

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**CONTAMINANTES MÁS COMUNES DEL AGUA
SUBTERRÁNEA ENFOCADA AL ÁREA SUR-ESTE DEL
VALLE DE GUATEMALA**

TESIS

Presentada a la Junta Directiva de la Facultad de Ingeniería de la
Universidad de San Carlos de Guatemala

Por :

ESTUARDO LEÓN HERNÁNDEZ

Al conferírsele el título de
INGENIERO CIVIL

Guatemala, julio de 1,999



HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

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

CONTAMINANTES MÁS COMUNES DEL AGUA SUBTERRANEA ENFOCADA AL ÁREA SUR-ESTE DEL VALLE DE GUATEMALA

Tema que me fuera asignado por la Dirección de Escuela de Ingeniería Civil, con fecha 21 de enero de 1,999.

Estuardo León Hernández

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

MIEMBROS DE JUNTA DIRECTIVA

DECANO	ING. HERBERT RENÉ MIRANDA BARRIOS
VOCAL 1º.	ING. JOSÉ FRANCISCO GÓMEZ RIVERA
VOCAL 2º.	ING. CARLOS HUMBERTO PÉREZ RODRÍGUEZ
VOCAL 3º.	ING. JORGE BENJAMÍN GUTIÉRREZ QUINTANA
VOCAL 4º.	BR. OSCAR STUARDO CHINCHILLA GUZMAN
VOCAL 5º	BR. MAURICIO GRAJEDA MARISCAL
SECRETARIO	ING. GILDA MARINA CASTELLANOS DE ILLESCAS

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

DECANO	ING. JULIO ISMAEL GONZÁLEZ PODSZUECK
EXAMINADOR	ING. MERCEDES GARCÍA DE OBREGÓN
EXAMINADOR	ING. THOMAS MOSCOSO CAMINADE
EXAMINADOR	ING. JOSÉ EDUARDO RAMÍREZ SARAVIA
SECRETARIO	INGA. GILDA MARINA CASTELLANOS DE ILLESCAS

Guatemala, 2 de Julio de 1999

Señores:

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA

Facultad de Ingeniería

Ciudad de Guatemala

Attn.: Ing Pedro Aguilar Polanco,
Jefe del Departamento del área de Hidráulica

Estimado Ing. Aguilar:

Atentamente me dirijo a usted con relación a la revisión efectuada a la Tesis “CONTAMINANTES MAS COMUNES DEL AGUA SUBTERRANEA ENFOCADA AL AREA SUR-ESTE DEL VALLE DE GUATEMALA”, DEL ALUMNO Estuardo León Hernández, carnet No. 91-12039.

Al respecto, le manifiesto que la misma ha llenado los requerimientos que este trabajo conlleva, haciéndome responsable del desarrollo del mismo.

Atentamente,



Ing. FERNANDO SAMAYOA
COLEGIADO No. 2299
ASESOR DE TESIS

C.C. Director de Escuela
Jefe Dept. Lingüística
Asesor
Alumno.



FACULTAD DE INGENIERIA

6 de julio de 1,999

Ingeniero
Sydney Alexander Samuels Milson
Director Escuela de Ingeniería Civil
Facultad de Ingeniería
Universidad de San Carlos de Guatemala

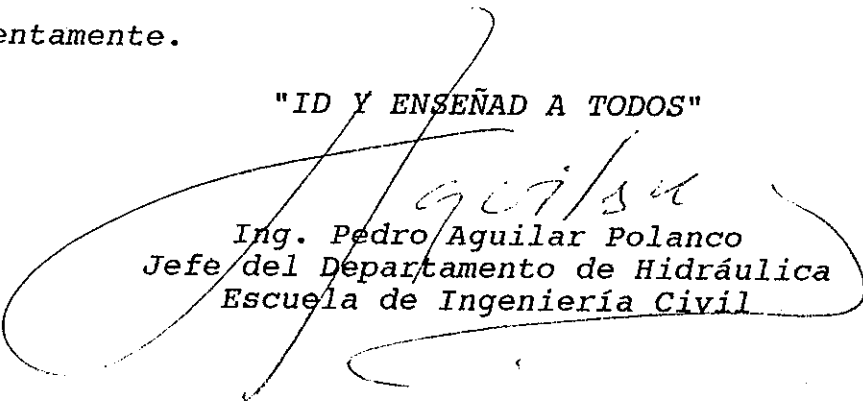
Señor Director:

Después de analizar y revisar el trabajo de tesis titulado **CONTAMINANTES MÁS COMUNES DEL AGUA SUBTERRÁNEA ENFOCADA AL ÁREA SUR-ESTE DEL VALLE DE GUATEMALA**, desarrollado por el estudiante universitario **Estuardo León Hernández**, con carnet número 91-12039, quien contó con la asesoría del Ingeniero José Fernando Samayoa Roldán, tengo a bien manifestar que dicho trabajo ha sido ejecutado conforme a los requisitos establecidos, por lo que en mi calidad de Jefe del Departamento de Hidráulica de la Escuela de Ingeniería Civil me permito solicitar se continúen los trámites respectivos para su aprobación.

Sin otro particular.

Atentamente.

"ID Y ENSEÑAD A TODOS"


Ing. Pedro Aguilar Polanco
Jefe del Departamento de Hidráulica
Escuela de Ingeniería Civil



FACULTAD DE INGENIERIA

El Director de la Escuela de Ingeniería Civil, después de conocer el dictamen del Asesor Ing. Fernando Samayoa Roldán y del Jefe del Departamento de Hidráulica Ing. Pedro Aguilar Polanco, del trabajo de tesis del estudiante Estuardo León Hernández, titulado CONTAMINANTES MAS COMUNES DEL AGUA SUBTERRANEA ENFOCADA AL AREA SUR-ESTE DEL VALLE DE GUATEMALA, da por este medio su aprobación a dicha tesis.

Ing. Sydney Alexander Samuels Milson



Guatemala, julio de 1,999

/bbdeb.



FACULTAD DE INGENIERIA

El Decano de la Facultad de Ingeniería, luego de conocer la autorización por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Civil, Ing. Sydney Alexander Samuels Milson, al trabajo de tesis CONTAMINANTES MAS COMUNES DEL AGUA SUBTERRANEA ENFOCADA AL AREA SUR-ESTE DEL VALLE DE GUATEMALA, del estudiante Estuardo León Hernández, procede a la autorización para la impresión de la misma.

IMPRIMASE:

Ing. Herbert René Miranda Barrios

DECANO



Guatemala, julio de 1,999

AGRADECIMIENTOS:

- A Dios, por la vida tan hermosa que me ha permitido vivir, por ayudarme a ser la persona que soy y por darme la sabiduría, paciencia, fuerza y enseñarme el camino.
 - Al ingeniero Fernando Samayoa, por la colaboración y asesoría brindada para realizar este trabajo y la paciencia que tuvo conmigo.
 - A las personas desinteresadas que me ayudaron con este trabajo.
 - Al Ingeniero Juan Carlos Pinto, por el apoyo que me ha brindado y ser ejemplo de vida profesional.
 - A mis familiares y amigos que me han apoyado y me han dado los consejos necesarios para llegar hasta aquí.
-

ACTO QUE DEDICO A:

MIS PADRES: Roberto León Rosales, por ser padre, amigo y un excelente ejemplo a seguir.
Estela de León Hernández, por todo su apoyo y ejemplo de trabajo y esfuerzo.

MIS HERMANOS: Roberto León Hernández, por su comprensión, apoyo y consejo.
Heidy León, por su amistad y apoyo.

MI NOVIA: Por apoyarme y ayudarme.

MIS AMIGOS Y AMIGAS: Por su amistad, consejos y estar en la buenas y las malas.

LA UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS

LA FACULTAD DE INGENIERÍA

ÍNDICE GENERAL

	PÁGINA
GLOSARIO	1
INTRODUCCIÓN	IV
OBJETIVOS	V
CAPÍTULO 1:	
ANTECEDENTES DEL AGUA SUBTERRÁNEA DEL VALLE DE GUATEMALA	1
CAPÍTULO 2:	
JUSTIFICACIÓN DEL ÁREA BAJO ESTUDIO	3
CAPÍTULO 3:	
DELIMITACIÓN DEL ÁREA DE INVESTIGACIÓN	4
3.1- DESCRIPCIÓN GENERAL DEL ÁREA	5
3.2- RASGOS HIDROGRÁFICOS E HIDROGEOLÓGICOS	6
3.3- ESCURRIMIENTO SUBTERRÁNEO	8
CAPÍTULO 4:	
IDENTIFICACIÓN DE LOS CONTAMINANTES	10
CAPÍTULO 5:	
CICLO HIDROLÓGICO	11
5.1- FUENTES DE AGUA DISPONIBLES	12
5.2- PRECIPITACIÓN	14
5.3- EVAPORACIÓN	15
5.4- ESCURRIMIENTO	15
5.4.1- PERÍODO SIN PRECIPITACIONES	15
5.4.2- PERÍODO INICIAL DE PRECIPITACIÓN	16
5.4.3- PERÍODO DE PRECIPITACIONES	16
5.4.4- PERÍODO POSTERIOR A LA PRECIPITACIÓN	17

40	10.3- CORRECCION
40	10.2- CONTAMINACION
39	10.1- PRUEBA
39	SULFURO DE HIDROGENO

CAPITULO 10:

36	9.7- HIPOTESIS
35	9.3- TRATAMIENTO
34	9.2- CONTAMINACION
34	9.1- PRUEBA
33	HIERRO Y MANGANESO

CAPITULO 9:

31	8.5- HIPOTESIS
30	8.4- CORRECCION
29	8.3- EFECTOS
29	8.2- CONTAMINACION
28	8.1- PRUEBA
28	DUREZA

CAPITULO 8:

26	7.5- HIPOTESIS
25	7.4- CORRECCION
25	7.3- EFECTOS
24	7.2- CONTAMINACION
24	7.1- PRUEBA
23	ALCALINIDAD DEL AGUA
	EL POTENCIAL HIDROGENO (pH) o GRADO DE

CAPITULO 7:

22	6.3- CARACTERISTICAS BIOLÓGICAS
20	6.2- CARACTERISTICAS QUÍMICAS
18	6.1- CARACTERISTICAS FÍSICAS
18	CALIDAD Y CARACTERÍSTICAS SANITARIAS DEL AGUA

CAPITULO 6:

CAPÍTULO 11:

LOS NITRATOS DEL AGUA	43
11.1- PRUEBA	43
11.2- CONTAMINACIÓN	43
11.3- EFECTOS	45
11.4- CORRECCIÓN	47

CAPÍTULO 12:

IMPUREZA BIOLÓGICA DEL AGUA	49
12.1- TRATAMIENTO DEL AGUA	51
12.1.1- EL CLORO	51
12.1.2- OZONIFICACIÓN	55
12.1.3- LUZ ULTRAVIOLETA	55
12.1.4- FILTRACIÓN FÍSICA	57

CAPÍTULO 13:

CONTAMINACIÓN ORGÁNICA	58
13.1- COMPUESTOS DE ORIGEN NATURAL	58
13.2- PRUEBA	61
13.3- TRATAMIENTO	61

CONCLUSIONES	VI
--------------	----

RECOMENDACIONES	VIII
-----------------	------

BIBLIOGRAFÍA	IX
--------------	----

ANEXOS

- ANEXO 1: Resultados de los parámetros analizados
- ANEXO 2: Comparación de resultados de los parámetros analizados y después del tratamiento
- ANEXO 3: Normas de calidad de agua COGUANOR NGO 29001.

GLOSARIO

- ACUÍFERO:** Formación de roca permeable, o subsuelo a través del cual se mueve el agua subterránea más o menos libremente. Se denomina acuífero a aquel estrato o formación geológica que permitiendo el almacenamiento y circulación del agua por sus poros o grietas, hace que el hombre pueda aprovecharla en cantidades económicamente apreciables para solventar sus necesidades.
- ADSORCIÓN:** Fenómeno de concertación de las moléculas de un compuesto por efectos de superficie sobre la masa de otro. Se realiza por dos métodos 1) por contacto, cuando el adsorbente A, se añade a la disolución B y 2) por percolación, cuando el líquido o gas atraviesa un lecho adsorbente en forma granular.
- AGUA SUBTERRÁNEA:** Agua infiltrada en el terreno a través de las rocas y formaciones permeables y que ocupa los espacios vacíos del subsuelo en diferentes formaciones geológicas que presentan permeabilidad.
- ANÁLISIS:** Distinción y separación de las partes de un todo hasta llegar a conocer sus principios o elementos.
- ANDESITA:** Roca ígnea compuesta esencialmente de minerales y/o constituyentes ricos en hierro y manganeso. Roca volcánica de textura porfírica y de composición semejante a las rocas plutónicas llamadas dioritas.
- BASALTO:** Roca efusiva microcristalina sin olvino, es casi siempre de color negro, más o menos verdoso, muy dura, de grano fino. Al descomponerse puede formar tierras arcillosas oscuras, muy fértiles.
- CALIZAS:** Roca calcárea formada fundamentalmente por carbonato cálcico, roca sedimentaria.
- COGUANOR :** Comisión guatemalteca de normas.

CUATERNARIO: Cuarta de las grandes divisiones de la historia geológica de la tierra, empieza al final del plioceno y llega hasta la época actual.

CUENCA: Área topográfica drenada por un curso de agua y sus afluentes. Los límites de una cuenca montañosa están determinados por la línea de cumbres, cuyas aguas fluyen en sentido contrario.

EÓLICO: Perteneciente o relativo al viento.

FLUVIO-LACUSTRES: Perteneciente a ríos, lagunas o lagos.

HIDROGEOLOGÍA: Ciencia que estudia la relación que existe entre la geología y el sistema hídrico del lugar, por medio de pruebas de campo e interpretación de datos, por medio de la cual se puede obtener la caracterización de los acuíferos subterráneos e identificar la contaminación de los mismos y sus causas.

HIDROGEOLOGÍA SUBTERRÁNEA: Parte de la Hidrología que estudia el almacenamiento, circulación y distribución de las aguas subterráneas terrestres en la zona saturada de las formaciones geológicas, teniendo en cuenta sus propiedades físicas y químicas, sus interacciones con el medio físico y biológico y sus reacciones a la acción del hombre.

HIDROGRAFÍA: Ciencia que estudia los cursos de agua sobre la superficie terrestre, distribución de los lagos, régimen del suelo y del subsuelo.

IGN: Instituto Geográfico Nacional

INFILTRACIÓN: Introducir gradualmente un líquido en los poros de un cuerpo sólido.

INSIVUMEH: Instituto Nacional de Sismología, Vulcanología, Meteorología e Hidrología.

KARSTIFICACIÓN: El término es sinónimo de aquellas formaciones geológicas constituidas por rocas sedimentarias consolidadas (calizas), cuyos poros o fisuras han sido ensanchados por la acción disolvente de las aguas subterráneas, hasta formar grandes conductos y cuevas que dan lugar a características geomorfológicas típicas

LÍMITE MÁXIMO ACEPTABLE (LMA):	Es el valor de la concentración de cualquier característica de calidad del agua, arriba de la cual el agua pasa a ser rechazable por los consumidores, desde un punto de vista sensorial, pero sin que implique un daño a la salud del consumidor.
LÍMITE MÁXIMO PERMISIBLE (LMP):	Es el valor de la concentración de cualquier característica de calidad del agua, arriba de la cual, el agua no es adecuada al consumo humano.
L.U.V.	Luz ultravioleta.
MORFOLOGÍA:	Estudio de las formas del relieve terrestre, origen de las mismas y su evolución.
PATÓGENOS:	Microorganismo (virus, bacteria o protozoo) que es agente causal de una enfermedad.
PIROCLÁSTICO:	De la época de Piroclasto, es decir, material fragmentado lanzado al aire en una erupción volcánica. Según su tamaño (en forma descendente) pueden clasificarse como bomba volcánica, lapilli y cenizas. Al depositarse las primeras sobre las segundas forman tobas volcánicas.
PRECIPITACIÓN:	Agua procedente de la atmósfera y que en forma sólida o líquida cae sobre la superficie de la tierra.
SEDIMENTOS:	Depósitos originados por la acción de agentes atmosféricos, de material rocoso, de organismos muertos, sustancias químicas y de otros materiales. // Materia que habiendo estado suspensa en un líquido se posa, en el fondo por la acción de la fuerza de gravedad. //
TERCIARIO:	Era geológica comprendida entre el mesozóico y el cuaternario. Durante este período tienen lugar importantes movimientos orogénicos, a consecuencia de los cuales quedan establecidos los principales rasgos del relieve actual. Al final del mismo tienen lugar una intensa actividad volcánica.

INTRODUCCIÓN

Después del aire, que es elemento vital para la supervivencia, el agua es el recurso natural más importante en la faz de la tierra. La atención a la calidad del agua ha ido aumentando conforme transcurren los años, debido a la contaminación que ha sido encontrada en todo el mundo. Sin el agua no habría vida.

El uso excesivo, el uso equivocado, fenómenos naturales, contaminación por fosas sépticas, mala disposición de desechos urbanos e industriales y químicos han llevado a la situación que se enfrenta hoy. Para que la flora, fauna y población puedan sobrevivir y enfrentarse al futuro, se debe enfrentar a estos problemas hoy.

Actualmente la distribución de agua en el mundo es 97.29% para océanos y mares, 2.09% para casquetes glaciales y glaciares, 0.6054% para agua subterránea, 0.0144% para lagos y ríos, y 0.0001% para otro tipo. Como puede verse el agua subterránea es más del doble de ríos y lagos por lo que es un recurso enorme que es parte de un ciclo, pero se enfrenta el problema de un aprovechamiento caótico del mismo, lo cual hace prestarle una atención severa.

Las necesidades de abastecimiento de agua potable de la ciudad capital cada día se incrementan, debido fundamentalmente al crecimiento demográfico de la población. Por el contrario, las fuentes de agua disponibles cada día son menores, sumando el factor de contaminación que está sufriendo el recurso, hace de éste un problema, que no se puede dejar pasar.

Actualmente el abastecimiento de agua está siendo proporcionado por dos tipos de fuentes: superficial (ríos y lagos) y subterránea (pozos). Los porcentajes de abastecimiento de agua son los siguientes: 55% proviene de fuentes superficiales y un 45% proviene de fuentes subterráneas, esto en época de lluvias, pero en la época de verano el abastecimiento se reduce a la mitad, lo cual hace que el abastecimiento subterráneo sea aun más importante en el medio.

El fin de este trabajo es presentar la importancia de considerar la calidad del agua en cualquier proyecto de construcción, tanto de casas individuales como de multifamiliares. No importando si el abastecimiento es municipal o privado. No se mencionará profundamente el porqué de la contaminación, pues el mismo no se puede cambiar, sino la forma de disminuir la misma.

El presente trabajo presenta una guía para los problemas más comunes de la calidad del agua. A la vez ofrece una oportunidad para que todas las personas interesadas puedan enfrentarse al problema de la calidad del agua, con un conocimiento básico de los problemas y diferentes formas de solucionarlos. Se presenta una solución para los problemas y la eficacia del mismo en solucionar la contaminación.

OBJETIVOS

GENERAL

- Tener conocimiento de las causas que originan la contaminación de agua subterránea, y proponer soluciones para disminuir la misma.

ESPECÍFICOS

- Exponer el ciclo hidrológico del agua.
- Presentar los rasgos hidrológicos e hidrogeológicos generales imperantes en el Valle de Guatemala
- Determinar en qué momento del ciclo hidrológico existe la posibilidad de que se contamine el agua.
- Analizar las posibles causas individuales de la contaminación de un abastecimiento de agua.
- Exponer porqué la calidad del agua es tan importante en el área en estudio.
- Determinar las posibles soluciones de los contaminantes más comunes, para poder elegir la solución que más se adecúe al proyecto.
- Determinar los contaminantes más comunes del área bajo estudio.

1.- ANTECEDENTES DEL AGUA SUBTERRÁNEA DEL VALLE DE LA CIUDAD DE GUATEMALA

La cuenca del Valle de Guatemala se encuentra afectada por las condiciones del uso y aprovechamiento del agua que se ha hecho durante los últimos años. El crecimiento urbano en forma desordenada que ha tenido la ciudad de Guatemala ha provocado que los límites municipales hayan sido superados, lo que ha complicado el servicio público.

El desarrollo urbano y el crecimiento demográfico han generado que la demanda de agua en el Valle de la Ciudad Capital cada día vaya en aumento, especialmente en esta área donde cada casa lotificación o condominio requiere de la construcción de un pozo para abastecerse.

Actualmente las necesidades de agua han sido satisfechas utilizando los manantiales existentes, aguas superficiales y últimamente las aguas subterráneas por medio de la excavación o perforación de pozos.

Entre los usuarios de las aguas subterráneas, los más importantes, por su cantidad de consumo, están identificados los siguientes:

- Agua municipal para satisfacer la demanda de agua para consumo humano.
- El aprovechamiento del agua en forma privada para uso de agua potable, industrial y comercial.
- El aprovechamiento del agua para la industria agrícola en pequeños y mediano proyectos de riego.

En ninguno de los casos anteriores se puede dejar a un lado la calidad del agua en si, pues la misma, aun cuando la cantidad sea la adecuada, si la calidad no es satisfactoria no sería utilizada en los primeros dos casos y en el tercero produciría el colapso del sistema de riego al poco tiempo de ser puesto en servicio el mismo.

Además, se puede observar que se tiene una baja disponibilidad de agua por las condiciones de localización de calidad y cantidad del recurso hídrico disponible. Esto ha provocado que se produzcan interferencias, que se manifiestan de la siguiente manera:

- La perforación de pozos incontrolada, sin conocimiento de ninguna autoridad.
- La existencia de desequilibrio hidrológico, ya que en ciertas zonas la extracción es mayor que la recarga.
- La utilización de la cuenca para descargar desechos y aguas servidas sin tratamiento, lo que hace que las aguas superficiales sean contaminadas, dado que estas fuentes de agua sirven de recarga del flujo subterráneo, provocan el riesgo de contaminación en el mismo.

Lo que respecta al movimiento de agua subterráneo, el mismo está enmarcado dentro de una estructura geológica, cuya base está constituida por rocas volcánicas, principalmente formadas por la

acumulación de depósitos de rocas provenientes de erupciones volcánicas con diferente grado de compactación, conocido como el relleno de piroclástico cuaternarios.

La explotación del agua subterránea ha sido definida por un período de lluvias que se inicia en mayo y termina en octubre, donde gran parte de la demanda está cubierta por las aguas superficiales.

En el período de estío, que consiste de noviembre hasta abril, la demanda de agua alcanza su máximo valor. Para cubrir dicha demanda se utiliza en gran escala la explotación del agua subterránea a través de pozos perforados y excavados.

El porcentaje aproximado de agua que se utiliza en el valle de Guatemala, que proviene de pozos, es de 45% en época de lluvias y un porcentaje no definido, pero si mayor, en época de verano, dado el alto porcentaje de agua que proviene de este tipo de recurso la calidad de la misma es de suma importancia, no solo para las autoridades municipales sino para empresas privadas y casos particulares.

Sobre la base de lo anterior se concentra el presente trabajo, es decir, en la calidad de este recurso, presentado los problemas más comunes en lo que respecta a calidad de agua.

2.- JUSTIFICACIÓN DEL ÁREA BAJO ESTUDIO

En Guatemala se encuentran una serie de núcleos urbanos de diferente categoría y magnitud, repartidos por todo el territorio metropolitano.

En un principio éstos no respondían a una estructura bien planificada sino, por el contrario, habían aparecido espontáneamente, ya sea por la necesidad de vivienda, por facilidad de construcción o por el simple hecho de vivir lejos de la ciudad. La complejidad existente en los organismos e instituciones responsables del desarrollo metropolitano manifestó que los núcleos urbanos aparecieran sin ningún tipo de control, esto debido a la numerosa participación de organismos nacionales tanto de planificación como de ejecución. Éstos intervenían de una manera aislada no siguiendo planes integrales y conjuntos lo cual llevaba a que cada organismo o institución tuviera su propio criterio.

Actualmente se tiene más control sobre el crecimiento, pero este control a la vez manifiesta aun más la necesidad de ampliar los servicios básicos. En el área en estudio surgió un gran auge de la construcción urbana elitista, lo cual llevo de alguna manera a proveerla con servicios básicos.

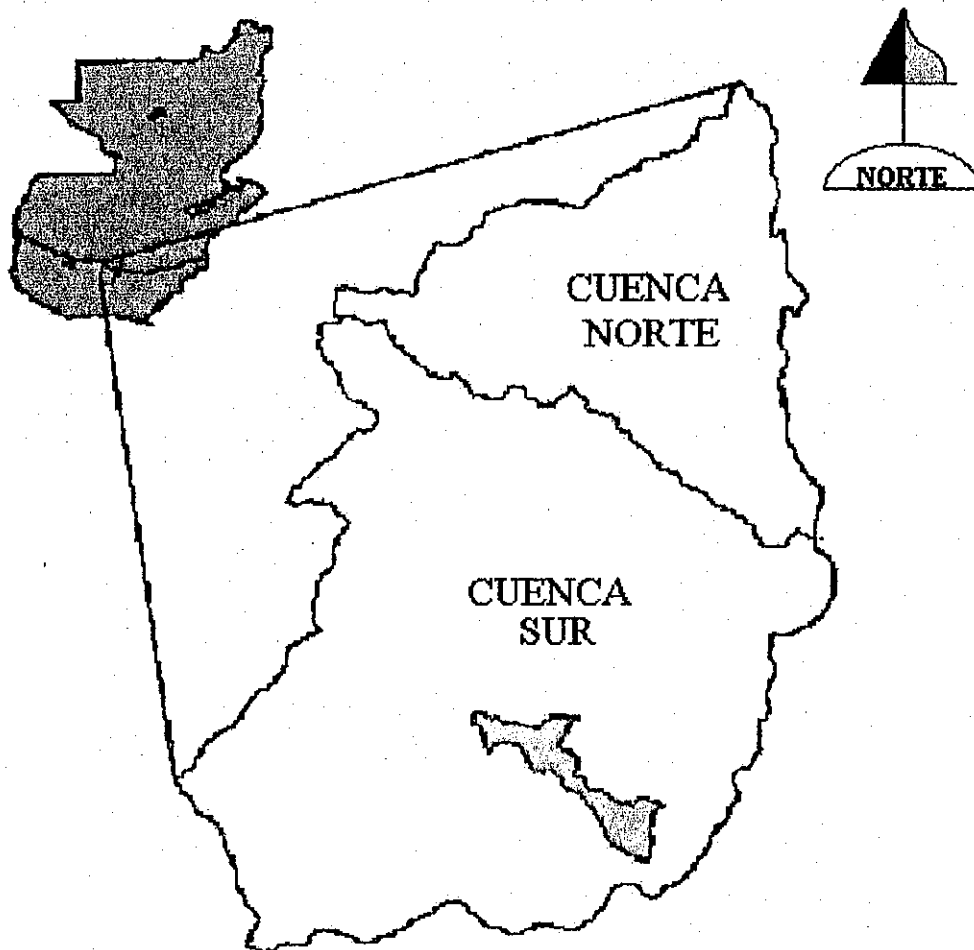
Dado que no existían sistemas de servicios básicos, surgió la necesidad de implementar nuevas formas de abastecerse de estos servicios. Uno de los servicios que más auge obtuvo fue el servicio de agua. Muchas de estas construcciones (casas particulares, colonias y lotificaciones) construyeron pozos mecánicos para su abastecimiento.

Pero con esto surgió otro problema, el de la calidad del agua. Pues las mismas se enfrentaban al problema de que su abastecimiento estaba contaminado tanto en su aspecto bacteriológico como fisicoquímico. Por esta razón surgió la preocupación de la contaminación del agua subterránea, que venía a ser la fuente de abastecimiento. Dado que este problema antes era netamente municipal, pues era el encargado tanto del abastecimiento del mismo como de la calidad del agua, no se le prestaba tanta atención en proyectos de construcción.

Debido a que esta área en lo particular representa una de las áreas más elitistas en la construcción, cada nueva construcción representaba una nueva posibilidad de contaminación. Esta posibilidad llevaba a tener más datos sobre el área y más posibilidades para encontrar diferentes tipos de contaminación y a la vez diferentes soluciones. Por esta razón se decidió analizar el área de estudio, identificándola primero como cuenca, su composición geológica, comportamiento hidrológico, dirección de flujo subterráneo, para luego realizar exámenes de calidad y poder identificar los problemas más comunes de contaminantes. Llevándose a cabo el siguiente estudio o análisis de la contaminación del agua subterránea.

