

**UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR  
FACULTAD DE CIENCIAS NATURALES Y MATEMÁTICA  
ESCUELA DE BIOLOGÍA.**



**“PROPUESTA DE CRITERIOS AMBIENTALES,  
TECNICOS Y LEGALES PARA EL MUESTREO DE  
AGUA EN PROCEDIMIENTOS DE GESTION  
AMBIENTAL”**

**POR:**

**ROXANA RODRÍGUEZ DE CASTILLO.**

**TESIS SOMETIDA PARA OPTAR POR EL GRADO DE:**

**MAESTRA EN GESTION AMBIENTAL**

**CIUDAD UNIVERSITARIA, OCTUBRE DE 2005.**

**UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR  
FACULTAD DE CIENCIAS NATURALES Y MATEMÁTICA  
ESCUELA DE BIOLOGÍA.**



**“PROPUESTA DE CRITERIOS AMBIENTALES,  
TECNICOS Y LEGALES PARA EL MUESTREO DE  
AGUA EN PROCEDIMIENTOS DE GESTION  
AMBIENTAL”**

**POR:**

**ROXANA RODRÍGUEZ DE CASTILLO.**

**TESIS SOMETIDA PARA OPTAR POR EL GRADO DE:**

**MAESTRA EN GESTION AMBIENTAL**

**CIUDAD UNIVERSITARIA, OCTUBRE DE 2005.**

**AUTORIDADES**  
**UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR**

**DRA. MARIA ISABEL RODRÍGUEZ**  
RECTOR A

**LICDA. ALICIA MARGARITA RIVAS DE RECINOS**  
SECRETARIA GENERAL

**PEDRO ROSALIO ESCOBAR**  
FISCAL

**FACULTAD DE CIENCIAS NATURALES Y  
MATEMÁTICA**

**MSc. JOSÉ HÉCTOR ELÍAS**  
DECANO

**MSc. ANA MARTHA ZETINO CALDERON**  
DIRECTORA DE LA ESCUELA DE BIOLOGÍA

# HOJA DE FIRMAS

Esta tesis ha sido aceptada en su presente forma y aprobada como requisito para optar por el grado de:

## MAESTRA EN GESTION AMBIENTAL

### Firmantes:

---

**MSc. Ana Jeannette Monterrosa Urías.**

Asesora

---

**MSc. Mario Enrique Sagastizado.**

Miembro del Tribunal Examinador

---

**MSc. Héctor Dueñas**

Miembro del Tribunal Examinador

---

**MSc. Yanira López**

Director (a) de Maestría

---

**MSc. ANA MARTHA ZETINO CALDERON**

Director (a) de la Escuela de Biología

# **DEDICATORIA**

## **A DIOS TODOPODEROSO**

Por haberme bendecido, iluminado y protegido en todo momento.

## **A MI ESPOSO FRANCISCO ANTONIO CASTILLO**

Por el amor y apoyo incondicional que siempre me ha dado, y por motivarme siempre a la superación profesional

## **A MIS HIJAS EDNA, KARLA Y MARCELA**

Por la comprensión que han tenido por todo el tiempo de familia invertido en la culminación de este trabajo

## **A MI PADRE MARIO ALBERTO RODRÍGUEZ**

Por su apoyo y estímulo a seguir siempre adelante.

## **A MIS FAMILIARES Y AMIGOS.**

# **AGRADECIMIENTOS.**

A la directora de la Escuela de Biología, MSc. Martha Zetino. y a la Coordinadora de la maestría, MSc. Yanira López por su esfuerzo e interés durante esta maestría.

A mi asesora Jeannette Monterrosa

Por su apoyo incondicional y el tiempo invertido para la supervisión y desarrollo de este trabajo, además por haberme brindado siempre su amistad sincera.

A los miembros del jurado Lic. Héctor Dueñas y Lic. Mario Sagastizado

Por su apoyo, tiempo dedicado y orientación recibida.

Al Ing. Raúl Henríquez y al Lic. Mauricio Martínez del PAES (Programa Ambiental de El Salvador) por haberme brindado siempre su colaboración en la realización de este trabajo.

## INDICE

PAGINA.

INDICE	
Resumen.....	V
1. Introducción.....	1
1.1.1. Objetivo General .....	3
1.1.2. Objetivos Específicos .....	3
2. Revisión Bibliográfica .....	4
2.1. Generalidades del agua .....	4
2.2. Agua natural y sus fuentes .....	5
2.2.1. Ciclo Hidrológico .....	6
2.2.2. Relación entre las Aguas subterráneas y las Aguas superficiales .....	14
2.2.3. Relación Agua dulce-Agua Salada (Intrusión Salina).....	16
2.3 Caracterización de Cuencas hidrográficas.....	17
2.3.1 Aspectos que interactúan en la caracterización de las cuencas hidrográficas.....	21
2.3.2 Establecimiento de la Línea Base y su efecto en la cantidad y calidad de agua en un plan de monitoreo hídrico .....	22
2.4. Evaluación de la Composición de las Aguas, muestreo y análisis .....	25
2.5 Indices de Calidad de Agua "ICAS .....	27
2.6. Programa de Monitoreo.....	27
2.7 Medición de cantidad de agua.....	30
2.8 Procedimientos de toma de muestras. ....	34
2.9 Tipos de muestras.....	35

