químicos y procedimientos de disposición ⁽⁵⁾

3.2 LA CONTAMINACIÓN DEL AGUA.

El agua, es utilizada por el hombre como fuente de recursos (agua potable, pesca, procesos industriales, producción de electricidad, agricultura y ganadería, ocio y recreo), asiento de actividades como transporte y minería, así como sumidero de desechos que son los efluentes líquidos responsables de la contaminación ⁽⁹⁾.

El agua como un recurso natural es un recurso que en tiempos pasados se consideró ilimitado y no se tuvo suficiente cuidado para su explotación ⁽³¹⁾. En este siglo es cuando se ha extendido este problema a ríos y mares de todo el mundo. Primero fueron los ríos, las zonas portuarias de las grandes ciudades y las zonas industriales las que se convirtieron en zonas cargadas de productos químicos, espumas y toda clase de contaminantes ⁽⁸⁾.

Se entiende como contaminación del agua a la incorporación, por acción humana de sustancias, formas de energía y microorganismos que alteran su calidad.

La calidad natural del agua está determinada por una serie de características fisicoquímicas y microbiológicas que varían con la localización (aguas continentales superficiales y subterráneas, aguas marítimas) y con el uso a que va destinada (agua potable, uso urbano, industrial, agropecuario, recreativo,

etc. El agua, sea dulce o salada, en su estado natural, es asiento de ecosistemas muy variados donde el oxígeno disuelto es un elemento decisivo para la vida acuática ⁽⁹⁾. El oxígeno del agua puede consumirse tanto por la respiración de todos los seres acuáticos como por la descomposición de materiales que se encuentran en ella. La demanda bioquímica de oxígeno es la norma que se usa para medir el peso (por un volumen unitario de agua) del oxígeno disuelto utilizado en el proceso biológico de degradación de materiales orgánicos. Los valores normales son de aproximadamente 1-2 mg/L en aguas naturales, en tanto que se elevan hasta 300-500 mg/L en aguas domésticas no depuradas; si el número de sustancias contaminantes se incrementa la degradación de estos materiales agota el oxígeno disuelto en el agua y puede causar la asfixia de los organismos acuáticos; si esto sucede, las bacterias aerobias dejan de actuar y se inicia el proceso anaeróbico de putrefacción del agua. Normalmente existe un alto poder de biodegradación del agua debido a la acción de las bacterias aerobias; pero si la concentración de sustancias orgánicas y químicas rebasa esta capacidad, las aguas no pueden regenerarse y entonces los lagos y ríos se convierten en cloacas abiertas sin vestigios de vida ⁽³¹⁾.

La contaminación de las aguas continentales y marítimas es un problema medioambiental de primer orden ⁽⁹⁾.

3.2.1 PRINCIPALES CONTAMINANTES ⁽⁸⁾.

Los contaminantes del agua son muy numerosos y de difícil clasificación, siendo los principales:

- Contaminantes químicos: Generalmente provienen de desechos de industrias o productos fabricados por el ser humano. Son muy tóxicos y dañinos para la salud, y se diluyen en el agua a niveles o concentraciones muy bajas y tardan varios años en evidenciar su daño al medio ambiente, animales y al ser humano. Entre las fuentes importantes de contaminantes químicos destacan los desechos y/o efluentes y derrames de las industrias o fábricas. Estos desechos tóxicos también pueden infiltrarse en el suelo y contaminar el agua subterránea que alimenta los pozos de las comunidades. Otra fuente de contaminación son los agroquímicos, como plaguicidas y fertilizantes, que se utilizan en los campos de cultivo. Los escurrimientos de agua llevan estos productos a las quebradas, ríos y lagos, infiltrándose, hasta llegar a contaminar el agua subterránea.
- Contaminantes Orgánicos: Proviene de desechos industriales, excrementos de animales y seres humanos. Se llama materia orgánica a todo compuesto que contiene carbón, como la mayoría de los alimentos, seres vivos, plantas y los desechos de éstos. Algunos compuestos orgánicos pueden dañar la salud. La mayoría no son deseables en el agua porque son una fuente de alimentación para plantas acuáticas y

otros seres vivos en el agua (microorganismos) y su presencia puede resultar en su crecimiento excesivo y agotamiento del oxígeno en el agua, alterando la vida acuática.

- Contaminantes microbiológicos: Los microorganismos tienen un papel importante en el ciclo de vida. Muchos microorganismos descomponen materia orgánica. Ésto quiere decir que convierten un animal muerto o una planta en tierra, energía (calor) y nutrientes y son fuente de alimentación para otros organismos en la cadena alimenticia. Sin embargo ciertos microorganismos pueden causar daño a otros seres vivos. Un microorganismo que causa enfermedad se le llama patógeno y puede vivir en el agua. El agua que consumimos puede contaminarse en la fuente, pero también puede contaminarse después de ser recaudada. La contaminación puede ocurrir en el transporte del agua, en su almacenaje, y/o en el hogar.

3.2.2 EL RECURSO HÍDRICO SUPERFICIAL ⁽⁸⁾.

El agua la recibimos por la precipitación atmosférica en forma de lluvia, alimentando los recursos hídricos y las cuencas hidrográficas. Una de las fuentes principales en la conservación del recurso hídrico es el bosque.

El bosque influye en el aumento de precipitación gracias al movimiento ascendente de las grandes masas de aire sobre el bosque. Estas masas de aire transportan el vapor del agua desde el océano. Bajo ciertas condiciones el

vapor se condensa para formar las nubes, las cuales son atraídas a zonas que poseen alta densidad boscosa. Además, los árboles influyen en conservar el agua ya que desde las raíces, retienen gran cantidad del agua precipitada, parte de esta se evapora, otra parte del agua viaja a través del suelo hasta alcanzar los cauces de los ríos y la porción restante penetra más profundamente en el suelo para formar parte del suministro de agua subterránea, necesarios en tiempo de sequía.

Para tener un mejor conocimiento de las actividades del hombre (causante principal de la deforestación y de la contaminación) en un compuesto hídrico, debemos saber su ubicación, la importancia del lugar, datos hidrológicos, el crecimiento de la población, ocupación de los moradores, en fin, tener un amplio conocimiento de la cuenca hidrográfica del compuesto hídrico.

Cada compuesto hídrico en la superficie terrestre tiene su propio campo de alimentación, dependiendo de la magnitud de la superficie terrestre, del grueso y la clase de suelo. Generalmente el abastecimiento del agua es por la precipitación atmosférica, por el flujo de las corrientes superficiales del suelo, y por el movimiento y suministro de agua subterránea.

En definición, la cuenca es una superficie de tierra que drena hacia una corriente, y que está dividida por una línea que separa su territorio y cuyas aguas fluyen hacia un punto más bajo donde son colectadas conformando los ríos, quebradas, riachuelos, lagos, acuíferos y cuyo punto final puede ser otro río, lago o el mar.

3.2.2.1 TIPOS DE AGUA NATURAL ⁽³⁾.

Se define como agua natural a aquella que no ha sido sometida a ningún proceso fisicoquímico.

Entre las fuentes más comunes están:

- Agua de mar: ésta contiene una alta concentración de sales y posee de 30 a 60,000 ppm de sólidos totales disueltos.
- Agua de río y lagos: varía mucho en composición, ya que en ellas se encuentran materias orgánicas e inorgánicas, en forma de sólidos disueltos (dependerán mucho de los suelos) y sólidos en suspensión.
- Agua de pozos (más de 30 metros): posee mucha materia disuelta, pero no contiene mucha materia en suspensión.
- Agua lluvia: no contiene sólidos disueltos, aunque sí gases disueltos, sólidos suspendidos y microorganismos.

Entre las fuentes menos comunes están: agua termal y los glaciares.

3.2.2.2 ASPECTOS FISICOQUÍMICOS NATURALES DE LOS RIOS ⁽³⁾.

- Carga sólida y turbiedad. Existe una relación directa entre la velocidad de la corriente de un río y la carga sólida que arrastran las aguas. La materia sólida en suspensión transportada por un río en relación con su caudal es un índice de estabilidad del sistema.
- Carbono y materia orgánica. Las aguas de ríos transportan materia orgánica disuelta y partículas de los componentes terrestres. Las

partículas gruesas son representadas por las hojas, flores, frutos, polen, ramas, entre otras; pero también hay aportaciones indirectas como los productos de lixiviados de las rocas y los suelos. La materia orgánica es degradada tanto por acciones físicas (efecto abrasivo) como por agentes biológicos (hongos, bacterias, etc.) y al final son incorporadas a los procesos biogeoquímicos del carbono en los ríos.

- Composición iónica. La composición química del agua depende de numerosas variantes: físicas, químicas y biológicas; pero además se agregan las precipitaciones, la naturaleza de las rocas del lecho y el proceso de evaporación o cristalización.
- Concentraciones de iones de hidrógeno (pH). Las diferencias químicas de estos iones están relacionadas con los tipos de organismos, los usos y manejos que se le den al agua. Los incrementos repentinos de pH pueden ser causados por efecto del aporte de excrementos de animales, las inundaciones, las actividades fotosintéticas y el aporte de agua proveniente de un proceso industrial o doméstico.
- Temperatura del agua. Este parámetro está influenciado por aspectos como la latitud, altitud, grado de insolación, composición del sustrato, turbidez, aporte de aguas freáticas (aguas acumuladas en el subsuelo ya sean frías o calientes), lluvia, viento y cubierta vegetal. Generalmente la temperatura del agua en la superficie de un sistema hídrico se encuentra en un rango cercano a la temperatura ambiental.

- Conductividad. Esta es otra medida de la suma de iones presentes en la masa de agua y es una aproximación útil para calcular la riqueza química.
- Oxígeno disuelto. Este parámetro es uno de los más importantes en los ecosistemas acuáticos, debido a una buena oxigenación del agua existirá una mayor probabilidad de encontrar más especies acuáticas (macroscópicas o microscópicas) además este elemento interviene en muchos procesos de oxidación-reducción en las masas de agua. Los ambientes rocosos y de cascadas, favorecen la oxigenación del agua, pero no así aquellos ambientes de pozas y planicies, en donde se pierde mucho oxígeno por la degradación de la materia orgánica y por el poco movimiento que el agua tiene. Otro parámetro que se relaciona con éste directamente es la temperatura, a mayores temperaturas menor cantidad de oxígeno disponible y el nivel de saturación de éste es bajo y a menor temperatura por lo general el oxígeno suele ser mayor. El proceso de fotosíntesis de organismos como algas y bacterias, también favorecen el incremento de la concentración de oxígeno disuelto no así los procesos de respiración en donde se consume el oxígeno para mantener las funciones fisiológicas de los organismos o para degradar la materia orgánica y química del ecosistema acuático.

3.2.3 ASPECTOS GENERALES DE LA CALIDAD DEL AGUA ⁽³⁾.

El agua puede provenir de diferentes fuentes naturales, tales como: ríos, riachuelos, lagos, lagunas, aguas termales, aguas subterráneas, lluvia, esteros, mar entre otras. Cada una de estas fuentes tiene ciertas particularidades. Sin embargo, comúnmente se utilizan los estándares de calidad de agua, para evaluar su condición y definir así su posible uso.

3.2.3.1 NORMA SALVADOREÑA PARA LA CALIDAD DEL AGUA POTABLE.

Existen regulaciones, las cuales contemplan estándares de calidad del agua, los que permiten definir los usos, por ejemplo: vida acuática, uso potable, pesca, riego, aceptar la calidad de una descarga de un efluente, recreación, etc. Un estándar o norma, es una limitación específica establecida por la regulación y los requerimientos de una ley. Sin embargo, existen también los criterios o parámetros de evaluación, los cuales permiten comparar la concentración o el nivel que una sustancia tiene y comprobar la calidad para un uso potencial. Un criterio puede ser utilizado para el desarrollo de un estándar. La selección de parámetros también puede dividirse en:

- Específicos: Cationes, aniones y oligoelementos.
- Sustitutos: Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO₅), aceites, minerales, etc.
- Indicadores: Bacterias coliformes, especies de plancton, insectos acuáticos y peces. ⁽³⁾

La Agencia Suiza para el Desarrollo y la Cooperación, COSUDE, en colaboración con el Ministerio de Salud Pública y Asistencia Social, MSPAS, edita la Norma Salvadoreña Obligatoria, ratificada el 26 de junio de 1998, por el Ministerio de Economía de la República de El Salvador.

La “Norma Salvadoreña Obligatoria”, aprobada como NSO 13.07.01:97 “Agua.Agua Potable”, fue elaborada por el Concejo Nacional de Ciencia y Tecnología, CONACYT, el cual hizo una adaptación de la “Guía para la Calidad del Agua Potable” de la Organización Mundial de la Salud.

Esta norma tiene como objetivo, el establecimiento de valores recomendados para la calidad del agua, procedimientos, registros, frecuencia mínima de muestreo y métodos estandarizados, para ser usados por entes municipales o de servicio público encargados de velar por el servicio de agua, en la República de El Salvador.

Tanto en el área urbana como en la rural, con cualquier sistema de abastecimiento que se esté utilizando, en lo que se refiere a la prevención y control de la contaminación de las aguas, deberá tomarse en cuenta la Norma Salvadoreña Obligatoria NSO 13.07.01:97.

La Norma Salvadoreña Obligatoria define como agua potable aquella que es 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 ⁽¹⁾.

3.3 PATOLOGÍAS RELACIONADAS CON LOS PRINCIPALES CONSTITUYENTES QUÍMICOS DE FLUIDOS GEOTÉRMICOS.

3.3.1 EFECTOS DEL ARSÉNICO EN EL SER HUMANO.

En la actualidad, millones de personas ingieren agua contaminada con arsénico. Cabe mencionar que esta situación, en algunos casos, se produce de manera natural debido a que en el subsuelo muchas rocas de origen volcánico contienen este elemento, por lo que se infiltra a los reservorios del líquido que consumimos⁽²⁾. Sin embargo, la principal fuente de contaminación está relacionada con el tratamiento metalúrgico de los minerales del arsénico.

Debido a la ausencia de color, olor o sabor en el agua contaminada, el envenenamiento por arsénico se vuelve imperceptible en sus primeras etapas, tardando de 8 a 14 años en manifestarse, envenenando calladamente a la población, ocasionando el Hidroarsenicismo Crónico Regional Endémico “HACRE”, consecuencia de la ingesta de arsénico, en pequeñas cantidades y por períodos de tiempo largos.

Por otro lado, el estado sanitario de la población expuesta, es muy importante ya que la tolerancia es variable para las mismas dosis ingeridas. Cabe destacar que los individuos con deficiencias en vitamina C o con algún grado de desnutrición están más expuestos a sufrir el Hidroarsenicismo, por lo que esta enfermedad constituye una patología de carácter social.

La Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (EPA), clasifica al arsénico como altamente carcinógeno para los seres humanos. El arsénico se acumula en el organismo humano, por lo que con los años el contenido aumenta y las patologías asociadas son cada vez más severas ⁽⁶⁾

Las enfermedades causadas por el arsénico son:

- Hiperqueratosis palmoplantar, cuya manifestación es la pigmentación de la piel y callosidades en las palmas de las manos y los pies.
- Hiper o hipopigmentación de cara, cuello y tórax.
- Cáncer de la piel, hígado, estómago, riñón y vejiga. Ésto se debe a que las personas que ingieren arsénico presentan un alto índice de aberraciones cromosómicas y una proliferación de linfocitos más lenta de lo normal.