3.- DELIMITACIÓN DEL ÁREA DE INVESTIGACIÓN

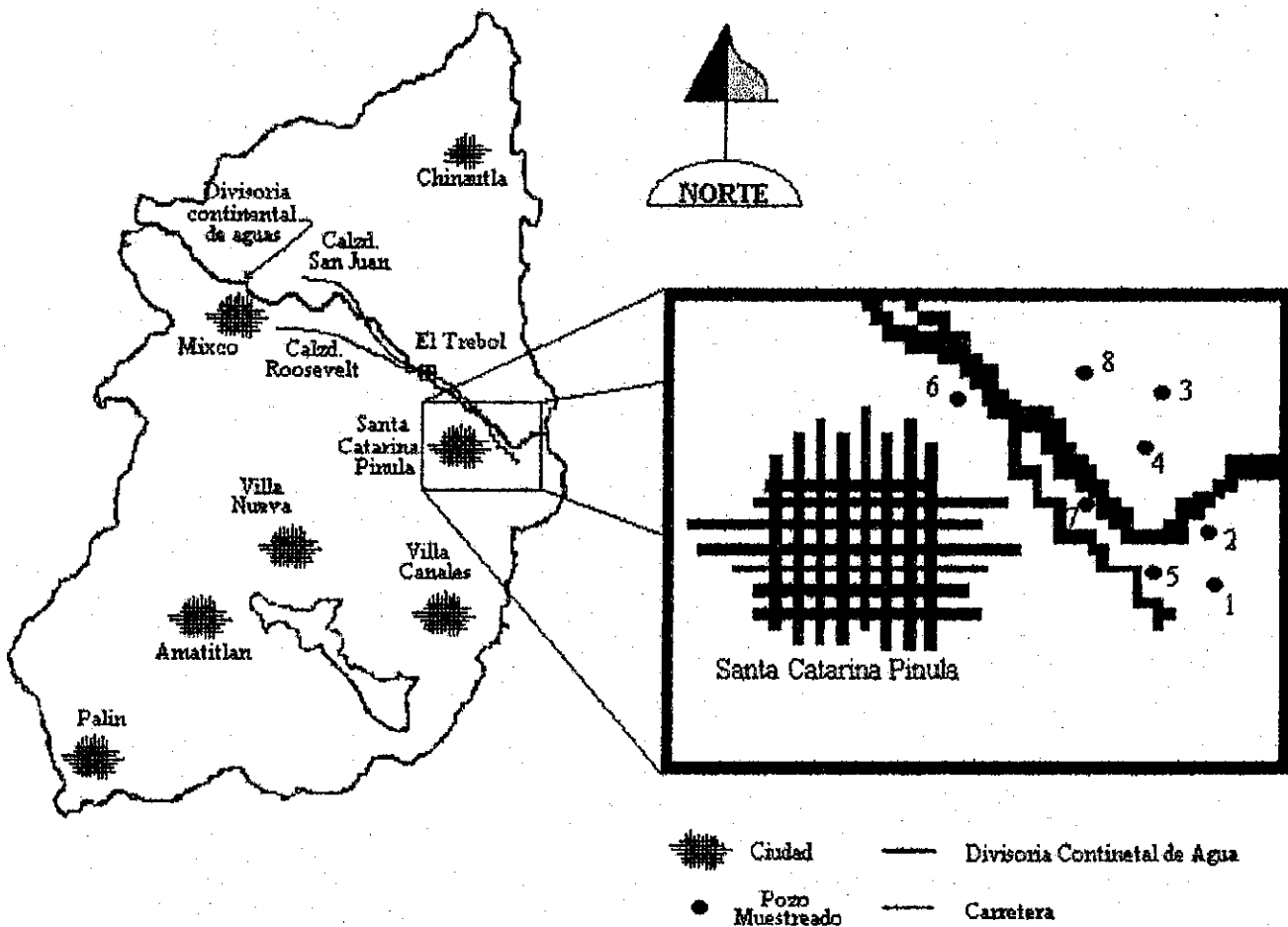
Como primer paso se definió el área total del valle de Guatemala identificándola como Cuencas del Valle de Guatemala. Las cuencas del Valle de Guatemala son las del Río Michatoya, localizada al sur del área metropolitana y que pertenece a la vertiente del Pacífico, identificándola en este trabajo como la Cuenca Sur. La otra cuenca es la del río de las Vacas, localizada al norte del área metropolitana, que desemboca en el río Motagua, en la vertiente del Atlántico, como se puede apreciar en la gráfica que se presenta a continuación.



3.1- DESCRIPCIÓN GENERAL DEL ÁREA

El valle de Guatemala está localizado en la parte central del departamento de Guatemala, que cubre de los municipios de Guatemala, Mixco, San Lucas Sacatepequez, Santa Catarina Pinula, Villa Nueva, Villa Canales, Chinautla, Amatitlán y Palín.

Dentro del área general de las cuencas del valle de Guatemala se encuentra la divisoria continental de aguas, la que atraviesa la Ciudad de Guatemala, siguiendo aproximadamente la dirección de la calzada San Juan hacia Puerta Parada, atravesando el Trébol, como se puede ver en la figura siguiente.

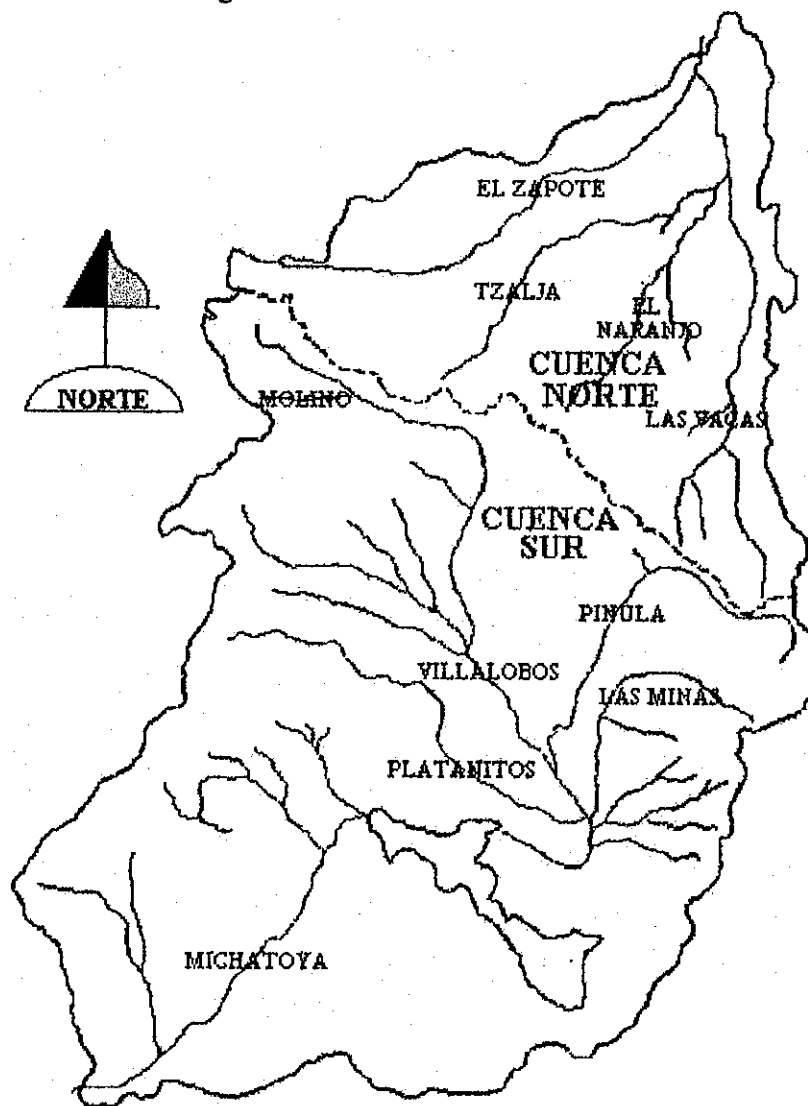


En esta figura también se define el área detallada de estudio, exaltándose por medio del cuadro.

3.2- RASGOS HDROGRÁFICOS E HIDROGEOLÓGICOS

El sistema hidrográfico de la cuenca del Río las Vacas, hasta donde fue definida la cuenca, tiene una longitud aproximadamente de 30 kilómetros, además de sus afluentes principales como los ríos de Chinautla, Tzalja y Zapote.

Con respecto a la cuenca del río Michatoya, donde la longitud del cauce principal, toma desde la estación Palín, es aproximadamente de 63 kilómetros, que incluye los ríos Michatoya y Villa Lobos. Entre estos dos ríos se encuentra el lago de Amatitlán. Sus afluentes más importantes son los ríos: San Lucas, Pinula y Las Minas, a continuación se pueden ver las cuencas del Valle de Guatemala con su sistema hidrográfico definido.



En lo que respecta a los rasgos hidrogeológicos, éstos se basan en los estudios geológicos realizados por el INSIVUMEH. De acuerdo a dicho estudio, las características hidrogeológicas permiten distinguir las siguientes unidades:

DEPOSITOS VOLCÁNICOS CUATERNARIOS: Estos depósitos están formados por una gran acumulación de fragmentos, de rocas resultantes, depositados por distintas erupciones, (relleno piroclástico) y diversos flujos de ceniza.

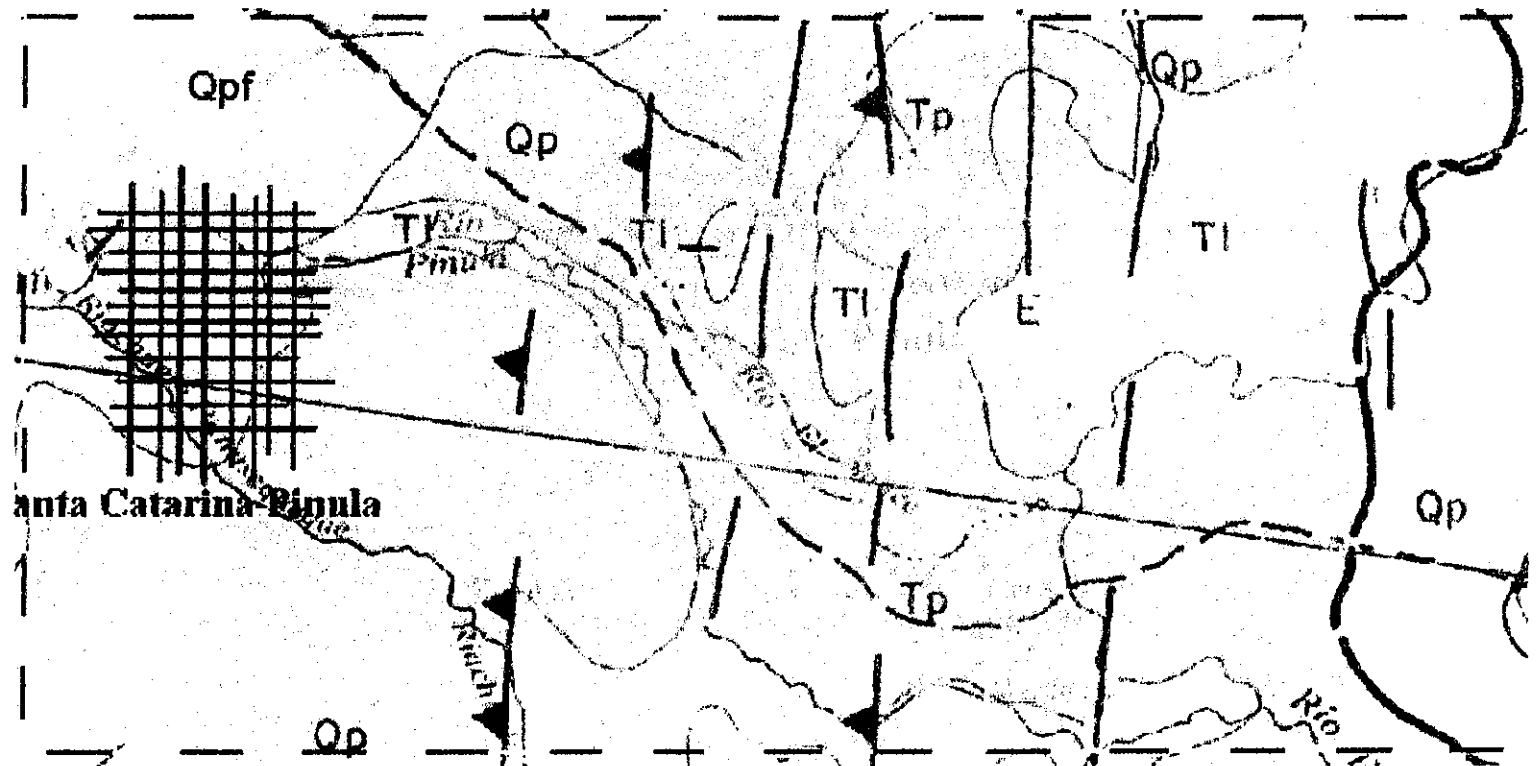
SEDIMENTOS FLUVIO-LACUSTRES CUATERNARIOS: Éstos se encuentran distribuidos dentro de los flujos de ceniza y los depósitos de cada de ceniza, se ubican principalmente al sur de la divisoria continental de aguas, sobre todo en las cercanías de Villa Canales, San Miguel Petapa, Villa Nueva y Amatitlán.

Los depósitos más recientes forman parte de los lechos de los ríos, formados por gravas, arenas, limos y arcillas.

LAVAS VOLCÁNICAS DEL TERCARIO: Son coladas de lava de variada composición mineralógica, generalmente fracturadas, tipo andesitas, riolitas y basaltos. Estos afloramientos de rocas se encuentran distribuidos en todo el Valle de la Ciudad Capital.

CALIZAS DEL CREATÁCICO: Estas rocas se encuentran localizadas principalmente en la región norte de la cuenca del río las Vacas. Los afloramientos existentes muestran una intensa fracturación y en algunos casos prestan indicios de karstificación. Se considera que gran parte del basamento en la parte norte está formado por dichas rocas.

A continuación se puede ver un mapa delimitando el área específica de estudio, en la cual se puede apreciar la geología exacta del área, según estudio del INSIVUMEH, el IGN y el PNUD realizado en 1978.



En el mapa antes presentado se puede ver la variedad de la geología del área, la cual se explica a continuación:

Qpf: Sedimentos eólicos, flujos de ceniza, sedimentos fluviales y lacustres

Qp: Sedimentos eólicos, fundamentalmente cenizas

Tl : Lava basáltica andisítica y riolítica

Tp : Toba soldada con sedimento

Los cuatro grupos antes mencionados son del período Cenozoico de las eras Cuaternario (comienzan con Q) y terciario (comienzan con T).

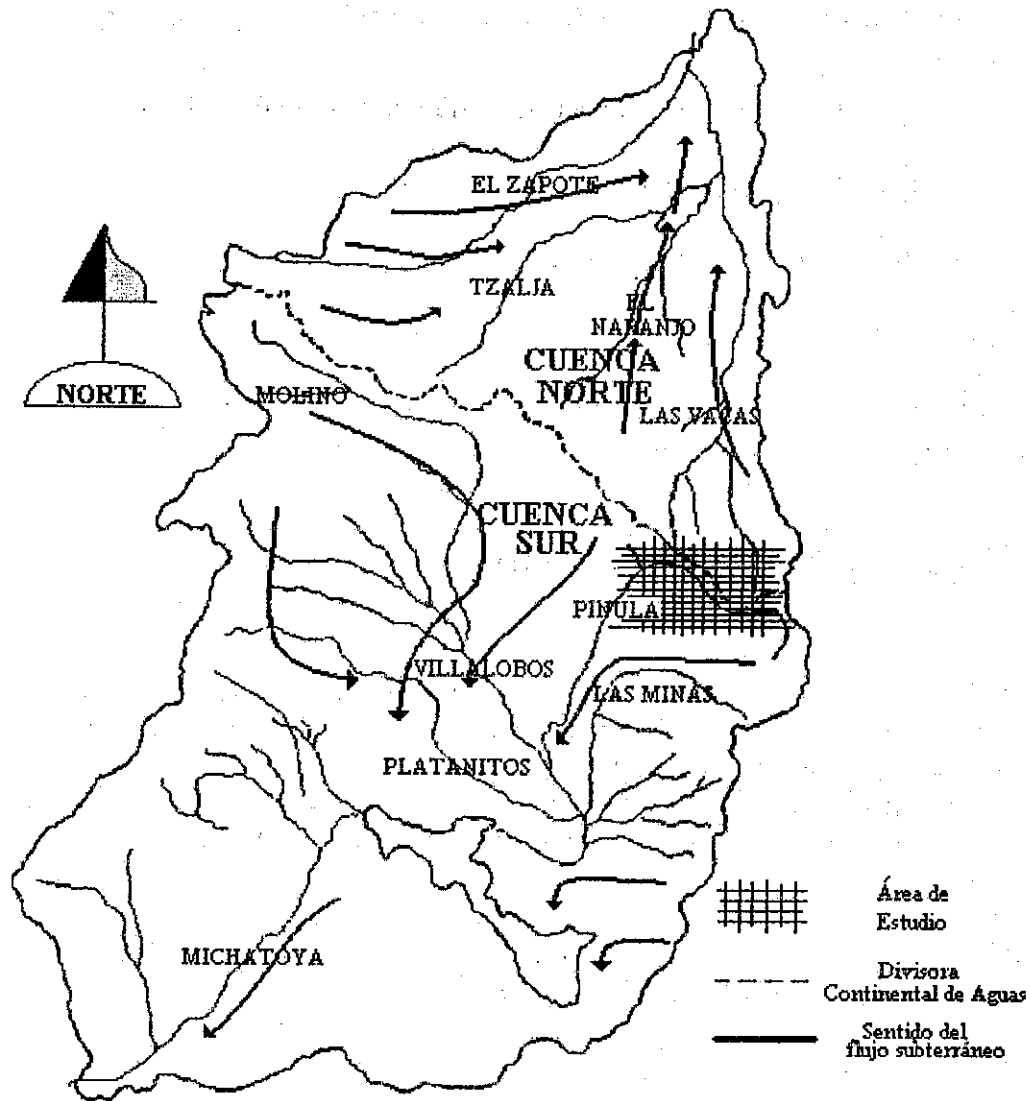
3.3- ESCURRIMIENTO SUBTERRÁNEO

De acuerdo a la información obtenida del estudio del agua subterránea del Valle de Guatemala realizada por el INSIVUMEH, el escurrimiento del agua subterránea está condicionado por la forma de la superficie freática, que en general tiene una forma similar a la superficie del terreno. Parte del flujo del agua subterránea del área se dirige a algunos cauces superficiales, para formar los caudales bases de los ríos que escurren en el valle de Guatemala.

En el caso específico de la cuenca sur, el agua subterránea escurre desde los extremos oriental y occidental del área y desde la divisoria continental hacia el lago de Amatitlán. Para el caso de las aguas subterráneas que escurren en el lado oriental del volcán de Agua, en el lado occidental del Volcán de Pacaya y la descarga subterránea del lago de Amatitlán fluyen en dirección del valle del río Michatoya.

Con respecto a la cuenca norte, el agua subterránea escurre desde la divisoria continental de aguas y de los extremos este y oeste, en dirección del río las vacas, siguiendo las características morfológicas y topográficas, en términos generales, la salida del agua subterránea en la sub cuenca norte sigue la orientación del río las Vacas.

A continuación se presenta una gráfica del escurrimiento subterráneo antes descrito.



Como se puede apreciar el área de estudio está al principio del escurrimiento subterráneo de la gran parte del área, por lo que se puede asumir que el área que le sigue tiene el mismo o mayor porcentaje de minerales en su corriente.

4.- IDENTIFICACIÓN DE LOS CONTAMINANTES

El presente trabajo está enfocado a identificar el problema de contaminación que existe en el área sur-occidente del departamento de Guatemala.

El área de estudio fue alrededor de la Carretera a El Salvador, partiendo desde el Km. 6 (Centro Comercial La Pradera) hasta el kilómetro 18, incluyendo algunos abastecimientos en los alrededores de carretera a Santa Catarina Pinula.

Se realizaron 8 pruebas en pozos del área, en los cuales se obtuvieron los siguientes resultados:

PARAMETRO	Límite Máximo Aceptable	Dimensionales	Total de Pruebas	Pruebas Contaminadas	Pruebas No Contaminadas	Porcentaje Contaminado
pH	6.5 - 8.5	Unidades	8	7	1	87.50%
Color	5	Unidades	8	2	6	25.00%
Calcio	75	mg/L	8	1	7	12.50%
Dureza	100	mg CaCO ₃ /L	8	5	3	62.50%
Hierro Total	0.1	mg/L	8	8	0	100.00%
Manganeso	0.05	mg/L	8	6	2	75.00%
Nitratos	45	mg/L	8	0	8	0.00%
Nitritos	0.01	mg/L	8	1	7	12.50%
Magnesio	50	mg/L	8	0	8	0.00%
Turbiedad	5	Utn	8	3	5	37.50%

El procedimiento para obtener el porcentaje contaminado de las pruebas se llevó a cabo de la siguiente manera: se procedió a extraer una muestra de los pozos antes mencionados, para luego proceder a un análisis de laboratorio. Se verificó cuáles de los parámetros excedían los límites de agua potable para los parámetros antes mencionados. Finalmente se dividieron las pruebas contaminadas entre el total de pruebas, obteniéndose el porcentaje descrito en la tabla.

Como puede verse existe un alto nivel de contaminación en los parámetros de Dureza, Hierro Total y Manganeso, por lo cual a estos tres parámetros se les dará una atención especial presentándose una solución para cada uno y analizar los resultados con el tratamiento planteado. El pH puede ser que se encuentre dentro del Límite Máximo Aceptable que señala la tabla, pero debido a su alta influencia entre los tratamientos posibles se analizará la forma de ser regulado. Existen algunos parámetros muy bajos en su nivel de contaminación, pero éstos a su vez influyen en otros parámetros, por lo que serán igualmente analizados.

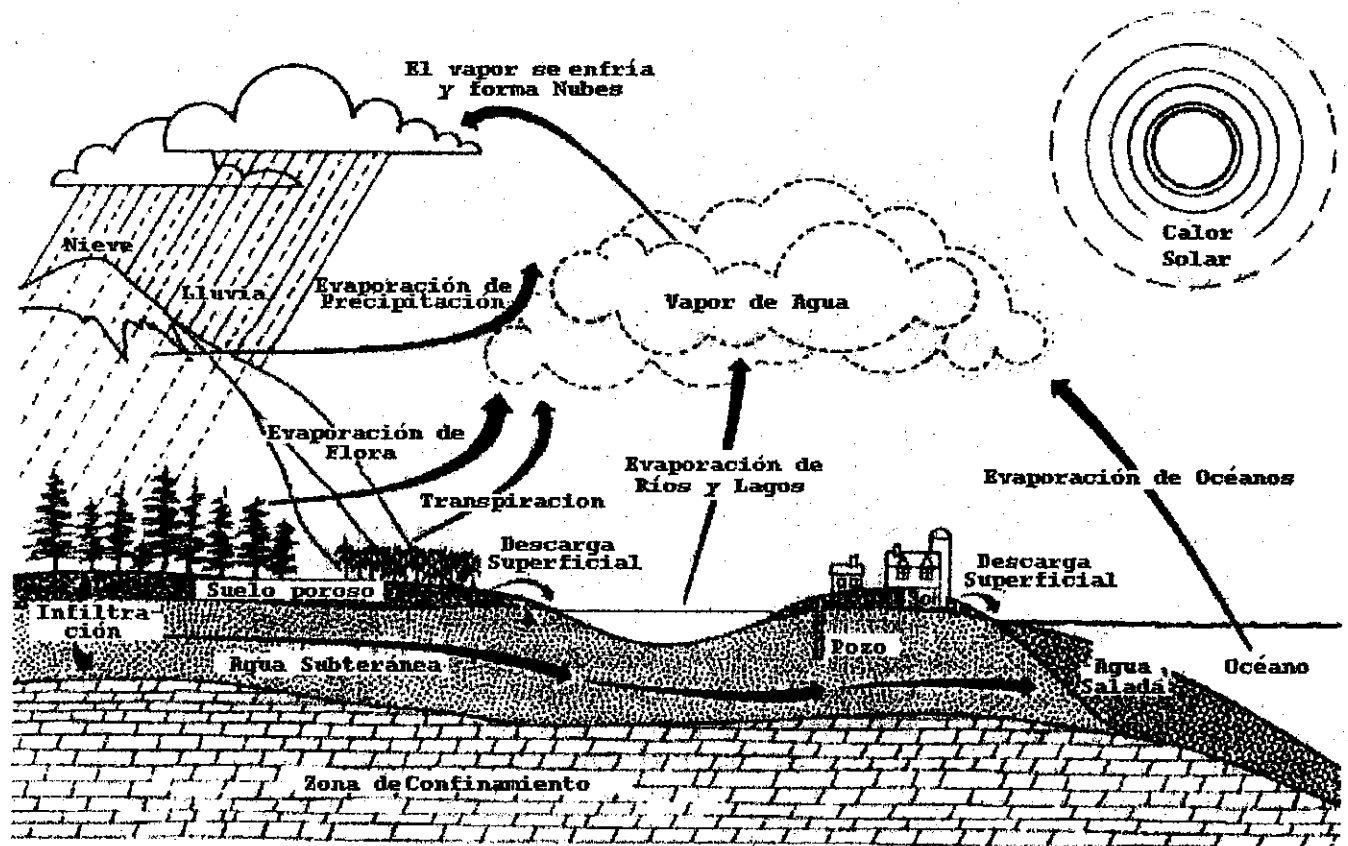
Se dará un enfoque general en la contaminación del agua y las causas de la misma. Dándose un enfoque detallado en los parámetros antes mencionados.

Se explicará el Ciclo Hidrológico para poder entender la procedencia del agua y en qué punto del mismo el agua puede llegar a contaminarse.

5.- CICLO HIDROLÓGICO.

La cantidad del agua que se encuentra en la Naturaleza es muy variable y depende fundamentalmente de las condiciones geográficas, geológicas y climáticas; de la oportunidad que tenga para disolver gases, sustancias minerales y orgánicas, o para mantenerlas en suspensión o en estado coloidal; de su temperatura, volumen, flora microbiana, y de la contaminación producida por las actividades propias de la colectividad.

El agua forma parte de un ciclo hidrológico. El concepto de ciclo hidrológico engloba la circulación del agua en la Naturaleza: desde el mar, masas o cursos de agua a la atmósfera, de la atmósfera a la tierra y de la tierra al mar, a través de escurrimientos superficiales o subterráneos; existen diversas variantes secundarias que se ilustran en la figura siguiente:



La hidrología (Hydro: agua, Logos: ciencia) es la ciencia que trata de las características, distribución y comportamiento del agua en la Naturaleza. Está íntimamente relacionada con otras ciencias que abarcan parte de su campo de estudio, o que tratan el tema desde otros ángulos: Oceanografía, Meteorología, Geología, etc. El ciclo hidrológico, especialmente superficial y subterráneo y retorno del agua a la atmósfera, es el tema central de la Hidrología.

5.1- FUENTES DE AGUA DISPONIBLES

En la naturaleza se encuentran disponibles las fuentes de agua:

- Atmosférica
- Superficial
- Subterránea o Subsuperficial
- Mar.

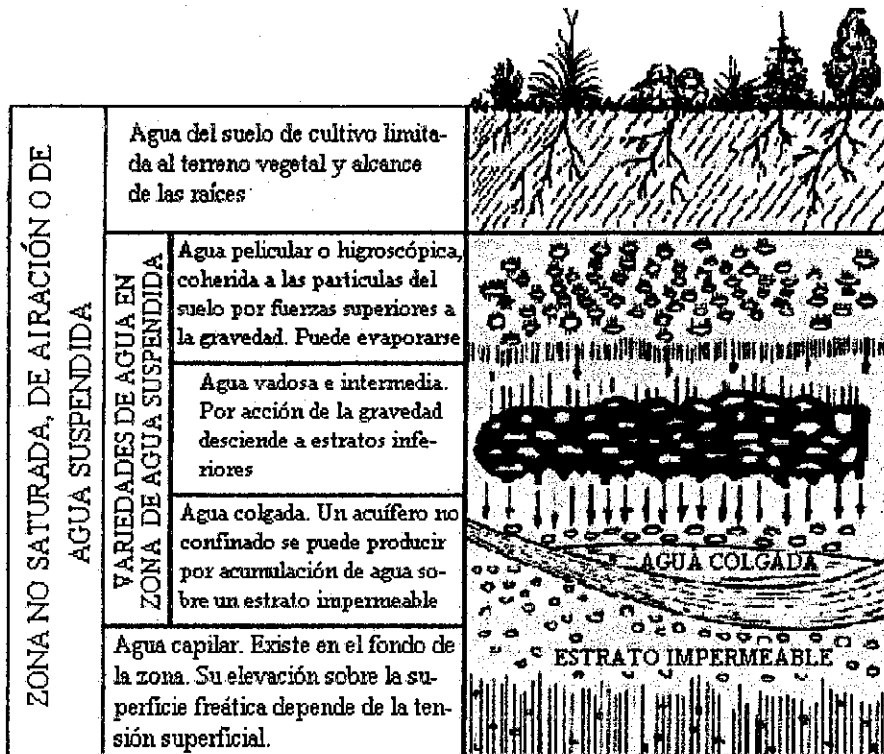
Éstas se emplean para el consumo humano, industrial, agrícola, etc., con tratamiento o sin él, conforme a las necesidades y características locales.