2.10. Normativa Salvadoreña de Calidad de Agua.....	37
2.11 Gestión Ambiental del Agua en El Salvador.....	38
2.12 Denuncias Ambientales y Utilización de Cadenas de Custodia para procedimientos Legales .....	38
3. Materiales y métodos .....	44
3.1.Características del Estudio	44
3.1.1.Tipo de Estudio .....	44
3.1.2.Diseño de la investigación.....	44
3.2.Metodología.....	45
3.2.1.Enfoque del de estudio.....	45
3.2.2.Determinación de procedimientos y técnicas. ....	45
4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	46
4.1 Lineamientos generales para un programa de monitoreo de agua en procedimientos de gestión ambiental .....	47
4.2 Protocolo para la toma de muestras de aguas superficiales .....	50
4.3 Protocolo para la toma de muestras de aguas subterráneas .....	60
4.4. Protocolo de muestras subterráneas con objetivo de explotación del recurso geotérmico .....	64
4.5 Protocolo para la toma de muestras de agua de lagos .....	66
4.6Protocolo de muestras en bahías, estero o mar.....	70
4.7 Toma de muestras de agua en caso de denuncias ambientales.....	71
4.8 Casos de estudio.....	85
4.8.1 Caso 1 :	
Evaluación Del Grado De Contaminación Del Recurso Hídrico Del Río Talnique Utilizando Índices De Calidad De Aguas Durante La Época Seca Y Lluviosa. (Merlos y Hércules, 2002) .....	85



#### 4.8.2 Caso 2 :

Propuesta de Plan de Manejo de Los Recursos Naturales de La Cuenca del Lago de Ilopango .....	87
---	----

#### 4.8.3. Caso 3 :

Estudio Hidrogeológico Del Acuífero Guluchapa, San Salvador, El Salvador .....	87
---	----

5.Conclusiones.....	91
---------------------	----

6. Recomendaciones.....	92
-------------------------	----

BIBLIOGRAFÍA .....	93
--------------------	----

#### INDICE DE TABLAS.

Tabla No. 1 Clasificación de los manantiales según sus Características químicas.	
Tabla 2. Unidades de concentración .....	34
Tabla 3 Recolección de datos de campo para muestras de ríos.....	58
Tabla 4. .Recolección de datos para muestras de pozos.....	63
Tabla 5. Recolección de datos para muestras de lagos.....	68
Tabla 6.Bahías, Estero y Mar .....	73
Tabla 7 Resumen para un programa de monitoreo de diferentes cuerpos hídricos .....	74
Tabla 8 Formulario de Cadena de Custodia de Campo .....	82
Tabla 9Formulario de Recepción de Muestras.....	83
Tabla 10.Formulario Cadena de Custodia entrada a Laboratorio.....	84
Tabla 11 Resumen de estudio río Talnique.....	85
Tabla 12. Resumen estudio Lago de Ilopango .....	87

## INDICE DE FIGURAS.

Figura 1: Ciclo Hidrológico .....	7
Figura 2. Sección transversal de una corriente .....	32

## INDICE DE FOTOS

Fotos No. 1 y 2 Equipo de hidrometria utilizado para la medición de caudal en la corriente	47
Foto 3. Medición de parámetros fisicoquímicos en campo .....	48
Foto 4. Enjuagando frasco antes de tomar la muestra .....	49
.Foto 5. Identificando la muestra .....	50
Foto 6.Preservando la muestra. ....	51

## **RESUMEN.**

Cuando se habla de gestión ambiental se comprende que son todas las actividades que se realizan en relación al medio ambiente y el impacto que estas causen en el mismo. Un muestreo de agua en un procedimiento de gestión ambiental y mas que un muestreo es un programa de monitoreo en dónde se establece la red de muestreo, la frecuencia y los análisis que se van a realizar.

En cualquier muestreo de aguas el objetivo es recolectar una porción de material lo suficientemente pequeña en volumen para ser transportada convenientemente y de fácil manejo hacia el laboratorio mientras mantiene la representatividad y exactitud del material. Este objetivo implica de que las proporciones relativas o concentraciones de todos los componentes pertinentes serán los mismos en las muestras que en todo el material que está siendo muestreado y que la muestra será manejada de tal manera que no tenga cambios significativos en composición antes de que sea analizada, es decir que se tenga una muestra representativa ( APHA,1995).

El desarrollo de cualquier programa de monitoreo implica un conocimiento amplio de los diferentes ambientes o fuentes naturales donde se encuentran los cuerpos de agua, pues la composición química de un agua natural va a depender de las entradas y salidas en el ciclo hidrológico. Así la composición de sólidos dependerá de la composición de las fuentes, entonces existirá una diferencia en un agua que tenga disolución de rocas a una que tenga disolución de suelo o una que tenga contaminación con agua de mar. Además, la interpretación de los análisis obtenidos de una muestra correctamente tomada depende también del conocimiento del entorno y de

las condiciones en que sean tomadas, lo cual será muy importante para cualquier toma de decisiones en una gestión ambiental. En general, desarrollar una buena caracterización de la cuenca puede darnos información complementaria para la interpretación de los resultados analíticos obtenidos de las muestras analizadas.

Los **criterios ambientales** utilizados en la elaboración de planes de muestreo, persiguen propósitos, tales como: investigar la contaminación de un cauce superficial, determinar la aptitud de un agua natural para un determinado uso mediante el empleo de herramientas predictivas o para determinar el cumplimiento de la legislación, ya que en caso de existir una denuncia ambiental, la toma de muestras debe seguir un protocolo especial que permita registrar todo el manejo de las muestras desde que es tomada hasta el laboratorio que analizará las muestras. Este procedimiento se conoce como **cadena de custodia**.