Los países que tienen agua con elevada concentración de arsénico son: Bangladesh, Chile, México, Argentina, Mongolia, Tailandia y los EE.UU. ⁽¹⁴⁾.

3.3.2 ENVENENAMIENTO POR LA INGESTA DE BORO ⁽¹³⁾

Efectivamente el boro es un elemento no metálico y cuya ingesta puede ser causa de envenenamiento, provocando síntomas como:

- Disturbios gastrointestinales.
- Erupciones cutáneas eritematosas.

- Depresiones.
- Infertilidad en el hombre
- Atrofia de los testículos, según últimos estudios.

Por otro lado, las manifestaciones de contaminación por boratos o ácido bórico, sin importar la vía de exposición pueden ser entre otras: la excitación o depresión, letargo, cefaleas, coma y convulsiones. En ancianos y niños se han reportado además deshidratación, falla renal, arritmias cardíacas, shock y/o acidosis metabólicas. Es decir los perjuicios para la población pueden llegar a ser desastrosos, sin discriminación de género o edad.

Cabe precisar que este nocivo elemento, no siempre está incluido dentro de las normas sobre calidad del agua potable, lo que contrasta con las recomendaciones que efectúa la Organización Mundial de la Salud, las cuales señalan que la exposición oral de corto y largo plazo en animales de laboratorio al ácido bórico y el bórax es sumamente tóxica para el aparato reproductor de los animales machos. Por lo anterior, la Organización Mundial de la Salud, recomienda un valor de referencia para el boro de 0.5 miligramos por litro.

3.4 GENERALIDADES SOBRE TOMA DE MUESTRAS Y PARÁMETROS PROPUESTOS.

3.4.1 TOMA DE MUESTRAS ⁽¹⁷⁾.

Los métodos para la toma de muestras son:

Toma manual: En la toma manual se supone que no se utiliza equipo alguno, pero este procedimiento puede resultar demasiado costoso en tiempo y dinero para programas de toma rutinaria de muestras o a gran escala.

Toma automática: Mediante la toma automática se pueden eliminar los errores humanos en la manipulación, se reducen los costos laborales y se proporciona la posibilidad de hacer tomas con mayor frecuencia, por lo que su uso está cada vez más extendido.

El tipo de envase que se utilice tiene una importancia capital. En general, los envases están hechos de plástico o vidrio, y según los casos puede resultar preferible uno u otro de estos materiales.

Para un análisis físico-químico utilizar un frasco de vidrio o plástico limpio de un galón de capacidad.

3.4.2 VALOR DE pH ⁽¹⁷⁾.

A una temperatura determinada, la intensidad del carácter ácido o básico de una solución viene dada por la actividad del ión hidrógeno o pH.

La medida del pH es una de las pruebas más importantes y frecuentes utilizadas en el análisis químico del agua. En el caso de los fluidos geotérmicos es de gran interés la acidez, medida en términos de pH. Un pH muy ácido o muy alcalino es un indicio de contaminación industrial ⁽²⁷⁾

El instrumento para medir el pH se calibra potenciométricamente con un electrodo indicador y uno de referencia utilizando los buffer del National Institute of Standards and Technology de los Estados Unidos que tienen valores asignados. La temperatura afecta la medición del pH de dos formas: efectos mecánicos producidos por cambios en las propiedades de los electrodos y efectos químicos causados por cambios de equilibrio. Se debe indicar siempre a qué temperatura se ha medido el pH.

3.4.3 SÓLIDOS.

Los sólidos pueden afectar negativamente la calidad del agua o a su suministro de varias maneras. Los reservorios de energía geotérmica pueden diferenciarse por su salinidad, la cual es frecuentemente medida por los sólidos totales disueltos y es una indicación de los problemas que pueden ser encontrados debido a incrustación, corrosión, precipitación y disposición de fluidos en general ⁽⁵⁾

Las aguas con abundantes sólidos disueltos suelen ser de inferior palatabilidad y pueden inducir una reacción fisiológica desfavorable en el consumidor ocasional. Por estas razones, para las aguas potables es deseable un límite de 500 mg/L de sólidos disueltos.

“Sólidos Totales” es la expresión que se aplica a los residuos de material que quedan en un recipiente después de la evaporación de una muestra y su consecutivo secado en estufa a temperatura definida. Los sólidos totales incluyen los “sólidos totales suspendidos”, o porción de sólidos totales retenida por un filtro, y los “sólidos totales disueltos” o porción que atraviesa el filtro ⁽¹⁷⁾.

Para el muestreo utilícense botellas de plástico o vidrio refractario, teniendo siempre presente que el material en suspensión no debe adherirse a las paredes del recipiente. Iniciar el análisis lo antes posible, pues resulta poco útil preservar la muestra. Refrigerérese a 4° C hasta realizar el análisis, para reducir al mínimo la descomposición microbiológica de los sólidos ⁽¹⁷⁾

3.4.4 DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXÍGENO (DBO) ⁽¹⁷⁾.

La determinación de la demanda bioquímica de oxígeno (DBO) permite identificar analíticamente fracciones macroscópicas de materia orgánica. Los análisis de la materia orgánica se efectúan para evaluar la concentración y la composición general de la materia orgánica presente en los suministros de agua sin depurar, en las aguas residuales, en los efluentes tratados y en las aguas receptoras; y para determinar la eficacia de los métodos de tratamiento.

DBO es una prueba empírica en la que se utilizan procedimientos estandarizados de laboratorio para determinar los requerimientos relativos de oxígeno de las aguas residuales, efluentes y contaminadas. La Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO₅) se refiere al oxígeno demandado por la descomposición biológica de la materia orgánica. Se define la DBO₅ como el monto de oxígeno consumido por microorganismos para oxidar biológicamente la materia orgánica, cuando se incuba una muestra en la oscuridad durante 5 días a 20° C.

Las concentraciones de DBO en la mayoría de las aguas residuales supera la concentración de oxígeno disuelto (OD) disponible en una muestra saturada de aire. Por tanto, es necesario diluir la muestra antes de incubarla para equilibrar de forma adecuada la demanda y el suministro de oxígeno. El agua destilada que se use para este fin debe ser de la más alta pureza y a una temperatura tan cercana a 20° C. Debe además, saturarse con OD ya sea agitando un frasco parcialmente lleno o por medio de una corriente de aire comprimido. Ya que el crecimiento bacteriano requiere nutrientes tales como nitrógeno, fósforo, y metales traza, se añaden éstos al agua de dilución, la cual es tamponada para asegurar que el pH de la muestra incubada se mantenga en un intervalo adecuado para el crecimiento bacteriano. La estabilización completa de la mezcla puede requerir un período de incubación demasiado largo para fines prácticos: por lo tanto, el período de 5 días ha sido aceptado como el período de incubación estándar. Durante la incubación se debe excluir completamente la luz, para evitar que las algas produzcan OD en la muestra.

Las diluciones que dan lugar a un OD residual de al menos 1 mg/L y una captación de OD de al menos 2 mg/L después de 5 días de incubación producen los resultados más fiables. Se hacen varias diluciones de la muestra preparada para obtener captación de OD en dicho intervalo. La experimentación con una muestra concreta permitirá el uso de un número menor de diluciones. Un análisis más rápido como el DQO presenta una correlación aproximada con el DBO y sirve como una guía para seleccionar las diluciones. En ausencia de

datos previos, utilizar las siguientes diluciones: 0.0 a 1.0% para los residuos industriales fuertes, 1 a 5% para las aguas residuales depuradas y brutas, del 5 al 25% para el efluente tratado biológicamente. Y del 25 al 100% para las aguas fluviales contaminadas. Preparar las diluciones directamente en frascos de DBO.

Las muestras para el análisis de DBO pueden degradarse significativamente mientras están almacenadas, entre su recogida y el análisis, y como resultado producir valores de DBO bajos. Analizar las muestras inmediatamente o enfriarlas hasta una temperatura próxima a la de congelación durante su almacenamiento. Sin embargo, aún a baja temperatura, se debe reducir el tiempo de mantenimiento a un máximo de 6 horas. Calentar las muestras enfriadas a 20°C antes del análisis.

3.4.5 DEMANDA QUÍMICA DE OXÍGENO (DQO).

La DQO es el monto de oxígeno requerido para la oxidación química de los constituyentes orgánicos e inorgánicos de un agua. Para las muestras de una fuente específica, la DQO puede relacionarse empíricamente con la DBO, el carbono orgánico, o la materia orgánica. La demanda de oxígeno químico se utiliza como una medida del equivalente de oxígeno del contenido de materia orgánica de una muestra susceptible de oxidación por un oxidante químico fuerte.

Se prefieren métodos que incluyen dicromato a los procedimientos que utilizan otros oxidantes debido a su mayor capacidad oxidante, a su aplicabilidad, a una mayor variedad de muestras y a su fácil manipulación.

Es posible obtener en el mercado ampollas y tubos de cultivo con reactivos medidos previamente. Basta seguir las instrucciones proporcionadas por el fabricante ⁽¹⁷⁾. Dentro de estos kits se encuentra el Test en cubetas de DQO, fabricado por Merck y aprobado por la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos, USEPA, para aguas residuales.

El test determina las sustancias orgánicas e inorgánicas oxidables con dicromato a excepción de algunos heterociclos (como la piridina), compuestos de nitrógeno cuaternarios e hidrocarburos fácilmente volátiles.

El DQO indica la cantidad de oxígeno procedente de dicromato potásico que, bajo las condiciones de trabajo del procedimiento indicado, reacciona con las sustancias oxidables contenidas en 1 L de agua.

1 mol de $K_2Cr_2O_7$ corresponde a 1.5 mol de O_2

Indicación de mg/L de DQO (= mg/L de O_2)⁽²⁵⁾

3.4.6 CLORUROS.

El cloruro, en forma de ión (Cl^-), es uno de los aniones inorgánicos principales en el agua natural y residual. En el agua potable, el sabor salado producido por el cloruro, es variable y depende de la composición química del agua. Cuando el cloruro está en forma de cloruro de sodio el sabor salado es detectable a una concentración de 250 ppm de cloruro de sodio.

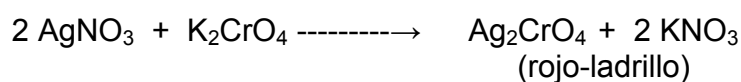
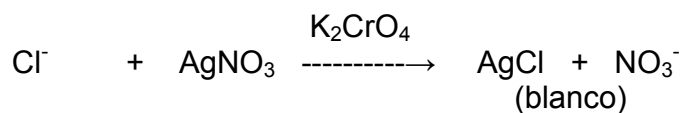
Cuando el cloruro está presente como una sal de calcio o de magnesio, el típico sabor salado de los cloruros puede estar ausente aún a concentraciones de 1000 ppm.

A lo largo de las costas, el cloruro puede estar presente a concentraciones altas por el paso del agua del mar a los sistemas de alcantarillado. También puede aumentar debido a los procesos industriales. Además es uno de los parámetros característicos de los fluidos geotérmicos que contribuye a la salinidad.

El organismo puede soportar aguas que contengan hasta 2500 mg/L de cloruro sódico ⁽¹⁷⁾.

Para analizar los cloruros, la muestra debe estar a un pH neutro o ligeramente alcalino. Se titula con nitrato de plata (AgNO_3), usando como indicador cromato de potasio (K_2CrO_4).

El cloruro de plata (AgCl) precipita cuantitativamente primero, al terminarse los cloruros, el nitrato de plata reacciona con el cromato de potasio (K_2CrO_4) formando un precipitado rojo ladrillo de cromato de plata (Ag_2CrO_4).



El pH óptimo para llevar a cabo el análisis de cloruros es de 7.0 a 8.3, ya que cuando tenemos valores de pH mayores que 8.3, el ion plata (Ag^+) precipita en forma de hidróxido de plata, $\text{Ag}(\text{OH})$; cuando la muestra tiene un pH menor que 7.0, el cromato de potasio se oxida a dicromato afectando el viraje del indicador (27)

3.4.7 SULFATOS.

El ión sulfato (SO_4^{2-}) se distribuye ampliamente en la naturaleza y puede presentarse en aguas naturales en concentraciones que van desde unos pocos a varios miles de miligramos por litro. Los residuos del drenado de minas pueden aportar grandes cantidades de SO_4^{2-} debido a la oxidación de la pirita. Los sulfatos de sodio y magnesio ejercen una acción catalítica.

No existe un límite o rango de concentración óptimo de sulfatos para la mayor parte de la fauna acuática, pues existen especies animales que habitan en fuentes de agua que contienen desde unas trazas de sulfatos hasta varios miles de miligramos por litro. Sin embargo para propósitos de consumo, se acepta una concentración máxima de 250 ppm. Concentraciones mayores a ésta, tiene efectos laxantes y pueden ocasionar irritación gastrointestinal (17)

En los desechos geotérmicos, aparece como uno de los componentes aniónicos principales (15,23)

El ión sulfato tiene la particularidad de precipitar a partir de soluciones de ácido acético que contengan cloruro de bario (BaCl_2), formando cristales de sulfato de bario de tamaño y aspecto uniforme. El método turbidimétrico aprovecha

justamente esta propiedad para determinar la concentración del ión sulfato, mediante la medición de la turbidez causada por la precipitación del sulfato de bario y su comparación frente a patrones de concentración conocida.

Así la medición del ión sulfato por el método turbidimétrico, parte del supuesto de que la dispersión de un rayo de luz, ocasionada por el precipitado de sulfato de bario, es directamente proporcional a la concentración del ión sulfato en la muestra. Pese a que las curvas de calibración no son exactamente lineales y al hecho mismo de que las mediciones fotométricas se realizan con un fotómetro y no con un nefelómetro, esta forma de medir los sulfatos tiene un grado aceptable de fiabilidad y reproducibilidad ⁽²⁸⁾

3.4.8 BORO.

El boro es un elemento que existe de forma natural. En el medio ambiente, el boro se combina con el oxígeno para formar compuestos conocidos como boratos.

El boro se obtiene principalmente a partir de minas de boro situadas en regiones áridas de Turquía y Estados Unidos. También puede encontrarse en distintos productos finales hechos a partir de los minerales del boro tales como fibra de vidrio, vidrio borosilicatado, detergentes, herbicidas, etc.

Principalmente el boro accede al medio ambiente tras la meteorización de rocas con boro, desde el agua de mar en forma de vapor de ácido bórico y por actividades geotérmicas tales como volcanes y vapores geotérmicos, entre otras. El boro también es liberado, en menor medida por actividades humanas.

Los boratos disueltos en el agua pueden adsorberse en las numerosas superficies presentes en los ríos. Esta es la única reacción significativa que pueden sufrir estos compuestos de boro ⁽²²⁾.

Aunque el boro es esencial para el crecimiento de las plantas, un exceso de dicho elemento por encima de 2.0 mg/L en el agua de riego es perjudicial para determinados vegetales y puede afectar a algunos en concentraciones del orden de 1.0 mg/L (o incluso menos en los invernaderos comerciales). El agua potable rara vez contiene más de 1.0 mg/L de boro y generalmente se considera que las concentraciones inferiores a 0.1 mg/L son inocuas para el consumo humano. Las personas están expuestas al boro a través de su alimentación, del agua de bebida y de ciertos productos.