Dado que este trabajo se centra principalmente en el Agua Subterránea, a la misma se le dará un enfoque más profundo.

Agua Subterránea: El agua de precipitaciones, de cursos y masas de agua, penetra a través de la porosidad de las partículas que constituyen el suelo, mediante el proceso denominado infiltración.

Existen dos tipos de zonas: una saturada y otra no saturada de agua, como se muestra en las siguientes figuras:

ZONA NO SATURADA



ZONA SATURADA:

ZONA SATURADA DE AGUA SUBTERRÁNEA O FREÁTICA	Agua libre o no confinada. Se encuentra bajo la superficie freática.	
	Agua confinada o artesisiana. Se encuentra bajo un estrato impermeable.	
	Agua subterránea fija. Es la que llena los poros subcapilares de arcillas, limos, etc.	
	Agua connata o congénita. Es la que queda incorporada a las rocas durante su formación.	

En la zona no saturada se distinguen los siguientes tipos de agua:

- a) agua del suelo de cultivo, limitada al terreno vegetal y al alcance de las raíces de las plantas;
- b) agua pelicular o higroscópica, adherida a las partículas del suelo;
- c) agua vadosa o intermedia; circula a través del medio poroso, pero sin saturarlo;
- d) agua colgada; Se presenta dentro de una zona no saturada del terreno donde aparece un estrato impermeable y que ocasiona que el suelo se sature por acumulación de agua.
- e) agua capilar; existe en contacto con la zona de saturación. Su altura depende fundamentalmente de la granulometría del suelo;

En la zona saturada (agua subterránea, o agua freática) se halla:

- a) agua libre o no confinada, cuyo nivel está bajo y adyacente al agua capilar. Se encuentra a la presión atmosférica;
- b) agua confinada o artesisiana, cuya presión es superior a la atmosférica. Está comprimida por estratos impermeables (al perforar un pozo el agua sube a través de la capa impermeable)
- c) el agua fija satura los poros subcapilares de arcillas, limos, etc.
- d) agua connata o congénita, la que queda incorporada en las rocas durante su formación.

El agua subterránea se desplaza por las porosidades del terreno, escurrimiento subterráneo y puede aflorar formando vertientes o alimentar cursos de agua. Parte del agua subterránea se evapora y parte llega al mar.

El agua subterránea al escurrir a través de las diferentes capas de terreno entra en contacto con sustancias orgánicas e inorgánicas, algunas de ellas muy solubles. Debido a la descomposición de materia orgánica el agua puede contener nitritos o nitratos. Tiene bajo contenido de oxígeno disuelto y alto de dióxido de carbono (CO_2), por lo tanto disuelve Hierro (Fe^{++}) y Manganese (Mn^{++}). El anhídrido sulfuroso se puede encontrar asociado con descomposición de materia orgánica, falta de oxígeno o reducción de sulfatos. Está sujeta a contaminación, a pesar de que por filtrado se reduce la flora bacteriana. Por lo general, es clara, sin olor y más dura que la superficial.

La zona saturada (agua subterránea propiamente dicha) puede dar origen a una serie de servicios de agua potable para atender desde viviendas aisladas hasta poblaciones que tienen consumos importantes.

Las vertientes o manantiales generalmente dan aguas claras, de escaso caudal y pueden estar contaminadas, especialmente cerca de poblaciones.

Las norias son excavaciones hechas en el terreno que se profundizan hasta encontrar el acuífero de donde se extrae el agua mediante bombeo. El agua es semejante a la de la vertiente, pero con probabilidad de que se contamine. Normalmente producen un gasto reducido.

El agua de pozo se capta a mayor profundidad que la de noria. Está menos influida por las áreas adyacentes. Las características de esta agua dependen fundamentalmente de la calidad del terreno y de la profundidad del acuífero. En términos generales, cuanto más profundo, más abundante y mayor es el contenido de sales minerales. Son claras, ricas en calcio y magnesio, y a menudo contienen hierro y manganeso. Algunas son ricas en dióxido de carbono (CO₂) y anhídrido sulfuroso; otras, en sulfatos, cloruros y carbonatos. Desde el punto de vista bacteriológico son inocuas, si no han recibido recarga de agua contaminada. El agua freática también da origen a galerías de infiltración o sistemas de drenajes utilizados para abastecimientos de agua públicos o privados. El acuífero confinado puede producir pozos artesianos por perforación del estrato impermeable.

5.2- PRECIPITACIÓN:

El agua se encuentra como vapor de agua, en estado líquido, pequeñas partículas suspendidas, nubes o neblinas, o en forma de lluvia; y en estado sólido, nieve o granizo.

Se produce la precipitación cuando se condensa el vapor de agua. Tal fenómeno ocurre al sobrepasar su condición de saturación, en presencia de núcleos de condensación que sirvan para formar gotas o cristales de hielo. La saturación corresponde a la presión ejercida por el máximo contenido de vapor de agua a una temperatura dada. La presencia ejercida por el vapor de agua es independiente de los otros gases presentes en la atmósfera. La presencia de vapor de agua está dada por la siguiente expresión:

$$e = p - p' \quad \text{donde} \quad \begin{array}{l} e = \text{presión del vapor de agua} \\ p = \text{presión del aire húmedo} \\ p' = \text{presión del aire seco} \end{array}$$

Es frecuente referirse a la humedad relativa, que corresponde a la relación porcentual entre la presión de vapor y su presión de saturación. La humedad relativa está dada por la formula $Hr = e/es$ o, en otros términos, es la relación porcentual para una temperatura determinada, entre la humedad que tiene el aire en relación con la humedad de saturación.

En términos generales, la condensación del vapor de agua para la formación de nubes y la consiguiente precipitación, se debe al enfriamiento (a la temperatura más baja que la de saturación) de las masas de aire que ascienden.

La medida de la precipitación se basa en la altura vertical que alcanza el agua de lluvia al caer sobre una superficie horizontal sin escurrimiento. El dispositivo más sencillo para hacer estas mediciones recibe el nombre de pluviómetro, el cual registra el agua precipitada en mm para luego crear una tabla donde se registre la cantidad de agua precipitada por día, mes o año.

5.3- EVAPORACIÓN

Desde el punto de vista hidrológico evaporación es el proceso mediante el cual el agua pasa del estado líquido al estado gaseoso.

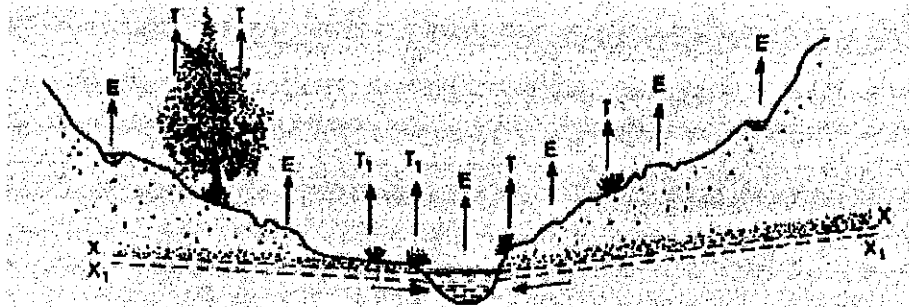
El vapor de agua atmosférico proviene de la evaporación de cursos y masas de agua, del suelo, de la vegetación y de la transpiración de las plantas, esta última, se conoce como evapotranspiración.

La evaporación al igual que la precipitación se mide en mm. y los aparatos para realizar estas mediciones se llaman Evaporímetros. Las mediciones del evaporímetro originan resultados mayores que la evaporación de las masas de agua; por consiguiente, se recomienda usar un coeficiente de reducción de 0.7

5.4- ESCURRIMIENTO

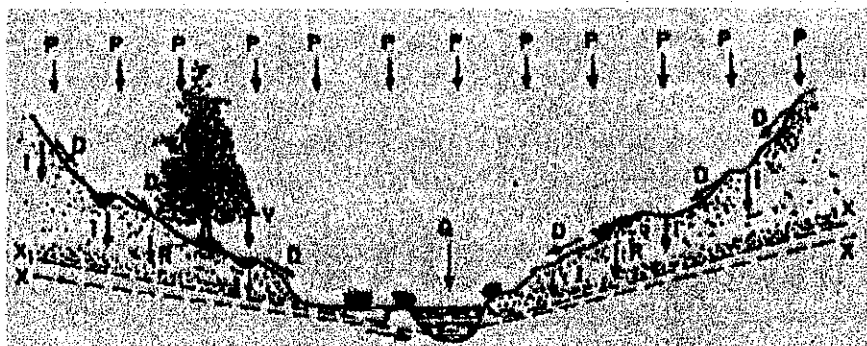
Con el propósito de visualizar la relación entre el escurrimiento de aguas superficiales y subterráneas, se representa a través de las siguientes figuras las distintas fases que solo corresponden a una simplificación de fenómenos complejos, influidos por las temperaturas y condiciones climáticas y de terreno.

5.4.1- PERÍODO SIN PRECIPITACIONES



En esta figura se muestra la relación que existe entre el escurrimiento superficial y subterráneo con la influencia de otros factores. Mediante el descenso del nivel del acuífero representado por la curva al nivel XIX1, éste alimenta el curso del agua. En este período se observa la transpiración de los vegetales (T) y la evaporación del agua superficial (E) y de la zona de aireación (T1) de las aguas subterráneas.

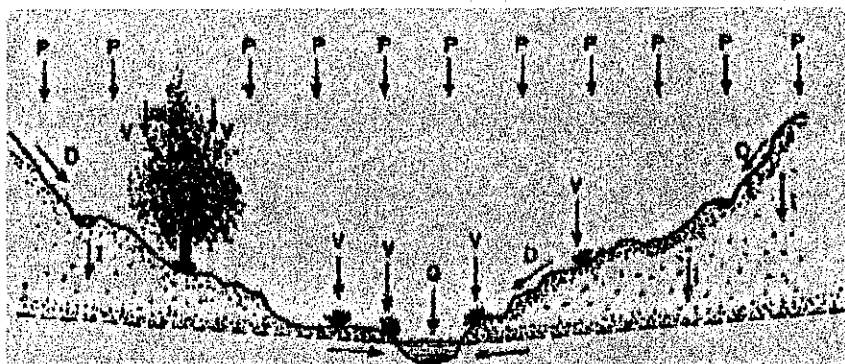
5.4.2- PERÍODO INICIAL DE PRECIPITACIÓN



En la figura anterior se representa la relación entre el escurrimiento superficial y subterráneo. Parte de la lluvia es interceptada por la vegetación (V), otra parte llega al suelo y escurre hasta un curso de agua (D), o se filtra (I), aumentando el agua de la zona de aireación. La transpiración y evaporación son muy pequeñas o no se producen, si no se satisface la capacidad de almacenamiento de humedad en la zona de aireación, seguramente no habrá incremento significativo del nivel del acuífero.

5.4.3- PERÍODO DE PRECIPITACIONES

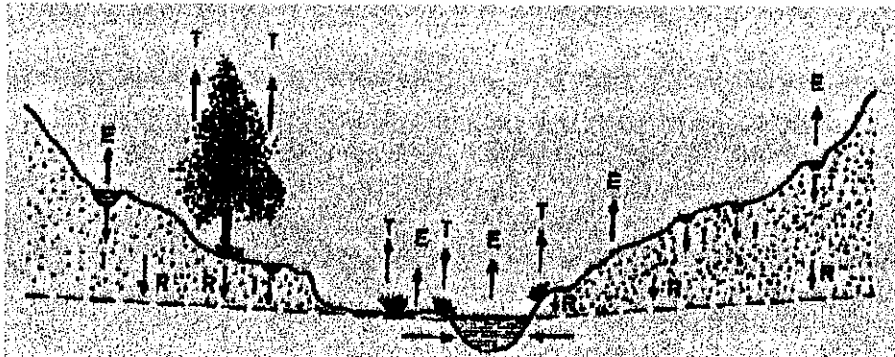
En este período la vegetación ya no podrá retener más agua y escurrirá a través de ella al suelo (V), se incrementa la descarga a cursos de agua (D), continuará la infiltración (I), produciendo una elevación del nivel del acuífero de XX a X'X' (recarga R), como se muestra en la siguiente figura.



El gasto Q de los cursos de agua puede aumentar enormemente y también ser un factor de recarga adicional del acuífero, especialmente en la zona vecina a la ribera.

5.4.4- PERÍODO POSTERIOR A LA PRECIPITACIÓN

Se inicia la evaporación (E) y la transpiración (T). El agua acumulada en depresiones del terreno o en cursos de corta duración se evapora (E), se infiltra (I), o alimenta a cursos permanentes (Q), como se muestra en la siguiente figura.



De acuerdo a lo anterior el agua que llega al acuífero ha pasado por el mar, la atmósfera, suelo, subsuelo compuesto de diferentes formaciones geológicas y en varias ocasiones infiltración de agua proveniente de almacenamiento superficiales susceptibles de contaminación por desechos urbanos, particulares e industriales, lo que influye en la calidad final del agua subterránea.

6.- CALIDAD Y CARACTERÍSTICAS SANITARIAS DEL AGUA

La salubridad de un pueblo depende, entre otros factores, de la cantidad y calidad del agua, la cual debe ser suficiente para sus necesidades y constituye el auténtico cimiento del urbanismo.

Para que el agua pueda considerarse apta para la bebida y reúna las características mencionadas antes, debe garantizarse su potabilidad, debe cumplir con ciertos requisitos o normas que conciernen a las características físicas, químicas y bacteriológicas.

6.1- CARACTERÍSTICAS FÍSICAS

Las características físicas son las que más impresionan al consumidor; sin embargo, tienen menor importancia desde el punto de vista sanitario. Ellas son: color, turbiedad, olor y sabor y temperatura.

COLOR: El color es la impresión ocular producida por las materias del agua. Precisa distinguir el color aparente del color verdadero. El primero resulta ligado a la turbiedad. El color verdadero depende de las sustancias minerales disueltas, especialmente sales de hierro y manganeso y materias coloidales de naturaleza orgánica. El agua debe ser incolora, a pesar de que en grandes masas toma una coloración azulada, a veces verdosa. En la coloración influyen, además de la presencia de sales minerales en disolución y materias coloidales, las algas microscópicas, tierra arcillosa, residuos industriales y putrefacción de materias orgánicas.

Se determina el color por comparación con colores patrones según la escala de platino - cobalto, que toma como unidad de color la producida por 1 mg de platino (en forma de ion cloroplatinado) por litro de agua.

TURBIEDAD: La turbiedad del agua se debe esencialmente a materias en suspensión, tales como arcilla y otras sustancias inorgánicas finamente divididas, o materias similares, y organismos microscópicos. Se mide por comparación con patrones convencionales a través de un instrumento llamado turbidímetro (medida en Unidades Nefelométricas de Turbiedad, Utn). El límite máximo aceptable para el agua potable es de 5 Utn. Las aguas turbias tienen desagradable presentación estética y son rechazadas por el consumidor. Se elimina la turbiedad a través de tratamientos especiales.

OLOR Y SABOR: Olor es la impresión producida en el olfato por las materias volátiles contenidas en el agua. Sabor es la sensación gustativa que producen las materias contenidas en el agua. Los sentidos del gusto y del olfato, aunque distintos, están

íntimamente relacionados; referente al agua, muchos de los llamados sabores son, en realidad, olores.

La clasificación que se hace en término de olor se usa para describir los atributos del agua para beber que puedan afectar los sentidos del olfato y del gusto.

Los olores de las aguas naturales se clasifican en cuatro grupos:

- a) Olores causados por materias orgánicas naturales descompuestas. Estos olores se dividen en olor vegetal u olor producido por la putrefacción de materia orgánica. La mayor parte del olor vegetal del agua superficial la causa la vegetación coloidal. El olor a tierra es originado por partículas muy finas de materia orgánica y barro. Las aguas contaminadas pueden tener olor muy desagradable, dependiendo del estado y avance de la descomposición de la materia.
- b) Olores causados por organismos vivos. La producción de este olor se debe en gran parte a las algas y otros microorganismos, y afecta a grandes masas de agua. En muchos casos se debe al aceite y sustancias que ellas producen.
- c) Olores causados por gases o combinación de ellos. La presencia de gases, tales como el amoniaco, que se forma en la descomposición de la proteína; el hidrógeno sulfuroso (H_2S), que resulta de descomposición de los compuestos orgánicos con azufre y otros gases añaden al agua sabor y olor desagradables.
- d) Olores causados por residuos industriales.

Ciertas sales y residuos pueden dar al agua olor y sabor muy desagradables, en especial los fenoles o compuestos fenolicos, que le dan olor o sabor a yodoformo.

El olor se mide por el " ensayo de olor incipiente ", que consiste en diluir el agua hasta que el olor desaparezca. Así por ejemplo, si para que el olor desaparezca se requiere diluir 25 c.c. del agua problema en agua sin olor, hasta completar 250 c.c., el olor incipiente es 10. El agua potable no debe tener olores ni sabores desagradables al consumidor.

TEMPERATURA: La temperatura del agua en verano debe ser inferior a la temperatura ambiente, y en invierno debe ocurrir lo contrario. Se estima que una temperatura del agua entre 5° y 15° C. es agradable al paladar.

La temperatura desempeña un papel en el ciclo hidrológico y en ciertos procesos de tratamiento. Sin embargo, no sería posible, por razones obvias, modificar la temperatura del agua en una planta de tratamiento para hacerla más agradable a los consumidores.

El máximo de densidad del agua se tiene a la temperatura de 4° C. sobre cero. Si ésta continúa bajando el volumen del agua se incrementa levemente, hasta que se solidifica (0° C.). En este caso aumenta sensiblemente el volumen, su fuerza de dilatación llega a ser tal que puede romper las cañerías de distribución.

Por debajo de los 15 cm. de profundidad en el suelo, la temperatura deja de ser influida por las oscilaciones estacionales y diurnas de la superficie, manteniéndose una temperatura media del lugar, y por consiguiente las aguas

captadas a esa profundidad tienen la temperatura correspondiente a esa temperatura media o temperatura influenciada por fenómenos geológicos.

6.2- CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS:

Las sustancias minerales contenidas en el agua deben quedar comprendidas entre los límites que la experiencia ha encontrado necesario o tolerante para el consumo humano, los cuales en su mayor parte han sido fijados por normas.

Las cantidades máximas, de sustancias químicas en disolución que permiten las normas guatemaltecas para agua potable, están contenidas en la norma COGUANOR NGO 29001.

Los componentes químicos del agua tienen menor significación desde el punto de vista sanitario que industrial o económico, por cuanto ciertos procesos requieren cantidades mínimas de sustancias en solución para la elaboración de sus productos, u originan una serie de inconvenientes que redundan en mayor costo o en procesos incrustantes o corrosivos de los elementos constituidos de los servicios o unidades.

El agua químicamente pura es la combinación del oxígeno e hidrógeno. Se obtiene en el laboratorio por el fenómeno de electrólisis. También se forma durante tempestades eléctricas.

Los elementos más importantes que se encuentran en el agua natural y que producen alcalinidad, dureza y calidad salina, pueden subdividirse en cuatro grupos:

- a) Grupo 1. Producen solamente alcalinidad:
 - Carbonato de potasio - K_2CO_3
 - Bicarbonato de potasio - $KHCO_3$
 - Bicarbonato de sodio - $NaHCO_3$
 - Carbonato de sodio - Na_2CO_3
- b) Grupo 2. Producen dureza carbonatada y alcalinidad:
 - Carbonato de calcio - $CaCO_3$
 - Carbonato de magnesio - $MgCO_3$
 - Bicarbonato de calcio - $Ca(HCO_3)_2$
 - Bicarbonato de magnesio - $Mg(HCO_3)_2$
- c) Grupo 3. Producen calidad salina y dureza no carbonatada:
 - Sulfato de calcio - $CaSO_4$
 - Cloruro de calcio - $CaCl_2$
 - Nitrato de calcio - $Ca(NO_3)_2$
 - Sulfato de magnesio - $MgSO_4$
 - Cloruro de magnesio - $MgCl_2$
 - Nitrato de magnesio - $Mg(NO_3)_2$
- d) Grupo 4. Producen calidad salina, pero no dureza:
 - Sulfato de potasio - K_2SO_4
 - Cloruro de potasio - KCl
 - Nitrato de potasio - KNO_3
 - Sulfato de sodio - Na_2SO_4

Cloruro de sodio	- NaCl
Nitrato de sodio	- NaNO ₃

Los efectos fisiológicos, molestias al organismo o trastorno que originan los constituyentes químicos del agua se pueden resumir en los siguientes términos (se mencionaran solo a los que no se les dedicó un capítulo en este trabajo).

FENOL: El máximo admisible dado por las normas es de 0.001 mg/L. En las fuentes de abastecimiento solo se encuentra como proveniente de los residuos industriales líquidos, vaciados a cursos de agua. Una pequeña concentración en presencia de cloro produce un gusto muy desagradable.

ARSÉNICO: El máximo admisible es de 0.05 mg/L. Se encuentra en pequeñísimas cantidades, salvo algunas excepciones. Puede aumentar por descarga de residuos industriales o por arrastre a cursos de agua de arseniato de plomo, usado en la desinfección de árboles frutales. No se han registrado envenenamientos por arsénico por consumo de agua. Se encontró que en 1943, una parte de la población de Los Angeles, consumió, por espacio de varios meses, agua potable con una concentración de 1 mg/L de arsénico, sin registrarse envenenamientos o intoxicaciones.

SELENIO: El máximo admisible es de 0.01 mg/L. Normalmente su presencia no es significativa en los servicios de agua. Suele encontrarse con mayor frecuencia en los abastecimientos de agua rural (pozos, norias y vertientes). Depende principalmente de la constitución del suelo.

PLOMO: El máximo admisible 0.05 mg/L, no se presenta en los abastecimientos de agua natural. Puede existir en aguas que procedan de terrenos calizos, con vetas de galena o por aportación de minas. Se agrega accidentalmente, ya sea por residuos industriales, o por el uso de accesorios o soldaduras en las cañerías de distribución. El aumento de sales de plomo en el agua puede traer principios de envenenamiento.

FLÚOR: Máximo admisible, 1.5 mg/L. Procede de centros volcánicos y de rocas de formación ígnea. El efecto del flúor se produce durante el desarrollo del niño hasta los nueve años, período en que los dientes están en calcificación. La dosis para notar el efecto debe ser superior a 1.5 mg/L de flúor, haciéndose muy marcadas de 3 a 6 mg/L. Efectos tóxicos inmediatos no ocurren sino con altas concentraciones. Una dosis de 115 mg/L de fluoruro de sodio es muy tóxica y 2,000 mg/L es mortal.

La concentración de fluoruro presente en el agua se reduce por el proceso de cal sosa. El Hidróxido de Magnesio (Mg(OH)₂) formado absorbe el flúor, mas para ello necesita altas concentraciones de Magnesio. En caso que no tenga, se agrega Sulfato de Magnesio (MgSO₄).

Otro procedimiento es hacer pasar el agua a través del fosfato tricálcico.

Investigaciones epidemiológicas posteriores demostraron que para la formación del diente se necesita flúor. Llegándose a la conclusión de que dosis de 0.6 a 1.5 mg/L son suficientes, y se comprobó que donde el agua contiene una concentración de flúor que varía de 1 a 1.5 mg/L los dientes acusan 60% de reducción en las caries.

- COBRE:** Máximo admisible 0.05 mg/L. El agua, en la naturaleza, solo acusa indicios de este metal, y en el agua potable proviene generalmente de la acción corrosiva de ella sobre los accesorios o cañerías de cobre o bronce, y del Sulfato de Cobre (CuSO₄), que ha sido aplicado para el control de algas. El cobre en el agua no es problema natural para la salud pública. En concentraciones que afecten al organismo, toma un sabor muy desagradable que la hace imbebible.
- CINC:** Máximo admisible 5 mg/L. Al igual que el cobre, solo presenta indicios en los cursos naturales. Puede proceder de la aportación de aguas de minas. En el agua potable se deriva de la acción corrosiva sobre las cañerías de hierro galvanizado o bronce. El exceso produce un sabor desagradable.
- CLORURO:** Máximo admisible 200 mg/L. Las normas han fijado esta cantidad más bien por razones de potabilidad que por los efectos fisiológicos que pudiera producir. En combinación con otras sales produce sabores desagradables cuando la concentración es mucho mayor. Sin embargo, en la industria pesada se agrega Cloruro de Sodio (NaCl) al agua bebida hasta completar 600 mg/L de cloruro, para compensar la pérdida por evaporación.
- SULFATO:** Máximo admisible 200 mg/L. Es de significación el radical sulfato solo cuando va asociado con agua de tal mineralización que produce un efecto laxante.
- YODO:** El agua natural contiene cantidades insignificantes. Su ausencia tiene significación en la enfermedad del bocio. Se estima que en la vida normal del hombre se necesita ingerir de 0.05 a 0.1 mg de yodo por día. En algunas partes agregan el yodo al agua, pero se dejó de aplicar porque se estableció que el yodo debe darse como medicamento. Hoy en día hay tendencia a aplicar yodo al agua potable con propósitos de desinfección y control de bocio, pero es preferible el uso del cloro.

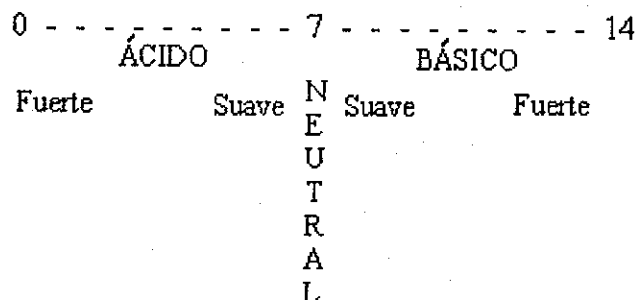
6.3- CARACTERÍSTICAS BIOLÓGICAS DEL AGUA:

El agua de lluvia a través de su paso por la atmósfera, arrastra los microorganismos que hay en suspensión. El agua superficial mantiene y lleva bacterias, protozoos, algas y especies animales superiores. Además, es portadora de materias orgánicas en estado natural o en descomposición, detritos humanos y de animales. Algunos de los microorganismos son patógenos para el hombre.

Los organismos que se encuentran en el agua son demasiado numerosos, desde los vertebrados hasta los virus submicroscópicos, y por consiguiente solo se mencionarán aquellos que tienen real significación en relación con la contaminación bacteriológica del agua. Se le dará un enfoque más profundo a este problema en el capítulo "Impureza Biológica del Agua".

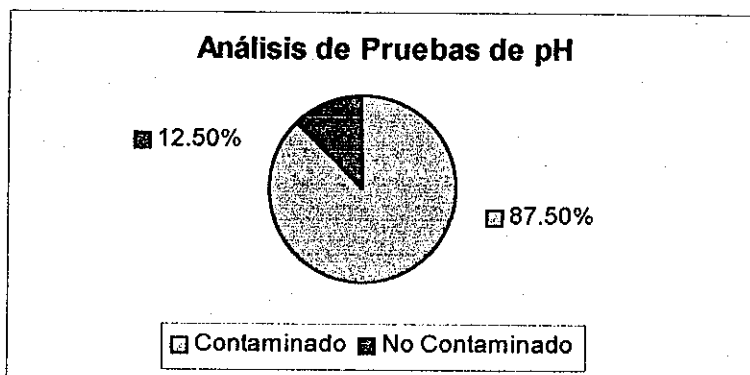
7.- EL POTENCIAL HIDRÓGENO (pH) O GRADO DE ALCALINIDAD DEL AGUA

El potencial hidrógeno (pH) es el valor para medir el grado de Alcalinidad del agua. Si la muestra del agua no es "Acida" o "Alcalina" se le considera neutral. El agua debe tender a ser neutral o estable; es decir: que no sea corrosiva ni incrustante. Si el valor del pH varía se tendrán los problemas de incrustaciones o corrosión, es decir contaminación por pH. Valores de 0F-7s son considerados ácidos (se dará la corrosión) y los valores de 7s-14f son considerados alcalinos o básicos (se presentará incrustación).



El pH simboliza el logaritmo del recíproco de la concentración de iones de Hidrógeno, expresado en gramos por litro. Una concentración ácida es una sustancia que reacciona con el agua dando iones de Hidrógeno y una concentración básica es una que acepta iones.

El análisis del laboratorio, de los pozos de prueba, proporcionó la siguiente gráfica en la cual se puede observar que el 87.50 % (7 pozos de 8) tienen una contaminación en lo que al pH significa. Por esta razón se realizó un análisis al final del tratamiento para poder determinar la reducción de esta contaminación. Estos datos se presentan al final de este capítulo.