En resumen la toma de muestras de aguas para el análisis fisicoquímico respectivo requiere atención especial, con el objetivo de lograr que la fracción a analizar represente con veracidad el universo en estudio, es decir se necesita conocer toda la información ambiental que afecta, tal como, como la influencia de las condiciones biofísicas, las características de topografía y relieve, geológicas, hidrogeológicas, capacidad y uso del suelo, climatología y todas aquellos aspectos que impactan a los recursos hídricos de una cuenca y tener criterios técnicos para la toma de muestras de diferentes cuerpos de agua, como también conocer la normativa vigente sobre el agua, especialmente si se trata de denuncias ambientales, para lo cual se necesita se normalice un procedimiento de custodia de la muestra, o cadena de custodia.

## 1. INTRODUCCIÓN

El presente trabajo de investigación tiene como objetivo elaborar una propuesta gestión ambiental para el estudio de las aguas que permita proporcionar **criterios ambientales** en el sentido de conocer todos los aspectos que afectan la calidad de una muestra de agua, como biofísicos, geográficos, hidrológicos, hidrogeológicos, etc. Es decir se dan las herramientas posibles de caracterización de la cuenca a la que pertenece el cuerpo de agua estudiado para tomar criterios tanto en el diseño de la red de muestreo como en la interpretación de los resultados, **técnicos** para el procedimiento de toma y preservación de muestras que deben tomarse en consideración durante un muestreo de diferentes cuerpos de agua y **legales** para el conocimiento actual de la normativa de agua, y los actuales procedimientos de participación ciudadana en el caso de una custodia de una denuncia ambiental.

Este trabajo comprende tres secciones una es la revisión bibliográfica que pretende recopilar los aspectos que el responsable de un programa de monitoreo necesitará conocer o investigar antes de iniciar el muestreo y para la interpretación de los resultados y la segunda está comprendida en los resultados y discusión en dónde se da una propuesta de protocolos para la toma de muestras en diferentes cuerpos de agua a partir de la información bibliográfica y de la experiencia tanto del autor como de los asesores y se facilita la información en forma de tablas. Además dentro de la propuesta se considera el procedimiento de custodia de una muestra como **procedimiento legal** en el caso de una denuncia ambiental de un cuerpo hídrico que permita registrar todo el manejo de las muestras desde que es tomada hasta el laboratorio que la analizará..

En la tercera sección, después de proporcionar los criterios y herramientas para un programa de muestreo se evaluaron tres estudios previos en diferentes ambientes naturales: Evaluación Del Grado De Contaminación Del Recurso Hídrico Del Río Talnique Utilizando Índices De Calidad De Agua Durante La Época Seca Y La Época Lluviosa, (Merlos y Hércules, 2002), y la Propuesta Del Plan De Manejo De Los Recursos Naturales De La Cuenca Del Lago De Ilopango, (Monterrosa, et al, 1998) y el Estudio Hidrogeológico del Acuífero de Guluchapa San Salvador, El Salvador, ( Duarte 1998) para estudiar las técnicas de muestreo utilizadas y los criterios tomados con respecto al lugar específico, la interpretación de los resultados y su aplicabilidad a la gestión ambiental.

## 1.1. OBJETIVOS

### 1.1.1. Objetivo General

Contribuir al conocimiento de los procedimientos para la toma de muestras en diferentes cuerpos de agua y proporcionar criterios, pautas y herramientas para la toma de decisiones en proyectos de gestión ambiental y/o de denuncias ambientales

### 1.1.2. Objetivos Específicos

1. Proporcionar conocimientos sobre los diferentes aspectos a considerar en la toma de muestras de agua que tienen implicaciones en los resultados analíticos.
2. Resaltar la importancia de conocer los factores biofísicos ambientales en que se tome la muestra para mejorar los criterios de interpretación de los resultados de los análisis.
3. Proporcionar conocimientos sobre los procedimientos de custodia de una muestra y su aplicación en el caso de colecta de muestras prueba, en caso de denuncia Ambiental .
4. Presentar una propuesta de lineamientos para la recolección de datos en campo para los tomadores de decisión, que permita consolidar la investigación y proporcionar los criterios para el desarrollo de un programa de monitoreo de aguas.
5. Después de proporcionar todos los criterios y herramientas para un programa de muestreo se evaluarán estudios previos en diferentes ambientes naturales las técnicas de muestreo utilizadas, los criterios tomados con respecto al lugar específico, la interpretación de los resultados y su aplicabilidad a la gestión ambiental

## **2. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA.**

### **2.1. Generalidades del agua**

Es importante diferenciar el concepto de agua químicamente pura y agua natural.

El agua químicamente pura posee una estructura simplificada que consta de dos átomos de hidrógeno y uno de oxígeno por molécula de agua (H<sub>2</sub>O). Sin embargo, su estructura es mucho más compleja, lo que explica muchas de sus propiedades físicas como la tensión superficial y constante dieléctrica elevada. También se encuentra en tres estados, sólido (hielo), líquido y gaseoso (vapor).

Entonces el agua que no ha sido sometida a ningún proceso fisicoquímico se denomina agua natural y el desarrollo de cualquier programa de monitoreo implica un conocimiento amplio de los diferentes ambientes o fuentes naturales donde se encuentran los cuerpos de agua, dado que será diferente tomar una muestra de un río, que de un lago o de aguas subterráneas o pozos, como también será necesario conocer la composición fisicoquímica para establecer los parámetros a analizar, el lugar de muestreo, la frecuencia de muestreo como también para establecerse un criterio previo del resultado esperado.