La ingestión de grandes cantidades de boro puede afectar al sistema nervioso central ⁽¹⁷⁾.

El SQ118 es un fotómetro estándar universal, utilizable tanto para los análisis de rutina como para resolver directamente problemas complejos. Está especialmente adaptado a los métodos analíticos correspondientes a los tests Spectroquant acreditados.

3.4.9 ARSÉNICO.

El arsénico se encuentra en forma natural en los suelos y aguas superficiales en todo el mundo. En Chile es conocido hace bastante tiempo la presencia de este metal en las aguas del norte. Su origen está relacionado con la actividad geotérmica de la zona.

La toxicidad del Arsénico depende del estado de oxidación, estructura química y solubilidad en el medio biológico. En general, el arsénico inorgánico es más tóxico que el orgánico y el arsenito más peligroso que el arsenato. Los arsenitos pueden fijarse a las proteínas, mientras que el arsenato afecta a la fosforilación oxidativa (Ciclo de Krebs).

Los organismos marinos contienen residuos arseniacales que van desde < 1.0 a 100.0 mg/Kg, los cuales se encuentran como arsenoazúcares (en algas) o arsenobetaína (en invertebrados y peces). Las plantas terrestres pueden acumular arsénico por captación a través de las raíces, o por adsorción de arsénico aerotransportado, en las hojas ⁽⁶⁾.

El test de arsénico es adecuado para la determinación de arsénico en aguas, muestras de suelo, medicamentos, material biológico preparado y alimentos líquidos.

Las aguas subterráneas normalmente pueden contener hasta 0.1 mg/L de arsénico. El contenido de arsénico de las aguas minerales puede ser considerablemente más elevado.

Los botaderos a cielo abierto de desechos sólidos, pueden ser causa de una contaminación de las aguas subterráneas. Por ello los pozos que se encuentren cerca de depósitos de basura deberían controlarse continuamente respecto al contenido en arsénico ⁽²⁶⁾.

CAPÍTULO IV
DISEÑO METODOLÓGICO.

4.0 DISEÑO METODOLÓGICO

4.1 TIPO DE ESTUDIO

El presente estudio es experimental ya que se realizaron ensayos de laboratorio como medio de investigación; también es transversal porque se ha proyectado para un período definido en el tiempo; y a la vez es prospectivo, pues se ha efectuado a medida se ha venido desarrollando la investigación.

4.2 INVESTIGACIÓN BIBLIOGRÁFICA

Se recopiló la información existente en bibliotecas de la Facultad de Ingeniería y Arquitectura, Química y Farmacia, y Biblioteca Central de la Universidad de El Salvador, así como la biblioteca del Ministerio de Salud Pública y Asistencia Social. También se encontró valiosa información en Internet.

4.3 INVESTIGACIÓN DE CAMPO

En esta etapa se realizó un viaje de campo para poder recopilar información a cerca de la situación ambiental de la subcuenca del río San Simón y sus fuentes naturales, particularmente, dentro del Municipio de Mercedes Umaña, Departamento de Usulután. Dicha información se obtuvo al entrevistar a personas de diferentes comunidades y ONG's, así como a los pobladores del Cantón Santa Anita quienes manifestaron su preocupación por la contaminación del río.

Por otro lado, para llevar a cabo este estudio, se analizaron en el año 2004, un total de 14 muestras (seis en la estación seca y ocho en la estación lluviosa) correspondientes a puntos de muestreo seleccionados a través de un muestreo aleatorio simple, a lo largo del recorrido del río San Simón, incluyendo los pozos mayormente explotados dentro del Municipio de Mercedes Umaña, considerando la ubicación de estos puntos en el mapa hidrológico del área de estudio, así como su cercanía a la estación geotérmica y por recomendación de la Unidad Ambiental de la Alcaldía de Mercedes Umaña en conjunto con el Comité Gestor de la subcuenca.

Dichos puntos de muestreo fueron los siguientes:

- El Salto en el río San Simón.
- Nacimiento río Frío.
- Quebrada río Frío.
- Las Piscinas.
- Tanque MERLÍN (Sistema Múltiple Mercedes Umaña – Berlín).

Así también se muestreó el agua proveniente de fuentes de abastecimiento en dicho Municipio:

- Pozo Santa Anita 1
- Pozo Santa Anita 2
- Pozo artesanal de casa habitacional conocido como pozo Don Santos.

La toma de muestras se llevó a cabo en contenedores plásticos de 1 litro de capacidad, siguiendo este procedimiento ⁽¹⁷⁾:

- Lavar frascos y enjuagar con agua destilada.
- En sistemas de abastecimiento, flamear, abrir el grifo y dejar correr el agua por cinco minutos, antes de recoger la muestra.
- En ríos y quebradas la muestra se tomará en el centro de la corriente a una profundidad media.
- Llenar un tercio del frasco, agitar bien y descartar. Repetir para ambientar el frasco.
- Llenar por completo el frasco, evitando las burbujas de aire (pues se realizarán análisis de DBO).
- Cerrar el envase y transportar al laboratorio dentro de una hielera.

4.4 PARTE EXPERIMENTAL.

Tanto en la estación seca como en la estación lluviosa, se determinaron los parámetros siguientes: demanda bioquímica de oxígeno (DBO), demanda química de oxígeno (DQO), boro y pH.

Mientras que para el segundo muestreo (estación lluviosa) también se consideró al arsénico, los sólidos totales, cloruros y sulfatos, como parámetros importantes en este estudio, ya que en base a la investigación de campo, la descarga de la Geotérmica es superior durante esa época del año.

El análisis de resultados se basó en la Norma Salvadoreña Obligatoria para la Calidad del Agua Potable NSO 13.07.01:97 para establecer si existe o no contaminación de origen geotérmico, debido a que en el país no existen estándares de calidad fisicoquímicos para aguas termales.

Los análisis se realizaron según la metodología del American Public Health Association (APHA, 1992) y se detallan a continuación.

4.5 MATERIAL Y MÉTODOS

4.5.1 DETERMINACION DE pH ⁽¹⁷⁾

Método de medición: Electrométrico.

Equipo: Mettler Toledo 355 Ion Analyzer.

Principio: El principio básico de la determinación electrométrica del pH es la medida de la actividad de los iones hidrógeno por mediciones potenciométricas utilizando un electrodo indicador de vidrio y otro de referencia (de calomel).

Instrumental:

- pHmetro: que conste de un potenciómetro, un electrodo de vidrio y un electrodo de referencia.
- Beakers de 100.0 mL
- Termómetro.

Reactivos:

- Agua libre de CO₂
- Solución buffer pH 4.0.
- Solución buffer pH 7.0.

Procedimiento:

- Para calibrar el pHmetro, seleccionar dos soluciones buffer: pH 4.0 y pH 7.0.
- Llevar tanto la muestra como los buffer a una misma temperatura (25 ± 2° C).

- Extraer los electrodos de la solución de conservación. Lavarlos con agua libre de CO₂. Secar con papel suave.
- Sumergir en buffer 7.0 y estandarizar.
- Lavar nuevamente, secar y sumergir en buffer 4.0.
- Ajustar de tal forma que el aparato indique el valor de pH de las soluciones a la temperatura de prueba.
- Extraer los electrodos, lavar bien con agua libre de CO₂.
- Secar y sumergir en cada una de las muestras
- Leer y registrar valores de pH.

4.5.2 SÓLIDOS TOTALES SECADOS A 103-105° C ⁽¹⁷⁾

Método de medición: Gravimétrico.

Principio: Se evapora una muestra correctamente mezclada en un crisol pesado y secado a peso constante en una estufa a 103-105° C. El aumento de peso sobre el del crisol vacío representa los sólidos totales.

Interferencias: El agua fuertemente mineralizada con una concentración significativa de calcio, magnesio, cloruro y/o sulfato puede ser higroscópica y requerir un secado prolongado, una desecación adecuada y un pesado rápido.

Eliminar las partículas gruesas flotantes, puesto que un residuo excesivo en el crisol puede formar una costra hidrófila.

Instrumental:

- Crisoles de porcelana, 90 mm diámetro.
- Estufa.
- Balanza analítica con una precisión de 0.1 mg.
- Desecador.
- Hot plate.

Procedimiento:

- Lavar los crisoles e identificarlos.
- Secar los crisoles a 105° C durante una hora.
- Enfriarlos en desecador.
- Pesarlos hasta peso constante *
- Anotar pesos.
- Transferir a cada crisol, 25.0 mL de muestra bien homogenizada.
- Evaporar hasta sequedad en hot plate.
- Secar las muestras al menos por una hora a 105° C.
- Enfriar los crisoles en desecador para equilibrar temperatura.
- Pesarlos y registrar pesos.

* El peso constante se obtiene cuando la diferencia de peso es menor o igual que 0.5 mg. Caso contrario, debe repetirse el secado y enfriado)

Cálculo:

$$\text{mg/L de sólidos totales} = \frac{(A - B) \times 1000}{\text{Vol. de muestra en mL}}$$

Donde:

A = Peso residuo seco + crisol en mg

B = Peso crisol tarado en mg

Constante = 1000

4.5.3 DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXÍGENO (DBO₅)⁽¹⁷⁾

Método de medición: Titulación yodométrica.

Principio: El método consiste en llenar con muestra, hasta rebosar, un frasco hermético del tamaño especificado, e incubarlo a la temperatura establecida durante 5 días. El oxígeno disuelto se mide antes y después de la incubación, y el DBO se calcula mediante la diferencia entre el OD inicial y el final. Debido a que el OD se determina inmediatamente después de hacer la dilución, toda la captación de oxígeno, incluso la que ocurre durante los 15 primeros minutos, se incluye en la determinación del DBO.

Instrumental:

- Frascos de incubación con tapón esmerilado, capacidad 300.0 mL
- Incubador de aire controlado por termostato a 37° C.
- Pipetas volumétricas de 3.0 mL, 2.0 mL.
- Probetas, 2000.0 mL.
- Erlenmeyers, 500.0 mL.
- Probeta, 50.0 mL.

Reactivos (ver su preparación en anexos)

- Solución buffer fosfato pH 7.2
- Solución de sulfato de magnesio.
- Solución de cloruro de calcio
- Solución de cloruro férrico.
- Solución de sulfato de manganeso.
- Solución de álcali yoduro-nitruro (azida).
- Solución valorante de tiosulfato de sodio 0.025N
- Ácido sulfúrico concentrado.
- Solución indicadora de almidón 0.5%.

Procedimiento:

Preparación del agua de dilución:

- Colocar el volumen deseado de agua destilada y aireada en un frasco adecuado.
- Agregar 1.0 mL de cada una de las soluciones amortiguadoras de fosfato, de sulfato de magnesio, de cloruro de calcio y de cloruro férrico por cada litro de agua.

Preparación de las muestras al 1%:

- Colocar 3.0 mL de muestra cuidadosamente homogenizada en 2 frascos para DBO limpios y secos: uno para incubación y el otro para la determinación del OD inicial en la mezcla.
- Diluir a 300 mL con agua de dilución.

- Mezclar bien con un agitador evitando el arrastre de aire.
- Insertar el tapón e incubar por 5 días a 37° C.
- Agregar, al otro frasco para la determinación del OD (oxígeno disuelto) inicial, 2.0 mL de sulfato de manganeso y 2.0 mL de azida.
- Agitar 15 veces vigorosamente y reposar por 15 minutos en la oscuridad.
- Agregar 2.0 mL de ácido sulfúrico concentrado.
- Transferir a erlenmeyer y valorar con tiosulfato de sodio 0.025N hasta que la solución adquiriera una coloración amarillo canario.
- Agregar 1.0 mL de solución indicadora de almidón al 0.5% y continuar la valoración hasta el punto final que es la decoloración. Realizar valoración por triplicado.

Cálculo:

$$\text{mg/L de DBO} = \frac{D_1 - D_2}{P}$$

Donde:

D_1 = OD de la muestra diluida, después de 15 minutos de su preparación.

D_2 = OD de la muestra diluida después de la incubación.

P = Fracción decimal de la muestra usada.

4.5.4 DEMANDA QUÍMICA DE OXÍGENO (DQO) ⁽²⁵⁾

Método: Medición fotométrica con el Test en cubetas DQO Spectroquant[®] 1.14541.0001, de Merck.

Principio: La muestra de agua se oxida con una solución sulfúrica caliente de dicromato de potasio y sulfato de plata como catalizador. Los cloruros son enmascarados con sulfato de mercurio. A continuación se determina fotométricamente la concentración de los iones Cr^{3+} (verdes).

El procedimiento es análogo a EPA 410.4, US Standard Methods 5220 D e ISO 15705.

Instrumental:

- Cubetas de reacción
- Pipetas volumétricas, 3.0 mL.
- Termorreactor.
- Soporte para cubetas.
- Fotómetro SQ 118.

Procedimiento:

- Homogenizar las muestras y numerar las cubetas de reacción.
- Agitar la cubeta por balanceo para poner en suspensión el sedimento del fondo.
- Verter cuidadosamente mediante una pipeta 3.0 mL de muestra sobre el reactivo en la pared interna de la cubeta de reacción
- Tapar firmemente la cubeta y mezclar vigorosamente el contenido.

- Calentar la cubeta 120 minutos a 148 °C en el termorreactor precalentado.
- Sacar del termorreactor la cubeta caliente y colocarla en un soporte para cubetas para que se enfríe.
- Agitar la cubeta por balanceo después de 10 minutos. Para enfriarla a temperatura ambiente volver a colocarla en el soporte (tiempo de enfriamiento mínimo 30 minutos).
- Medir la muestra en el fotómetro, para obtener lecturas directas de concentración.

4.5.5 DETERMINACIÓN DE CLORUROS ⁽¹⁷⁾

Método de medición: Titulación argentométrica.

Principio: Si a una solución neutra de cloruros se agrega solución valorada de nitrato de plata, en presencia de una pequeña cantidad de solución de cromato de potasio que actúa como indicador, en el punto final, los iones cromato se combinan con los iones plata, para formar cromato de plata rojo escasamente soluble. El cromato de plata se forma por adición de un ligero exceso de nitrato de plata, sólo después que prácticamente ha sido precipitado todo el ión plata en forma de cloruro de plata.

Instrumental

- Pipetas, 1.0 mL, 25.0 mL
- Erlenmeyer, 250.0 mL.
- Bureta, 50.0 mL.

Reactivos (ver su preparación en anexos)

- Solución indicadora de cromato potásico 5%.
- Solución valorante de nitrato de plata, 0.0141N.
- Solución estándar de cloruro de sodio, 0.0141N.
- Tiras de papel pH (rango 1-14)

Procedimiento

- Transferir 25.0 mL de muestra a un erlenmeyer.
- Verificar pH 7.0 ó 10.0
- Agregar 1.0 mL de solución indicadora de cromato potásico. La muestra adquiere un color amarillo.
- Valorar con nitrato de plata hasta el punto final rojo ladrillo.

Cálculo:

$$\text{mg Cl}^- / \text{L} = \frac{(A - B) \times N \times 35,450}{\text{mL de muestra}}$$

Donde:

A = mL valoración para la muestra.

B = mL valoración para el blanco.

N = normalidad real de AgNO_3 .