7.1- PRUEBA:

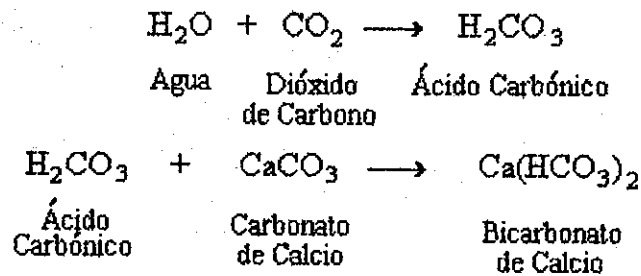
La prueba del pH es fácil de realizar y normalmente requiere solo un pequeño equipo de análisis, que normalmente no es muy caro. En un equipo pequeño normal de análisis, la forma de medir el nivel de pH es muy sencilla, solo se agrega cierto número de gotas de la solución reactiva a cierta cantidad de agua (depende del equipo de análisis), esta mezcla se agita por unos cuantos segundos y se compara el color, el cual debe ser homogéneo, que produce la reacción con un indicador de colores y se tiene el nivel de alcalinidad del agua. Sin embargo, se debe recordar que el pH es una escala logarítmica y que la diferencia de un punto al otro es de 10 veces mayor, es decir que un pH con un nivel de 5 es 10 veces más ácido que un pH de 6.

A continuación se presenta una tabla donde se muestran los diferentes niveles de pH y sus respectivos niveles de acidez y alcalinidad, para que se pueda ver con más facilidad lo antes expuesto.

TABLA EXPONENCIAL DEL VALOR DEL pH		
VALOR	ACIDEZ	ALCALINIDAD
0.0	100,000,000,000,000.00	1.00
1.0	10,000,000,000,000.00	10.00
2.0	1,000,000,000,000.00	100.00
3.0	100,000,000,000.00	1,000.00
4.0	10,000,000,000.00	10,000.00
5.0	1,000,000,000.00	100,000.00
6.0	100,000,000.00	1,000,000.00
7.0	10,000,000.00	10,000,000.00
8.0	1,000,000.00	100,000,000.00
9.0	100,000.00	1,000,000,000.00
10.0	10,000.00	10,000,000,000.00
11.0	1,000.00	100,000,000,000.00
12.0	100.00	1,000,000,000,000.00
13.0	10.00	10,000,000,000,000.00
14.0	1.00	100,000,000,000,000.00

7.2- CONTAMINACIÓN:

En la naturaleza el pH del agua superficial y subterránea varía enormemente. El agua es conocida por ser un disolvente universal. Cuando el agua cae a la tierra en forma de lluvia la misma absorbe dióxido de carbono (CO_2) que la vuelve ácida.



Cuando la lluvia ácida se filtra por el suelo la misma puede disolver varios minerales, que pueden existir en los estratos que atraviese. Si existe un depósito significativo de piedra caliza en el suelo, el ácido del agua lo disolverá elevando el pH del agua hasta transformarla a su estado básico.

7.3- EFECTOS

Hay muchos efectos por los cuales el pH debe ser controlado. Una concentración del agua fuertemente ácida o básica puede ser considerada corrosiva, esto significa que metales tóxicos pueden ser disueltos en el sistema de conducción de agua, lo cual puede causar serios problemas de salud o causar costosas reparaciones de tubería.

El pH también debe ser controlado, para que ciertos tipos de tratamiento de agua puedan llevarse a cabo. Por ejemplo en un sistema de aireación y oxidación, el valor del pH debe ser controlado para que el mismo funcione bien.

7.4- CORRECCIÓN

- PIEDRA CALIZA: Cuando el agua atraviesa un filtro conteniendo piedra caliza, el pH se elevará, resolviendo así el problema, pero debe permitírsele el suficiente tiempo de contacto para que pueda reaccionar. La dureza, utilizando este tipo de filtrado, podría elevarse debido a los iones de calcio contenidos en la misma. Este método es solo recomendado para rangos de 5 - 6.9.
- PIEDRA CALIZA Y ÓXIDO DE MAGNESIO: Trabaja igual que el anterior, pero la mezcla de ambos elementos sirve para poder trabajar rangos más bajos. Se utiliza para rangos de 4.5 - 5.5 y la mezcla de ambos elementos deberá ser de un 30% de Óxido de Magnesio, por un 70% de Piedra Caliza.
- INYECCIÓN QUÍMICA: Una mezcla de solución de soda cáustica puede ser utilizada para elevar el pH, es el método más efectivo pero el mismo requiere de mantenimiento.

Normalmente el problema más común con el pH es el de aumentar su nivel, pero se puede

dar el caso de que este nivel se tenga que reducir. Para estos casos la forma más efectiva de reducirlo es la inyección de una solución de vinagre blanco destilado. Podrían ser utilizados otros ácidos, pero los mismos deberán ser manejados con cuidado.

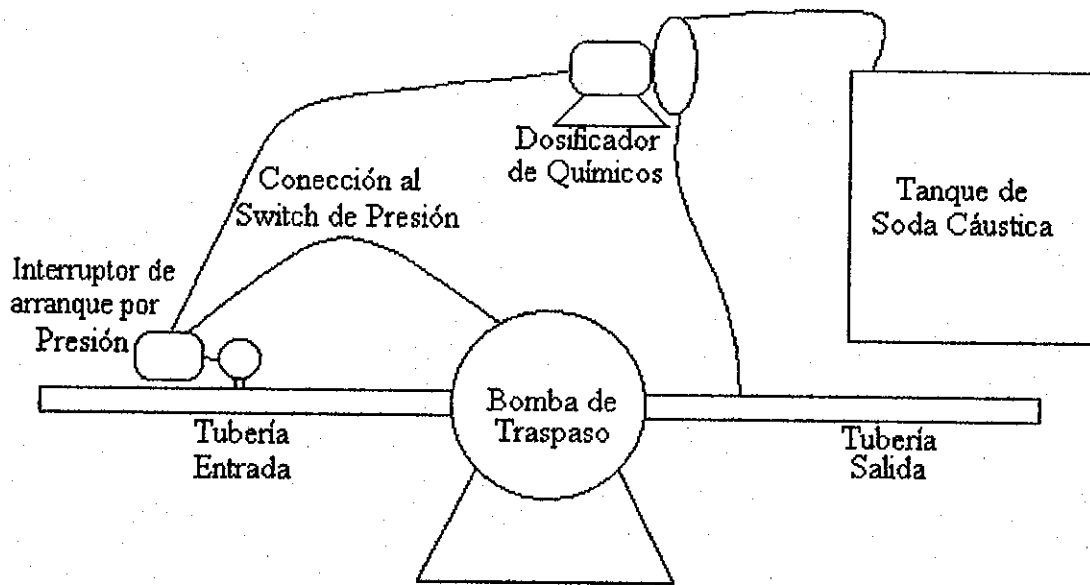
7.5- HIPÓTESIS

Para ejemplificar una forma de solucionar el problema se tomó como ejemplo el pozo número 5, en el cual el parámetro del pH se encontraba en 6.85, es decir 0.15 por debajo del mínimo para pasar las pruebas de potabilidad. Este pozo además tenía problemas en todos los parámetros que se tenían pensado analizar, por lo que se le instaló un equipo de tratamiento y se realizaron análisis para comprobar la efectividad de la solución planteada. Este nuevo análisis llevó a un nivel de 6.5 unidades de pH, por lo que el mismo debía ser corregido para que cumpliera con los niveles aceptables de potabilidad y para que las soluciones posteriores (eliminación de hierro) trabajaran mejor.

Para solucionar el problema se escogió la inyección química, la misma fue conseguida por medio de un dosificador químico, el cual inyectaba una solución de soda cáustica al flujo de agua, con lo cual se logró elevar el pH hasta 7.5, como lo muestra el análisis en el anexo.

El proceso de selección se inició con la identificación del problema para luego poder determinar la forma más adecuada de solucionarlo. Se escogió la inyección química, por el poco espacio que ocupaba el dosificador, y por que en el proyecto se contaba con una persona que quedaría encargada del sistema de tratamiento, la cual podría estar monitoreando que el depósito del cual succiona el dosificador no se quedara sin solución de soda cáustica.

Luego se procedió a instalar el equipo de dosificación en el sistema de traspaso de una cisterna a la otra. Se garantizaba el debido aprovechamiento del equipo al conectarlo a la bomba de traspaso, con lo que se lograba que el dosificador solo funcionara cuando era requerido, es decir, cuando fluya agua a través de la tubería. (Ver diagrama a continuación)



El siguiente cuadro muestra que la solución planteada resuelve al 100% el problema al colocarlo entre los límites aceptables de potabilidad y preparando el camino para el resto del tratamiento.

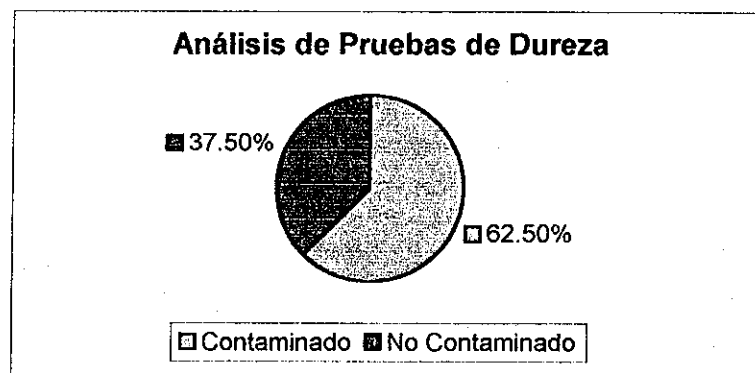
Parámetro	Dimensionales	Antes del	Después del	L.M.A.	Solucionado
		Tratamiento	Tratamiento		
PH	unidades	6.5	7.5	7.0 - 8.5	Satisfactoriamente

8.- DUREZA

La dureza es un problema común y serio, encontrado en la mayoría del agua subterránea del país. Es causado por la presencia de Iones de Calcio y/o Magnesio en el Agua. La presencia de estos Iones minerales puede dañar virtualmente la mayoría de usos que se le quiera dar al agua, debido a su tendencia a reaccionar con el calor, tubería metálica y agentes químicos.

La prueba de laboratorio indicó que el 62.5 % (5 pozos de 8) tenían algún grado de contaminación. Esto indicaba que con cualquier cambio de temperatura que experimentara el agua durante su sistema de distribución (uso doméstico) o su utilización (sistema industrial) provocaría incrustaciones. En el caso domestico las incrustaciones pueden darse en la tubería, en los baños, lavaplatos, cristalería, etc., provocando una pequeña película blanca, lo cual da una apariencia de mal lavado y de opaco en la cristalería. En el caso industrial el problema más común es en las calderas, donde se forma una capa dentro de los tubos de calentamiento, provocando que cada vez se necesite más funcionamiento de la caldera para lograr los mismos resultados.

Debido a la importancia de este parámetro y de la gran cantidad de influencia que el mismo tienen en calidad de agua, se realizó una prueba al finalizar el equipo de tratamiento. Este análisis se presenta al final de este capítulo.



8.1- PRUEBA

La prueba de dureza del agua debería ser necesaria para la mayoría de las fuentes de agua, debido a que varía de Suave a Dura. Los análisis de campo fueron diseñados para ser sencillos y rápidos. La presencia y severidad de la dureza están determinadas por:

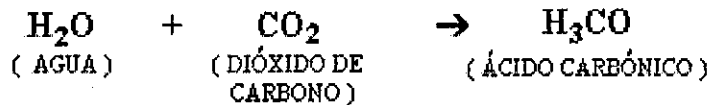
- 1) La presencia de minerales que producen dureza, cerca de la fuente del agua.
- 2) La solubilidad de estos materiales en el agua relacionada con la concentración de Dióxido de Carbono.
- 3) La duración del tiempo de contacto entre el agua y los minerales que producen dureza.

Todos los factores antes mencionados contribuyen a la presencia y magnitud de la dureza del agua. La dureza normalmente varía de 60 mg/L (miligramos por litro) a 250 mg/L. A continuación se presenta una tabla que contiene los diferentes tipos de dureza y los rangos entre los cuales se catalogan los mismos.

NIVELES Y RANGOS DE DUREZA		
NIVEL	RANGO	
	Granos por Galón (gpg)	Miligramos por Litro (mg/L o ppm)
Suave	0.0 - 1.0	0.0 - 17.1
Poco Dura	1.0 - 3.5	17.1 - 59.9
Moderadamente Dura	3.5 - 7.0	59.9 - 119.7
Dura	7.0 - 10.5	119.7 - 179.5
Muy Dura	10.5 +	179.5 +

8.2- CONTAMINACIÓN

Cuando la lluvia cae a la tierra absorbe dióxido de carbono (CO₂) y aun más cuando atraviesa el suelo. Cuando el dióxido de carbono (CO₂) es disuelto en el agua, éste forma cierta cantidad de ácido carbónico.



Cuando está en solución de ácido entra en contacto con los depósitos conteniendo iones de Calcio (Ca) y Magnesio (Mg), los disuelve y los mezcla con el agua, volviéndola dura. Ca y Mg no se encuentran en forma elemental en la tierra, éstos se encuentran en combinación con otros minerales, tales como: Bicarbonato de Calcio, Carbonato de Magnesio, etc. Cuando el ácido carbónico y el CO₂ entran en contacto con estos depósitos de materiales, los carbonatos de Ca y Mg pasan de su forma insoluble a bicarbonatos altamente solubles. Estos bicarbonatos de Ca y Mg son los principales componentes de la contaminación por dureza, en el agua.

8.3- EFECTOS

Hay tres razones principales para bajar la dureza debido a sus efectos negativos:

- 1) Formación de escarcha, tipo manchas de jabón, en los artefactos de limpieza y la poca espuma producida por el jabón.

- 2) Depósitos de escarcha en las tuberías.
- 3) Aumento de los costos de energía.

Una de las primeras indicaciones de la presencia de dureza son las manchas de jabón, que se forman cuando los jabones y detergentes se mezclan con el agua. Las grasas animales y vegetales usadas en la producción de agentes de limpieza, reaccionan y forman estas manchas insolubles, causando así desperdicio grande de jabón y detergentes.

La escarcha formada por la dureza es un problema serio y caro. Cuando el calor es introducido al agua, los bicarbonatos solubles comienzan a precipitarse, formando carbonatos insolubles, llamados escarcha. Estos depósitos de escarcha pueden pegar partes móviles de lavadoras y otros equipos, olores y posibles formaciones de bacterias pueden ser causados por estos depósitos.

La pequeña capa que se forma en la tubería de agua fría se debe básicamente al cambio de temperatura de los depósitos de aguas a la temperatura ambiente de descarga, aun cuando el cambio sea de algunos grados la escarcha se puede llegar a formar.

Cuando el agua es calentada la cantidad de escarcha aumenta. Por ejemplo en las calderas la escarcha es común y constante, cuando la escarcha se forma en la tubería y accesorios los caudales y presiones se disminuyen considerablemente. La reparación y reemplazo de estos equipos es muy costoso y dificultoso. La escarcha formada en los calentadores crea una barrera que debe ser calentada también para que el agua sea también calentada. Esto significa que los sistemas deben de funcionar más tiempo para calentar la misma cantidad de agua.

8.4- CORRECCIÓN

SUAVIZADORES: Estos equipos funcionan bajo el principio de intercambio iónico, utilizando la sal sin yodo como medio regenerante. Cuando el agua dura entra al suavizador y pasa por la resina de intercambio iónico, los iones de Calcio (Ca) y Magnesio (Mg) son cambiados por iones de Sodio (Na), los cuales se encuentran en la superficie de la resina. La resina prefiere los iones de Calcio (Ca) y Magnesio (Mg), por lo que los intercambia por los iones de Sodio (Na), los cuales son liberados y transportados por el agua. El componente resultante de sodio no causa escarcha, evitando así los problemas relacionados con la dureza. El medio filtrante del suavizador es regenerado periódicamente con iones de sodio, mientras los iones de Calcio (Ca) y Magnesio (Mg) son evacuados por medio del drenaje. El resultado es un simple, seguro y efectivo sistema de tratamiento de agua para la dureza. En resumidas cuentas el problema de dureza es un problema que causa mucha pérdida de energía y por consiguiente incrementos en los costos. Este problema es fácilmente identificable y fácil de solucionar.

ABLANDAMIENTO POR EL PROCESO DE CAL-SOSA: En este proceso, la dureza se reduce con cal, cal y sosa, dependiendo del agua y de los resultados deseados. Las sales solubles de Calcio (Ca) y Magnesio (Mg) se transforman en sales insolubles, cuyo precipitado se elimina posteriormente por coagulación, sedimentación y filtración. La mayor parte de las plantas de ablandamiento por este método, tienen un equipo para generar dióxido de carbono (CO_2), usados en el proceso de carbonatación, con objeto de bajar el pH del agua ablandada y evitar incrustaciones o depósitos en las tuberías.

Debido a la gran cantidad de lodos que se producen en una planta de tratamiento cal-sosa, su disposición final llega a constituir un problema. Cuando es posible transportarlos a un gran río, lago, terrenos bajos u hondonadas, la solución es simple. Sin embargo, si la planta está situada en un área residencial o industrial, esto no es posible. El vaciamiento a la red de alcantarillado incrementa mucho la alcalinidad de las aguas servidas y perjudica el tratamiento de ellas.

A veces, cuando el costo no es alto, a los lodos se les extrae el agua y se emplean en la agricultura para terrenos muy ácidos. Se ha estado dando importancia a la posibilidad de calcinar los lodos de carbonato de calcio ($CaCO_3$) para recuperar y volver a usar cal. Las aguas que contienen baja turbiedad y Mg presentan mejores posibilidades para este proceso.

8.5- HIPÓTESIS

Para ejemplificar una forma de solucionar el problema se tomó como ejemplo el pozo número 5, en el cual el parámetro del dureza se encuentra en 318.40 mg/L (mg $CaCO_3$ / l), es decir, 218.40 mg/L por arriba del máximo aceptable para pasar las pruebas de potabilidad.

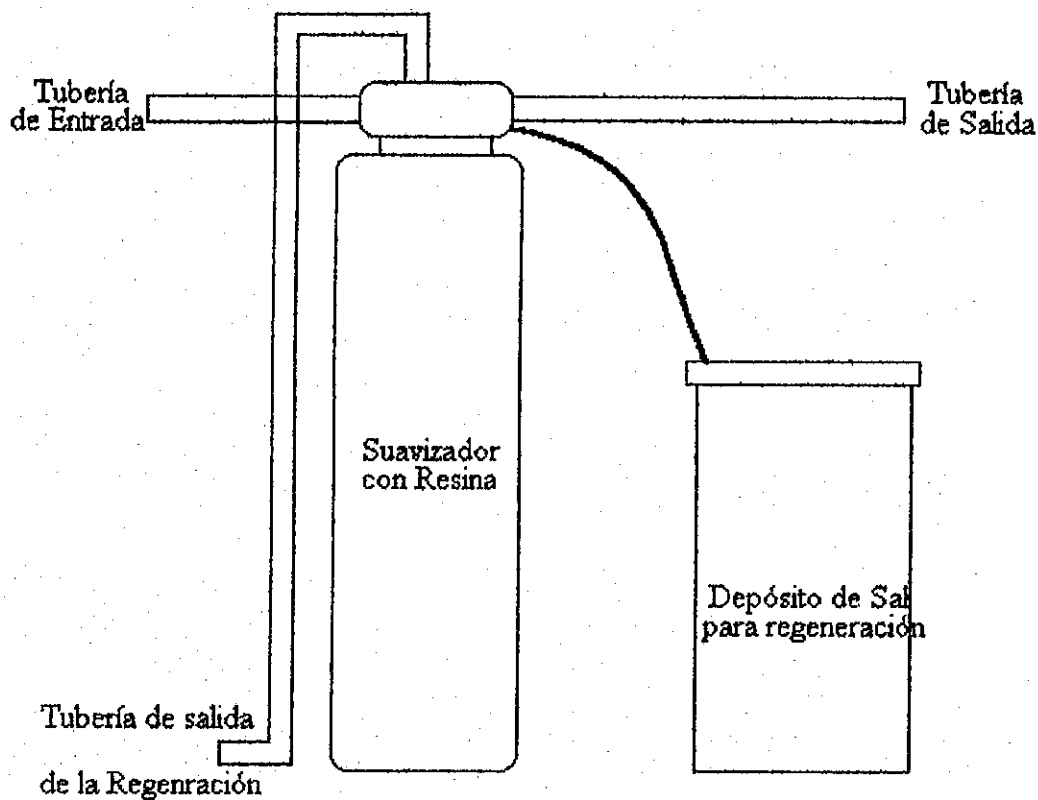
Para solucionar el problema se escogió el ablandamiento con el uso de suavizadores, el mismo fue conseguido por medio de un intercambio iónico, el cual se lograba por medio de resina de intercambio iónico, la cual se regenera por medio de sal como se explicó antes. Luego de instalar el tratamiento se volvió a realizar el examen, con lo que se obtuvo un resultado de 459 mg/L, luego del equipo se logro reducirlo hasta 17.

El proceso de selección se inició con la identificación del problema para luego poder determinar la forma más adecuada de solucionarlo. Se escogió el uso de suavizadores, por el poco espacio que ocupaba el mismo, y por que en el proyecto se contaba con una persona que quedaría encargada del sistema de tratamiento, la cual podría estar monitoreando que el deposito del cual succiona el sistema de suavización no se quedara sin solución salina para regenerar la resina. Esto debido a que el sistema de regeneración es el corazón del sistema.

Luego se procedió a instalar el equipo de suavización en el sistema de traspaso de una cisterna a la otra, cabe recordar que este sistema se instaló luego del sistema de remoción de hierro. Esto debido a que primero se debe eliminar el hierro para que la resina solo trabaje en el proceso de

suavización y no en el de remoción de hierro. El proceso de eliminación de hierro será explicado en su capítulo respectivo.

En el siguiente diagrama se ejemplifica la forma de instalarlo y todos los componentes utilizados en este sistema de suavización. En el mismo se puede apreciar el suavizador con la resina, el depósito de sal (disuelta en agua) con lo cual se regenera la resina cuando la misma ya está saturada y la tubería de descarga de la regeneración. Como puede verse este sistema es sencillo y no ocupa mucho espacio.

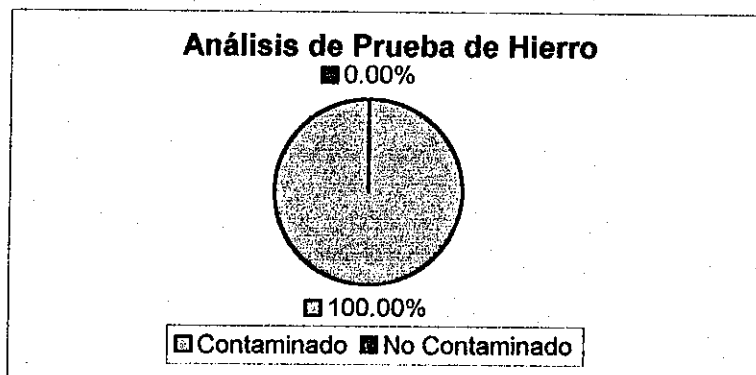


La siguiente tabla muestra los resultados del análisis realizados para plantear la hipótesis de la solución del problema del contaminante. En la misma se observan los datos y que el problema fue solucionado hasta colocarlo en el nivel más bajo de POCO DURA.

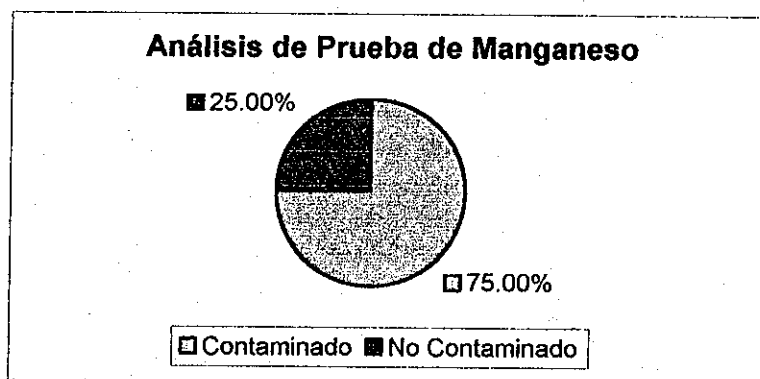
Parámetro	Dimensionales	Antes del	Después del	L.M.A.	Solucionado
		Tratamiento	Tratamiento		
Dureza Total	mg CaCO ₃ /L	459	17	100	Satisfactoriamente

9.- HIERRO Y MANGANESO

El agua que presenta un problema de hierro y manganeso tiende a dar muchos problemas. Su característica es una mancha de tonalidades amarillas hasta negras, siendo éste no solo un problema estético si no que también destruye ropa, lavadoras, tuberías y accesorios.



Como se puede ver la gráfica de contaminación indica que de las 8 posibilidades de contaminación que se tienen, las ocho presentaron un problema de hierro, esto indica que la posibilidad de contaminación por hierro en el área es extremadamente alta, por no decir segura. Por esto se realizó un análisis al finalizar el equipo de tratamiento en el cual se puede establecer los resultados que son presentados al final de este capítulo.



Por otro lado se puede apreciar la gráfica de contaminación del Manganeso en donde se puede apreciar que un 75% de las pruebas resultaron con algún tipo de contaminación en este parámetro. Debido a esto y que la mayoría de las veces un contaminante va unido con el otro y además que el sistema de eliminación es el mismo para ambos, se decidió también analizar este dato para poder determinar la efectividad del sistema empleado en su eliminación. El sistema empleado y los resultados del mismo se presentan al finalizar este capítulo.

9.1- PRUEBA

Los niveles máximos de contaminación de Guatemala son de 0.1 mg/L de hierro y de 0.05 mg/L de manganeso. Si se presenta un nivel arriba de los antes descritos, seguramente causará manchas y creará un sarro en la tubería, los cuales desde el punto de vista químico causan contaminación.

Existen varios pequeños equipos de análisis de uso sencillo, éstos normalmente llegan a niveles de hasta 10 mg/L de hierro y 2 mg/L de manganeso. Se debe tomar en cuenta que una muestra de agua con altos niveles de alcalinidad del agua normalmente tiene concentraciones más bajas de manganeso que una muestra con bajos niveles de alcalinidad. El pH es un factor determinante para poder determinar el tipo de tratamiento, por lo que se deberá tomar en cuenta cuando se realice un examen de hierro y/o manganeso.

9.2- CONTAMINACIÓN

Al igual que la dureza, el CO₂ que trae el agua, disuelve los mantos terrestres, contaminando el agua con hierro y manganeso. El hierro normalmente está presente en materiales sílicos de roca ígnea, el manganeso proviene de grandes formaciones de rocas metamórficas y sedimentarias, contrario a lugares donde hallan formaciones de rocas ígneas.

El hierro normalmente ocurre en los materiales sílicos de rocas ígneas. El manganeso se encuentra en grandes cantidades cuando hay presencia de formaciones de rocas metamórficas y sedimentarias, con respecto a la presencia de roca ígnea esto influirá muy poco en la presencia de manganeso en el agua. El problema de hierro es más común que el de manganeso, pero normalmente si existe hierro deberá analizarse el nivel de manganeso. Los hidróxidos y carbonatos de manganeso, son más solubles que los de hierro, provocando que la remoción de incrustaciones sea mucho más difícil que la de hierro.

El hierro normalmente está presente en la naturaleza en una forma insoluble, pero cuando las condiciones son favorables se transforma en una forma soluble, que es luego disuelto en el agua. Por esta razón el hierro es encontrado en la mayoría de las fuentes de agua subterránea. La razón de su transformación se debe a que el agua del pozo tiene un alto contenido de gas de dióxido de carbono y poca cantidad de oxígeno disuelto, lo cual convierte el óxido insoluble de hierro en una forma soluble, cuando el agua fluye a través de la tierra.

La forma más común de encontrar hierro soluble, es en bicarbonato ferroso. En su estado férrico el hierro es completamente oxidable, pero en su estado ferroso es solo parcialmente oxidable. El bicarbonato ferroso es soluble y sin color mientras que el hidróxido férrico es completamente insoluble y rojo. El hierro en su estado ferroso es inestable en presencia del aire y cambia a su estado férrico cuando se expone al aire. El hierro férrico causa las conocidas manchas rojas.

En fuentes de agua de carácter superficial, el hierro se encuentra en estado férrico, por que está completamente oxidado con el oxígeno atmosférico. Pero en agua subterránea se encuentra en forma ferrosa, pero al entrar en contacto con el aire, al ser extraída del pozo, se convierte en estado

férrico y es por esta razón que el hierro es tan problemático en pozos, pues mientras el hierro se encuentra en su solución de bicarbonato ferroso, es decir, dentro del pozo, no causa ningún problema, pero cuando cambia a su estado férrico, al contacto con el aire, comienza a producir manchas y sedimentación.

El agua que ha estado estable por mucho tiempo tendrá una mayor cantidad de turbiedad que el agua que ha sido extraída constantemente. Esto se debe a que el agua estancada ha tenido cierto contacto con aire, lo cual crea la turbiedad o la precipitación del hierro, contraria a la que ha sido extraída constantemente, pues la misma no ha tenido contacto con el aire ni suficiente tiempo para reaccionar, no permitiendo que se presente la turbiedad.