De acuerdo a Dallas (1982) en la naturaleza el agua tiene una composición química diferente al agua pura, que es derivada de las diversas fuentes de solutos, incluyendo gases disueltos y aerosoles de la atmósfera de la intemperie y la erosión de rocas y del suelo como reacciones de disolución y de precipitación de minerales que ocurren bajo la tierra, como también los efectos culturales resultado de las actividades antropogénicas. La composición química de las rocas de la tierra, de los océanos y de la atmósfera tiene significancia en la evaluación de fuentes de sólidos en las aguas naturales frescas.

Los mecanismos de precipitación o disolución y las concentraciones presentes están. Influenciadas por muchos factores ambientales, especialmente el clima, estructura y posición de los estratos rocosos y los efectos bioquímicos asociados con los ciclos de vida de los animales y las plantas (Dallas, L. 1982)



## **2.2. Agua natural y sus fuentes**

La composición química de un agua natural va a depender de las entradas y salidas en el ciclo hidrológico. Así, la concentración de sólidos dependerá de la composición de las fuentes, entonces existirá una diferencia en un agua que tenga disolución de rocas a una que tenga disolución de suelo o una que tenga contaminación con agua de mar,

La relación de los sólidos que son tomados o precipitados y la cantidad presente en solución depende de muchos factores ambientales, especialmente climáticos, estructura y posición del estrato rocoso y los efectos bioquímicos asociados con el ciclo de vida de las plantas y animales. Además las reacciones químicas en solución dan lugar a un cambio en la composición.

La composición de las aguas naturales debe ser determinada por el significado físico y químico, usualmente por la recolección y examinación de las muestras.

El muestreo es una parte vital del estudio de la composición de las aguas naturales y es la fuente de error más importante en todo el proceso de obtener información de la calidad del agua. Esto usualmente no es reconocido, pero merece que se enfatice. (Dallas, L. 1982).

Algunos de los principios ya conocidos de química de las soluciones acuosas han sido utilizados extensivamente en estudios recientes de la composición de las aguas naturales, como son las reacciones de equilibrio y solubilidad, el efecto de los iones complejos y el equilibrio electroquímico y cinética química. Sin embargo para las geoquímicas es importante el estudio de estas reacciones y su relación con los factores ambientales que influyen en la proporción y paso de cada reacción en cada entrada y salida del agua al ciclo hidrológico. (Dallas, L. 1982)

Existen fuentes de agua natural, con composición y características diferentes tales como:

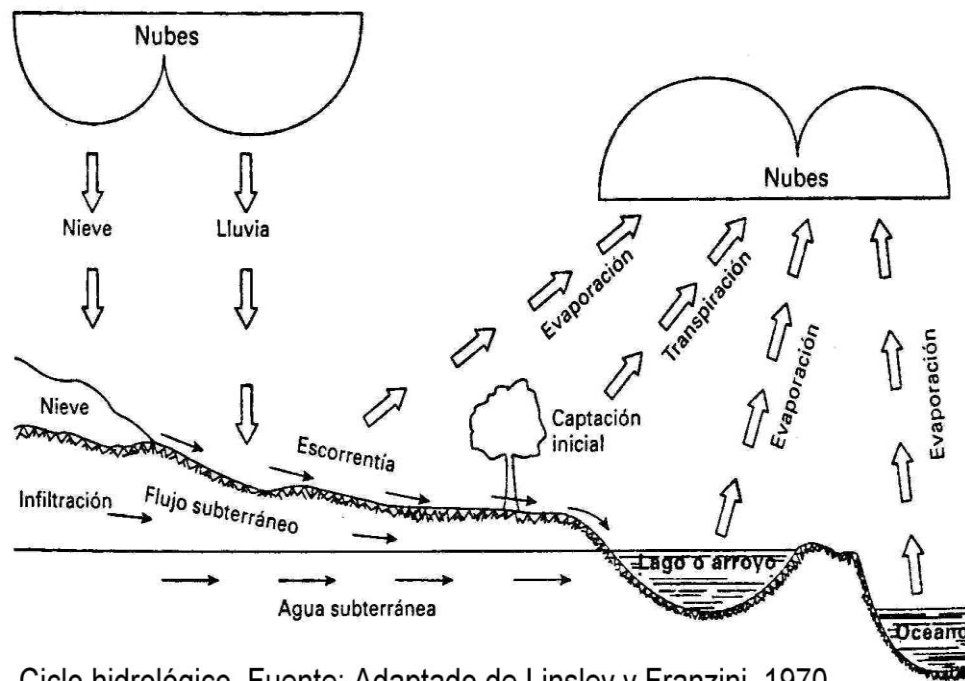
- Agua de mar: Esta contiene alta concentración de sales y posee de 30-60,000 ppm de sólidos totales disueltos.
- Aguas Superficiales (Agua de río y lagos): varía mucho en composición, ya que en ellas se encuentran materias orgánicas e inorgánicas, en forma de sólidos disueltos y sólidos en suspensión. Los sólidos disueltos dependerán de la naturaleza de los suelos por los que han atravesado las aguas.
- Aguas Subterráneas Geotérmicas o Salinas:
- Agua lluvia: No contiene sólidos disueltos, aunque sí gases disueltos, sólidos suspendidos y microorganismos.