Constante = 35,450

$$\text{mg NaCl} / \text{L} = (\text{mg Cl}^- / \text{L}) \times 1.65$$

4.5.6 DETERMINACIÓN DE SULFATOS ⁽¹⁷⁾

Método de medición: Turbidimétrico.

Equipo: Espectrofotómetro Perkin Elmer UV/VIS, modelo Lambda 12.

Principio: El ión sulfato (SO_4^{-2}) precipita en un medio de ácido acético con cloruro de bario (BaCl_2) de modo que forma cristales de sulfato de bario (BaSO_4) de tamaño uniforme. Se mide la absorbancia luminosa por medio de un fotómetro y se determina la concentración de sulfatos por comparación de la lectura con una curva de calibración.

Instrumental

- Agitador magnético.
- Espectrofotómetro UV/VIS, Lambda 12.
- Celdas de vidrio o cuarzo.
- Cronómetro o reloj digital.
- Espátula.
- Erlenmeyers, 250 mL
- Balones volumétricos, 100.0 mL
- Bureta, 50 mL

Reactivos (ver su preparación en anexos)

- Solución buffer A (requerida cuando la concentración de sulfatos es mayor o igual a 10 mg/L).
- Cloruro de bario, cristales.
- Solución patrón de sulfato.

Procedimiento

Formación y medición de la turbidez:

- Medir 100.0 mL de muestra en un erlenmeyer de 250 mL.
- Añadir 20.0 mL de solución buffer y mezclar en un agitador magnético.
- Añadir, mientras se agita, 0.2 g de cristales de BaCl₂ e inmediatamente empezar el recuento de tiempo. Agitar durante 60 ± 2 segundos a velocidad constante.
- Tras finalizar el período de agitación, verter la solución en la celda del espectrofotómetro y medir la turbidez a los 5 ± 0.5 minutos a una longitud de onda de 420 nm.

Preparación de la curva de calibración:

Calcular la concentración de SO₄⁻² en la muestra comparando la lectura de la turbidez con una curva de calibración preparada sometiendo a los estándares de sulfato al método completo. Espaciar los patrones a incrementos de 5 mg/L en el rango de 0 a 40 mg/L de sulfatos.

Cálculo:

$$\text{mg SO}_4^{-2}/\text{L} = \frac{\text{Cst} \times \text{Amx}}{\text{Ast}} \times \text{FD}$$

Donde:

Cst = Concentración del estándar de sulfato.

Ast = Absorbancia del estándar de sulfato.

Amx = Absorbancia de la muestra

FD = Factor de dilución

4.5.7 DETERMINACIÓN DE BORO ⁽³²⁾.

Método de medición: Spectroquant de Merck 14839 B.

Equipo: Fotómetro SQ 118.

Intervalo de medida: 0.05 – 0.8 mg/L de boro.

Procedimiento:

- Introducir en el fotómetro, el número de método (14).
- Pipetear 5.0 mL de la muestra en un frasco de ensayo (muestra de medición).
- Pipetear 5.0 mL de agua destilada en un segundo frasco de ensayo (muestra en blanco).
- Añadir 1.0 mL del reactivo B-1A a cada una de ambas muestras y mezclar.
- Añadir 1.5 mL del reactivo B-2A a cada uno de ambas muestras. Cerrar el frasco firmemente.
- Agitar intensamente durante 1 min ambos frascos de ensayo (extraer).
- Aspirar de ambos frascos 0.5 mL de la capa inferior transparente.
- Introducir cada uno de ambos extractos en un segundo frasco no utilizado.
- Añadir 0.8 mL del reactivo B-3A a cada una de ambas muestras y mezclar.
- Añadir 4 gotas del reactivo B-4A a cada una de ambas muestras y mezclar.

- Añadir 15 gotas del reactivo B-5A a cada una de ambas muestras y mezclar.
- Apretar la tecla del valor en blanco.
- Esperar hasta que en la pantalla aparezca “tiempo de reacción” o “medir blanco”.
- Poner en marcha el cronómetro. Empieza el tiempo de reacción de 12 min.
- Después de la señal acústica, añadir 6.0 mL del reactivo B-6A a cada una de ambas muestras y mezclar.
- Poner en marcha el cronómetro. Empieza el tiempo de reacción de 2 min.
- Después de la señal acústica, introducir cada una de ambas muestras en una cubeta.
- Colocar en el compartimiento, la cubeta con la muestra en blanco. Al apretar la tecla correspondiente, aparecerá en la pantalla el valor cero.
- Sacar del compartimiento la cubeta con la muestra en blanco. Colocar en el compartimiento la cubeta con la muestra de medición.
- Apretar la tecla correspondiente y el valor de medición aparecerá en la pantalla (medición directa).

4.5.8 DETERMINACIÓN DE ARSÉNICO ⁽²⁶⁾

Método: Test de Arsénico Spectroquant® 1.10026.0001 (método semicuantitativo)

Sensibilidad: 0.1-3.0 mg As/L.

Principio: Cuando se añade cinc y ácido clorhídrico a la solución problema, se forma hidruro de arsénico procedente de compuestos de arsénico tri y pentavalentes. Dicho hidruro de arsénico colorea, de amarillo a pardo, la zona de reacción impregnada con bromuro de mercurio (II) que se encuentra en el espacio gaseoso por encima de la solución, dando lugar a la formación de halogenuros mixtos de arsénico y mercurio.

Procedimiento

- Introducir la varilla indicadora con la zona reactiva hacia abajo en la ranura de la tapa de cierre del recipiente de reacción, de modo que quede dividido en dos partes de la misma longitud.
- Pasar con la jeringa 5.0 mL de la solución problema al recipiente de reacción, añadir una cucharada de dosificación del reactivo 1 y agitar.
- Añadir 10 gotas del reactivo 2 y cerrar inmediatamente el recipiente de reacción con la tapa de cierre.
- Agitar ligeramente 2 ó 3 veces en forma circular durante los 30 min. del tiempo de espera.
- Sacar la varilla indicadora, sumergir brevemente en agua, sacudir para eliminar el exceso de líquido y compararla con la escala de colores.

CAPÍTULO V
RESULTADOS

5.0 RESULTADOS

La recolección de muestras se realizó en dos fases: la primera en la estación seca (marzo 2004) y la segunda en la estación lluviosa (noviembre 2004).

Durante la estación seca se recolectó de la muestra 1 a la muestra 6 (M₁–M₆) y en la segunda fase (estación lluviosa), de la muestra 1 a la muestra 8 (M₁–M₈).

En la estación seca no se recolectó todas las muestras, debido a problemas técnicos que surgieron durante el primer muestreo.

TABLA N° 4: DESCRIPCIÓN DE PUNTOS DE MUESTREO EN EL RÍO SAN SIMÓN.

MUESTRA	UBICACIÓN	OBSERVACIONES
M ₁	Pozo Santa Anita 2	Abastece Mercedes Umaña.
M ₂	Pozo Santa Anita 1	Abastece Berlín, Tecapán, Alegría, California y Santiago de María
M ₃	Pozo Don Santos.	Agua poco turbia con abundante hojarasca. Se le ha agregado abate.
M ₄	El Salto, río San Simón.	Afluente del río Lempa. Agua de aspecto ligeramente turbio.
M ₅	Nacimiento río Frío.	Fondo lodoso. Zona de recreación, lavado de ropa y baño.
M ₆	Quebrada río Frío.	Desemboca a río San Simón. Las aguas sirven de recreación y actividades domésticas
M ₇	Las Piscinas.	Zona de uso recreativo y para abrevadero de ganado. Abundante hojarasca.
M ₈	Tanque MERLIN (Sistema Múltiple Mercedes Umaña y Berlín.	Consumo humano y actividades domésticas.

Posteriormente las muestras fueron transportadas al laboratorio dentro de una hielera, a una temperatura de 4 a 10°C, para su análisis fisicoquímico, realizando los ensayos siguientes:

- Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO₅).
- Medición de iones hidrógeno (pH).
- Demanda Química de Oxígeno (DQO).
- Determinación de boro.

Los resultados de los análisis se enumeran a continuación, en las tablas 5, 6 y 7. (Ver cálculos en anexos)

TABLA N° 5: RESULTADOS PARA LOS PARÁMETROS MEDIDOS DURANTE LA ESTACIÓN SECA.

MUESTRA	DBO ₅ (mg/L)	pH	DQO (mg/L)	BORO (mg/L)
M ₁	100	6.7	73	0.08
M ₂	70	7.1	15	0.00
M ₃	20	6.4	31	0.00
M ₄	90	7.3	120	0.11
M ₅	60	6.8	171	0.14
M ₆	90	6.8	34	0.00

TABLA N° 6: RESULTADOS DE LOS PARÁMETROS MEDIDOS EN LA ESTACIÓN LLUVIOSA.

MUESTRA	DBO ₅ (mg/L)	pH	DQO (mg/L)	BORO (mg/L)
M ₁	240	6.2	69	0.0
M ₂	50	6.0	40	0.0
M ₃	70	5.9	48	0.0
M ₄	20	6.8	57	0.0
M ₅	120	6.4	51	0.0
M ₆	100	6.5	56	0.0
M ₇	120	6.1	47	0.0
M ₈	120	6.2	41	0.0

Se consideró importante realizar, específicamente en invierno, la medición de los siguientes parámetros:

- Determinación de arsénico.
- Sólidos Totales secados a 105° C.
- Análisis de cloruros.
- Análisis de sulfatos.

Esto debido a que, según los habitantes de la zona, en esta época del año se realizan las más grandes y frecuentes descargas de geofluidos por lo que se podría encontrar altas concentraciones de estos químicos disueltos en el agua. Por otra parte son considerados elementos significativos que están presentes en aguas de desecho de las plantas geotérmicas.

Se analizó un total de ocho muestras, provenientes de los sitios de muestreo ya mencionados (M₁ – M₈), utilizando las técnicas estándar para sólidos totales, cloruros y sulfatos (APHA, 1992). El arsénico se determinó en forma semicuantitativa.

TABLA N° 7. RESULTADOS PARA ARSÉNICO, SÓLIDOS TOTALES, CLORUROS Y SULFATOS. ESTACIÓN LLUVIOSA.

MUESTRA	ARSÉNICO (mg/L)	ST (mg/L)	CLORUROS (mg/L)	SULFATOS (mg/L)
M ₁	<0.1	268	30.4	47
M ₂	<0.1	324	27.6	56
M ₃	<0.1	304	19.4	190
M ₄	<0.1	280	19.4	267
M ₅	<0.1	288	30.4	76
M ₆	<0.1	268	24.9	50
M ₇	<0.1	368	27.6	110
M ₈	<0.1	388	30.4	106

CAPÍTULO VI
DISCUSIÓN DE RESULTADOS

VI. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

Los resultados de los análisis fisicoquímicos desarrollados para esta investigación, se expresan en las tablas 8, 9 y 10 frente a valores máximos admitidos por la Norma Salvadoreña Obligatoria de Calidad del Agua Potable NSO 13.07.01:97.

Se aclara que los parámetros DBO y DQO no se encuentran explícitos en dicha Norma, sin embargo, para efectos de análisis, se ha considerado el valor mínimo recomendado en la Norma Salvadoreña para Agua Residual NSO 13.07.03:02 (en revisión), los cuales son 60 mg DBO/L y 100 mg DQO/L respectivamente ⁽³³⁾, como lo indican las tablas 8 y 9, donde se ha realizado la comparación de dichos parámetros.

Los valores de los análisis se han triplicado en varios puntos del río San Simón, lo cual indica que sus aguas no son aptas para el consumo humano.

Por otra parte, no se reporta el valor máximo admisible para Sólidos Totales (que es la sumatoria de sólidos disueltos y sólidos suspendidos) en la Norma Salvadoreña para Agua Potable. No obstante, se tomará para fines comparativos, la concentración de sólidos totales recomendada por la OMS, en aguas de suministro público (tabla N° 10), la cual no debe ser mayor que 1000 mg/L ⁽¹⁴⁾.

TABLA N° 8. COMPARACIÓN DE RESULTADOS DE DBO, DQO, pH Y BORO, EN LA ESTACIÓN SECA, CON LA NORMA CORRESPONDIENTE.

PARÁMETRO	M ₁ (mg/L)	M ₂ (mg/L)	M ₃ (mg/L)	M ₄ (mg/L)	M ₅ (mg/L)	M ₆ (mg/L)	Valor Recomendado mg/L	Valor máximo admisible mg/L
DBO	100	70	20	90	50	90	-	60**
pH	6.7	7.1	6.4	7.3	6.8	6.8	6.0 – 8.5*	-
DQO	73	15	31	120	171	34	-	100**
Boro	0.08	0.00	0.00	0.10	0.13	0.0	-	0.30*

* Norma Salvadoreña para Agua Potable NSO 13.07.01:97 ⁽¹⁾

** Norma Salvadoreña para Agua Residual NSO 13.07.03:02 (en revisión) ⁽³³⁾

(-) No se reporta.

TABLA N° 9. COMPARACIÓN DE RESULTADOS DE DBO, DQO, pH Y BORO, EN LA ESTACIÓN LLUVIOSA, CON LA NORMA CORRESPONDIENTE.

PARÁMETRO	M ₁ (mg/L)	M ₂ (mg/L)	M ₃ (mg/L)	M ₄ (mg/L)	M ₅ (mg/L)	M ₆ (mg/L)	M ₇ (mg/L)	M ₈ (mg/L)	Valor Recomendado mg/L	Valor máximo admisible mg/L
DBO	240	50	70	20	120	100	120	120	-	60**
pH	6.2	6.0	5.9	6.8	6.4	6.5	6.1	6.2	6.0 - 8.5*	-
DQO	69	40	48	57	51	56	47	41	-	100**
Boro	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	-	0.30*

* Norma Salvadoreña para Agua Potable NSO 13.07.01:97 ⁽¹⁾

** Norma Salvadoreña para Agua Residual NSO 13.07.03:02 (en revisión) ⁽³³⁾

(-) No se reporta.

TABLA N° 10. COMPARACIÓN DE RESULTADOS PARA ARSÉNICO, CLORUROS Y SULFATOS CON LA NORMA CORRESPONDIENTE. ESTACIÓN LLUVIOSA.

PARÁMETRO	M ₁ (mg/L)	M ₂ (mg/L)	M ₃ (mg/L)	M ₄ (mg/L)	M ₅ (mg/L)	M ₆ (mg/L)	M ₇ (mg/L)	M ₈ (mg/L)	Valor recomendado mg/L	Valor máximo admisible mg/L
ARSÉNICO	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	-	0.01*
CLORUROS	30.4	27.6	19.4	19.4	30.4	24.9	27.6	30.4	25.00*	250*
SULFATOS	47	56	190	267	76	50	110	106	25.00*	250*
SÓLIDOS T.	268	324	304	280	288	268	368	388	-	1000***

* Norma Salvadoreña para Agua Potable NSO 13.07.01:97 ⁽¹⁾

*** Valor recomendado por la OMS en aguas de suministro público ⁽¹⁴⁾

(-) No se reporta.