Es por esta razón que cuando se desee tomar una muestra de agua para análisis, la misma deberá ser tomada luego de que el pozo haya funcionado por algún tiempo, tomando así una muestra real. La muestra deberá de ser tomada cuando el agua esté saliendo clara y lo más cercana al pozo como sea posible.

Adicionalmente se deberá tomar en cuenta la presencia de hierro producida por la corrosión del agua en superficies de acero y hierro, aunque ésta no sería una contaminación directa la misma sería producida por la acidez del agua, lo cual se traduce en un problema de contaminación de agua.

9.3- TRATAMIENTO

- **SUAVIZADORES:** Esta solución es solo recomendada cuando el nivel de contaminación es bajo. Es importante que el hierro en agua se mantenga en un estado claro y soluble durante todo el tratamiento para que el suavizador se mantenga en buen funcionamiento y pueda realizar el trabajo. Si se oxida el hierro y pasa a su estado insoluble (con color el agua) formará una capa en la resina y disminuirá la eficiencia del proceso del intercambio iónico hasta volverlo inefectivo. Es por eso que no es recomendable esta solución si el agua tiene o puede tener contacto previo con el aire. Para poder usar el suavizador los niveles de contaminación no deben exceder 5 mg/L. Si se usara esta solución para el problema del hierro, para el cálculo del tiempo de regeneración del suavizador, multiplicar los mg/L de Calcio y Manganeso por 4 y sumarlo a los granos por galón de dureza en base a la cantidad de resina del suavizador, realizar el cálculo de tiempo. Si existe bacteria de Hierro y Manganeso no se deberá usar el suavizador como una solución.
- **CLORACIÓN Y DECLORACIÓN:** Se inyecta cloro en el agua para poder oxidar el hierro y/o manganeso hasta volverlo filtrable, es decir, volverlo a su estado insoluble. El cloro deberá tener un mínimo de 20 minutos de contacto con el agua para poder precipitar todo el hierro y/o manganeso que tenga el agua, para luego, toda la precipitación, pueda ser removida por un filtro normal de sedimentos. El exceso de cloro deberá ser removido por medio de un filtro de carbón activado.
- **FILTROS DE OXIDACIÓN:** Se debe de controlar el pH del agua, pues este factor influye en el buen funcionamiento de este tipo de solución. El principio de este tipo de filtrado

es el mismo que el anterior, pero en lugar de usar cloro oxidante se usará el oxígeno, el cual es inyectado al flujo, produciendo así óxidos precipitados, los cuales son atrapados por un medio filtrante granular. Luego el hierro filtrado será removido por un retrolavado del medio filtrante, se deberá contemplar este mantenimiento del medio filtrante pues estos óxidos precipitados crearán un lodo, el cual deberá ser removido, de lo contrario el sistema colapsaría muy rápido. Con este método se pueden tratar niveles de contaminación de hasta 10 mg/L.

- PROCESO DE ABLANDAMIENTO CON CAL: La precipitación del hierro y del manganeso por medio de la cal es tan efectiva como para el calcio y el magnesio en aguas duras. Sin embargo, el proceso requiere un alto pH, y por tal razón este sistema se ha limitado exclusivamente a las aguas que simultáneamente necesitan ser ablandadas, o en casos especiales, estabilizarlas. En efecto, plantas que no requieren ablandamiento pueden eliminar el hierro y manganeso por agregado de cal en suficiente cantidad como para subir el pH a un valor superior a 8.3, el cual depende de varios factores (contenido de Hierro (Fe) y Manganeso (Mn), alcalinidad, coagulantes empleados, etc.). Se precisa por lo menos un pH de 9.4 para eliminar el manganeso de aguas relativamente blandas. Los óxidos hidratados de Hierro (Fe) y Manganeso (Mn) se eliminan efectivamente por coagulación y filtración.

9.4- HIPÓTESIS

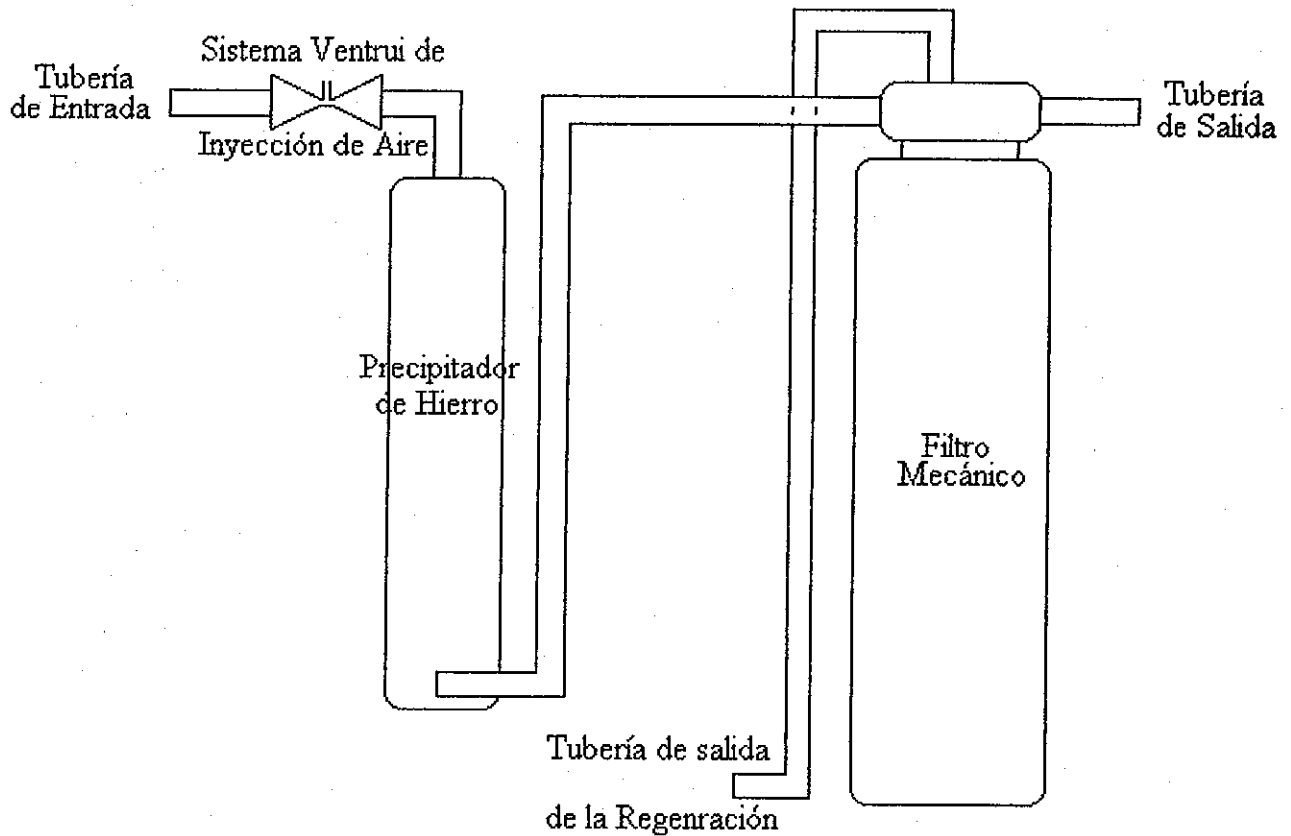
Para ejemplificar una forma de solucionar el problema se tomó, como ejemplo, también el pozo número 5 (por su sencillez para poder ejemplificar proceso por proceso), en el cual el parámetro de hierro se encuentra en 1.5 mg/L, es decir 1.4 mg/L por arriba del máximo aceptable para pasar las pruebas de potabilidad. Lamentablemente en este pozo el manganeso se encuentra dentro de los límites de potabilidad, pero dado que éste (Manganeso) se elimina de la misma forma que el hierro, no es necesario tener otro equipo para eliminarlo, pues sería prácticamente el mismo y trabaja de la misma forma.

Para solucionar el problema se escogió el proceso de precipitación y eliminación por medio de oxidación y filtración mecánica, el cual se logra por medio de una inyección de aire al sistema de tubería. Esta inyección se logra con un sistema de Venturi, el cual por la diferencia de presión inyecta aire a la tubería, lo cual precipita el hierro, es decir, lo transforma en sólidos que son luego eliminados por un simple filtro mecánico. Luego por un sistema de retrolavado (inyección de agua en forma contraria) se limpia el medio filtrante, con lo cual queda listo para seguir trabajando. Se instaló el equipo de tratamiento y al igual que los casos anteriores, se realizaron análisis antes y después del equipo. Antes del equipo se obtuvo un nivel de hierro de 18.6 mg/L, como se puede observar este parámetro se elevó muchísimo comparado con el dato anterior, al igual que el manganeso, pues del mismo se obtuvo un resultado de 1.00 mg/L. Gracias a este proceso se logró reducir la contaminación hasta 0.04 mg/L en el caso del hierro y a 0.07 mg/L en el caso del manganeso.

El proceso de selección se inició con la identificación del problema para luego poder determinar la forma más adecuada de solucionarlo. Se escogió el uso de precipitadores por medio

de oxidación, por el poco espacio que ocupaba el mismo, y por que en el proyecto se contaba con una persona que quedaría encargada del sistema de tratamiento. Aun cuando este sistema puede trabajar automáticamente, esta persona puede asegurarse que el sistema esté funcionando bien y que el retrolavado se haya realizado, pues al igual que en los suavizadores ésta es la parte fundamental de la eliminación del hierro. Cabe mencionar que la inyección de aire al fluido es al igual muy importante.

Luego se procedió a instalar el equipo de eliminación de hierro en el sistema de traspaso de una cisterna a la otra. En el siguiente diagrama se ejemplifica la forma de instalarlo y todos los componentes utilizados en este sistema de eliminación por medio de oxidación. En el mismo se puede apreciar el inyector de aire al fluido, el depósito en el cual se precipita el hierro (se transforma en sólidos), con lo cual es fácilmente filtrado por el siguiente filtro mecánico y la tubería de descarga del retrolavado. Como puede verse este sistema es sencillo y no ocupa mucho espacio.



Las tablas a continuación muestran los resultados del tratamiento, en el caso del HIERRO TOTAL se solucionó satisfactoriamente, reduciendo el valor de 18.6 mg/L hasta 0.04 mg/L, es decir, 0.96 mg/L por debajo del límite máximo aceptable (0.1 mg/L). Con este tipo de tratamiento se redujo un 99.78% el contenido de hierro en el agua, por lo que se toma el tratamiento como satisfactorio.

Parámetro	Dimensionales	Antes del Tratamiento	Después del Tratamiento	L.M.A.	Solucionado
Hierro Total	ppm (mg/L)	18.6	0.04	0.1	Satisfactoriamente

En el caso del MANGANESO, la contaminación se solucionó satisfactoriamente, reduciendo el valor de 1 mg/L hasta 0.07 mg/L, es decir, 0.02 mg/L por arriba del límite máximo aceptable (0.05 mg/L), pero aun por debajo del límite máximo permisible (0.5 mg/L). Con este tipo de tratamiento se redujo un 93.00% el contenido de manganeso en el agua, por lo que se toma el tratamiento como satisfactorio.

Parámetro	Dimensionales	Antes del Tratamiento	Después del Tratamiento	L.M.A.	Solucionado
Manganeso	ppm (mg/L)	1	0.07	0.05	Bueno

10.- SULFURO DE HIDRÓGENO

Cualquiera que tenga agua con gas de sulfuro de hidrógeno sabe que tiene un problema. El olor característico de "huevo podrido" casi siempre se debe a la presencia de este contaminante (H_2S). No solamente tiene un olor que puede ser molesto, literalmente para un edificio u hogar entero, sino que también arruinará el sabor del café, té, cubitos de hielo y alimentos. Peor aun, es sumamente corrosivo y puede arruinar la tubería, tanques, calentadores de agua y cualesquiera artefactos con hierro o cobre, con el cual el agua tenga contacto. Puede igualmente estropear superficies de concreto, así como poner negra las vajillas de plata, y en algunos casos da un matiz de color gris/negro la fuente de agua.

Concentraciones de este gas en un porcentaje del 10% en el volumen de aire, puede ser mortal, si se está expuesto a ella por más de 30 minutos. Cuando se trabaja en un área restringida con altas concentraciones de H_2S una buena ventilación debe ser proveída como una precaución, porque el gas puede paralizar el nervio del olfato, y una persona puede no percatarse de la alta concentración y morir. La irritación de los ojos, toser, náuseas, dolor de cabeza, pérdida del conocimiento y posteriormente la muerte puede ocurrir al estar expuesto al gas por un largo tiempo. Adicionalmente, el H_2S es explosivo en una concentración sumamente alta.

Estos riesgos de salud no son normalmente un interés para el agua privada de un pozo. Los intereses principales, que presenta el H_2S para sistemas de agua privada son:

1. La estética.
2. Corrosión.
3. Color negruzco del agua.

10.1- PRUEBA

Se han encontrado concentraciones de H_2S en el agua de hasta 50 mg/L, pero estos parámetros son extremadamente altos, en lo que respecta a los parámetros pequeños teniendo que un parámetro tan pequeño como es el de 0.05 mg/l puede ser detectado por mucha gente y se considera ofensivo.

La prueba de H_2S puede ser muy complicada y requiere de gente preparada para poder realizar bien el análisis. Se debería realizar siempre una prueba de campo en cualquier fuente, pues el H_2S es un gas y puede comenzar a separarse desde que sale de la fuente. Las pruebas de campo deben ser de una precisión razonable y deben detectar concentraciones de hasta 0.05 mg/l. El fin de realizar esta prueba es determinar la concentración legible más alta que se pueda encontrar, para que el equipo apropiado pueda ser elegido. Es también recomendable que el pH del agua se verifique,

porque la remoción del H_2S es afectada drásticamente por el pH.

10.2- CONTAMINACIÓN

El gas de sulfuro de hidrogeno ocurre principalmente en el agua subterránea, es incoloro, ligeramente más pesado que el aire y muy soluble en el agua (tales como lagos y depósitos). El H_2S no es comúnmente un problema porque se separa desde que el agua está cerca de la superficie. Sin embargo, la muestra de agua tomada desde secciones profundas de los depósitos puede tener alto contenido de H_2S debido a que los organismos que convierten sulfatos de gas de sulfuro de hidrógeno tienen un ambiente agradable, debido a las condiciones anaeróbicas (carencia de aire u oxígeno).

10.3- CORRECCIÓN

La eliminación de H_2S es realizada comúnmente por uno o más de los siguientes métodos:

La ventilación

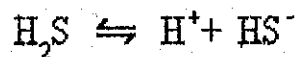
Filtro de oxidación química

Clorinacion.

La mayoría de los métodos requerirían también alguna filtración mecánica para la remoción efectiva, o mejor dicho final del problema.

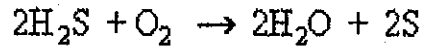
- VENTILACIÓN: La ventilación del gas del sulfuro de hidrógeno es uno de los pocos compuestos productores de olor, que es volátil, que puede ser eliminado por medio de ventilación, pero esta remoción es dependiente del pH. El agua con un bajo pH (preferentemente menos de 7.0) normalmente contiene niveles razonables de CO_2 . El agua que contiene H_2S y CO_2 puede ser fácilmente eliminado por medio de aireación, con este método se puede eliminar, de una manera muy efectiva, el problema. Sin embargo, dado que el CO_2 no soluble se elimina de una manera más fácil, dando como resultado el incremento del pH, disminuye la eficiencia de remoción del H_2S .

El H_2S también (especialmente a niveles elevados de pH) forma hidrógeno e hidrosulfido como se indica a continuación:



Adicionalmente, el oxígeno proveído por la ventilación puede producir

también sulfuro elemental:

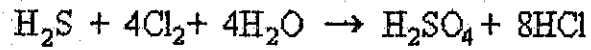


En ambos casos, el hidrosulfido (HS^-) y el sulfuro elemental (S) no son eliminados por la ventilación pero forman un sólido coloidal suspendido en el agua que puede ser filtrado por medios mecánicos.

Otro problema en el proceso de ventilación, es en el cual está incluido un sistema de presión. En el caso de un sistema típico de abastecimiento de agua doméstica, una instalación de un sistema venturi proporcionara aire al caudal presurizado de agua debido al diferencial de presión que se creó. El caudal presurizado de agua y el H_2S se exponen al aire inyectado y el proceso de oxidación comienza. Este sistema, también es sensible al pH y un pH inferior a 7 es recomendado para obtener resultados eficientes. Un tanque de separación de aire conectado al sistema de presión, luego de la inyección de aire terminará el proceso ventilando cualquier pequeña cantidad de H_2S que no haya pasado a su forma sedimentada. Las partículas coloidales suspendidas son atrapadas entonces por los filtros de sedimentos o el sistema de filtración de sólidos.

- **FILTRACIÓN POR OXIDACIÓN QUÍMICA:** Un sistema que se ha usado ampliamente a través de los años para la remoción de H_2S es un filtro de Greensand (medio filtrante), este medio filtrante, utilizada normalmente para la eliminación de manganeso, utiliza permanganato de potasio (KMNO_4) como regenerante. La concentración máxima recomendada de H_2S en el agua par ser removido efectivamente, debe ser de 3 mg/L con un pH de no menos de 6.8. El medio filtrante, Greensand sirve como un catalizador a la reacción de oxidación y el permanganato de potasio (KMNO_4) provee el oxígeno químicamente. El problema para usar este método, es que el permanganato de potasio (KMNO_4) es relativamente caro.
- **CLORINACIÓN:** Este proceso es conocido ampliamente, para la esterilización biológica y la remoción de hierro y manganeso, pero también es bastante efectivo para la eliminación de H_2S . Es un proceso de oxidación que involucra la inyección de cloro por el mejor método que se acople a las condiciones del lugar. Una mezcla diluida de cloro y de agua fresca, inyectada al agua debe tener por lo menos un tiempo de contacto de 20 minutos, por lo que se recomienda un tanque de retención que permita este tiempo de contacto mínimo, para que las reacciones puedan ocurrir.

El H_2S de gas reacciona con el cloro para formar sulfuro elemental y diluir ácidos como se indica a continuación:



El factor determinante para las reacciones enumeradas es el pH. A más altos niveles de pH, más sulfuro elemental se formará. Los productos finales diluidos de clorhídrico y ácidos sulfúricos serán neutralizados por la alcalinidad del agua.

Después del tanque de retención de agua, unos filtros de carbón activado granular quitarán las partículas oxidadas de sulfuro, así como también el cloro residual. Como se ha indicado anteriormente, el H_2S es un problema que debe eliminarse debido a su naturaleza destructiva y problemática. Puede venir de abastecimientos de agua y aumentar o disminuir en su nivel de concentración, debido a cambios de presión atmosférica y variaciones en las temporadas de precipitación. Puede ser difícil de eliminar, pero un análisis cuidadoso y un equipo apropiado de tratamiento puede controlar el problema.

11.- LOS NITRATOS DEL AGUA

Los nitratos en la agua pueden ser de serio interés, tanto para los humanos como para los animales. En varios secciones del país los nitratos están siendo encontrados en abastecimientos de agua subterránea. Desafortunadamente, los nitratos no pueden olerse o ser saboreados y su presencia puede ser solo detectada cuando se manifiestan problemas de salud.

11.1- LA PRUEBA

La agua debe probarse químicamente para determinar la presencia de nitratos. Existen las pruebas de campo, pero debido a la naturaleza tan seria de este contaminante, se sugiere la prueba por un laboratorio profesional.

Los resultados de las pruebas para nitratos pueden ser presentados de varias maneras, pero el más común es el Nitrato (NO_3), el límite estándar es de 45 mg / l. Las concentraciones típicas son desde 0.1 mg /L a 4.0 mg/L en la mayoría de las áreas del país, pero allí también se han registrado concentraciones de hasta 100 mg/L. De todos modos, se recomienda que en todo abastecimiento de agua se realice una prueba para determinar la existencia de contaminación por nitrato, por lo menos una vez al año. Porque las concentraciones varían con el tiempo cada año, el invierno es la época predilecta para realizar pruebas, dado que las lluvias son más pesadas, generando con esto, que las mismas lleven una cantidad excesiva de nitratos al suelo. Una análisis podría no ser representativo debido a que una falta de precipitación podría resultar en una carencia de nitratos en los resultados.

11.2- CONTAMINACIÓN

Frecuentemente es difícil identificar la fuente de la contaminación de nitrato. Hay muchas fuentes potenciales:

los fertilizantes a base de nitrato

los fertilizantes a base de amoníaco

plantas de tratamiento de aguas negras

desechos de agua industrial

desechos animales de alimentadores o pastizales

fosas sépticas

degradación de vegetación y/o animales

minerales con alta concentración de nitratos

precipitación atmosférica

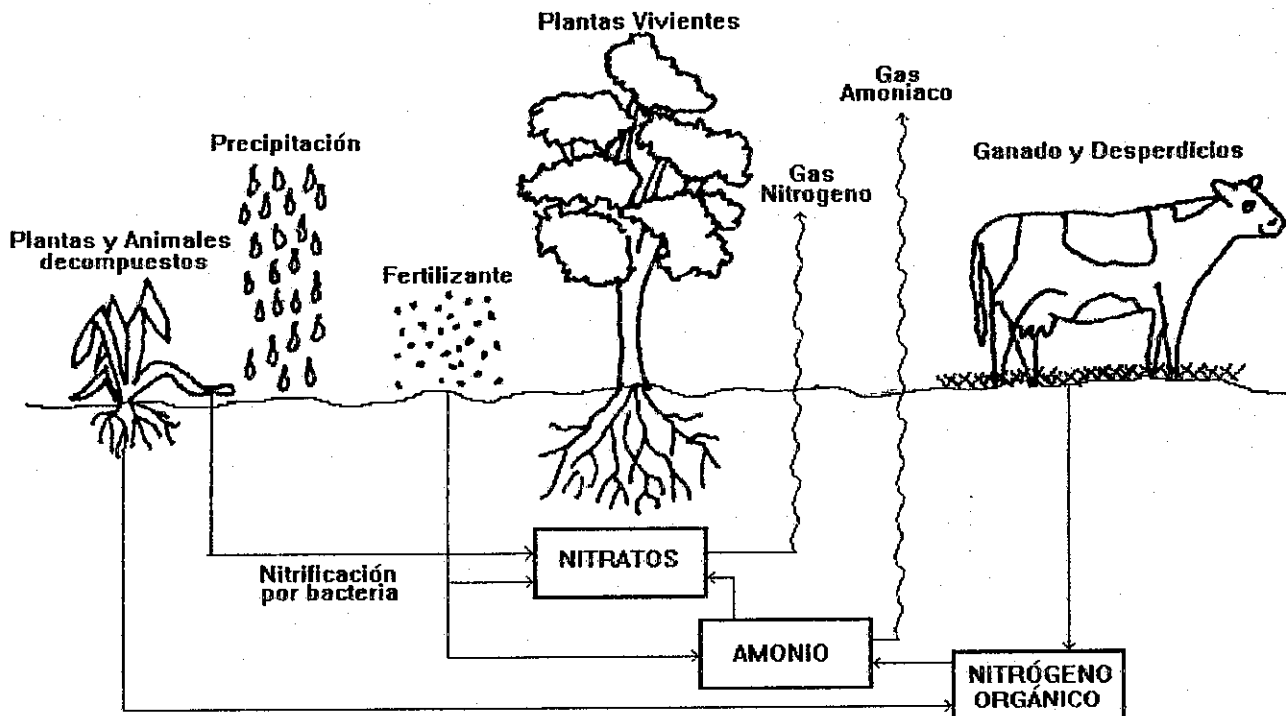
drenaje urbano

basureros y rellenos terrestres

escurrimiento superficial

Como se puede ver, identificar la fuente o las fuentes de una posible contaminación puede ser muy difícil. La siguiente figura ofrece una representación gráfica del ciclo de nitrógeno.

Los nitratos pueden aparecer en aguas de superficiales, pozos artesianos y pozos mecánicos. Los pozos artesianos, sin embargo, comúnmente contienen los niveles más altos de contaminación, debido a que los pozos se encuentran cerca de las altas concentraciones superficiales que son transportadas por escurrimiento al pozo y por su proximidad a plantas que producen nitrógeno. Varios tipos de legumbres, tales como soja y la alfalfa, tiene la capacidad de poder tomar nitrógeno de la atmósfera e introducirlo al terreno por medio de la raíz. Este proceso se llama "Abastecimiento de Nitrógeno" y es una de las formas de la naturaleza de asegurar un abastecimiento de nitrógeno para los nutrientes de la planta. El exceso de nitrógeno que no es utilizado por las plantas es transportado hacia abajo por el agua de lluvia, hasta llegar al nivel freático del terreno.



Amoniaco y nitratos adicionales son introducidos al abastecimiento de agua por escurrimiento o por precipitación. El amoniaco (NH_3) es realmente uno de los compuestos del

nitrógeno y ocurre como resultado de la aplicación de fertilizadores conteniendo amoníaco o por desechos animales. Como se puede ver, en la figura anterior, el amoníaco es una parte transitoria del ciclo. El nitrógeno orgánico se transforma en amoníaco debido a cierta actividad bacteriológica y se transforma entonces en nitrato. Este proceso se llama nitrificación. Los fertilizantes a base de amoníaco siguen el mismo procedimiento.

Un punto que cabe recalcar es que la presencia de nitratos en niveles elevados puede indicar también, en gran medida, una contaminación por coliformes fecales u otros organismos. Si los nitratos presentes son derivados de sistemas de fosas sépticas, fugas y estiércol, podrían estar entrando en los abastecimientos de agua por medio de rupturas en estuches, pobre sello de seguridad en los pozos, etc. Cuando se hace una prueba de agua para nitratos, es siempre prudente realizar un análisis bacteriológico para poder determinar también si existe la presencia de organismos productores de enfermedades. Otro indicador es el aumento de cloruros en el agua. La presencia de niveles elevados de cloruro y nitrato es generalmente una señal de contaminación por los desechos orgánicos. En este caso la presencia de bacterias podría ser asumida sin necesidad de análisis.

Los niveles de contaminación de nitrato en las albercas de las granjas pueden subir y caer dramáticamente. Durante el invierno, las intensas lluvias pueden llevar nitratos hacia una alberca por medio del escurrimiento, sin embargo, las albercas pueden mostrar niveles inferiores que los detectados en otras ocasiones, debido a que las algas de alberca usan los nitratos como una fuente de alimento. Algunos aconsejan no usar albercas de riego de granja, como una fuente de abastecimiento para el ganado debido a la gran probabilidad de cambios radicales en concentraciones de nitrato.

11.3- EFECTOS

La contaminación de nitrato puede conducir a problemas serios de salud, especialmente cuando se trata de infantes de hasta seis meses de edad. Estos niños tienen los sistemas digestivos subdesarrollados y utilizan ciertas bacterias para poder llevar a cabo la asimilación de alimentos. Es estos organismos "amistosos", pueden convertir nitratos (NO_3) del agua consumida en nitratos tóxicos (NO_2), los cuales son realmente los principales culpables de quebrantos de salud.

La hemoglobina es el químico en la sangre que recobra el oxígeno desde los pulmones y lleva hacia el tejido y órganos a lo largo del cuerpo. Cuando el NO_2 reacciona con la hemoglobina forman un compuesto nuevo, llamado methemoglobin. Methemoglobin es incapaz de llevar oxígeno y, por lo tanto, el nivel de oxígeno disponible al cuerpo disminuye a razón de que el nivel de methemoglobin aumenta. Como el nivel de methemoglobin continúa en aumento mediante la ingestión adicional de nitrato que contiene el agua, un bebé puede sufrir una sofocación, literalmente. Esta condición es conocida generalmente como "síndrome de niño azul" o, más técnicamente, methemoglobinemia.

El síntoma más obvio de este síndrome es la cianosis, o azulamiento de la piel, particularmente alrededor los ojos y los labios. A un niño en esta condición debería prestársele atención médica de emergencia. A fin de averiguar el nivel de envenenamiento el médico tomará

una muestra de sangre. La sangre normalmente es un color castaño-rojo en el caso de methemoglobinemia, en lugar de un color rojo rico, y saludable. El tratamiento apropiado puede asegurar comúnmente una completa recuperación, mientras la fuente de los nitratos se elimina.

Los jugos digestivos en los infantes de hasta aproximadamente tres meses de edad son más bien neutrales en pH. Esto también contribuye a la producción de methemoglobin. Durante la edad de tres a seis meses, el nivel de ácido clorhídrico en el sistema de los niños aumenta, matando la mayoría de las bacterias que desempeñan la conversión de nitrato a nitritos. Durante este tiempo, en el desarrollo de los bebés, estas bacterias en particular ya no son necesarias y el sistema digestivo asume un estado ácido. Después de los seis meses, los nitratos se absorben y son manejados por el sistema excretor.

Es obvio, sin embargo, que de continuar la ingestión de altos niveles de nitratos, puede llevar a tener quebrantos de salud tanto para adultos como para niños. Algunos estudios han correlacionado cánceres gástricos con las aguas que contienen nitratos. Es posible que los nitratos puedan ser convertidos por el cuerpo a nitrosamines cancerígenos. Se especula que los nitratos podrían convertirse en nitritos, los cuales reaccionan con compuestos de los alimentos y/o agua, para formar compuestos cancerígenos.