### **2.2.1. Ciclo Hidrológico**

Una característica propia de las agua libres en la tierra es su continuo movimiento, impartido primariamente por la entrada de energía radiante del sol. Esta energía causa que una parte de las agua sea evaporada y trasladada hasta la atmósfera y cuando la condiciones atmosféricas son favorables el vapor retorna a su fase líquida con liberación de energía. Si la temperatura desciende lo suficiente se forman pequeños cristales de hielo. Lluvia o nieve puede ser producida si la condensación procede bajo condiciones favorables. El agua que precipita a la tierra se mueve con la pendiente en dirección general hacia el océano o hacia un punto de mínima energía gravitacional. (Dallas, L. 1982)

El agua que cae en forma de lluvia (o nieve), sufrirá muchos cambios en su composición si es absorbida por el suelo hasta los flujos subterráneos, encontrándose en pozos profundos o emergiendo para formar arroyos o lagos. Si el agua no es absorbida corre por la topografía del terreno generando el agua de escorrentía, la cual puede llegar hasta un cuerpo de agua dulce o al mar, desde donde por efecto del sol es nuevamente evaporada, regresando a la

atmósfera. De esta forma se inicia nuevamente el ciclo y las aguas se clasifican aguas subterráneas o superficiales. Debido a la naturaleza dinámica de los procesos que influyen en la cantidad y calidad, las variaciones naturales tienen lugar sobre el caudal y las características de calidad, respectivamente. (Ver Figura 1.)



Ciclo hidrológico. Fuente: Adaptado de Linsley y Franzini, 1970 en Canter, 1998.

**Fig. 1 Ciclo hidrológico**

Como para tomar muestras que sean significativas debe conocerse el origen de la muestra de agua, es necesario profundizar en el conocimiento de los diferentes cuerpos de agua y la composición de las mismas.

❖ Aguas Superficiales

El agua superficial se forma de la precipitación, ya sea en forma de lluvia o de nieve. La lluvia puede infiltrarse en el terreno, ser captada por la vegetación (captación inicial) u originar el agua de escorrentía. Los caudales de escorrentía fluyen aguas abajo hasta riachuelos, arroyos, lagos, ríos y en ocasiones hasta el mar., a menos que se evapore, se infiltre a través de la superficie o se pierda durante el recorrido por alguna causa. También el agua lluvia que se infiltra en el subsuelo y se convierte en agua subterránea aflora en cualquier otro lugar a la superficie, en este caso el agua superficial se denomina “cauce receptor” y la corriente de agua subterránea, caudal freático. Este justifica el caudal de los arroyos, ríos, etc, cuando no existe escorrentía de lluvia.

Cuando se desea conocer la calidad de un agua superficial resulta importante la caracterización físico química y biológica del agua.

#### ❖ Lagos y lagunas

Los lagos se forman cuando el agua recogida en una zona no sale directamente al mar sino que pasa o acaba en una depresión. En muchos casos del lago sale un río que va al mar, pero en otros no hay desagüe, sino que las aguas se evaporan a la atmósfera directamente desde el lago (Disponible en <http://www.Libro Electrónico. Ciencias de la Tierra y el medio Ambiente>).

Los lagos y lagunas son sistemas lénticos que poseen características particulares, dependiendo de sus orígenes, el aporte de su sistema hídrico, y de los impactos que se efectúan en su área de influencia (cuenca).

Dependiendo de su ciclo orgánico, los lagos pueden ser de tres tipos: Eutrófico, Oligotrófico y distrófico.

Los lagos eutróficos, son ricos en materiales nutritivos y contienen organismos de plancton, vegetación y vida animal. Estos lagos experimentan gran sedimentación y se pierde el ciclo orgánico y el lago eventualmente se recarga de crecimiento de plantas y residuos orgánicos. Esta condición del lago eutrófico es mantenida por un efluente regular de material nutritivo, que muchas veces es influencia de las actividades humanas.. la cantidad de lodos orgánicos

en el fondo provoca una disminución del oxígeno, afectando los peces y vida acuática. (IHC-WHO, 1978)

Los lagos oligotróficos, por el contrario son pobres en nutrientes y material orgánico, son lagos que mantienen equilibrio entre la producción y la reducción, no existiendo entonces acumulación de lodos en el fondo. El efluente de material orgánico es prácticamente insignificante y el ciclo del carbono es casi un ciclo cerrado. (IHC-WHO, 1978)

Los lagos distróficos, contienen una excesiva acumulación de humus, los cuales lentamente, disminuyen el proceso de descomposición. Las aguas generalmente son cafesosas o pardas, ácidas y habitadas únicamente por un limitado número de especies biológicas. (IHC-WHO, 1978)

Los lagos se estratifican en tres zonas termales Epilimnium (superficie), Mesolimnium (en contacto con termoclina) e Hipolimnium (zona anóxica, después de la termoclina). (IHC-WHO, 1978)

Los sistemas de lagunas y lagos en nuestro país guardan una estrecha relación con las formaciones volcánicas.

Los lagos de origen volcánico son más rocosos que los lagos de tipo glacial y contienen únicamente cantidades limitadas de material fino. La ceniza volcánica prevalece en los sedimentos del fondo y esto es muy útil para determinar la edad de los lagos. (IHC-WHO, 1978)

El Salvador es uno de los países que poseen lagos muy profundos, los cuales se estratifican en las tres zonas, Epilimnium, Mesolimnium e Hipolimnium. El rompimiento de la estratificación térmica, se realiza debido a un cambio de densidad y temperatura en las capas de agua, lo que provoca la mezcla. Este fenómeno suele realizarse una vez al año y el comportamiento de cada lago durante su periodo de mezcla condiciona las características de la biodiversidad (MARN, 2002).