A continuación se ilustra el comportamiento de cada parámetro, por medio de gráficos de barras:

6.1 Demanda Bioquímica de Oxígeno.

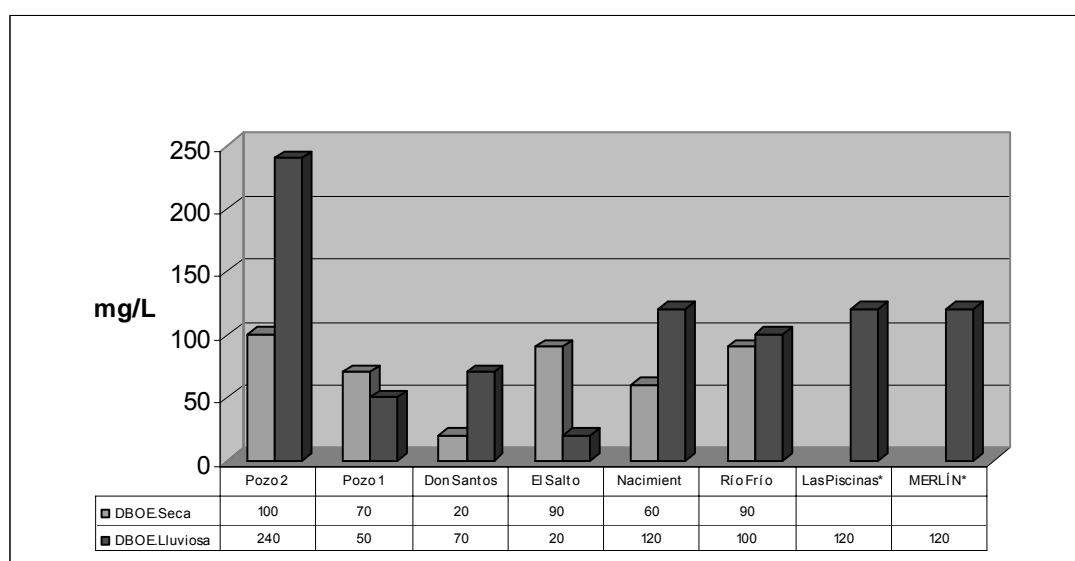


Figura N° 1. Gráfico de comparación de resultados para DBO en las estaciones seca y lluviosa.

De acuerdo a la Norma Salvadoreña para Agua Residual NSO 13.07.03:02, (en revisión) todas las muestras, a excepción de Pozo Don Santos y El Nacimiento (en la estación seca); así como del Pozo 1 y El Salto (en la estación lluviosa), sobrepasan el valor mínimo admisible para DBO, el cual es de 60 mg/L. La muestra con mayor demanda de oxígeno es la proveniente del pozo Santa Anita 2, alcanzando una concentración de 240 miligramos de oxígeno disuelto por litro de agua, en la estación lluviosa y 100 mg/L en la estación seca

* Las casillas en blanco que se observan en el gráfico N° 1, indican que no existen datos de DBO para Las Piscinas y MERLÍN en la estación seca, debido a que dichas muestras no fueron recolectadas por problemas técnicos.

6.2 Determinación de pH.

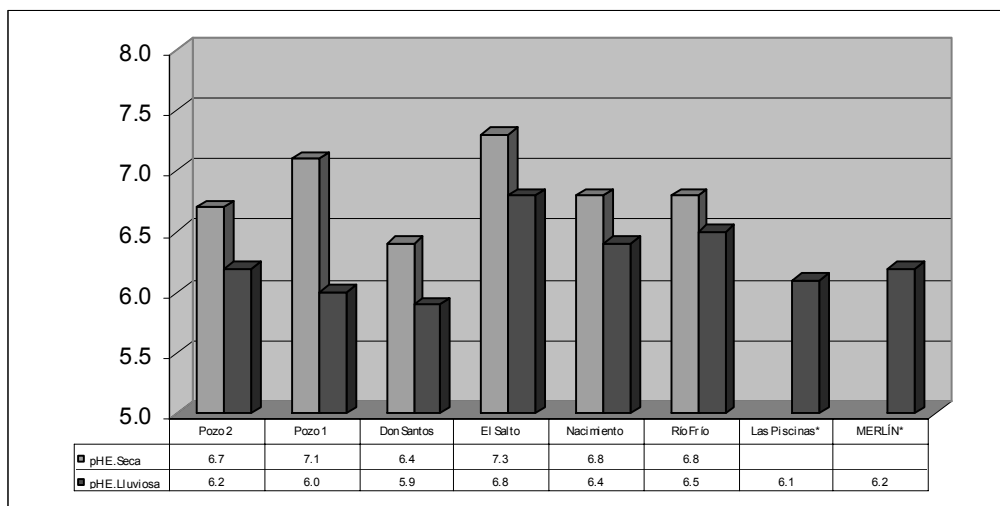


Figura N° 2. Gráfico de comparación de valores de pH reportados en las estaciones seca y lluviosa.

El dato más alto de pH se ubica en El Salto del río San Simón y el más bajo en el pozo Don Santos, para las dos épocas del año, pero se registra mayor acidez en la estación lluviosa. Sin embargo el comportamiento del pH no muestra diferencias extremas en los diferentes sitios ya que se mantienen en un rango de 5.9 a 6.8 (estación lluviosa) y de 6.4 a 7.3 (estación seca). En general, los resultados son cercanos a la neutralidad y aceptables, según la Norma para Agua Potable NSO 13.07.01:97, la cual recomienda valores de pH dentro del rango de 6.0 a 8.0.

* Las casillas en blanco en el gráfico N° 2, indican que no existen datos de pH para Las Piscinas y MERLÍN en la estación seca, debido a que dichas muestras no fueron recolectadas por problemas técnicos.

6.3 Demanda Química de Oxígeno.

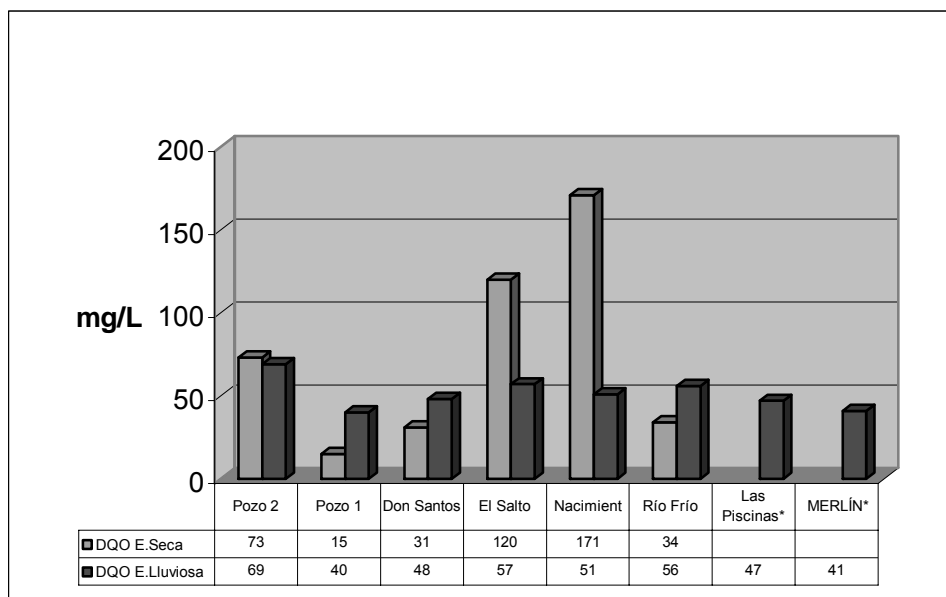


Figura N° 3. Gráfico de comparación de los resultados de DQO en las estaciones seca y lluviosa.

La Demanda Química de Oxígeno (DQO) mostró valores que no van más allá de los 70 mg de oxígeno consumido por litro, en la estación lluviosa.

Durante la estación seca, la DQO excede, en El Salto y en El Nacimiento río Frío, el límite mínimo contemplado en la Norma para Agua Residual NSO 13.07.03:02 (en revisión) el cual es de 100 miligramos de DQO por litro de agua. Dicho valor de agua residual, ha sido considerado como un dato de referencia para el análisis de resultados, ya que no se encuentra considerado un valor límite para DQO en la Norma para Agua Potable.

* Las casillas en blanco en el gráfico N° 3, indican que no existen datos de DQO para Las Piscinas y MERLÍN en la estación seca, debido a que dichas muestras no fueron recolectadas por problemas técnicos.

6.4 Determinación de boro.

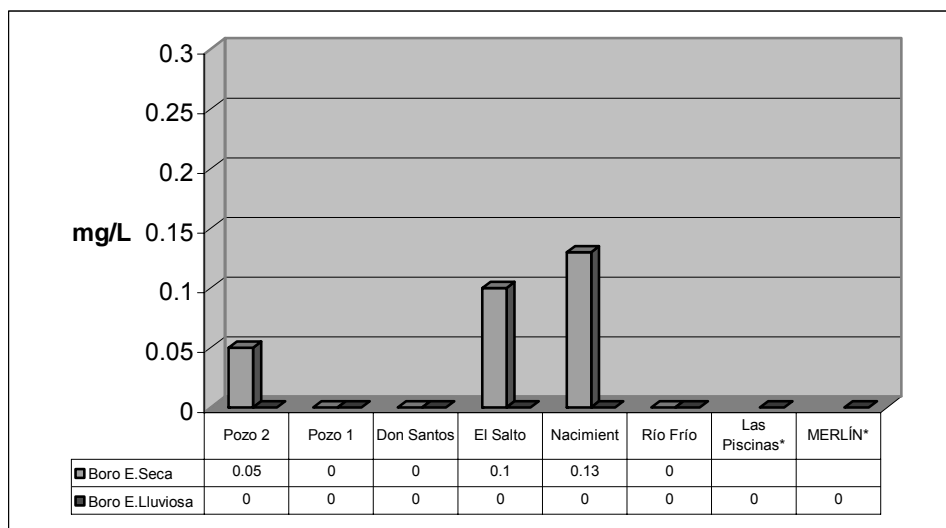


Figura N° 4. Gráfico de comparación de las concentraciones de boro en las estaciones seca y lluviosa.

El boro es otro parámetro característico en las actividades geotérmicas, sin embargo no se detectó en ninguna de las dos estaciones del año concentraciones superiores a 0.3 mg B/L, el cual es el valor máximo admitido en agua potable, según la Norma Salvadoreña NSO 13.07.01:97.

Sin embargo, al comparar los resultados de la estación seca con los obtenidos en la estación lluviosa, se puede observar que para la primera, se alcanzaron concentraciones mayores que cero, en algunos puntos de muestreo como son El Nacimiento, El Salto y pozo Santa Anita 2.

* Las casillas en blanco en el gráfico N° 4, indican que no existen datos de boro para Las Piscinas y MERLÍN en la estación seca, debido a que dichas muestras no fueron recolectadas por problemas técnicos.

6.5 Determinación de arsénico.

TABLA N° 11. RESULTADOS PARA ARSÉNICO EN LA ESTACIÓN LLUVIOSA.

MUESTRA	mg de As / L
Pozo Santa Anita 2	< 0.1
Pozo Santa Anita 1	< 0.1
Pozo Don Santos	< 0.1
El Salto, río San Simón	< 0.1
Nacimiento, río Frío	< 0.1
Quebrada, río Frío	< 0.1
Las Piscinas	< 0.1
Tanque MERLÍN	< 0.1

De acuerdo a los resultados del Test de Arsénico 1.10026, no se detectó la presencia de este metal dentro del rango de reacción de 0.1 a 3.0 mg/L, ya que el cien por ciento de las muestras, reportó concentraciones menores que 0.1 mg As/L.

Sin embargo, el valor máximo de arsénico admitido por la Norma Obligatoria para Agua Potable NSO 13.07.01:97, es tan sólo 0.01 miligramos de arsénico por litro de agua, por lo que no se logró determinar, si la concentración de dicho metal en las aguas del río San Simón, supera o no el valor máximo de arsénico para agua potable.

6.6 Sólidos totales.

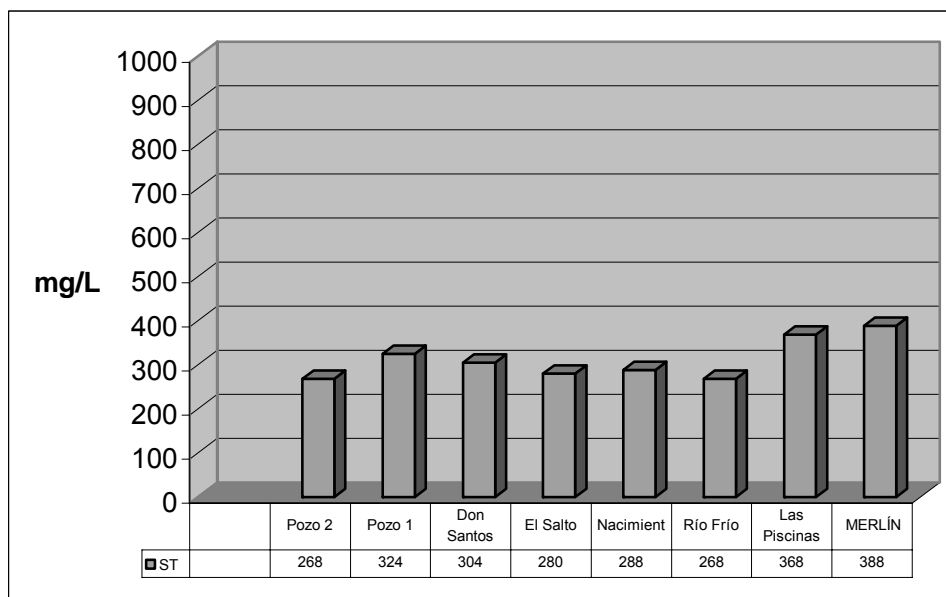


Figura N° 5. Gráfico de análisis de sólidos totales. Estación lluviosa

En la muestra proveniente del sistema MERLÍN, la concentración de sólidos totales alcanzó su máximo nivel (388 mg/L). Sin embargo, al hacer una comparación con la concentración de sólidos totales recomendada por la OMS en aguas de suministro público, la cual no debe ser mayor que 1000 mg/L, la concentración de sólidos totales reportada tanto en el tanque MERLÍN como en el resto de puntos de muestreo, es significativamente baja.

6.7 Análisis de cloruros.

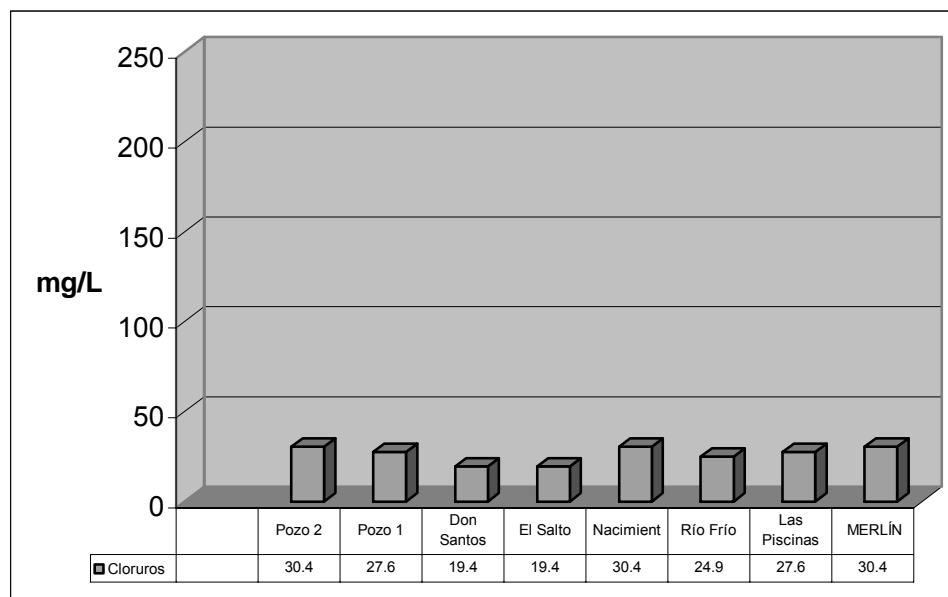


Figura N° 6. Gráfico de análisis de cloruros. Estación lluviosa.