Los nitratos excedentes en el agua han demostrado ocasionar problemas con animales también. Los rumiantes (animales rumiantes de estómagos divididos), tales como ovejas y ganado, pueden ser seriamente afectados desde el nacimiento por nitratos. Infantes monogástricos (estómago único), tales como caballos, marranos, y los pollos, son también candidatos para problemas de salud. Conforme los pollos y los marranos maduran, la posibilidad de ser afectados por la presencia de nitratos disminuye. Sin embargo, los caballos son propensos a ser afectados no importando la edad.

Los rumiantes y monogástricos tienen organismos (bacterias) que convierten los nitratos en nitritos en sus sistemas digestivos cuando son jóvenes. Estos organismos convierten los nitratos a nitritos así como en los sistemas digestivos de los bebés humanos. Los humanos monogástricos, pollos, y marranos sobrepasan esta situación, pero caballos, ovejas, y ganado no.

Los síntomas de envenenamiento por nitrato / nitritos en el ganado incluyen cianosis y áreas sin color (boca y ojos), insuficiencia respiratoria, ritmo cardíaco rápido, urinación frecuente y desplome. En casos severos habrán convulsiones, coma, y la muerte puede ser dentro de las siguientes horas. Si el envenenamiento es detectado a tiempo, una inyección de methyleno azul puede salvar al animal. Nuevamente, una completa eliminación de la fuente de contaminación del nitrato en el agua es necesaria para una completa recuperación.

Una pérdida de la producción de leche en vacas o, frecuentes abortos son también señales de posible envenenamiento por nitrato. Aun cuando el envenenamiento se detecta y es tratado, los animales encinta se pueden recuperar, pero pueden abortar a los pocos días.

11.4- CORRECCIÓN

Debido a todos los posibles efectos que pueda tener en la salud, los nitratos deberían eliminarse desde el abastecimiento de agua, es decir, desde el principio. Las siguientes, son posibilidades para eliminar la contaminación por nitratos:

- **ELIMINE LA FUENTE:** Si se puede determinar la procedencia de la contaminación, se deberá intentar que la misma no entre en contacto con el agua. Se deberán mover las acumulaciones de estiércol, reparar fugas de depósitos de desecho, hacer un sello sanitario en el pozo, etc. Sin embargo, en muchos casos, esto es más fácil decirlo que hacerlo. La perforación de un nuevo pozo, es una solución cara pero a veces la más viable, aislando la zona con un adecuado sello sanitario.
- **MEZCLANDO:** En algunos casos, agregar agua no contaminada a la fuente puede ser una forma de solucionarlo. Por ejemplo, un agua con 16.0 mg / L de contaminación puede mezclarse en un 50% con agua no contaminada para lograr una mezcla de agua final, para el uso, de 8.0 mg/L.
- **INTERCAMBIO IÓNICO:** Este método es parecido al proceso de suavización en el que un tanque, contiene una resina aniónica especial. Requiere de un tanque de salmuera para que el sistema regenere con cloruro de sodio (NaCl, sal). El agua contaminada con nitrato entra en el tanque y a su paso por la resina, los nitratos son intercambiados por cloruros. Los nitratos son almacenados por la resina hasta que se produzca la regeneración, durante la regeneración se lavan y son desaguados. Este tipo de resina quitará también cualesquiera sulfatos que puedan estar contaminando el agua. Para poder determinar si existe y el grado de contaminación de un sistema, es importante realizar las siguientes pruebas en el agua cruda: de nitratos, sulfatos, cloruros, dióxido de carbono (CO₂) y el total de sólidos disueltos (TDS, siglas en ingles). El agua cruda debe básicamente liberarse de hierro, manganeso, hidróxido de sulfuro, cloro y preferentemente dureza, si la concentración es de más de 3 granos por galón. Estos contaminantes, de estar presentes, pueden reducir potencialmente el desempeño del sistema de tratamiento, de existir contaminación por bacteria de hierro y/o de manganeso, el sistema seguramente no funcionará pues este problema altera el funcionamiento del equipo. Generalmente la mayoría de otros equipos de tratamiento (filtración, suavizadores, etc.) sería instalado luego de sistema de intercambio iónico para la eliminación de la contaminación por nitrato.
- **DESMINERALIZACIÓN:** Este proceso involucra el uso de ambos tipos de resina, tanto la catiónica como la aniónica con una fuerte regeneración de solución básica y ácida. Este tipo de sistema eliminará virtualmente todos los iones del agua. Este tipo de sistema se usa en muy pocas ocasiones para una aplicación residencial. En algún caso, los demineralizadores de lecho mixto pueden usarse para propósitos de cocinar

y beber, pero dado que este tipo de equipo económicamente no es viable para una casa, no se recomienda para un uso domiciliar.

- **SISTEMAS DE OSMOSIS INVERSA:** Este tipo de sistema es instalado normalmente debajo del lavaplatos de la cocina y recibe agua pretratada de la línea de abastecimiento de agua fría. El agua entra en un prefiltro de sedimentos y luego en una cámara donde una membrana elimina los minerales, para ser depositada el agua en un pequeño tanque de almacenaje. Los nitratos pueden ser eliminados por un sistema de este tipo, sin embargo, el agua que entra en la unidad debe filtrarse y de preferencia ser suavizada para un mejor desempeño de la unidad. Además, debe disponerse una adecuada presión en el agua para que el sistema sea efectivo. Este sistema puede quitar hasta el 95% de la contaminación por nitratos, pero las formas no iónicas de nitrógeno no son filtradas y pasadas a través de la membrana.
- **DESTILACIÓN.** Este es uno de los tratamientos más viejos en purificación de agua. El agua se calienta, en la cámara calentadora del destilador, hasta llegar a su punto de ebullición. El vapor del agua sube y es condensado, para regresar a su estado líquido para ser recolectado en una cámara receptora. Los nitratos y otros sólidos disueltos son eliminados. Una limpieza adecuada y un mantenimiento apropiado son importantes para el buen desempeño de la unidad.
- **EL AGUA ENVASADA:** Si los métodos anteriormente mencionados no pueden ser empleados de inmediato, se deberá de usar agua envasada, especialmente para infantes. El agua envasada, sin embargo, no es una solución a largo plazo porque es muy cara y tedioso desde un punto de vista de manipulación, compra, gente extraña en la casa, etc..

Como se puede ver los nitratos pueden ocasionar muchos problemas tanto para humanos y como para el ganado. Los análisis de agua deberían ser realizadas frecuentemente, en forma regular por un laboratorio confiable, para determinar los niveles de contaminación en ambas fuentes tanto la tratada como la cruda. El equipo involucrado en tratar el problema de la contaminación por nitratos no es barato. El equipo de tratamiento debe ser empleado, de preferencia, solo si la contaminación no puede ser eliminado desde la fuente de abastecimiento del agua.

12.- IMPUREZA BACTERIOLÓGICA DEL AGUA

Los abastecimientos de agua varían mucho tanto en sus calidades químicas como biológicas. No importando que el agua provenga de una de las más finas plantas de tratamiento de agua, la misma, contiene alguna vida microbiológica. Muchas de las bacterias están en forma de bacterias durmientes que pueden florecer una vez las condiciones de su medio ambiente y fuente de alimentación cambian.

Muchos de los organismos encontrados en la agua no son de ningún interés con respecto a la salud dado que los mismos no ocasionan ningún tipo de enfermedad. Por otra parte, se pueden sufrir serios quebrantos de salud por el consumo de organismos nocivos. La contaminación bacteriológica (viviente) puede separarse en dos grupos:

PATÓGENOS (causantes de enfermedades)

NO PATÓGENOS (no causantes de enfermedades)

Dado que este trabajo es sobre contaminación, el interés estará centrado en los organismos causantes de enfermedades, es decir, los patógenos, por lo que deben buscarse los tratamientos adecuados para eliminarlos. Los organismos patógenos causantes de enfermedades pueden ser catalogados en 5 diferentes categorías:

Bacteria

Virus

Protozoarios

Hongos

Lombrices

Escherichia coli (*E. Coli.*) es un organismo bacterial que forma parte del grupo coliforme. Este organismo es el que es buscado cuando se realiza un examen bacteriológico del agua, por que el mismo es encontrado en los intestinos y heces fecales, tanto de animales como de humanos. Si la *E. Coli* es encontrada en el análisis de agua, se puede asumir que la fuente de agua está siendo contaminada por heces, ya sea por las fosas sépticas cercanas, lluvia, rompimiento del sello sanitario del pozo, rompimiento de líneas de drenajes, etc.

Algunas de las enfermedades que pueden ser adquiridas por el consumo de agua con contaminación de organismos patógenos son:

Fiebre Tifoidea

Cólera

Disentería Bacilar

Gastroenteritis

Hepatitis Infecciosa

Salmonellas

Shigellas

Eberthellas

Amebas

Toda las fuentes de agua deberían ser analizadas microbiologicamente antes de ser usadas y/o consumidas. La presencia de cualquier coliforme en el análisis no significa, necesariamente, que el agua pueda causar alguna enfermedad si se consume, sin embargo, la presencia indica la probabilidad de que un organismo causante de enfermedad esté presente en la fuente de agua.

La mayoría de autoridades sanitarias requieren de un análisis microbiológicos para cada fuente de agua. Los métodos normalmente usados pueden ser un filtro de membrana o un tubo de fermentación. En ambos casos se intenta determinar la presencia y cantidad de unidades formadoras de colonias (una unidad = una colonia por 100 ml). El análisis deberá ser realizado por un laboratorio especializado y que siga procedimientos específicos para la buena credibilidad del resultado.

La contaminación bacteriológica del agua subterránea se ha convertido en un serio problema en todo el país, deberá enfrentarse el problema de que no toda el agua proveniente de pozos es buena para el consumo humano. Aun es de creencia común, que como el agua proviene de pozo, es clara, fría y burbujeante es buena para tomar, cuando en realidad ninguno de estos factores garantiza que el agua esté purificada. Los microbios que contaminan el agua no pueden ser vistos, olidos ni producen sabor en el agua, por lo que aun cuando un pozo no haya causado problemas durante años de uso, esto signifique que el agua está libre de poder contaminarse y sea buena para consumo humano por siempre. No se puede definir con exactitud cuándo una fuente de agua se vaya a contaminar, por lo que es bueno protegerla de algún modo para estar completamente seguro.

Al analizar el agua, la frecuencia con que se realice, será muy importante. Lamentablemente el agua es analizada muy pocas veces, si no es que nunca se realizan dichos análisis, y si a esto se le agrega que cuando se realiza un análisis al principio y éste resulta no tener problemas de contaminación bacteriológica, nunca se vuela a realizar otro. Esto complica aun más la probabilidad de saber si el agua esta contaminada o no. Se recomienda un análisis al año para las fuentes de agua, pues aun cuando estén protegidas (es decir, que tiene algún tipo de sistema de purificación) esto no dará una seguridad de que el pozo no esta contaminado aun o que el sistema de tratamiento que se está utilizando funciona.

12.1- TRATAMIENTO DEL AGUA

Dado que el problema de la contaminación es variable y se puede dar en cualquier momento se recomienda escoger un tipo de tratamiento continuo. Existen cuatro formas de desinfectar el agua:

1. QUÍMICAMENTE
 - Con Cloro
 - Con Ozono
 - Permanganato de Potasio
 - Dióxido de Cloro
 - Iones Metálicos, etc.
2. POR RADIACIÓN
 - Luz Ultravioleta
3. POR CALEFACCIÓN
 - Destilación
4. FÍSICAMENTE
 - Microfiltración
 - Ultrafiltración

Probablemente el método más usado para la purificación del agua es la cloración, pues éste puede proteger el agua de la mayoría de los elementos patógenos que se conocen, sin importar su grado de contaminación. El quiste es uno de los más difíciles de matar, pues tiene una capa protectora bastante gruesa que lo protege, pero la E. Coli es de las más fáciles de matar.

12.1.1- EL CLORO

El gas cloro es 2.5 veces más pesado que el aire a temperatura y presión normales. Cuando escapa, tiende a estacionarse en lugares bajos, originando peligro para los operadores de las salas de cloración si no están bien diseñadas y no disponen de los equipos correspondientes.

El cloro se vende en cilindros similares a los que contienen oxígeno o acetileno. La cantidad de cloro con que se cargan los cilindros debe estar perfectamente regulada y de acuerdo con especificaciones rigurosas, para evitar que el aumento de temperatura produzca presiones peligrosas del líquido sobre las paredes del cilindro. En efecto, al llenarse el cilindro no se llena completamente con cloro líquido, sino que se deja un determinado volumen para el cloro gaseoso, de tal manera que los respectivos volúmenes, en un momento dado, estarán regulados por la temperatura ambiente, sin originarse presiones excesivas. Los cilindros nunca deben calentarse directamente con llama, vapor o medios eléctricos que sobre pasen 52°C. La aplicación del cloro se hace a través de equipos especiales.

El cloro es irritante para las mucosas de la garganta, nariz y pulmones, y en suficiente concentración puede causar accidentes, incluso la muerte. A continuación se presenta una tabla donde se señalan los efectos que el gas cloro ocasiona al hombre.

Efectos que ocasionan el gas cloro en el hombre

EFECTO	mg/L DE CLORO EN EL AIRE
Apenas percibido	3.5
Produce irritación en la garganta	15.1
Produce Tos	30.2
Peligrosa por 30 min. de exposición	40-60
Fatal por corta exposición	1,000 (0.1 %)

FACTORES QUE INFLUYEN LA ACCIÓN DEL CLORO: La acción bactericida del cloro depende de una serie de variables que tienen gran importancia en el rendimiento del desinfectante, entre las cuales cabe mencionar:

- a) naturaleza de los organismos que han de destruirse
- b) grado de concentración de estos microorganismos
- c) tiempo de contacto entre el desinfectante y los microorganismos
- d) concentración y composición del agente o agentes químicos liberados en el agua
- e) temperatura del agua
- f) pH del agua
- g) tipo de agua a tratar

DEMANDA DE CLORO: Es la diferencia entre la cantidad de cloro agregado al agua y la cantidad de cloro (libre y combinado disponible) residual después de un período determinado. Para un tipo de agua, la demanda de cloro varía con la cantidad de cloro aplicado, el tiempo de contacto y la temperatura.

La actividad del cloro libre o combinado disponible se afecta por la temperatura y pH de la solución. Un aumento en temperatura y una caída del pH acelera las reacciones químicas.

Se ha definido como " cloro residual " la cantidad de cloro en el agua para mantener la presencia de éste en toda la red de distribución. Por cloro libre se entiende la aplicación de cloro al agua para producir directamente, o a través de la destrucción del amoníaco, un cloro residual y mantenerlo en toda la red de distribución.

PUNTOS DE APLICACIÓN DEL CLORO: El término se refiere al cloro que se aplica al agua, y según el punto de aplicación, se denomina: a) cloración simple; b) precloración; c) poscloración; d) recloración. La descloración es la reducción parcial o total del cloro residual en el agua por cualquier tratamiento físico o químico.

- a) Cloración Simple: Se define como la aplicación de cloro al agua de un servicio que no recibe otro tratamiento y por lo tanto la desinfección es el objeto del proceso. Se aplica especialmente en los acueductos y las cañerías de aducción.

- b) **Precloración:** Se define como la aplicación del cloro al agua anterior a cualquier otro tratamiento. Tiene muchas ventajas: mejora la coagulación, evita o retarda la descomposición de la materia orgánica acumulada en los lodos, controla las algas y otros microorganismos en los estanques, elimina ciertos olores y sabores oxidando la materia orgánica y reduciendo el crecimiento biológico en los filtros.
- c) **Postcloración:** Es la aplicación de cloro al agua después de cualquier otro tratamiento
- d) **Recloración:** Se aplica en cualquier punto del sistema de distribución previo al tratamiento de cloración, como por ejemplo, al final de las líneas troncadas muy largas, estanques de acumulación o reserva o estación de bombas impulsoras. Se hace con el objeto de asegurar la dosis de cloro residual apropiada, contra posibles contaminaciones futuras

DÓSIS DE CLORO RESIDUAL: La concentración necesaria de cloro residual para garantizar la cantidad bacteriológica del agua depende fundamentalmente del tipo de cloro residual, de la calidad y temperatura del agua y del sistema de distribución. Las cantidades de cloro que se aplican al agua son superiores a las dosis desinfectantes propiamente dichas, debido a la demanda de cloro y al cloro residual, indispensable para la acción contra organismos provenientes de contaminaciones accidentales en el agua de la red. Es buena práctica mantener un cloro residual de 0.2 a 0.4 mg/L después de 20 minutos de contacto.

EQUIPOS USADOS EN CLORACIÓN:

Equipos para cloro gaseoso: Al seleccionar el equipo de cloración es fundamental conocer, además de la demanda de cloro o cantidad de cloro que debe agregarse (función del gasto del agua, m³/seg), la cantidad de cloro residual deseado en el agua de la red.

La capacidad de los cloradores, que se expresa en libras o kilos por 24 horas, debe ser suficiente para satisfacer el mayor gasto de agua de la planta y permitir atender un exceso prudencial.

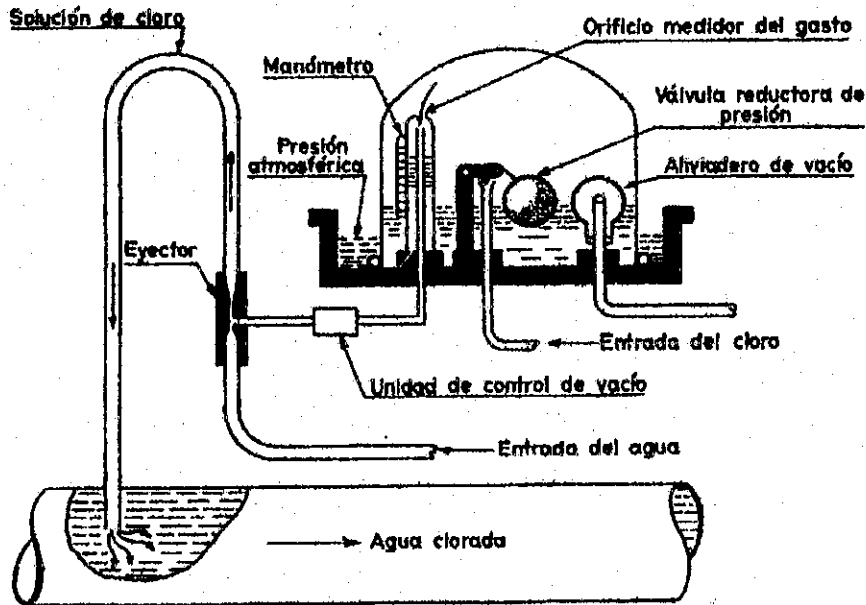
La demanda de cloro del agua depende de muchas variables, pero para los efectos de seleccionar la capacidad de los cloradores requeridos en una planta se puede pensar en términos generales en las dosis siguientes:

Agua de cursos superficiales bastante contaminados	2.5 a 3.0 mg/L
Agua limpia proveniente de cursos superficiales	1.2 a 2.0 mg/L
Represas naturales o artificiales sin exceso de algas	1.0 a 1.5 mg/L
Agua filtrada o proveniente de pozos o vertientes	0.5 a 1.0 mg/L
Piscinas en general requieren dosis de cloro de	2.5 a 3.0 mg/L

Hay enorme variedad de equipos disponibles para la aplicación del cloro gaseoso al agua. Pueden ser de acuerdo con la forma de operarlo: manual, semiautomático, automático proporcional y automático proporcional de partida y detención.

Los cloradores son de alimentación directa o de solución. En el primer caso, el cloro se mide y controla en estado gaseoso y el gas se aplica directamente al gasto total de agua; en cambio, en los cloradores de solución el gas se disuelve previamente en agua y se conduce en solución acuosa hasta el punto de aplicación.

Según los principios técnicos de operación, se clasifican en dos categorías: de presión y de vacío. El equipo de presión opera con el gas cloro sometido a una presión positiva reducida; en cambio, en el de vacío, la presión a que está sometido el cloro es menor que la atmosférica, como se muestra en la siguiente figura:



El gas llega a la campana del clorador por medio de una válvula reductora de presión que reduce la presión a un vacío de algunos centímetros de agua. El flotador de la válvula está accionado por el nivel del agua. Un eyector extrae el gas a través de un orificio medidor de gasto y unidad control de vacío. El cloro se disuelve en la corriente de agua del eyector y la solución se descarga en el punto apropiado. Si el cloro se agota, el nivel del agua sube conjuntamente con la campana de aliviadero de vacío y la entrada de aire se produce a través del tubo correspondiente.

Hipocloradores: Estos equipos se usan para dosificar hipocloritos. No son muy recomendables para grandes cantidades de caudal; sin embargo, pueden emplearse con éxito en pequeñas plantas, donde resultan ventajosos desde el punto de vista económico. En el comercio existen equipos hipocloradores que operan manual o semiautomáticamente, variando la capacidad de dosificación por día a diferentes presiones a vencer.

ACCIÓN DEL CLORO SOBRE LOS MICROORGANISMOS: La aplicación del cloro o sus derivados tiene por fin primordial matar las bacterias y otros microorganismos patógenos, pero no se sabe con claridad cual es el mecanismo de su acción.

La teoría fisicoquímica es la que tiene mayor aceptación. El cloro reacciona con las proteínas y el grupo amino de la célula, alterando las características químicas de sus constituyentes. La susceptibilidad de los diferentes tipos de bacterias se identifica con la resistencia que la célula presenta a la difusión. La dificultad para inactivar las esporas y quistes está relacionada con la oposición que sus envolturas oponen a este proceso. Las formas de resistencia no son destruidas con

las dosis que se aplican normalmente al agua potable para la desinfección, pero se eliminan por medio de la filtración.

12.1.2- OZONIFICACIÓN:

Otro tipo de desinfección es la Ozonificación. Éste es un proceso en el cual el aire es pasado por dos potentes electrodos, donde el Oxígeno (O₂) de aire es convertido a Ozono (O₃). El ozono es luego inducido al agua por medio de un sistema venturi. El ozono es un agente desinfectante muy efectivo. El único problema con este tipo de desinfección es que no es almacenable y es muy difícil de ajustar por cambios de contaminación en el agua y que su efecto residual no es muy largo, por lo que podría volver a contaminarse el agua.

12.1.3- LUZ ULTRAVIOLETA (LUV):

Otro tipo de desinfección de agua que ha sido muy novedoso es por medio de desinfección es la Luz Ultravioleta. Con la aparición de la luz ultravioleta para la desinfección del agua se pudo, por fin, eliminar el tratamiento por medio de químicos. Es un de los métodos más efectivos para poder eliminar los microorganismos del agua. Tradicionalmente los sistemas de luz ultravioleta eran muy caros para ser usados en sistemas pequeños como casas, pues los mismos estaban diseñados para aplicaciones industriales.

Dada la demanda por sistemas efectivos de luz ultravioleta y de bajo costo, se pudo lograr desarrollar los equipos de luz ultravioleta para Puntos De Uso (PDU) y para Puntos De Entrada (PDE). El funcionamiento de la luz ultravioleta está basado en la efectividad de la luz del sol para destruir la vida microbiológica, la cual es debida a su gran fuerza de luz ultravioleta. El espectro de la luz ultravioleta, que es mayor que la luz visible, pero más baja que el de los rayos X, incluye tres regiones conocidas como UV-A, UV-B y UV-C. La longitud de rayos de la región UV-A es la que causa el bronceado, mientras que la región de UV-C, que es la que causa la muerte de los microorganismos, es la que se usa para la desinfección.

La luz ultravioleta de desinfección es muy similar a la luz fluorescente, excepto que usa el vapor de mercurio para poder producir el rango deseado de la luz ultravioleta (254 nm). Dado que la mayoría de materiales no transmiten eficientemente la luz ultravioleta, es por eso que un cuarzo especial es usado para este propósito. Este producto permite que de un 90% a 95% de la luz ultravioleta pase al agua y permite mantener la temperatura ideal de operación (40°C), pues aísla el bulbo del agua fría. Otros materiales son menos efectivos, pues solo permiten un porcentaje mucho menor para que pase al agua. Si el agua fría hiciera contacto directo con el bulbo causaría una disminución considerable de su funcionamiento.

La luz ultravioleta destruye los microorganismos revolviendo su estructura del ácido desoxirribonucleico (DNA, por sus siglas en inglés) la cual produce una imposibilidad de reproducción. La duración del tiempo, que un microorganismo es expuesto a la luz ultravioleta (UV) y la intensidad de la misma son factores que se deben considerar para la efectiva reducción de las bacterias. El tiempo de exposición es expresado normalmente en microwatt por segundo por centímetro al cuadrado. El departamento de Salud de los Estados Unidos de América. ha establecido que para que el agua tenga un tratamiento adecuado, la misma deberá ser expuesta a más de 16,000 microwatt-segundo por centímetro cuadrado.

Una de las ventajas que tiene la luz ultravioleta sobre otros tipos de desinfección es que en ningún momento la luz ultravioleta agrega ningún tipo de químico al agua. La luz ultravioleta no agrega, ni le quita nada al agua, pues ésta simplemente destruye los microorganismos.

La desinfección ultravioleta sola no mejora el sabor, olor, y claridad al agua, y un apropiado sistema de filtración u otro método de tratamiento, es recomendado en casi todas las instalaciones donde se usa el sistema ultravioleta.

Es importante que el agua sea filtrada previa la dosificación de luz ultravioleta, para que la penetración de la misma sea adecuada. La filtración del agua no solo provee una mejor desinfección del agua, sino que también remueve químicos y sólidos en suspensión, lo cual mejora la calidad general del agua.

Etapas de pretratamiento de agua pueden ser diseñadas para poder ajustarse a cualquier tipo de necesidad y así poder proveer la purificación necesaria a la misma. Este pretratamiento puede incluir sistemas de filtración (sedimento o carbón), osmosis inversa, condensación o destilación. Generalmente es mejor usar la luz ultravioleta al final del proceso y localizarla lo más cerca del punto de descarga como sea posible, esto es debido a que las bacterias pueden producirse en cualquier punto de la tubería después de la luz ultravioleta.

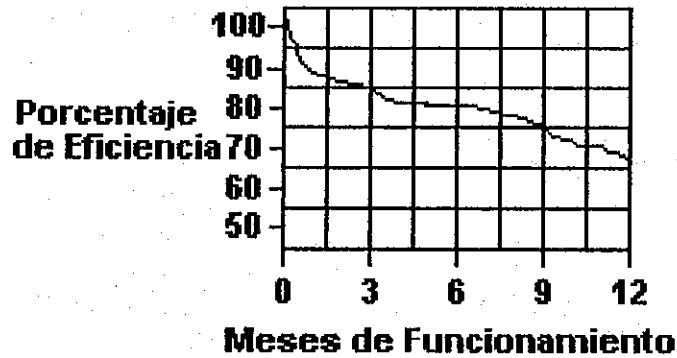
El hecho de que la luz ultravioleta desinfecte el agua sin necesidad de introducir químicos al agua produce muchas oportunidades de ventas. Puede ser utilizada sola, cuando solo se necesite desinfección del agua, o puede ser agregada a cualquier otro tipo de tratamiento de agua. Cuando el agua sea pretratada, la luz ultravioleta puede ser combinada con diferentes acondicionadores del agua, filtros u osmosis inversa.

La luz ultravioleta debería ser considerada para asegurar que no exista ningún tipo de recontaminación en las aplicaciones en que el desinfectante primario ha sido removido. Esto incluye maquinas expendedoras, abastecimientos de agua y especialmente, sistemas de tratamiento de casas que remueven el cloro. La luz ultravioleta se combina muy bien con la osmosis inversa para prevenir la contaminación de la membrana y prohíbe que la bacteria salga del tanque de retención. Los caudales recomendados no deben ser excedidos para poder obtener un buen funcionamiento del equipo.

La baja presión normalmente no es ningún problema pues los sistemas de luz ultravioleta tienen una caída de presión muy baja. Se debe recordar que el sistema de luz ultravioleta es solo para desinfectar el agua, y en dado caso exista algún otro problema éste deberá ser resuelto antes del sistema. Con esto se estará evitando que los filtros se saturen muy rápido.

Los bulbos del sistema normalmente no se queman, pero su efectividad va disminuyendo conforme avanza el tiempo.

Descripción de la Lámpara



Muchos fabricantes recomiendan cambiar el bulbo una vez al año. Como se puede observar en la figura, la efectividad del bulbo llega a un 70% al cabo de un año, si se continuara usando este bulbo para descontaminación bacteriológica la efectividad del mismo ya no sería confiable y comenzarían a pasar bacterias que sobrevivieron a la poca intensidad del bulbo. Cambiar el bulbo y la limpieza del mismo son normalmente el único mantenimiento que necesita el sistema de luz ultravioleta para que trabaje por años.

Los sistemas de luz ultravioleta (LUV) son de fácil instalación y mantenimiento, por lo que son ampliamente recomendados y en la mayoría de los casos en que se necesite desinfección, la mejor opción.