Los sólidos disueltos, a veces referido como salinidad es una medida del total de sustancias inorgánicas disueltas en el agua y contiene la mayoría de los iones químicos como calcio, magnesio, sodio, potasio, carbonatos, sulfatos y cloruros . El total de sólidos disueltos en los lagos varía de lago a lago dependiendo de su ubicación geográfica, el origen del lago, el clima, el drenaje, las características de evaporación y de las formaciones geológicas. .(IHC-WHO, 1978)

Los sólidos suspendidos en el agua de lagos están constituidos principalmente por partículas, material insoluble incluyendo arena, arcillas y pedazos de vegetación, algas clorofila y otras sustancias. Los sólidos suspendidos reducen la transparencia del agua del lago e inhibe la penetración de la luz reduciendo entonces el proceso de fotosíntesis y la producción de oxígeno por lo tanto la cantidad de sólidos suspendidos es un factor importante en el ciclo orgánico de los lagos.

La Concentración de sólidos suspendidos puede ser determinada directamente por muestreo de agua y análisis de laboratorio o puede ser medida in situ a través del análisis de turbidez utilizando el equipo estándar o a través de las lecturas del disco de secchi. El disco de secchi ha sido utilizado desde hace mucho tiempo para medir la transparencia de cuerpos de agua y esta medida puede ser interpretada como el rango de producción .(IHC-WHO, 1978)

Los nutrientes tienen un papel significativo en la vida de los lagos. El grado de eutrofización en los lagos depende ampliamente de la concentración de nutrientes. Se considera dentro de los nutrientes el fósforo el nitrógeno el carbón y el sílice en todas sus formas. El crecimiento de plantas acuáticas esta limitada a menudo por la disponibilidad de uno o más de estos nutrientes, de esta manera la reducción del crecimiento vegetal y de la mejora de las condiciones del lago depende del control de los nutrientes (IHC-WHO, 1978).

En las zonas tropicales donde las temperaturas son mas altas, el nitrógeno inorgánico es encontrado a menudo limitando el nivel de nutrientes, sílice y

carbón también son nutrientes importantes en la productividad de los lagos, y usualmente están presentes en una gran cantidad de formas de silicatos y carbonatos (IHC-WHO, 1978)

El oxígeno disuelto es un factor importante en la salud de los lagos, es esencial en la producción y soporte de la vida biológica y necesaria para la descomposición y reducción de los desperdicios orgánicos. Este juega un papel importante en el ciclo orgánico de los lagos. La solubilidad del oxígeno en el agua varía inversamente con la temperatura y directamente con la presión atmosférica (IHC-WHO, 1978)

La principal fuente de oxígeno en los lagos viene de la atmósfera y se disuelve en las capas superiores del cuerpo de agua a través de la interfase de agua - aire y es dispersada a través del cuerpo de agua por el viento y la acción de las olas, de la mezcla vertical y otras formas de agitación. Dado que el oxígeno es más soluble en aguas frías. La zona de hipolimnium puede estar saturada de oxígeno dependiendo del estado de eutrofización en el lago debido a la barrera térmica de la termoclina el hipolimnium tiene poca oportunidad durante el verano de recibir oxígeno adicional de la atmósfera y entonces su concentración decrece o puede perderse completamente dependiendo de la cantidad de la descomposición de sustancias en el fondo del lago (IHC-WHO, 1978)

#### ❖ Aguas Subterráneas

Las aguas almacenadas y que circulan en la zona saturada de las formaciones geológicas constituyen las aguas subterráneas.

El ciclo hidrológico mencionado anteriormente, posee también la fase subterránea, originada cuando el agua lluvia es infiltrada o percolada por el suelo, sin embargo no toda la infiltración alcanza a llegar a la zona del agua subterránea ya que en mayor o menor medida se queda una parte en la zona superior del suelo y puede volver a la atmósfera por el proceso de evapotranspiración (Duarte, 2001)

#### ❖ Acuíferos.

Son unidades geológicas permeables y saturadas que pueden contener agua y transmitirla por un gradiente hidráulico para luego ser aprovechada por el hombre. Los acuíferos se recargan a través de la precipitación en suelos con alta capacidad de infiltración o rocas superficiales permeables. También pueden recargarse a través de lechos permeables de ríos y lagos colgados que se encuentran arriba de los niveles freáticos (Duarte, 2001).

Las descargas de los acuíferos puede ocurrir a través de manantiales (ojos de agua) donde la topografía intercepta la tabla o nivel de agua del acuífero, a través del flujo base a ríos (efluentes) que interceptan el acuífero, por evapotranspiración del nivel freático somero o directamente al mar, dónde generalmente se forma una cuña de intrusión de agua salada dentro del acuífero.

Una forma de descarga artificial de los acuíferos es mediante la extracción de agua por bombeo (agua de pozo), siendo en muchos casos la principal fuente de descarga de los acuíferos provocando la sobreexplotación del recurso.

Existen varias clasificaciones para las formaciones acuíferas, dependiendo de su porosidad, permeabilidad y la presión hidrostática a la que puedan ser sometidos.

Por la porosidad se pueden clasificar en:

- ❖ Acuíferos por porosidad son aquellos en los que la recarga y almacenamiento del agua se da a través de los poros del material que constituyen al acuífero, los cuales se encuentran intercomunicados.
- ❖ Acuíferos por fisuración son aquellos en los que la recarga y el almacenamiento del agua se da a través de fracturas de la roca. (Duarte, 2001)

Por su permeabilidad se clasifican en:

- ❖ Acuífero: que es una formación geológica permeable que permite la



transmisión de cantidades significativas de agua a través de poros y fisuras.