La concentración de cloruros en el pozo artesanal, El Salto y río Frío, se encuentra por debajo del valor recomendado por la Norma Obligatoria para Agua Potable NSO 13.07.01:97, el cual es 25 miligramos de cloruros por litro de agua.

Los valores más elevados de cloruros se registraron en Santa Anita 2, Sistema MERLIN y en el Nacimiento río Frío, con 30.4 mg/L de cloruros. Sin embargo, dichas concentraciones son muy inferiores en relación al valor máximo admisible que es 250 mg/L.

6.8 Análisis de sulfatos.

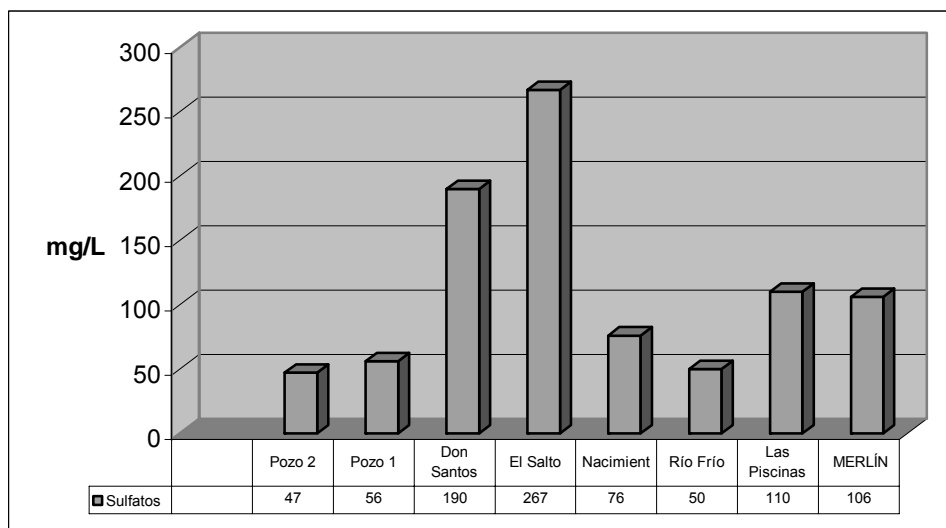


Figura N° 7. Gráfico de análisis de resultados para sulfatos. Estación lluviosa.

Finalmente la concentración de sulfatos en la zona de estudio fue heterogénea, desde 47 hasta 267 mg/L, ubicando el valor más alto de sulfatos en El Salto. Dicho valor sobrepasa el valor máximo admisible (250 mg/L), de acuerdo a la Norma Salvadoreña para Agua Potable NSO 13.07.01:97. El pozo Don Santos también registró una alta concentración de sulfatos (190 mg/L).

Ninguna de las muestras reportó valores inferiores al valor recomendado por la Norma, que es de 25 mg/L de sulfatos.

CAPÍTULO VII
CONCLUSIONES

7.0 CONCLUSIONES

1. Existe una gran cantidad de materia orgánica biodegradable en el sitio de extracción del pozo Santa Anita 2, en donde se alcanza una concentración de 240 miligramos de oxígeno disuelto por litro de agua en la estación lluviosa y 100 mg/L en la estación seca.
2. El Salto del río San Simón, presenta una baja concentración de DBO (20 mg/L), en comparación con los demás sitios de muestreo (de 50 a 240 mg DBO/L), para la estación lluviosa; lo cual puede deberse a que en esta estación, se forma una caída de agua lo suficientemente fuerte, para favorecer la oxigenación del agua al caer la cascada ⁽³⁾, disminuyendo considerablemente la demanda de oxígeno.
3. Los resultados para DBO sobrepasan, en su mayoría, el límite establecido por la Norma Salvadoreña para Aguas Residuales NSO 13.07.03:02 (en revisión) que es de 60 mg DBO/L, especialmente durante la estación lluviosa. Esto puede deberse al arrastre de materia orgánica hacia los ríos y aguas subterráneas, lo que ocasiona una fuerte actividad microbiana en el río, la cual puede ser provocada por la degradación de material vegetativo, debido a que gran parte de la subcuenca se encuentra cubierta de vegetación y matorrales. El estiércol de ganado también puede ser causante de esta actividad microbiana así como la descarga de aguas residuales domésticas.

4. Se obtuvo los valores más bajos de pH durante la estación lluviosa, situación que se atribuye a la alta carga orgánica que el agua arrastra en esa época del año ⁽³⁾, la cual sufre descomposición microbológica. En general, los resultados de pH son aceptables, por lo que no indican contaminación de origen geotérmico.

5. La concentración de arsénico a nivel de las fuentes de abastecimiento doméstico y aguas que recorren el cauce principal del río San Simón se encuentra en cantidades tan pequeñas (trazas) que no lograron detectarse con el método semicuantitativo Spectroquant, cuyo rango de reacción es de 0.1 a 3.0 mg As/L. Por lo que no se logró determinar si la concentración de arsénico en todas las muestras analizadas supera o no el valor máximo admitido por la Norma Salvadoreña para Agua Potable NSO 13.07.01:97, el cual es tan sólo 0.01 mg As/L.

6. Las altas concentraciones de DQO en El Salto del río San Simón y Nacimiento de río Frío, durante la estación seca, puede deberse a los usos que se le dan al agua en estos puntos de muestreo como son baño y lavado de ropa, entre otros, lo cual aporta una carga orgánica e inorgánica importante. Mientras que en el invierno el cien por ciento de las muestras no excedió el límite permisible para DQO según la Norma para Agua Residual NSO 13.07.03:02 (en revisión). Esto puede deberse a que las lluvias favorecen la dilución de contaminantes químicos.

7. Los resultados para boro son aceptables, ya que se mantienen por debajo del valor máximo admitido en la Norma para Agua Potable, el cual es de 0.30 mg/L. No obstante, las concentraciones más altas de boro, se reportan en la estación seca, específicamente en El Salto y en El Nacimiento, coincidiendo con los resultados de DQO, lo cual demuestra que las lluvias disuelven los contaminantes químicos.

8. En base a los resultados de DBO y DQO, que superan el límite mínimo establecido por la Norma Salvadoreña para Agua Residual NSO 13.07.03:02 (en revisión), se determinó que el agua proveniente del río San Simón, no es adecuada para el consumo humano.

9. Con respecto al contenido de sulfatos en el río San Simón, éste fue heterogéneo: desde 47 hasta 267 mg de sulfato por litro de agua. Esto puede estar relacionado con descargas de desechos provenientes de la Geotérmica de Berlín y/o con la utilización de detergentes.
10. Por la concentración elevada de sulfatos y DQO, no se descarta que haya contaminación química.
11. Por los resultados de boro, cloruros, pH y sólidos totales, podría decirse que la contaminación no es provocada por geofluidos, sino por el uso de detergentes y agroquímicos.
12. Debido a que los resultados para boro, sólidos totales, pH y cloruros, son muy inferiores a los límites establecidos en la Norma Obligatoria para Agua Potable NSO 13.07.01:97, se puede concluir que el sistema hídrico del río San Simón no presentó una contaminación geotérmica significativa en el período en el que se llevó a cabo esta investigación.

CAPÍTULO VIII
RECOMENDACIONES

8.0 RECOMENDACIONES

- 8.1- Emplear el método de Absorción Atómica para la determinación de trazas de metales.
- 8.2- Establecer un monitoreo en las fuentes de abastecimiento y aguas superficiales de la subcuenca por lo menos dos veces al año (en la estación seca y en la lluviosa); e informar a cerca de los resultados del monitoreo a la Unidad Ambiental de la Alcaldía de Mercedes Umaña, con el fin de que se realice un esfuerzo conjunto con las comunidades y organizaciones ambientalistas no gubernamentales, para recuperar la calidad de la subcuenca mediante métodos técnicos adecuados.
- 8.3- Incluir en análisis posteriores la medición de aluminio, sílice, mercurio, sodio y potasio, para poder verificar la alta concentración de DQO obtenida, particularmente en la estación seca.
- 8.4- Mejorar el sistema de alcantarillado o de desagüe en el Municipio de Mercedes Umaña, para minimizar la contaminación de las aguas naturales con vertidos residuales, los cuales contienen organismos patógenos, y otros componentes tóxicos sobre seres humanos, flora y fauna. Por lo que también es urgente implementar métodos de tratamiento de purificación adecuados para aguas residuales, que pueden ser: mecánicos, biológicos y químicos.

8.5- Que las instituciones competentes gestionen recursos financieros para el desarrollo de este tipo de investigaciones, orientadas a la protección del medio ambiente; así como también, hacer notar la responsabilidad social de estos organismos al involucrarse, sin ningún interés político, llevando a cabo acciones de carácter informativo-preventivo y de educación ambiental a través de los diferentes medios, con respecto a la necesidad del buen manejo de los recursos naturales.

BIBLIOGRAFIA

1. CONACYT (Concejo Nacional de Ciencia y Tecnología) y otros. 1999. Norma Salvadoreña Obligatoria para la Calidad del Agua Potable, San Salvador, ES. COSUDE (Agencia Suiza para el Desarrollo y la Cooperación) y MSPAS (Ministerio de Salud Pública y Asistencia Social) p. 9-11.
2. Guerrero, R. 2002. Efectos del arsénico en el ser humano (en línea). México, DF. Consultado 3 may 2004. Disponible en:
<http://www.percano.com.mx/prescripcionmedica/2002/febrero/efectos%20del%20arsenico.htm>
3. LAGEO (Laboratorio Geoquímico, ES).2003. Caracterización Ambiental del Río San Simón. Usulután, ES. 97 p.
4. LAGEO (Laboratorio Geoquímico, ES). 2004. Centrales Geotérmicas e Información Ambiental (En línea). El Salvador. Consultado 8 jul 2004. Disponible en: <http://www.gesal.com.sv/main.html>
5. Luna, L. y otros. 1983. Evaluación de parámetros para la remoción del Arsénico contenido en las aguas de desecho de la Central Geotérmica de Ahuachapán por medio de Oxido de Calcio como floculante. Trabajo de Graduación Ing. Quim, Universidad de El Salvador. p. 3-25.
6. Miliarium.com Ingeniería civil y Medio Ambiente. 2004. El Arsénico en el Agua (en línea). Madrid, España. Consultado 15 de julio de 2004. Disponible en:
<http://miliarium.com/monografias/arsenico/toxicidad/toxicidad.asp>

7. Morales, F. 2004. Geotermia a nivel mundial (en línea) Chile. Taller 2M43A Termotecnia Consultado 27 may 2004. Disponible en:
<http://cipres.cec.uchile.cl/nfmorales/>
8. Morán, L. 2004. El Recurso Hídrico Superficial (en línea). Panamá IDAAN. Consultado 11 jul 2004. Disponible en:
<http://www.idaan.gob.pa/importancia.htm>
9. Morea, L. 1997. Contaminación del agua (en línea). USA. Consultado 8 de julio 2004. Disponible en:
<http://www.monografias.com/trabajos10/conag/conag.shtml#intro>
10. OPS (Organización Panamericana de la Salud, EU), División de Salud Ambiental. 1975. Estudio sobre la Eliminación de los desechos provenientes de la Planta Geotérmica Generadora de Energía de Ahuachapán, El Salvador. Washington DC. 20037 USA. p. 1-9.
11. Parada, M. 1995. Análisis del Sistema para el monitoreo de presión utilizado en pozos geotérmicos de El Salvador. Trabajo de Graduación Ing. Electr. Universidad de El Salvador. p. 1-11.
12. Pesce, A. 2004. La geotermia como una energía complementaria (en línea). Argentina. Consultado 27 may 2004. Disponible en:
<http://www.ambiente-ecologico.com/revista9/geoter49.htm>
13. Prensa Chilena. 2002. El Boro está envenenando las aguas de la primera región (Denuncia en línea). Santiago de Chile, Nov 18. Consultado 8 jul 2004. Disponible en:
<http://www.udi.cl/prensa/noticias2002/noviembre/1118varela/noticias.htm>

14. Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente, CEPIS. 2003. Frequently Asked Questions (en línea). Biblioteca Virtual en Salud Ambiental. Consultado 8 jul 2004. Disponible en:
http://www.cepis.ops_oms.org/bvsacg/e_/faq.htm/
15. Tenorio, J. 1987. Evaluación de las técnicas de muestreo y de los Métodos de Análisis de Sílice en aguas geotérmicas. Trabajo de Graduación Lic. Quim. Universidad de El Salvador.
16. Tonda, J. 2004. La Geotermia. México. Consultado 27 may 2004. Disponible en:
http://omega.ilce.edu.mx:300/sites/ciencia/volumen3/ciencia3/119/htm/sec_13.htm
17. APHA (American Public Health Association) y otros. 1992. Métodos Normalizados para el Análisis de Aguas Potables y Residuales. 17ª Edición. Madrid, España. Ediciones Díaz de Santos, S.A.
18. Manual de Química Analítica II, Facultad de Química y Farmacia, Departamento de Análisis Químico e Instrumental. Pág. 33
19. United States' Pharmacopeia, USP 19th, 1975.
20. Dickson, M. 2003. ¿Qué es la energía geotérmica? International Geothermal Association (IGA) e Istituto di Geoscienze e Georisorse (CNR), Pisa, Italia. (En línea). Consultado 8 dic 2004. Traducción en español, Santiago de Chile disponible en:
<http://iga.igg.cnr.it/documenti/geo/Geothermal%20Energia.es.pdf>

21. Universidad Católica de Chile. 2004. Composición y reacciones químicas (en línea). Consultado 1 abril 2005. Disponible en:
<http://www.uc.cl/quimica/agua/composicion.htm>
22. Greenfacts comité científico. 2004. "Consenso Científico sobre el boro". (En línea). Bélgica. Fuente Programa Internacional para la Seguridad de las Sustancias Químicas, IPCS, 1998. Consultado 22 feb 2005. Disponible en:
www.greenfacts.org/es/boro/boro-1-htm#99
23. Universidad Nacional de Colombia, UNAL. 2002. Fuentes de energía y su utilización en Colombia (en línea). Consultado 17 sept 2004. Disponible en:
http://www.virtual.unal.edu.co/cursos/ciencias/11700/lecciones/seccion2/capitulo02/02_02_01.htm
24. Consorcio PREEICA (Proyecto Regional de Energía Eléctrica del Istmo Centroamericano. 2000. Propuesta de Norma Técnica de Calidad Ambiental de Proyectos del Sector de Energía Eléctrica. (En línea) Guatemala. Consultado 20 dic 2004. (pag. 12) Disponible en:
http://proj\012685\1802\preliminar\rt_01_0.doc
25. Merck KGaA. Literatura del Test en Cubetas DQO 1.14541.0001 Spectroquant®
26. Merck KGaA. Literatura del Test Arsénico varillas analíticas. 1.10026.0001 Merckoquant®

27. Bolaños, A y otros. 2003. Tutorial de Análisis de Aguas (en línea). Universidad Autónoma de Tamaulipas, México. Consultado 2 feb 2005. Disponible en: <http://members.tripod.com/Arturobola/index.htm/>
28. Agrupación Editorial, S.A. El pequeño Larousse Ilustrado. Primera edición. Ediciones Larousse, S.A. de CV., México DF. 1996.
29. De la Lanza, G. 1984. Calidad Ambiental de la Laguna de Mezcaltitán, Nayarit, México, durante el estiaje (en línea) Universidad Nacional Autónoma de México. Consultado 1 abril 2005. Disponible en: <http://biblioweb.dgsca.unam.mx/cienciasdelmar/instituto/1986-2/articulo231.html>
30. Tali Revista Ecológica. Marzo 1997. Año 2 - N° 3. Comuniquémonos Editores.
31. Vásquez, 1993. Ecología y formación ambiental. Primera edición. Editorial McGraw-Hill Interamericana de México, S.A. de C.V.
32. Merck. Manual del Fotómetro SQ118.
33. CONACYT (Concejo Nacional de Ciencia y Tecnología) El Salvador. 1996. Norma Salvadoreña de Aguas Residuales Descargadas a un Cuerpo Receptor. Primera revisión. San Salvador, ES (pág. 5).
34. CEPIS (Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente, Perú) y otros. 1991. Manual de Disposición de Aguas Residuales. Edición en español, Tomo I y II.