12.1.4- FILTRACIÓN FÍSICA:

Los métodos de desinfección por medio de filtración física son basados en el uso de cerámicas de poro pequeño, el problema de este tipo de desinfección es el costo relativamente alto de mantenimiento y su poca capacidad de filtración. Se recomienda el uso de este tipo de desinfectantes en casos muy especiales donde no exista la luz eléctrica de lo contrario sería más factible cualquier otro tipo de método de desinfección.

13.- CONTAMINACIÓN ORGÁNICA.

La mayoría de las sustancias que se encuentran en el agua son inorgánicas. Las sustancias inorgánicas son aquellas cuyos componentes no son de carbón (hierro, manganeso, calcio, manganeso, etc.). Es de suma importancia recordar que todas las sustancias son compuestas por átomos, que son formados por neutrones, protones y electrones. Es en la forma que están unidos, lo que las diferencia, es por esta razón que existen algunas sustancias que aun teniendo compuestos de carbón son consideradas inorgánicas (carbonato de calcio).

Por lo general, se deberá tomar para el estudio de las sustancias orgánicas a cualquier sustancia que contenga compuesto de carbón, no importando si está asociada con materia viviente o no.

Nadie sabe cuantos compuestos orgánicos existen, pero se han estimado alrededor de 6,000,000 hasta la fecha, muchos son de origen natural, pero se ha incrementado de sobre manera el número de origen sintético.

El fin de este capítulo no es estudiar la estructura o síntesis de los compuestos pero si sus efectos y formas de solucionarlos. Por esta razón solo se mencionarán los tipos de contaminación orgánica que se encuentran en el agua, sin entrar en detalle en su clasificación estructural química.

13.1- COMPUESTOS DE ORIGEN NATURAL:

Cuando ocurre la descomposición de compuestos animales y/o vegetales, sobre y/o en el suelo, se forma el HUMUS, éste se divide en varias sustancias. Estas sustancias microscópicas coloidales son las que dan la fertilidad a los suelos, éstos pueden llegar a ser un problema cuando entran en contacto con un abastecimiento de agua.

Es muy común que el humus imparta una tonalidad amarillenta al agua, así como también ocasiona problemas de olor y sabor si se presentan en grandes cantidades. Si uno llena un vaso de agua, la misma se vera clara, pero si se llena una tina de baño de la misma agua, la misma presentara una tonalidad amarillenta, esto indicará la presencia de sustancia provenientes del humus. En volúmenes grandes estas partículas de tonalidad colorada presentarán contra una superficie blanca de porcelana una tonalidad de color amarillenta, por esta razón se notan en una tina y no un vaso.

Hay un gran número de sustancias de humus, muchos de los cuales que no se han estudiado seriamente o ni siquiera nombrado. Estos compuestos son caracterizados por su capacidad para deshacer proteínas. Los mismos tienen una gran demanda debido a la variedad de usos comerciales que pueden tener, tales como refinado, ácidos para curtir, y en la producción de textiles, alimentos, tintas y papel. Sin embargo en el agua son un problema.

Las sustancias de este tipo pueden manchar la ropa y ser desagradables estéticamente. A nadie le gustaría beber un vaso de agua amarilla. Las sustancias también demandan un aumento de

cloro para lograr desinfectar el agua, mientras se permite la formación de Trihalometanos (THMS). Los abastecimientos de agua tanto superficiales como subterráneos contienen las más grandes cantidades de estas sustancias debido a su proximidad al manto de contaminación.

Otras sustancias orgánicas de origen natural son organismos vivos tales como algas, diatomos, y bacterias. Muertos o vivos estos organismos crean sabores, olores y los colores sucios ocasionados por los subproductos orgánicos celulares que están presentes en ellos. Uno de los organismos más problemáticos es una bacteria de nombre Actinimycetes. Crea una sensación de olor mohoso o como a tierra en el agua que es difícil de quitar, aun con el cloro, el ozono y activado carbón.

Sustancias Orgánicas de Origen Sintético:

La sociedad está considerada por mucho, mejor que la del pasado por su capacidad para desarrollar compuestos orgánicos que matan hierbas y pestes, crear medicinas que salvan la vida, etc.. Es por esta razón, por la cual el standard de vida se ha superado, pero como para cada acción hay una reacción, a continuación se explica lo que pasa en reacción.

Muchos de los componentes (en su mayoría orgánicos) usados para la producción de los compuestos antes mencionados son tóxicos para humanos y animales, y en concentraciones fuertes son mortales. Muchos de los usos, malos usos y almacenamientos de estos compuestos pueden afectar la calidad de vida diaria, causando enfermedades o incluso muerte. La preocupación causada por esta razón ha llevado a poner más atención en la forma en que se preparan los alimentos, se empaican y especialmente en la forma de desinfección del agua usada para la producción de los mismos. La calidad del agua se ve afectada por la exposición a sustancias orgánicas dañinas.

Uno de los grupos que más afecta la calidad del agua es la agricultura, pues en la misma se usan pesticidas tanto orgánicos como inorgánicos, que son usados para la destrucción o prevención de hierbas e insectos. Los productos usados en la agricultura pueden ser divididos en:

Herbicidas: Existen dos tipos básicos de herbicidas: selectivos, los cuales atacan a ciertas plantas y no-selectivos, que atacan afectan a todas las plantas.

Insecticidas: Son compuestos que matan insectos, algunos de los cuales son nocivos para los humanos y/o ganado. Estos se están haciendo, hasta ahora, a base de neuro toxinas o inhibidores de metabolismos para destruir a los insectos.

Fumigantes: Son agentes tóxicos que afectan roedores, insectos y ciertos organismos infecciosos, algunos son inyectados en el suelo para destruir insectos que afecten las raíces.

Repelentes: Son compuestos tóxicos que afectan y mantienen alejados a los insectos o animales, de ciertas áreas o fuentes de comida.

La mayoría de los pesticidas, hasta ahora, son hechos a base de compuestos no tóxicos para el ser humano, pero por mucho tiempo se usaron los pesticidas hechos a base de compuestos tóxicos, por lo que aun afectan la calidad del agua subterránea y son de mucho interés para la calidad del agua. Su fabricación, uso y almacenamiento son de mucho interés para la ecología.

La temperatura es baja.

Normalmente se usa cloro para desinfectar el agua pero este método puede ser un arma de dos filos, pues si hay compuestos orgánicos presentes en el agua, los mismos podrían combinarse con el cloro y formar Trihalometanos (THM), algunos de los cuales son considerados cancerígenos. El THM más conocido es el cloroformo y si se encuentra en el agua es muy difícil de remover.

Los factores que afectan el desarrollo de los THM son:

- Precursores Orgánicos (tipo y cantidad en el agua)
- Temperatura
- El nivel de pH
- Concentración de cloro libre
- Concentración de Bromuro

Entre más grande sea la concentración de material orgánico en el agua más grande será la probabilidad de desarrollar THM con cloro. De igual manera si se incrementa el nivel de pH y la temperatura, se incrementará la probabilidad de desarrollar los THM. Muchos necesitan de Bromuros para su formación.

Para disminuir la formación de THM durante la desinfección, se ha usado una combinación de Cloro con Ammonio, la cual es inyectada en el agua. Es muy efectiva para desinfectar agua mientras se reduce considerablemente la formación de THM, pero no es tan efectiva para desinfectar como si se usara cloro puro, por lo que se deberá usar una cantidad mayor para poder lograr el mismo nivel de desinfección. Así mismo esta combinación reduce considerablemente la eficiencia de un sistema de cloración

Las fosas sépticas son otra forma potencial de contaminación para el agua. Si existe algún contacto con algún sistema de desecho de aguas negras, se tendrá que tener en cuenta que se encontraran compuestos orgánicos naturales y sintéticos.

13.2- PRUEBA

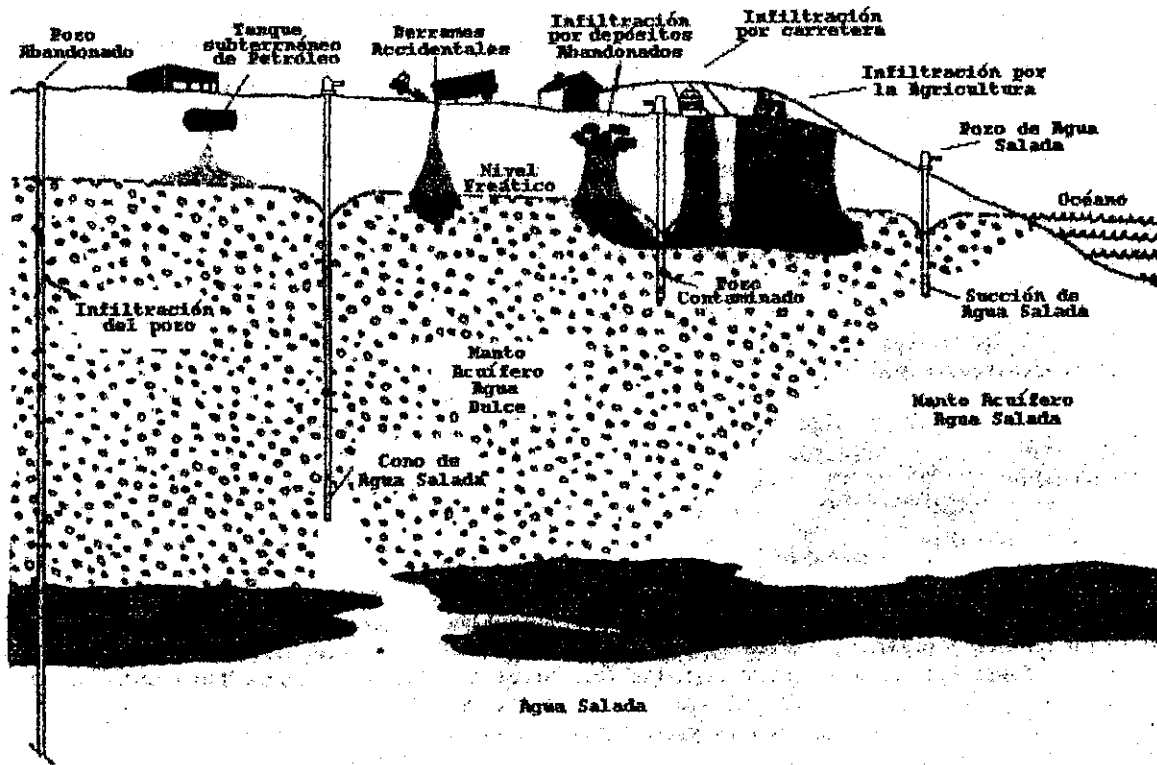
Existen algunos pequeños y sencillos equipos de análisis de agua que pueden detectar contaminación en la categoría de los formados naturalmente por el Humus. Pero si se necesita un análisis más exacto, el mismo deberá ser realizado por un laboratorio especializado; pues para un buen estudio se necesitan de equipos sofisticados como cromatógrafos de gas y spectómetros de masa.

13.3- TRATAMIENTO

Los métodos más recomendados para remover la presencia de la contaminación orgánica en el agua son:

Otro grupo de mucha importancia que deberá ser estudiado en la fuente de agua son los carbonos orgánicos volátiles (COV). Estas sustancias son de mucho uso en la agricultura, industria, comercio y mantenimiento de las casas, se ha estimado la producción de estas sustancias en 20 billones de libras al año. Considerándose que las mismas tienen una relación cercana con la salud.

En la siguiente figura se puede observar cómo los contaminantes entran en contacto con el agua hasta contaminarla:



Como se puede observar tanto las superficies inapropiadas, almacenamientos subterráneos, derrames accidentales, etc., contribuyen a la contaminación de las fuentes subterráneas.

Refiriéndonos a los carbonos orgánicos volátiles (COV), los mismos tienden a ser preservados en los mantos subterráneos, por que tienen muy poca afinidad a seguirse filtrando en los suelos, debido a las siguientes razones:

No son expuestos directamente al aire.

Hay muy pocos organismos presentes para la biodegradación.

El ambiente es oscuro.

No hay turbulencia.

AIREACIÓN: Consiste en poner aire en contacto con el agua, esto se puede lograr de muchas formas y una de las más usadas es a través de compresores con inyectores de aire en el agua, como si fuera una pecera. Se deberá tomar en cuenta que usar cualquier método de aireación reducirá la calidad del aire cerca del sistema, por la liberación de los compuestos orgánicos.

CLORACIÓN: Se usa como tratamiento correctivo y preventivo. El cloro como tratamiento correctivo para olor y sabor es más eficaz cuando se logra y mantiene un cloro residual libre. El cloro libre, por su poder oxidante, oxida muchos compuestos que producen olor y sabor. El cloro, además de su acción oxidante, destruye o evita el crecimiento de algas, bacterias o microorganismos causales de olor y sabor. En la siguiente tabla se indica el efecto que el cloro ejerce sobre diferentes organismos y sabor que éstos originan.

Organismos por c.c. de agua	Dosis de cloro mg/L	Cloro Residual	Organismos destruidos	Sabor eliminado
Synura 1-25	0.3	0.5-0.1	si	si
Synura 50-100	0.5-0.7	0.2	si	si
Synura 200	0.7-0.9	0.3	si	si
Urogolena 2,000	0.5	0.1	si	si
Urogolena 6,000	0.5	0.1	si	si
Dinobryon 500	0.5	0.1	si	si
Asterionela 1,350	0.7	0.2	si (50%)	no
Alfanizomenon 1,500	0.7-0.8	0.2-0.8	si (50%)	no

ADSORCIÓN: El carbón activado granular es una de las sustancias más usadas para el control del olor y sabor en tratamiento de agua. El carbón activado logra su efecto por el fenómeno conocido con el nombre de adsorción o remoción selectiva de sustancias de una solución (ejemplo, la forma como el tejido absorbe la tintura de una solución) y no debe confundirse con absorción (ejemplo, la esponja que se introduce en el agua). La habilidad para absorber del carbón activado, se mide por la capacidad de adsorción de fenol puro, cuyo parámetro se conoce con el nombre de "Valor de Fenol" y se define como la cantidad de carbón activado en mg/L requerida para reducir la concentración de 0.1 mg/L a 0.01 mg/L, no se acepta para el uso, carbón con un valor de fenol superior a 30.

Para que la adsorción funcione, deberá existir una superficie grande de carbón activado granular. Esto se logra por una amplia cantidad de poro que varía en tamaño, para aceptar tanto moléculas grandes como pequeñas. Se tiene estimado que una libra de carbón activado tiene un área superficial de 0.61 kilómetros².

Se le llama activado porque el carbón se expone a temperaturas de 815°C con vapor, y una vez en uso, su vida dependerá de cuánto tiempo trabaje y la calidad del mismo. Si se usa para eliminar sabores, olores, colores y/o cloro residual, la cama de carbón puede durar años, pero si se usa para remover THM como cloroformo, su vida será de meses sino es

--	--	--	--	--

que semanas. Se deberá recordar que tendrá que dársele mantenimiento par mantener su efectividad, caso contrario la calidad del agua podría verse afectada en un corto período de tiempo.

CONCLUSIONES

- El Agua subterránea constituye la mayor reserva en la tierra, por lo que debe ser tomada muy en serio, para abastecer agua con buena calidad y en suficiente cantidad a las poblaciones.
- Las características químicas del agua cambian conforme se moviliza en el ciclo hidrológico y de las características del medio ambiente en que se desarrolla el mismo.
- La recolección del dióxido de carbono (CO₂) por medio del agua en circulación crea la lluvia ácida
- Aun cuando el ciclo hidrológico crea de por sí un grado de contaminación, la lluvia ácida ayuda de sobre manera a crea una mayor contaminación en el agua, al ayudar a mezclar los contaminantes, disolviéndolos hasta lograr un estado soluble en el agua.
- La calidad del agua subterránea depende grandemente de las condiciones de temperatura y presión con las cuales atraviesa los depósitos de rocas y suelos. Así como también el tiempo de contacto de los mismos con los acuíferos del área.
- En el área en estudio la contaminación por hierro deberá considerarse casi como segura por las condiciones encontradas, pues si la misma no se presenta ya se tendría contemplada, dando aun más ganancia al proyecto o poder usar este presupuesto para algún otro fin.
- La dureza en caso de casas particulares no deberá considerarse como un problema serio, ya que la misma no tiene significación sanitaria. Pero en caso de uso industrial el agua deberá ser tratada, aun cuando el grado de contaminación sea pequeño, evitando así los problemas mencionados en el capítulo respectivo.
- Aun cuando el problema de contaminación sea muy grave siempre habrá una solución, pero la misma puede ser muy cara y no rentable, por lo que se deberá tomar en cuenta este factor para poder determinar si no existe una solución más económica al cambiar el abastecimiento de agua.
- Dada la creciente demanda de agua en el área de estudio, la necesidad de conocimiento sobre la calidad de la misma ha ido en aumento así como la necesidad de equipo de uso industrial y domiciliar.
- El buen dimensionamiento de un equipo de tratamiento de agua está basado en el buen análisis del agua a tratar, en el uso que se le dará y en la cantidad de agua a tratar.
- Para efectos de abastecimiento, es necesario contar con los resultados de los análisis fisico-químico y exámenes bacteriológicos del agua.

- | | | | | |
|--|--|--|--|--|
| | | | | |
|--|--|--|--|--|
- El estudio de microorganismos en el agua es muy complicado y es una ciencia muy detallada. Se han escrito volúmenes enteros de este tipo de estudios, por lo que la construcción de un buen sistema de distribución, análisis continuo del agua y una muy buena selección de método de desinfección puede garantizar la calidad del agua desde el punto de vista microbiológico.

RECOMENDACIONES

- Dado que el área en estudio es la que tiene el mayor crecimiento urbano en el departamento, se deberán emitir reglamentos para garantizar la calidad y cantidad del agua en el futuro, para lo cual se requiere de los análisis físico-químico y exámenes bacteriológicos de las fuentes de agua.
- Cuando se proceda a cotizar un proyecto en el cual se desea considerar un sistema de abastecimiento propio, se deberá considerar en el presupuesto un renglón para el tratamiento, el cual quedará a criterio del diseñador y/o constructor. Pero si el proyecto se realizara en el área de estudio de este trabajo el mismo no debe faltar pues, como lo presenta el mismo, la contaminación será casi segura.
- Algo que puede minimizar el costo del equipo de tratamiento es el dividir la cisterna del proyecto en dos para poder utilizar un equipo de trasvase, como lo hiciera la persona propietaria del pozo en el cual se plantearon las hipótesis de solución.
- Deberá existir asesoramiento, por parte de expertos en la materia, en lo que respecta a la calidad y el equipo de tratamiento para cada proyecto, pues esto garantizará que no habrá problemas futuros.
- Aun cuando un análisis microbiológico del agua no demuestre una contaminación la misma se deberá considerar, pues es el contaminante más factible de presentarse cuando el agua sale del pozo, por lo que aun cuando un examen bacteriológico no demuestre contaminación del agua en el pozo, se debería incluir un tipo de tratamiento, para evitar que la misma se contamine en el proceso de distribución.
- Al escoger un determinado tratamiento de agua se deberá analizar el método de resolución por el cual funciona el mismo, para determinar si el agua cumple con los requisitos previos para que funcione adecuadamente el método seleccionado.
- Es necesario concientizar a todos los usuarios, tanto privados como de servicios públicos, para el uso y aprovechamiento adecuado del agua, para que los equipos trabajen solo lo necesario y no sobre explotar el abastecimiento de este valioso recurso.
- Deberá tenerse mucho cuidado al tomar las muestras pues las mismas determinan la magnitud del problema y la solución a plantear.
- Se propone la creación de una red de monitoreo de calidad de agua subterránea, a nivel distrito metropolitano y de ser posible a nivel nacional, para determinar la calidad del agua subterránea.
- Cada proyecto que utilice el agua subterránea como abastecimiento, deberá preocuparse por realizar los análisis físico-químicos y exámenes bacteriológicos para estar enterado de la calidad del agua a utilizar y por consiguiente el tratamiento requerido.

BIBLIOGRAFÍA

- Ing. Francisco Unda Opazo / Sergio M. Salinas Cordero, Ingeniería Sanitaria aplicada a Saneamiento y Salud Pública, editorial Hispano Americana, primera edición en español, México, 1969.
- Dirección de planificación municipalidad de Guatemala, EDOM 1972-2000 plan de desarrollo metropolitano, Litografías Modernas de Guatemala, S.A. Guatemala. 1972.
- Folletos de Internet con dirección:
 - http://www.es.eogi.edu/es_e_docs/iron.html#anchor594368
 - <http://www.dmorll.er.usgs.gov/-bjsmith/outreach/hydrology.premier.html>
 - <http://gwrp.cciw.ca/education/gwfacts/d.html>
 - <http://gwrp.cciw.ca/education/gwfacts/e.html>
 - <http://gwrp.cciw.ca/education/gwfacts/f.html>
 - <http://gwrp.cciw.ca/education/gwfacts/c.html>
 - <http://gwrp.cciw.ca/education/gwfacts/c1.html>
 - <http://gwrp.cciw.ca/education/gwfacts/c2.html>
 - <http://gwrp.cciw.ca/education/gwfacts/c3.html>
 - <http://gwrp.cciw.ca/education/gwfacts/figure10.html>
 - <http://gwrp.cciw.ca/education/gwfacts/figure5.html>
 - <http://www.whitmanco.com/grndwatr.html>
 - <http://www.whitmanco.com/>
 - <http://www.whitmanco.com/predic.html>
 - <http://www.whitmanco.com/predic2.html>
 - <http://www.nosalt4u.com>
 - http://www.nosalt4u.com/how_it_works.html
 - <http://www.flint.umich.edu/departments/RegionalGroundwater/rgchome.html>
 - http://www.flint.umich.edu/departments/RegionalGroundwater/rgc_pg05.htm
 - http://www.flint.umich.edu/departments/RegionalGroundwater/rgc_pg11.htm
 - http://www.flint.umich.edu/departments/RegionalGroundwater/rgc_pg13.htm
 - http://www.flint.umich.edu/departments/RegionalGroundwater/rgc_pg23.htm
 - <http://h2o.usgs.gov/>
 - <http://www.rvares.er.usgs.gov/wqn96/>
 - <http://www.rvares.er.usgs.gov/wqn96cd/html/report/index3.txt>
 - <http://www.rvares.er.usgs.gov/wqn96cd>
 - <http://www.rvares.er.usgs.gov/wqn96/html/report/index2.txt>
 - <http://www.rvares.er.usgs.gov/wqn96/html/report/index1.txt>
 - <http://www.flint.umich.edu/departments/RegionalGroundwater/tyreport.htm>
 - <http://brcsun0.tamu.edu/~hoffman/data1/b6026.html>
 - <http://gwrp.cciw.ca/gwrp/studies/novakowski.html>
 - <http://www.gov.nb.ca/environm/operatin/air/acidrain.htm>

- http://www.flint.umich.edu/Departments/RegionalGroundwater/rgc_pg07htm
 - http://www.anc.org.za/water/wtrights.html#_Toc319755549
 - <http://gwrp.cciw.ca/education/gwfacts/a.html>
 - <http://gwrp.cciw.ca/education/gwfacts/a1.html>
 - <http://gwrp.cciw.ca/education/gwfacts/a2.html>
 - <http://gwrp.cciw.ca/education/gwfacts/a3.html>
 - <http://www.solerperts.com/hydro.htm>
 - http://www.oregon.wr.usgs.gov/projs_dir/willgw/glossary.html
- Enrique Velásquez Monzón, Estudio de los niveles freáticos en el valle de Guatemala., tesis de graduación de Ingeniero Civil, Facultad de Ingeniería, Universidad de San Carlos de Guatemala, Guatemala 1995.
 - Instituto Nacional de Sismología, Vulcanología, Meteorología e Hidrología, Sección de Aguas Subterráneas; Informe Final del Estudio de Aguas Subterráneas en el Valle de Guatemala; Guatemala; 1978.
 - Enciclopedia Salvat, tomos 1-12, Salvat editores S.A., Barcelona, España, 1972
 - Comisión Guatemalteca de Normas, COGUANOR NGO 29001, Ministerio de Economía, Guatemala.

ANEXOS

ANEXO 1:
Resultados de los parámetros analizados.

Resultados de los parámetros analizados

	Límite Máximo Aceptable	Dimensionales	POZO								Pruebas Contaminadas
			# 1	# 2	# 3	# 4	# 5	# 6	# 7	# 8	
pH	7.0 - 8.5	Unidades	6.95	6.57	6.88	6.95	6.90	6.85	6.99	7.00	7
Color	5	Unidades	3.50	5.35	10.70	0.60	4.20	2.89	4.70	4.90	2
Calcio	75	mg/L	34.02	18.65	68.38	24.78	62.50	49.19	42.00	97.00	1
Dureza	100	mg CaCO ₃ /L	72.31	50.71	186.29	45.06	318.40	295.90	222.18	268.74	5
Hierro Total	0.1	mg/L	3.50	1.22	1.18	1.16	1.50	2.40	2.30	1.35	8
Manganeso	0.05	mg/L	2.00	0.30	0.38	1.15	0.02	0.04	2.70	0.50	6
Nitratos	45	mg/L	16.50	0.00	0.00	5.20	1.20	1.00	9.30	3.81	0
Nitritos	0.01	mg/L	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.02	0.00	0.00	1
Magnesio	50	mg/L	9.34	7.82	28.77	4.95	22.13	19.85	43.96	42.10	0
Turbidez	5	Unt	10.70	0.30	0.50	0.40	5.10	0.50	5.89	1.75	3



CONTAMINADO



NO CONTAMINADO

Laboratorio: Laboratorio Biológico Industrial (LABIND)

ANEXO 2:
Comparación de resultados de los parámetros analizados antes y después del tratamiento.



**Reporte de análisis
Físico Químico**

Att.: Sr. Estuardo León

Orden de Servicio No: 13,325
 Empresa: Sr. Estuardo León
 Muestras captadas en: Area sur-este capital
 Fecha de Ingreso: 28 de enero de 1999
 Fecha de análisis: 29 de enero de 1999
 Fecha de reporte: 2 de febrero de 1999
 Tipo de Muestra: agua
 No. de Muestras 2
 Análisis efectuado: físico-químico
 Método de Análisis: ASTM

Parámetro	Dimensionales	No. Lab.	No. Lab.	LMA	LMP
		42,510	42,511		
		Identificación	Identificación		
		Antes de pozo	Después de tratamiento		
		Resultado	Resultado		
pH	unidades	6.5	7.5	7.0-8.5	6.5-9.2
Conductividad eléctrica	uSiemens/cm	435	400	500	1500
Temperatura	°C	-	-	18-30	no>34
Salinidad	0/00	0.0	0.0		
Apariencia		Turbia	Transparente		
Olor		Aceptable	Aceptable	No rechazable	No rechazable
Cloro residual	mg/L	NC	NC	0.3-0.5	0.6-1.0
Alcalinidad pH 8.3	mg CaCO3/L	0.0	120		
Alcalinidad pH 4.0	mg CaCO3/L	324	304		
Cloruros	mg/L	21.27	21.27	200	600
Color	unidades	11.00	0.00	5	50
Calcio	mg/L	92.96	2.97	75	200
Dureza total	mg CaCO3/L	459	17	100	500
Hierro total	mg/L	18.60	0.04	0.1	1
Manganeso	mg/L	1.00	0.07	0.05	0.5
Nitratos	mg/L	5.30	2.10		45
Nitritos	mg/L	0.01	0.00		0.01
Magnesio	mg/L	89.31	3.42	50	150
Ortofosfatos	mg/L	1.15	0.20		
Sulfatos	mg/L	815	815	200	400
Residuos totales (104°C)	mg/L	840	825	500	1500
Turbiedad	Unt	73	0	5	25

mg/L= Miligramos por litro = PPM = Partes por millón

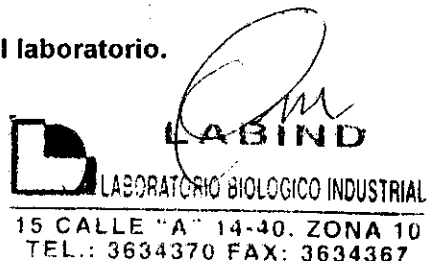
Unt=Unidades nefelométricas de turbiedad N.C.=no cuantificado

NOTA: Los resultados que se encuentren resaltados con negrillas, se encuentran fuera de norma.

* Muestras no captadas por personal de LABIND

Las muestras se analizaron, tal y como fueron entregadas en el laboratorio.

POR LABIND:



ANEXO 3:
Normas de calidad de agua COGUANOR NGO 29001.