- ❖ Acuitardo: Formación geológica que conteniendo cantidades apreciables de agua la transmiten muy lentamente, por lo que no son aptos para el desarrollo de captaciones, sin embargo en condiciones especiales permiten la recarga de otros acuíferos.
- ❖ Acuicluido: Formación geológica que puede contener agua en su interior, pero no la transmite. (Duarte, 2001)

Según la presión hidrostática se clasifican en:

- ❖ Acuíferos libres: Son zonas saturadas en donde el límite superficial es la tabla de agua, que se encuentra en contacto con el aire y por lo tanto está a presión.
- ❖ Acuífero confinado: También llamados artesianos, ocurren cuando el agua subterránea se encuentra a una presión mayor que la atmósfera y siendo su límite superior un estrato material impermeable. Estos pozos necesitan una estructura especial para su explotación
- ❖ Acuífero colgado: Es un caso especial de acuífero libre en el que un cuerpo de agua subterráneo está separado del acuífero principal por un estrato impermeable relativamente pequeño y por la zona de aireación arriba del acuífero principal. (Duarte, 2001).
- ❖ Recarga y descarga de acuíferos.

La recarga de los acuíferos puede ocurrir a través del proceso natural del ciclo hidrológico, cuando la precipitación cae sobre suelos con alta capacidad de infiltración o rocas superficiales permeables. También a través de lechos permeables de ríos y lagos colgados que se encuentran arriba de los niveles freáticos. En los acuíferos confinados la recarga ocurre cuando la capa impermeable se eleva a la superficie o desaparece bajo el terreno.

La descarga puede ocurrir a través de manantiales donde la topografía

intercepta la tabla de agua o a través del flujo base a ríos que interceptan el acuífero, también por evapotranspiración del nivel freático somero o descarga hacia el mar. En forma artificial los acuíferos se descargan por la explotación de los pozos por bombeo.

### **2.2.2. Relación entre las Aguas subterráneas y las Aguas superficiales**

Las aguas subterráneas y las aguas superficiales no son sistemas independientes, tienen conexión entre sí y es importante conocer esta conexión hidráulica para conocer el aporte de agua subterránea hacia el río.

La conexión hidráulica entre ríos y acuífero está dada por dos factores principales: la relación entre las formaciones geológicas permeables y el cauce del río y segundo por la relación entre los niveles del río y los niveles estáticos de la zona del acuífero cercana al río.

Las características físicas de una cuenca hidrográfica como lo son: el tipo de suelo, la litología y la estructura de la misma tienen influencia directa en los acuíferos, puesto que determinan la cantidad de infiltración proveniente de la precipitación, la extensión de los mismos y distintas conexiones hidráulicas entre aguas superficiales y subterráneas.

En términos generales, al existir iguales aportaciones de flujo, con condiciones de precipitación, temperatura y cobertura vegetal similares, las cuencas que tienen formaciones permeables y acuíferos importantes, tendrán una distribución más uniforme de sus caudales, en comparación con aquellas cuencas en las que predominan formaciones poco permeables y acuíferos de poca extensión. (Duarte, 2001).

#### ❖ Manantiales

Un manantial puede definirse como un punto o zona de la superficie del terreno, en la que de modo natural, fluye a la superficie una cantidad apreciable de agua procedente de un acuífero o embalse subterráneo. Los embalses son aliviaderos o puntos de descarga por los que sale la infiltración o

recarga que reciben los embalse subterráneos (Custodio y Llamas, 1976).

Los manantiales se clasifican por su material geológico, por las relaciones litología-estructura del terreno, el régimen de caudal, características químicas o de temperatura de sus aguas o a su origen, etc. En la siguiente tabla se encuentra la clasificación de los manantiales según sus características químicas. (Duarte, 2001)

**Tabla No. 1 clasificación de los manantiales según sus características químicas.**

Clasificación	Tipo de Agua	Característica química
Por residuo seco (sólidos totales disueltos) (TDS)	Agua dulce	0-3000 ppm
	Agua salobre	3000-10,000
	Agua salada	10,000-100,000
	Salmuera	Hasta saturación.
Por la dureza	Blanda	0-50 ppm en CaCO <sub>3</sub>
	Semi-dura	Hasta 100 ppm en CaCO <sub>3</sub>
	Dura	Hasta 200 ppm en CaCO <sub>3</sub>
	Muy dura.	Hasta saturación.
Por sus propiedades destacadas	Selenitosa	Mas de 500 ppm en SO <sub>4</sub>
	Ferruginosa	Si precipita óxido de hierro en contacto con aire.
	Carbónica	Si desprende burbujas de CO <sub>2</sub> a T y P ambiental.
	Lítica	Si hay presencia medible de litio.
	Sulfhídrica	Olor a ácido sulfúrico.

Fuente: Duarte, 2001

### **2.2.3. Relación Agua dulce-Agua Salada (Intrusión Salina)**

La recarga en los acuíferos ocurre paulatinamente y si la explotación es a una velocidad que supera la recarga el volumen de agua en el acuífero disminuye, por lo que puede existir una concentración mayor de las sales. Por tanto la calidad del agua dulce puede cambiar.

En las zonas costeras la salinidad en el agua puede cambiar en forma natural o bien inducida por el hombre debido a una sobre explotación del acuífero en donde el equilibrio agua dulce-agua salada se rompe, la interfase se desplaza y la capa de agua salada se desplaza a zonas dónde anteriormente solo existía agua dulce, lo que provoca no solo problemas en el abastecimiento de agua dulce sino que también daños en ecosistemas que dependen de la descarga de estos acuíferos, como es el caso de los humedales costeros. En forma natural puede ocurrir que debido que el movimiento del agua del mar, tira hacia adentro, el equilibrio pueda también romperse. Este proceso se denomina intrusión salina.

La intrusión salina puede producirse también por el tipos de materiales litológicos, la baja cota de elevación de la costa, etc.