GLOSARIO ^(11, 28)

- FUENTES TERMALES: Emanaciones de agua, vapor de agua y dióxido de carbono.
- GEISER, GÉISER o GEYSER: Grieta que se llena de agua freática la cual entra en ebullición y es expulsada al exterior, en forma intermitente.
- FUMAROLA: Emanaciones gaseosas, desde grietas, en zonas cercanas a volcanes activos.
- TURBOGENERADOR: Aparato compuesto por una rueda móvil sobre la que se aplica la energía de un fluido propulsor (agua, vapor, etc.) para producir corriente eléctrica.
- TECTÓNICA: Parte de la geología que estudia las deformaciones de la corteza terrestre, por efecto de fuerzas internas, posteriores a su formación.
- MAGMA: Líquido que se forma en el interior de la Tierra, por fusión de la corteza o del manto, y que, al enfriarse, da origen a una roca eruptiva.
- CONVECCIÓN: Movimiento de un fluido bajo la influencia de diferencias de temperatura.
- SUBDUCCIÓN: Desnivel de una placa litosférica de naturaleza oceánica bajo una placa adyacente, generalmente de naturaleza continental.
- PRESURIZAR: Mantener una presión normal en el interior de un avión que vuela a grandes alturas o de una nave espacial.

- KILOWATTS o KILOVATIO: Unidad de potencia equivalente a 1000 vatios. Símbolo: kW
- MEGAWATTS o MEGAVATIO: Unidad de potencia equivalente a un millón de vatios. Símbolo: MW
- DÍNAMO: Máquina que transforma la energía mecánica en energía eléctrica, en forma de corriente continua.
- FLASHEO: Descargas intermitentes de vapor.
- BAR: Unidad de medida de presión, cuyo símbolo es *bar*, utilizada en meteorología y para medir la presión de los fluidos, que equivale a 10^5 pascales.
- KILOMETRO CUADRADO: Unidad de superficie igual a la superficie de un cuadrado de un kilómetro de lado, lo que equivale a un millón de metros cuadrados (símbolo km^2).
- VAPOR HÚMEDO o LÍQUIDO DOMINANTE: Tipo de campo geotérmico en el cual el reservorio contiene agua a una temperatura mayor que los 100°C . Durante la extracción se producen disminuciones de presión que origina una evaporación parcial, obteniéndose así una mezcla de agua y vapor en condiciones de saturación.
- VAPOR SECO o VAPOR DOMINANTE: Sistema en el cual se produce vapor seco sobrecalentado con cantidades de otros gases como dióxido de carbono y sulfuro. Su utilización principal es la producción de energía eléctrica.

- FOSFORILACIÓN: Reacción que transfiere un grupo fosfatado de un compuesto orgánico, y especialmente bioquímico, a otro.
- HIPERQUERATOSIS: Afección que forma un engrosamiento excesivo de la capa córnea de la piel.
- ERITEMA: Congestión cutánea que provoca un enrojecimiento de la piel.
- LIXIVIACIÓN: Proceso De arrastre por el agua de lluvia de las materias solubles o coloidales de los horizontes superiores de un suelo a horizontes más profundos.
- METALURGIA: Conjunto de procedimientos y técnicas de extracción, elaboración y tratamiento de los metales y sus aleaciones.
- PALATABILIDAD: Relativo al paladar. Capacidad de percibir, apreciar o valorar sabores.
- AGUA RESIDUAL: Es el agua resultante de cualquier uso, proceso y operaciones de tipo agropecuario, doméstico e industrial, sin que forme parte de productos finales ⁽³³⁾. Todos los productos residuales en estado líquido, conjuntamente con la lluvia y las aguas superficiales e infiltradas ⁽³⁴⁾.

ANEXOS

ANEXO # 1

LAGEO, AGOSTO 2003. CARACTERIZACION AMBIENTAL DEL RIO SAN SIMON ⁽³⁾.

Descripción y Ubicación de la Subcuenca del Río San Simón

El río San Simón o Santa Anita, constituye una fuente natural permanente, que recoge la esorrentía de una amplia cuenca del mismo nombre, formada por drenajes y quebradas de invierno. Las quebradas se originan desde las elevaciones pertenecientes al Municipio de Berlín y Alegría, finalmente el drenaje principal del río San Simón desemboca en el Río Lempa, a la altura de los caseríos Los Horcones y la Barca.

La subcuenca del río San Simón está compartida por los municipios: Alegría, Berlín y Mercedes Umaña comprendiendo un territorio total de 252 Km² de los cuales únicamente el 22% pertenecen a la subcuenca. (55.89 Km²).

Precipitaciones.

El régimen de precipitación en la zona se caracteriza por dos períodos bien diferenciados: la estación seca que comprende desde noviembre hasta mayo y una estación lluviosa de junio a octubre, registrando las mayores precipitaciones durante los meses de septiembre a octubre.

El río San Simón se ubica en la zona de bosque húmedo subtropical. Los suelos comprendidos en la zona de influencia del Río San Simón son del tipo latosotes y aluviales. Ambos de fertilidad moderada a alta, aprovechados para cultivos de granos básicos, frutales, hasta hortalizas.

Existen formaciones hidrotermales y de fumarolas, uno de los recursos que puede ser potencialmente aprovechado.

Características Hidrográficas

La zona es abundante en agua freática, sobretodo en las inmediaciones del Cerro Los Capules, a la altura del Caserío Santa Anita en Mercedes Umaña. En esta zona también hay fuentes que son aprovechadas para el abastecimiento de numerosas comunidades dentro y fuera de la cuenca.

La mayor riqueza hídrica de la zona de estudio se ubica en las fuentes superficiales y subterráneas en las inmediaciones del río San Simón, de donde proviene el agua de abastecimiento de los centros urbanos y cantones.

La red hidrográfica de la subcuenca está compuesta básicamente por 2 ríos y 5 quebradas, el principal es San Simón o Santa Anita, que presenta un caudal permanente durante todo el año.

Aparte de las fuentes superficiales como ríos y quebradas permanentes, existen varias fuentes y nacimientos ubicados mayormente en la parte alta y media, en los sectores de Alegría y Berlín.

La Subcuenca tiene algunos sistemas de abastecimiento doméstico y con fines de producción de agua potable. Siendo los de mayor producción los pozos Santa Anita I y II (antiguamente bajo la administración de ANDA).

Uso del agua del río San Simón.

Los usos múltiples que se le dan al agua del cauce principal del río San Simón son:

- Abrevadero de ganado
- Aguas de riego en caseríos La Barca, San Simón y Horcones, en Municipio de Mercedes Umaña
- Lavado de ropa
- Baño
- Recreación.

Problemas y riesgos ambientales identificados en la subcuenca.

Existe un número considerable de problemas ambientales, algunos son de origen natural, otros de tipo industrial y el más común de todos es el antropogénico.

Entre los problemas naturales están:

- Contaminación volcánica de aguas superficiales subterráneas.
- Deslizamientos de laderas
- Terremotos o movimientos sísmicos.
- Emanaciones de fumarolas (alteración del aire)
- Condiciones climáticas extremas (exceso de lluvias o sequías)

Entre los provocados por actividades humanas están:

- Mal manejo y deposición de desechos sólidos
- Mal manejo de aguas negras y servidas
- Inadecuada disposición de excretas humanas y animales.
- Uso inadecuado del agua del río
- Contaminación por jabones, lejía y ropa
- Contaminación del agua por agroquímicos (abonos y plaguicidas)
- Deforestación

Entre los riesgos industriales potenciales se consideran:

- Alteración o contaminación momentánea del agua por descargas industriales (casos de emergencia)
- Modificación de la composición del aire.

Las tres municipalidades poseen ordenanzas destinadas a la protección de los recursos naturales y el agua, promovidas por el proyecto AGUA SalvaNATURA-CARE.

Otra instancia la constituye el comité de cuenca de la zona (Comité Gestor) formado por personas particulares, representantes comunitarios, instituciones no gubernamentales y municipalidades cuyos objetivos giran en torno a la protección de la subcuenca.

Por otra parte el Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales ha promovido la conformación de comités de cuenca.

Calidad de agua en río, fuentes naturales y de abastecimiento humano

De acuerdo a investigaciones realizadas por LAGEO en mayo de 2003, “los resultados de la calidad del agua del río San Simón y de las fuentes de agua natural y de abastecimiento doméstico no evidencian una contaminación geotermal, a nivel de las fuentes de abastecimiento doméstico y aguas que recorren el cauce principal del río, sino más bien prevalece la contaminación antropogénica (carga bacteriana de origen fecal)”

“Dos de los parámetros que más discusión social ha experimentado es la presencia de Boro y Arsénico en las aguas del Río San Simón. Sin embargo, las concentraciones son relativamente bajas en el cauce principal, en la evaluación realizada en los laboratorios geoquímicos de LAGEO y considera la carga bacteriana coliforme como el principal problema en la calidad de agua para los diferentes usos “.

ANEXO # 2

REQUISITOS DE CALIDAD DE LA NORMA SALVADOREÑA OBLIGATORIA
DEL AGUA POTABLE NSO 13.07.01:97

TABLA N° 12. REQUISITOS DE CALIDAD FISICOQUÍMICOS PARA
VALORES DE AGUA POTABLE ⁽¹⁾

PARAMETRO	UNIDAD	VALOR RECOMENDADO	VALOR MÁXIMO ADMISIBLE
Color aparente	-	NR	-
Color verdadero	mg/L (Pt-Co)	-	15
Conductividad	µmho/cm a 25° C	500	1,600
Olor	N° de umbral de olor	NR	3
pH	-	6.0-8.5	-
Sabor	N° de umbral de sabor	NR	1
Sólidos totales disueltos	mg/L	300	600
Temperatura	° C	18 a 30	NR*
Turbiedad	UNT	1	5

NR: No Rechazable.

* De no encontrarse en el rango recomendado queda sujeto a evaluaciones de potabilidad.

TABLA N° 13. VALORES PARA SUSTANCIAS QUÍMICAS ⁽¹⁾

PARAMETRO	VALOR RECOMENDADO mg/L	VALOR MÁXIMO ADMISIBLE mg/L
Ácido Sulfhídrico	No detectable	< 0.05
Alcalinidad Total como CaCO ₃	30.00	350.00
Antimonio	-	0.005
Calcio	-	75.00
Cloruros	25.00	250.00
Cobre	0.10	1.00
Dureza Total como CaCO ₃	100.00	400.00
Fluoruros	-	1.50
Hierro Total	0.05	0.30
Magnesio	-	50.00
Manganeso	0.05	0.10
Nitrógeno amoniacal (NH ₄)	-	0.50
Nitrógeno (Kjeldahl) N de NO ₂ y NO ₃	-	1.00
Plata	-	0.10
Potasio	-	10.00
Sílice	60.00	125.00
Sodio	25.00	150.00
Sulfatos	25.00	250.00

TABLA N° 14. VALORES PARA SUSTANCIAS QUÍMICAS DE TIPO INORGÁNICO DE ALTO RIESGO PARA LA SALUD ⁽¹⁾

PARAMETRO	*VALOR MÁXIMO 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 (N)	10.00
Nitrato (NO ₃)**	45.00
Nitrito (N)	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 Admisibles (VMA) no debe superar la unidad

TABLA N° 15. VALORES MÁXIMOS DE PARÁMETROS DE AGUAS RESIDUALES DE TIPO ORDINARIO, PARA DESCARGAR A UN CUERPO RECEPTOR.

ACTIVIDAD	DQO (mg/L)	DBO (mg/L)	Sólidos Sedimentables (mg/L)	Sólidos Suspendidos Totales (mg/L)	Aceites y grasas
AGUAS RESIDUALES DE TIPO ORDINARIO	100	60	1	60	20

Fuente: Norma Salvadoreña para Aguas Residuales NSO 13.07.03:02 (en revisión)

TABLA N° 16. VALORES RECOMENDADOS Y MÁXIMOS ADMISIBLES
 UTILIZADOS EN EL ANÁLISIS DE RESULTADOS ^(1,14, 33)

PARÁMETRO	VALOR RECOMENDADO mg/L	VALOR MÁXIMO ADMISIBLE mg/L
DBO	-	60**
DQO	-	100**
Sólidos Totales	-	1000***
pH	6.0 – 8.5*	-
Arsénico	-	0.01*
Boro	-	0.30*
Cloruros	25*	250*
Sulfatos	25*	250*

* Norma Salvadoreña para Agua Potable NSO 13.07.01:97 ⁽¹⁾

** Norma Salvadoreña para Agua Residual NSO 13.07.03:02 (en revisión) ⁽³³⁾

*** Valor recomendado por la OMS en aguas de suministro público ⁽¹⁴⁾

(-) No se reporta.

ANEXO # 3

CÁLCULOS

ESTACIÓN SECA

Demanda Bioquímica de Oxígeno

Solución valorante Tiosulfato de Sodio titrisol 0.025

- Cálculo mg por litro de DBO

$$\text{mg/L de DBO} = D_1 - D_2 / P$$

$$M1 = (12.9-11.9) / 0.01 = 100 \text{ mg/L}$$

$$M2 = (12.8-12.1) / 0.01 = 70 \text{ mg/L}$$

$$M3 = (12.2-12.0) / 0.01 = 20 \text{ mg/L}$$

$$M4 = (12.8-11.9) / 0.01 = 90 \text{ mg/L}$$

$$M5 = (12.4-11.8) / 0.01 = 60 \text{ mg/L}$$

$$M6 = (12.6-11.7) / 0.01 = 90 \text{ mg/L}$$

ESTACIÓN LLUVIOSA.