COGUANOR NGO 29001

		AGUA POTABLE Especificaciones	COGUANOR NGO 29 001
1.	OBJETO	Esta norma tiene por objeto fijar los valores de las características que definen la calidad del agua potable.	
2.	NORMAS COGUANOR A CONSULTAR	Sistema Internacional de Unidades (SI).	
	COGUANOR NGO 4 010 1a. Revisión	Aguas. Ensayos y/o análisis. Aparatos de laboratorio. Reactivos y técnicas de laboratorio.	
	COGUANOR NGO 29 010 h1	Aguas. Ensayos y/o análisis. Expresión de resultados.	
	COGUANOR NGO 29 010 h2	Aguas. Ensayos y/o análisis. Precisión, exactitud comprobación y corrección de los resultados de los análisis.	
	COGUANOR NGO 29 010 h3	Aguas. Ensayos y/o análisis. Toma y conservación de muestras.	
	COGUANOR NGO 29 010 h4	Aguas. Ensayos y/o análisis. Uso de resinas de intercambio iónico.	
	COGUANOR NGO 29 011 h2	Aguas. Ensayos físicos. Determinación de color.	
	COGUANOR NGO 29 011 h3	Aguas. Ensayos físicos. Determinación de conductividad.	
	COGUANOR NGO 29 011 h5	Aguas. Ensayos físicos. Determinación de olor.	
	COGUANOR NGO 29 011 h7	Aguas. Ensayos físicos. Determinación de residuo	
	COGUANOR NGO 29 011 h9	Aguas. Ensayos físicos. Determinación de sabor.	
	COGUANOR NGO 29 011 h10	Aguas. Ensayos físicos. Determinación de temperatura.	
	COGUANOR NGO 29 011 h12	Aguas. Ensayos físicos. Determinación de turbiedad.	
	COGUANOR NGO 29 012 h1	Aguas. Determinación de metales. Generalidades	
	COGUANOR NGO 29 012 h2	Aguas. Determinación de metales. Tratamiento preliminar de las muestras.	
	COGUANOR NGO 29 012 h3	Aguas. Determinación de metales. Absorción atómica a la llama. Espectrofotometría.	
	COGUANOR NGO 29 012 h4	Aguas. Determinación de metales. Micropartículas metálicas por absorción atómica electro-térmica. Espectrofotometría.	
	COGUANOR NGO 29 012 h5	Aguas. Determinación de metales. Métodos polarográficos.	
	COGUANOR NGO 29 012 h6	Aguas. Determinación de metales. Aluminio.	
	COGUANOR NGO 29 012 h7	Aguas. Determinación de metales. Arsénico.	
	COGUANOR NGO 29 012 h11	Aguas. Determinación de metales. Calcio.	
	COGUANOR NGO 29 012 h12	Aguas. Determinación de metales. Cromo.	
	COGUANOR NGO 29 012 h13	Aguas. Determinación de metales. Cobre.	
	COGUANOR NGO 29 012 h14	Aguas. Determinación de metales. Dureza.	
	COGUANOR NGO 29 012 h15	Aguas. Determinación de metales. Hierro.	
	COGUANOR NGO 29 012 h16	Aguas. Determinación de metales. Plomo.	

Continúa

COGUANOR NGO 29001

COGUANOR NGO	29 012 h18	Aguas. Determinación de metales. Magnesio.
COGUANOR NGO	29 012 h19	Aguas. Determinación de metales. Manganeso.
COGUANOR NGO	29 012 h23	Aguas. Determinación de metales. Selenio.
COGUANOR NGO	29 012 h28	Aguas. Determinación de metales. Zinc.
COGUANOR NGO	29 013 h1	Aguas. Determinación de constituyentes inorgánicos no metálicos. Generalidades.
COGUANOR NGO	29 013 h4	Aguas. Determinación de constituyentes inorgánicos no metálicos. Boro.
COGUANOR NGO	29 013 h7	Aguas. Determinación de constituyentes inorgánicos no metálicos. Cloruro.
COGUANOR NGO	29 013 h8	Aguas. Determinación de constituyentes inorgánicos no metálicos. Cloro residual.
COGUANOR NGO	29 013 h12	Aguas. Determinación de constituyentes inorgánicos no metálicos. Cianuro.
COGUANOR NGO	29 013 h13	Aguas. Determinación de constituyentes inorgánicos no metálicos. Fluoruro.
COGUANOR NGO	29 013 h18	Aguas. Determinación de constituyentes inorgánicos no metálicos. Nitrógeno (nitrato).
COGUANOR NGO	29 013 h19	Aguas. Determinación de constituyentes inorgánicos no metálicos. Nitrógeno (nitrito).
COGUANOR NGO	29 013 h23	Aguas. Determinación de constituyentes inorgánicos no metálicos. Potencial de hidrógeno (pH).
COGUANOR NGO	29 013 h26	Aguas. Determinación de constituyentes inorgánicos no metálicos. Sulfato.
COGUANOR NGO	29 014 h1	Aguas. Determinación de constituyentes orgánico Generalidades.
COGUANOR NGO	29 014 h10	Aguas. Determinación de constituyentes orgánico Fenoles.
COGUANOR NGO	29 018 h1	Aguas. Exámenes microbiológicos. Generalidades.
COGUANOR NGO	29 018 h2	Aguas. Exámenes microbiológicos. Control de calidad de los exámenes.
COGUANOR NGO	29 018 h3	Aguas. Exámenes microbiológicos. Aparatos de laboratorio.
COGUANOR NGO	29 018 h4	Aguas. Exámenes microbiológicos. Lavado y esterilización del equipo de laboratorio.
COGUANOR NGO	29 018 h5	Aguas. Exámenes microbiológicos. Preparación de los medios de cultivo.
COGUANOR NGO	29 018 h6	Aguas. Exámenes microbiológicos. Toma y transporte de muestras.
COGUANOR NGO	29 018 h7	Aguas. Exámenes microbiológicos. Recuento total de bacterias.
COGUANOR NGO	29 018 h8	Aguas. Exámenes microbiológicos. Determinación del grupo coliforme. Método de tubos múltiples.
COGUANOR NGO	29 018 h9	Aguas. Exámenes microbiológicos. Determinación del grupo coliforme. Método de las membranas de filtración.
COGUANOR NGO	29 018 h10	Aguas. Exámenes microbiológicos. Determinación del grupo estreptococos fecales. Métodos de los tubos múltiples. Método de las membranas de filtración.

Continúa

COGUANOR NGO 29001

3. DEFINICIONES

- 3.1 Agua potable.** Es aquella que por sus características de calidad especificadas en esta norma, es adecuada para el consumo humano.
- 3.2 Límite máximo aceptable (LMA).** Es el valor de la concentración de cualquier característica de calidad del agua, arriba de la cual el agua pasa a ser rechazable por los consumidores, desde un punto de vista sensorial pero sin que implique un daño a la salud del consumidor.
- 3.3 Límite máximo permisible (LMP).** Es el valor de la concentración de cualquier característica de calidad del agua, arriba de la cual, el agua no es adecuada al consumo humano.
- 3.4 Grupo coliforme, comprende:**
- 3.4.1 Grupo coliforme total.** Comprende todas las bacterias en forma de bacilos, aerobios y anaerobios facultativos, Gram negativos, no esporulados que fermentan la lactosa con producción de ácido y de gas a $35^{\circ}\text{C} \pm 0.5^{\circ}\text{C}$ en menos de 48 h, características cuando se investigan por el método de los tubos múltiples de fermentación.
- 3.4.2 Grupo coliforme fecal.** Se define como los bacilos, Gram negativos, no esporulados que fermentan la lactosa con producción de ácido y gas a $44^{\circ}\text{C} \pm 0.1^{\circ}\text{C}$ en menos de 24 h, características cuando se investigan por el método de los tubos múltiples de fermentación.
- 3.4.3** Todas las bacterias que originan colonias oscuras (verde dorado, con brillo metálico o colonias rosadas con un punto oscuro en el centro de la colonia), en un período de 24 h a 35°C , características cuando se investiga por el método de las membranas de filtración.
- 3.5 Grupo estreptococo fecal.** Bacterias de forma redondeada, agrupadas en forma de cadena, que provocan una coloración púrpura en el fondo de los tubos o una turbiedad densa a $35 \pm 0.5^{\circ}\text{C}$ en un período de 24 h, características cuando se investigan por el método de los tubos de fermentación.
- 3.5.1** Todas las bacterias que originan colonias de color rosado a rojo oscuro a $35 \pm 0.5^{\circ}\text{C}$ en un período de 48 h, características cuando se investigan por el método de las membranas de filtración.
- 3.6 Recuento total de bacterias.** Es el cómputo del número total de colonias desarrolladas (en la suposición que una bacteria da origen a una colonia) en agar nutritivo incubado a 35°C y 20°C en un período de 24 ± 2 h.

4. CARACTERÍSTICAS Y ESPECIFICACIONES FÍSICAS Y QUÍMICAS

El agua potable debe tener las siguientes características de calidad.

4.1 Características físicas.

Continúa

COGUANOR NGO 29001

4.4 Agua clorada. La cloración de los abastecimientos públicos de agua representa el proceso más importante usado en la obtención de agua de calidad sanitaria adecuada, "Potable". La desinfección por cloro y sus derivados significa una disminución de bacterias y virus hasta una concentración inocua, por lo que en el cuadro 5 se hace referencia a los límites adecuados de concentración de cloro libre residual que es aquella porción del cloro residual total que sea "libre" y que sirve como medida de la capacidad para oxidar la materia orgánica

Cuadro 5. Relación entre cloro residual libre y sus respectivos límites máximos aceptables y límites máximos permisibles

Substancia	LMA	LMP
Cloro residual libre	0.3 - 0.5 mg/L	0.6 - 1.0 mg/L

4.4.1 Observaciones al cuadro 5.

- a) El límite máximo aceptable, seguro y deseable de cloro residual libre, en los puntos más alejados del sistema de distribución es de 0.3 mg/L a 0.5 mg/L, después de 30 min de contacto, con el propósito principal de reducir en un 99.99 por ciento la concentración de virus entéricos.
- b) En aquellas ocasiones en que amenacen o prevalezcan brotes de enfermedades de origen hídrico, el residual de cloro debe mantenerse en un límite máximo permisible de 0.6 mg/L a 1.0 mg/L, en todas las partes del sistema de distribución haciendo caso omiso de los olores y sabores en el agua de consumo. Deben de tomarse medidas similares en los casos de interrupciones o bajas en la eficiencia de los tratamientos para potabilizar el agua.
- c) Los límites aceptables y permisibles de estas especificaciones están sujetos a modificarse cuando se pueda emplear un método analítico sencillo pero preciso y exacto para determinar la presencia de las sustancias denominadas "Trihalometanos" (THM) en el agua de consumo, siempre que no sobrepasen el límite de 0.1 mg/L.

4.5 Límites de toxicidad. En el cuadro 6 se indican algunas sustancias o compuestos químicos que al sobrepasar el límite máximo permisible, causan toxicidad en el agua potable.

Cuadro 6. Relación de las sustancias tóxicas con su respectivo límite máximo permisible

Substancias	LMP
Arsénico (As)	0.050 mg/L
Cadmio (Cd)	0.010 mg/L
Cianuro (CN ⁻)	0.050 mg/L
Cromo (Cr)	0.050 mg/L
Mercurio (Hg)	0.002 mg/L
Nitrato (NO ₃ ⁻)	45.000 mg/L
Nitrito (NO ₂ ⁻)	0.010 mg/L
Plata (Ag)	0.050 mg/L
Plomo (Pb)	0.100 mg/L
Selenio (Se)	0.010 mg/L

Continúa

COGUANOR NGO 29001

Cuadro 1. Características físicas. Límite máximo aceptable y límite máximo permisible que debe tener el agua potable

Características	LMA	LMP
Color	5.0 u	50.0 u (1)
Olor	No rechazable	No rechazable
pH (2)	7.0 - 8.5	6.5 - 9.2
Residuos totales	500.0 mg/L	1 500.0 mg/L
Temperatura	18.0 - 30.0°C	No mayor de 34.0°C
Sabor	No rechazable	No rechazable
Turbiedad	5.0 Utn o Utj	25.0 Utn o Utj (3)

- (1) Unidad de color en la escala de platino-cobalto.
 (2) Potencial de hidrógeno en unidades de pH.
 (3) Unidad de turbiedad, sea en unidades Jackson (u.t.j.) o unidades nefelométricas (u.t.n.).
 Estas siglas deben considerarse en la expresión de los resultados.

4.1.1 Conductividad eléctrica. El agua potable deberá tener una conductividad eléctrica de 50 a 500 $\mu\text{mho/cm}$ a 25°C.

4.2 Características químicas del agua potable. Son aquellas características que afectan la potabilidad del agua y que se indican en el cuadro 2 siguiente.

Cuadro 2. Sustancias químicas con sus correspondientes límites máximos aceptables y límites máximos permisibles

Detergentes aniónicos	0.200 mg/L	1.000 mg/L
Aluminio (Al)	0.050 mg/L	0.100 mg/L
Bario (Ba)	---	1.000 mg/L
Boro (B)	---	1.000 mg/L
Calcio (Ca)	75.000 mg/L	200.000 mg/L
Cinc (Zn)	5.000 mg/L	15.000 mg/L
Cloruro (Cl ⁻)	200.000 mg/L	600.000 mg/L
Cobre (Cu)	0.050 mg/L	1.500 mg/L
Dureza total (CaCO ₃)	100.000 mg/L	500.000 mg/L
Fluoruro (F ⁻) (1)	---	1.700 mg/L
Hierro total (Fe)	0.100 mg/L	1.000 mg/L
Magnesio (Mg)	50.000 mg/L	150.000 mg/L
Manganeso (Mn)	0.050 mg/L	0.500 mg/L
Níquel (Ni)	0.010 mg/L	0.020 mg/L
Sustancias fenólicas	0.001 mg/L	0.002 mg/L
Sulfato (SO ₄ ²⁻)	200.000 mg/L	400.000 mg/L

(1) Véase el numeral 4.3.

4.2.1 De preferencia los resultados de los análisis químicos deben expresarse en miligramos por litro, mg/L o en términos de miliequivalentes por litro, me/L. La ventaja de expresar los resultados en términos de me/L es que los aniones (iones cargados negativamente) y los cationes (iones cargados positivamente) pueden sumarse separadamente y compararse para...

Continúa

COGUANOR NGO 29001

comprobar la exactitud del análisis.

Cuadro 3. Factores para convertir mg/L a me/L, y viceversa (1)

Cationes	mg/L a me/L	me/L a mg/L	Aniones	mg/L a me/L	me/L a mg/L
Al ⁺⁺⁺	0.11120	8.993	BO ₂ ⁻	0.02335	42.82
Ba ⁺⁺	0.01456	68.68	Br ⁻	0.01251	79.92
Ca ⁺⁺	0.04990	20.04	Cl ⁻	0.02820	35.46
Cr ⁺⁺⁺	0.05768	17.34	CO ₃ ⁻⁻	0.03333	30.01
Cu ⁺⁺	0.03148	31.77	CrO ₄ ⁻⁻	0.01724	58.01
Fe ⁺⁺	0.03581	27.93	F ⁻	0.05263	19.00
Fe ⁺⁺⁺	0.05371	18.62	HCO ₃ ⁻	0.01639	61.02
H ⁺	0.99210	1.008	HPO ₄ ⁻⁻	0.02084	47.99
K ⁺	0.02558	39.10	H ₂ PO ₄ ⁻	0.01031	96.99
Li ⁺	0.14410	6.94	HS ⁻	0.03024	33.07
Mg ⁺⁺	0.08224	12.16	HSO ₃ ⁻	0.01233	81.07
Mn ⁺⁺	0.03641	27.47	HSO ₄ ⁻	0.01030	97.07
Mn ⁺⁺⁺⁺	0.07282	13.73	I ⁻	0.00788	126.90
Na ⁺	0.04348	23.00	NO ₂ ⁻	0.02174	46.01
NH ₄ ⁺	0.05543	18.04	NO ₃ ⁻	0.01613	62.01
Pb ⁺⁺	0.009652	103.60	OH ⁻	0.05880	17.01
Sr ⁺⁺	0.02282	43.84	PO ₄ ⁻⁻⁻	0.03159	31.66
Zn ⁺⁺	0.03059	32.69	S ⁻⁻⁻	0.06237	16.03
			SiO ₃ ⁻⁻	0.02629	38.05
			SO ₃ ⁻⁻⁻	0.02498	40.03
			SO ₄ ⁻⁻	0.02082	48.03

(1) Estos factores se basan en la carga de los iones, sin atender a las reacciones de oxidación-reducción, que son posibles con algunos iones. Los valores en mg/L o en me/L se multiplican por los factores correspondientes para obtener, respectivamente, me/L o mg/L.

4.3 Agua fluorurada. Cuando al agua potable se le ha adicionado compuestos derivados del flúor debe de haber una relación entre los límites de la concentración del ión fluoruro en función del promedio anual de las máximas temperaturas diarias del aire, lo que se consigna en el cuadro 4.

Cuadro 4. Promedio de temperatura y límites recomendados para la concentración de fluoruro

Promedio de temperaturas máximas diarias en grados Celsius (°C) (1)	Límites recomendados para la concentración del ión fluoruro, en mg/L		
	Mínimo	Óptimo	Máximo
10.1 - 12.0	0.9	1.2	1.7
12.1 - 14.6	0.8	1.1	1.5
14.7 - 17.7	0.8	1.0	1.3
17.8 - 21.4	0.7	0.9	1.2
21.5 - 26.3	0.7	0.8	1.0
26.4 - 32.5	0.6	0.7	0.8

(1) Los promedios de temperaturas deben obtenerse en base a datos correspondientes a un mínimo de 5 años.

Continúa

COGUANOR NGO 29001

4.6 Límites de sustancias biocidas. Los nombres de las sustancias biocidas orgánicas sintéticas, así como el límite máximo aceptable y límite máximo permisible se describen en el cuadro 7.

Cuadro 7. Relación de compuestos biocidas con sus respectivos límites máximos aceptables y límites máximos permisibles

Compuestos	LMA	LMP
Aldrín	0.0010 mg/L	0.0170 mg/L
Clordano	0.0030 mg/L	0.0030 mg/L
Compuestos organofosforados y carbamatos	0.1000 mg/L	0.1000 mg/L
DDT	0.0500 mg/L	0.0500 mg/L
Dieldrín	0.0010 mg/L	0.0170 mg/L
Endrín	0.0002 mg/L	0.0010 mg/L
Heptacloro	0.0001 mg/L	0.0180 mg/L
Heptacloro epóxido	0.0001 mg/L	0.0180 mg/L
Lindano	0.0040 mg/L	0.0560 mg/L
Metoxicloro	0.0350 mg/L	0.0350 mg/L
Toxafeno	0.0050 mg/L	0.0250 mg/L
<u>Herbicidas clorofenoxi:</u>		
2,4 - D (1)	0.0200 mg/L	0.1000 mg/L
2,4,5 - TP (2)	0.0300 mg/L	0.1000 mg/L
2,4,5 - T (3)	0.0020 mg/L	0.1000 mg/L

- (1) 2,4 - D (2,4, Acido diclorofenoxiacético)
 (2) 2,4,5 - TP (2,4,5 Acido triclorofenoxipropiónico)
 (3) 2,4,5 - T (2,4,5 Acido triclorofenoxiacético)

5. CARACTERÍSTICAS BACTERIOLÓGICAS PARA CERTIFICAR LA CALIDAD DEL AGUA POTABLE

Las características para agua potable estipulan el número permisible de microorganismos coliformes, en términos de las porciones normales de volumen y del número de porciones que se examina, con esta finalidad se establecen las alternativas siguientes.

5.1 Casos para los cuales ya se tiene un historial. Cuando por el método de los tubos múltiples de fermentación se examinen cinco porciones de 10 cm³ cada una, la ausencia de gas en todos los tubos se expresa como número más probable menor de 2.2 coliformes en 100 cm³ o sea NMP/100 cm³, lo cual se interpreta comúnmente como un indicador de que esa muestra aislada satisface la norma de calidad y el agua es adecuada para consumo humano.

5.2 Para nuevas introducciones de agua potable, en la evaluación de las plantas de depuración y para evaluaciones anuales, se debe proceder según se indica en los numerales 5.2.1 y 5.2.2.

5.2.1 Cuando en el método de los tubos múltiples de fermentación se examinan tres porciones de 10 cm³, tres porciones de 1 cm³ y tres porciones de 0.1 cm³, la ausencia de gas

Continúa

COGUANOR NGO 29001

en todos los tubos se expresa como número más probable menor de 3.0 coliformes en 100 cm³, lo cual se interpreta comunmente como un indicador de que esa muestra aislada satisface la norma de calidad y el agua es adecuada para consumo humano.

5.2.2 Cuando en el método de los tubos múltiples de fermentación se examinan cinco porciones de 10 cm³; cinco porciones de 1 cm³ y cinco porciones de 0.1 cm³, la ausencia de gas en todos los tubos se expresa como número más probable menor de 2.0 coliformes en 100 cm³, lo cual se interpreta como que esa muestra aislada satisface la norma de calidad y el agua es adecuada para el consumo humano.

5.3 En el método de los tubos múltiples de fermentación, una muestra positiva confirmada en tres o más tubos (de porciones de 10cm³ o más), se indica la necesidad de una acción correctiva inmediata y de exámenes adicionales.

5.4 En forma similar se estipula en el método de las membranas de filtración, cuando el volumen normal es una porción de 100 cm³ ó más. Interpretándose en esta técnica que el límite de calidad es de una colonia por 100 cm³ (1 colonia de coliformes/100 cm³) y que el límite en el cual deben de tomarse medidas correctivas es de 4 ó más colonias coliformes por 100 cm³.

5.5 Cuando el muestreo se efectúa diariamente, las muestras que se tomen en un mismo punto, después de una muestra "no satisfactoria", se considerarán como especiales y no se incluyen en el número prescrito de muestras mensuales.

5.6 Límites. Según se indique por las muestras que se examinen, la presencia de microorganismos del grupo coliforme por el método de los tubos múltiples de fermentación no deben de exceder de los siguientes límites:

5.6.1 Cuando se examinan porciones de 10 cm³, no más del 10 por ciento deben mostrar en cualquier mes, la presencia del grupo coliforme. No será permisible la presencia del grupo coliforme en tres o más de las porciones de 10 cm³ de una muestra normal cuando ocurran:

5.6.1.1 En dos muestras consecutivas.

5.6.1.2 En más de una muestra mensual, cuando se examinan mensualmente menos de 20 muestras, o,

5.6.1.3 En más de cinco por ciento de las muestras, cuando se examinan mensualmente más de 20 muestras.

5.7 Cuando se aplique la técnica de las membranas de filtración la media aritmética de la densidad de coliformes de todas las muestras normales que se examinen en un mes no debe de exceder de un microorganismo /100 cm³. El número de colonias coliformes por muestra normal no ha de exceder de 3/50 cm³, 4/100 cm³, 7/200 cm³ ó 13/500 cm³, en:

5.7.1 Dos muestras consecutivas.

5.7.2 En más de una muestra mensual, cuando se examinan mensualmente menos de 20 muestras, o,

5.7.3 Más del cinco por ciento de las muestras normales, cuando se examinan mensualmente más de 20 muestras.

Continúa

COGUANOR NGO 29001

5.8 Cuando en una muestra normal aislada se presenten organismos coliformes en tres o más de las porciones de 10 cm³ por el método de los tubos múltiples de fermentación o las colonias coliformes exceden de los valores mencionados en la técnica de las membranas de filtración, se deben de tomar inmediatamente muestras diarias del mismo punto de muestreo y se deben de examinar hasta que los resultados que se obtengan, cuando menos en dos muestras consecutivas, demuestren que el agua es de una calidad satisfactoria.

5.9 Un número mayor de 500 microorganismos/cm³ en el recuento total de bacterias, señala el límite en el cual deben de tomarse medidas correctivas e indicando la necesidad de una inspección sanitaria completa del sistema de abastecimiento para determinar cualquier sospecha de contaminación. El recuento total de bacterias debe tenerse únicamente en cuenta cuando la investigación del grupo coliforme no sea lo suficientemente confiable en la calidad del agua de determinados suministros de distribución. Esta especificación implica que debe realizarse el recuento en dos porciones de 1 cm³ y dos porciones de 0.1 cm³ en cajas de Petri por muestra examinada.

5.10 Frecuencia del muestreo para certificar la calidad bacteriológica del agua potable
 Se establece el número de muestras en relación a la población servida con base en la figura 1.
 Ejemplo:

<u>Población servida</u>	<u>Número mínimo de muestras por mes</u>
2 500 ó más abajo	1
10 000	7
25 000	25
100 000	100
1 000 000	300
2 000 000	390
5 000 000	500

Continúa en Pag. 10.

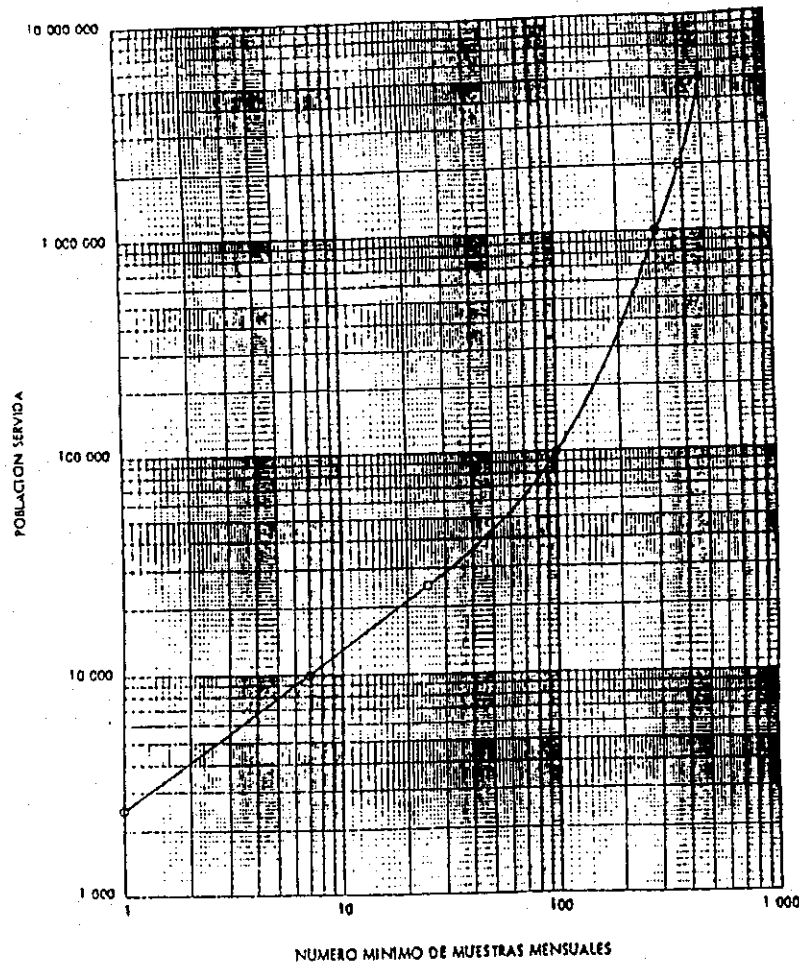
COGUANOR NGO 29001

Fig. 1 Relación entre el número de muestras que se toman mensualmente y la población servida

Las frecuencias recomendadas son las mínimas necesarias para exámenes microbiológicos rutinarios. Es necesaria la obtención de exámenes microbiológicos más frecuentes en circunstancias desfavorables o en peligro inmediato de contaminación.

6. METODOS DE ANALISIS

6.1 Las determinaciones de las especificaciones y características físico-químicas y microbiológicas del agua, indicadas en la presente norma, deben realizarse de acuerdo con las correspondientes normas COGUANOR NGO 29 010, 29 011, 29 012, 29 013, 29 014 y 29 018; véase capítulo 2.

7. RECOLECCION DE MUESTRAS

El muestreo para el análisis físico-químico deberá realizarse de acuerdo con la norma COGUANOR NGO 29 010 h4 y el muestreo para exámenes microbiológicos, deberá realizarse de acuerdo con la norma COGUANOR NGO 29 018 h6.

Continúa

COGUANOR NGO 29001

8. CORRESPONDENCIA

Para la elaboración de la presente norma se consultaron los siguientes documentos:

- 8.1 U.S. Environmental Protection, 1975. Interim Primary Drinking Water Standards. Fed. Reg. 40 (51) 11990, mar. 14. 1975.
- 8.2 Organización Mundial de la Salud. "Normas para Agua Potable" Ginebra, 1964, 1971.
- 8.3 Franz J. Mair, Fluoruración del Agua Potable. O.M.S. Washington D.C., 1971
- 8.4 APHA, - AWWA - WPCF, Standard Methods for Examination of Water and Waste-water. 14 th edition, 1975.
- 8.5 Sobsey Mark D. Enteric Viruses and Drinking Water Supplies National Symposium on the State of America's Drinking Water. Sep 26-27, 1974. Chapel Hill, N.C.U.S.A.
- 8.6 Organización Mundial de la Salud. Conferencia Panamericana sobre el mejoramiento del Agua de Consumo Humano, Sao Paulo, Brazil, Port Spain, Trinidad, 1976.
- 8.7 A.W.W.A. Journal "Trihalometanes in Water" enero, 1981.
- 8.8 Departamento de Sanidad del Estado de Nueva York. Manual de Tratamiento de Agua, Cap. 12. 1978.

----- Última Línea -----