1- Demanda Bioquímica de Oxígeno.

- Estandarización de Tiosulfato de Sodio.

Volumen gastado en primera valoración: 28.1 mL

Volumen gastado en segunda valoración: 28.6 mL

$$N_{\text{TEÓRICA}} = 0.025$$

$$N_{\text{REAL}} = \text{Peso St } 1^\circ / (\text{VmL} \times \text{meq})$$

- Cálculo miliequivalentes (mg/mL)

$$\text{Peq} = \text{PM} / \# e^-$$

$$\text{PM K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7 = (39.1 \times 2) + (52.0 \times 2) + (16.0 \times 7) = 294.2$$

$$\text{Peq} = 294.2 / 6 = 49.03 \text{ g}$$

Entonces:

$$49.03 \text{ g} - 1\text{N} - 1 \text{ L}$$

$$49.03 \text{ g} - 1 \text{ N} - 1000 \text{ mL}$$

$$0.04903 \text{ g} - 1 \text{ N} - 1 \text{ mL}$$

$$49.03 \text{ mg} - 1\text{N} - 1 \text{ mL}$$

Se pesaron exactamente 52.5 mg de dicromato de potasio

$$210 \text{ mg de St } 1^\circ - 100 \text{ mL} - 0.1\text{N}$$

$$X - 100 \text{ mL} - 0.025 \text{ N}$$

$$X = 52.5 \text{ mg}$$

$$N_1 = 52.5 \text{ mg} / (28.1 \text{ mL} \times 49.03 \text{ meq}) = 0.0381$$

$$N_2 = 52.5 \text{ mg} / (28.6 \text{ mL} \times 49.03 \text{ meq}) = 0.0374$$

$$N_{\text{REAL}} = N_1 + N_2 / 2 = 0.0378$$

- Cálculo del factor de corrección

$$\text{FC} = N_{\text{REAL}} / N_{\text{TEÓRICA}} = 0.0378 / 0.0250 = 1.5120$$

CUADRO N° 1: CORRECCIÓN DE VOLÚMENES (DBO₅)

Mx	V mL 1 ^{er} día	FC	V corregido	V mL 5 ^o día	FC	V corregido
1	10.4	1.512	15.7	8.8	1.512	13.3
2	9.2	1.512	13.9	8.9	1.512	13.4
3	9.2	1.512	13.9	8.7	1.512	13.2
4	9.1	1.512	13.8	9.0	1.512	13.6
5	9.6	1.512	14.5	8.8	1.512	13.3
6	9.8	1.512	14.8	9.1	1.512	13.8
7	10.0	1.512	15.1	9.2	1.512	13.9
8	9.9	1.512	15.0	9.1	1.512	13.8

- Cálculo mg por litro de DBO

$$\text{mg/L de DBO} = D_1 - D_2 / P$$

$$M1 = (15.7-13.3) / 0.01 = 240 \text{ mg/L}$$

$$M2 = (13.9-13.4) / 0.01 = 50 \text{ mg/L}$$

$$M3 = (13.9-13.2) / 0.01 = 70 \text{ mg/L}$$

$$M4 = (13.8-13.6) / 0.01 = 20 \text{ mg/L}$$

$$M5 = (14.5-13.3) / 0.01 = 120 \text{ mg/L}$$

$$M6 = (14.8-13.8) / 0.01 = 100 \text{ mg/L}$$

$$M7 = (15.1-13.9) / 0.01 = 120 \text{ mg/L}$$

$$M8 = (15.0-13.8) / 0.01 = 120 \text{ mg/L}$$

2- Determinación de Cloruros

- Estandarización de Nitrato de plata

Volumen gastado en primera valoración: 12.8 mL

Volumen gastado en segunda valoración: 12.8 mL

$$N_{\text{TEÓRICA}} = 0.0140$$

-Cálculo miliequivalentes (mg/mL)

$$P_{eq} = PM / \# e^-$$

$$PM_{NaCl} = 23.0 + 35.5 = 58.5 \text{ g}$$

$$P_{eq} = 58.5 / 1 = 58.5 \text{ g}$$

Entonces:

$$58.5 \text{ g} - 1N - 1000 \text{ L}$$

$$0.0585 \text{ g} - 1 N - 1 \text{ mL}$$

Partiendo de una solución valorada de Nitrato de plata 0.103N

$$N_{REAL} = \text{Peso St } 1^\circ / V_{mL} \times meq = 12.0553 \text{ g} / (2000 \text{ mL} \times 0.0585) = 0.103$$

- Alícuota tomada

$$V_1 N_1 = V_2 N_2 \quad V_2 = (1000 \text{ mL}) (0.01) / 0.1 = 100 \text{ mL}$$

$$N_{REAL} = [(V \text{ solución Cl}^-) (N \text{ real solución Cl}^-)] / (V_{gastado Ag^+})$$

$$= (25 \text{ mL} \times 0.01) / 12.8 \text{ mL} = 0.0195$$

-Cálculo Factor de corrección

$$FC = N_{REAL} / N_{TEÓRICA} = 0.0195 / 0.0140 = 1.4$$

CUADRO N° 2: CORRECCIÓN DE VOLÚMENES (CLORUROS)

Mx	Volumen (mL)	FC	V corregido (mL)
1	1.6	1.4	2.2
2	1.5	1.4	2.1
3	1.3	1.4	1.8
4	1.3	1.4	1.8
5	1.6	1.4	2.2
6	1.4	1.4	2.0
7	1.5	1.4	2.1
8	1.6	1.4	2.2
Blanco	0.8	1.4	1.1

-Cálculo de miligramos por litro de cloruros.

mg Cl⁻ /L = [(A – B) x N x 35,450] / mL de muestra

$$M1 = (2.2 - 1.1) (0.0195) (35450) / 25 = 30.4 \text{ mg/L}$$

$$M2 = (2.1 - 1.1) (0.0195) (35450) / 25 = 27.6 \text{ mg/L}$$

$$M3 = (1.8 - 1.1) (0.0195) (35450) / 25 = 19.4 \text{ mg/L}$$

$$M4 = (1.8 - 1.1) (0.0195) (35450) / 25 = 19.4 \text{ mg/L}$$

$$M5 = (2.2 - 1.1) (0.0195) (35450) / 25 = 30.4 \text{ mg/L}$$

$$M6 = (2.0 - 1.1) (0.0195) (35450) / 25 = 24.9 \text{ mg/L}$$

$$M7 = (2.1 - 1.1) (0.0195) (35450) / 25 = 27.6 \text{ mg/L}$$

$$M8 = (2.2 - 1.1) (0.0195) (35450) / 25 = 30.4 \text{ mg/L}$$

3- Sólidos totales

CUADRO N° 3: CÁLCULO DE LA DIFERENCIA DE PESOS (SÓLIDOS TOTALES)

Mx	Peso residuo seco +crisol A (mg)	Peso crisol tarado B (mg)	(A - B) mg
1	31113.7	31107.0	6.7
2	30392.1	30384.0	8.1
3	30322.6	30315.0	7.6
4	27537.5	27530.5	7.0
5	33975.0	33967.8	7.2
6	31824.5	31817.8	6.7
7	53775.4	53766.2	9.2
8	33063.1	33053.4	9.7

$$\text{mg/L de sólidos totales} = [(A - B) \times 1000] / \text{Vol. de muestra mL}$$

$$M1 = (6.7) (1000) / 25 = 268 \text{ mg/L}$$

$$M2 = (8.1) (1000) / 25 = 324 \text{ mg/L}$$

$$M3 = (7.6) (1000) / 25 = 304 \text{ mg/L}$$

$$M4 = (7.0) (1000) / 25 = 280 \text{ mg/L}$$

$$M5 = (7.2) (1000) / 25 = 288 \text{ mg/L}$$

$$M6 = (6.7) (1000) / 25 = 268 \text{ mg/L}$$

$$M7 = (9.2) (1000) / 25 = 368 \text{ mg/L}$$

$$M8 = (9.7) (1000) / 25 = 388 \text{ mg/L}$$

4- Determinación de sulfatos

La solución patrón de sulfatos contiene una cantidad absoluta de sulfatos de 96 mg/L

96.0 mg -----1 L (96.0 mg/L)

|

0.015 L -----0.1mL (14.4 mg/L)

96.0 mg -----1 L (96.0 mg/L)

|

0.020 L -----0.1mL (19.2 mg/L)

CUADRO N° 4: ELABORACIÓN DE LA CURVA DE CALIBRACIÓN (SULFATOS)

St	Alícuota (mL)	[SO ₄ ⁻²] mg/L	Absorbancia
1	15	14.4	0.076
2	20	19.2	0.096
3	25	24.0	0.148
4	30	28.8	0.228
5	40	38.4	0.255

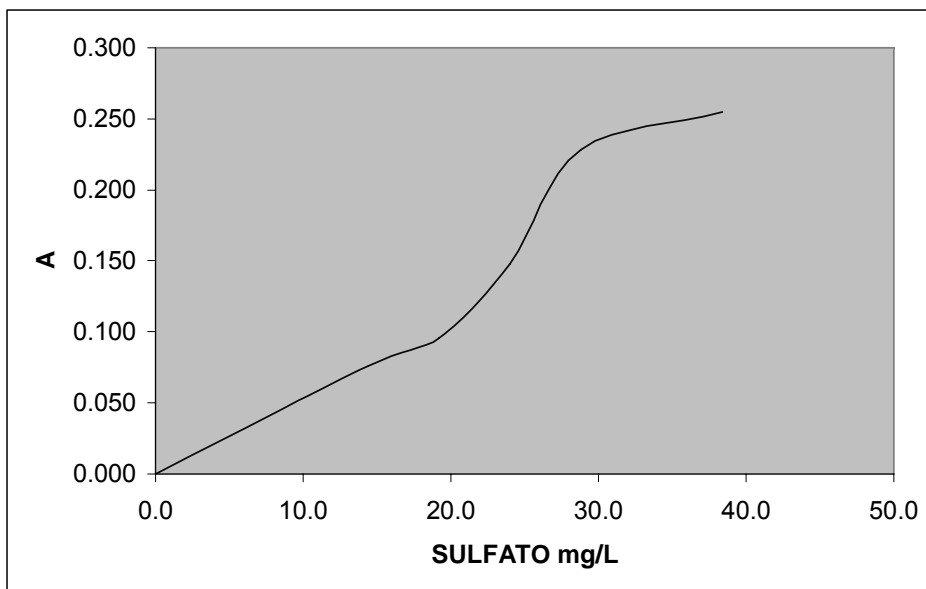


Figura N° 1. Curva de calibración para determinación de sulfatos.

CUADRO N° 5: DETERMINACIÓN DE $[SO_4^{-2}]$ A PARTIR DE LA CURVA DE CALIBRACIÓN.

Mx	Absorbancia	$[SO_4^{-2}]$ mg/L	$[SO_4^{-2}]$ mg/100 mL
1	0.025	4.7	47.0
2	0.030	5.6	56.0
3	0.095	19.0	190.0
4	0.202	26.7	267.0
5	0.040	7.6	76.0
6	0.026	5.0	50.0
7	0.058	11.0	110.0
8	0.056	10.6	106.0

ANEXO # 4

PREPARACIÓN DE REACTIVOS

Demanda Bioquímica de Oxígeno.

Solución buffer fosfato pH 7.2

- Pesar 8.5 g de KH_2PO_4 , 21.75 g de K_2HPO_4 , 33.4 g de $\text{Na}_2\text{HPO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ y 1.7 g de NH_4Cl
- Disolver en 500 mL de agua destilada y diluir a 1000.0 mL.

Solución de sulfato de magnesio.

- Disolver 22.5 g de $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ en agua destilada.
- Diluir a 1000.0 mL.

Solución de cloruro de calcio.

- Disolver 27.5 g de cloruro de calcio anhidro en agua destilada.
- Diluir a 1000.0 mL.

Solución de cloruro férrico.

- Disolver 0.25 g de $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ en agua destilada.
- Diluir a 1.0 L.

Solución de sulfato de manganeso.

Solución de álcali yoduro-nitruro (azida).

- Pesar 50 g de NaOH , 13.5 g de yoduro de sodio, 1.0 g de nitruro de sodio.
- Disolver en agua y llevar a 100.0 mL.

Solución valorante de tiosulfato de sodio 0.025N ⁽¹⁹⁾

- Disolver 6.5 g de tiosulfato de sodio y 50.0 mg de NaCO_2 en 1000.0 mL de agua recientemente hervida y enfriada.
- Estandarizar pesando exactamente 52.5 mg de estándar primario de dicromato de potasio previamente pulverizado y secado a 120°C por 4 horas
- Disolver en 25.0 mL de agua en un frasco de vidrio con tapón esmerilado.
- Agregar rápidamente 0.75 g de ioduro de potasio, 0.5 g de bicarbonato de sodio y 1.2 mL de ácido clorhídrico concentrado.
- Insertar tapón y agitar.
- Reposar en la oscuridad por 10 minutos.
- Lavar la tapa y las paredes, y titular el yodo liberado con tiosulfato de sodio 0.025 N hasta que la solución esté solamente amarillo verdoso.
- Agregar 1.0 mL de almidón TS y continuar la valoración para la descarga del azul.
- Calcular la normalidad.

Solución indicadora de almidón 0.5% (almidón TS)⁽¹⁹⁾

Disolver 0.5 g de almidón en 5.0 mL de agua fría.

- Agregar la solución a 100.0 mL de agua hirviendo, lentamente y con agitación.
- Hervir la mezcla hasta obtener una solución fina translúcida.

Determinación de cloruros ⁽¹⁷⁾

Solución indicadora de cromato potásico al 5%

- Disolver 5.0 g de K_2CrO_4 en un poco de agua destilada.
- Añadir solución de $AgNO_3$ hasta formar un precipitado rojo.
- Reposar por doce horas y filtrar.
- Diluir con agua destilada a 1.0 L.

Solución valorante de nitrato de plata 0.014N

- Disolver 2.395 g de $AgNO_3$ en agua destilada.
- Diluir a 1000.0 mL.
- Estandarizar frente a una solución de $NaCl$ 0.0141N donde 1.0 mL = 500 μg Cl^-
- Ajustar el pH a 7.0 ó 10.0
- Añadir 1.0 mL de solución de K_2CrO_4 al 5%.
- Valorar con solución patrón de $AgNO_3$.
- Llevar un blanco.

Solución de cloruro de sodio 0.0141N

- Disolver 824.0 mg de $NaCl$ previamente secado a $140^\circ C$, en agua destilada.
- Diluir a 1000.0 mL (1.0 = 500 μg Cl^-)

Determinación de sulfatos.

Solución tampón A

- Pesar 30.0 g de cloruro de magnesio ($\text{MgCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$); 5.0 g de acetato de sodio ($\text{CH}_3\text{COONa} \cdot 3\text{H}_2\text{O}$); 1.0 g de nitrato de potasio (KNO_3) y medir 20.0 mL de ácido acético (CH_3COOH 99%)
- Disolver en 500 mL de agua destilada y completar a 1000 mL.

Solución patrón de sulfato (1 mL = 10 $\mu\text{g SO}_4^{-2}$)

- Disolver 0.1479 g de sulfato de sodio anhidro en agua destilada.
- Diluir a 1000 mL.