La densidad del agua adulce y el agua salada es diferente y miscible, provocando el movimiento del agua con diferente viscosidad y temperatura. Existe entre las dos zonas una zona de mezcla, llamada zona de difusión o de transición, el equilibrio de agua dulce-salada en los acuíferos costeros es función del caudal de agua dulce que fluye hacia el mar, ya sea a través de cursos de aguas superficiales o subterráneas. El flujo de agua subterránea mantiene en cierta oposición a la zona de mezcla. Cualquier cambio, ya sea por extracción por bombeo o reducción del flujo de recarga puede provocar una mayor penetración de la cuña marina hasta lograr nuevamente su equilibrio.

Para determinar zonas de intrusión salina se analizan muestras de agua a diferentes profundidades, utilizando una red de piezómetros. (Duarte, 2001).

### **2.3 Caracterización de Cuencas hidrográficas.**

Una cuenca hidrográfica es un área de terreno que desagua en un arroyo, río, lago, pantano, bahía o en un acuífero subterráneo. Tener un conocimiento amplio de la cuenca permitirá tener mucha información sobre el impacto en la calidad de las agua, además en los la interpretación de los resultados analíticos se correlacionan con toda la información que se disponga del área. Por esta razón, se incluye en este trabajo una amplia información sobre la caracterización de una cuenca, para tener una muestra muy representativa del lugar, que la mayoría de veces resulta ser la fuente de error más común por no dedicar suficiente tiempo a la investigación del entorno.

En un valle, toda el agua proveniente de lluvias y riego, que corre por la superficie del suelo (lo que se denomina agua de escorrentía) desemboca en desagües pluviales, arroyos y ríos que fluyen directamente a un lago, un río mas grande al mar o a una Bahía,

También a la cuenca hidrográfica se le reconoce como un área de terreno conformada por un sistema hídrico, el cual tiene un río principal, sus afluentes secundarios, terciarios o de cuarto orden. El sistema hídrico refleja un comportamiento de acuerdo a como se están manejando los recursos agua, suelo y bosque; y que actividades o infraestructuras afectan su funcionamiento. (Faustino, 1999).

En la cuenca hidrográfica se ubican todos los recursos naturales y actividades que realiza el hombre, allí interactúan el sistema biofísico con el socioeconómico y están en una dinámica integral que permite valorar el nivel de intervención del hombre, los problemas generados en forma natural y antrópica.

En las zonas planas o llanura a veces es difícil configurar el límite de las cuencas, allí los ríos meándricos pueden formar cauces erráticos, de zonas inundables, a veces muy sedimentadas que dificultan la delimitación de la cuenca; en los casos en que los cursos de agua no son visibles, la orientación

del drenaje será determinante. Existe la alternativa de usar una carta topográfica con curvas de nivel de menor equidistancia (Faustino, 1999)

La cuenca hidrográfica se puede delimitar físicamente por medio de una carta topográfica, que tenga suficiente detalle de las alturas del terreno. Entre las escalas más comunes se tienen, 1/25,000 y 1/50,000, aunque para fines de diseño e intervención, las escalas más recomendables pueden ser 1/10,000 ó 1/5,000. El tamaño y complejidad del relieve de la cuenca indicarán tomar en cuenta la escala más apropiada.

La cuenca hidrográfica es un sistema además de su delimitación incluye diferentes características que dependiendo de las condiciones ambientales, de zonas de vida o de ecosistemas, explican y determinan aspectos interesantes para definir su manejo. Por ejemplo algunas de estas características son:

- a) **Tamaño**, las cuencas pueden ser pequeñas, medianas y grandes. Una cuenca grande representa territorios complejos y áreas de pertenencia a diferentes administraciones.
- b) **Forma**, las cuencas pueden tener formas aproximadas a circular, rectangular (alargada), cuadrangular e irregular. Cada forma puede definir una característica, por ejemplo la forma circular implicaría que el tiempo de concentración de la precipitación para cualquier punto en la cuenca es similar.

Esta información puede servir en una toma de muestra para determinar que si previo a la muestra hubo fuerte precipitación y los resultados reflejan dilución y arrastre de sólidos, esta misma condición se encontrará en otro punto de muestreo por tener forma circular.

- c) **Drenaje**, las cuencas pueden tener diferentes formas en su red de drenaje, obedecen principalmente al tipo de material del suelo, a la cobertura vegetal y al grado de pendiente. Una forma **dendrítica (arbórea)** implica menor infiltración y por lo tanto mayor escorrentía,

una forma rectangular implica rápido escurrimiento, una forma circular pertenece a una cuenca de un lago

- d) **Pendiente**, la pendiente del cauce principal de la cuenca y la pendiente media, suelen indicar la edad y la relación de alturas. Una pendiente de forma cóncava implica madurez de la cuenca, una convexa o plana significaría en desarrollo o joven. Estas relaciones se pueden apreciar mejor en cuencas con marcadas diferencias de nivel entre las partes más altas y las partes más bajas.
- e) **Bifurcación**, una característica de las cuencas es su densidad de drenaje y como estas se presentan sobre el terreno. Como ya mencionó, el drenaje es muy importante, por esta razón es muy importante determinarlos grados de bifurcación que corresponden a las cuencas. Existen dos maneras de definir esta relación, desde arriba hacia abajo se identifican los primeros cauces "primarios o de orden 1", cuando se unen dos de este orden forman el inmediato el orden secundario o de orden 2, cuando se unen dos de este orden forman el inmediato orden terciario o de orden 3 y así sucesivamente, hasta llegar a la desembocadura o curso final del río principal. Cuando se unen dos cauces de diferente orden, la fusión se mantiene con el orden mayor, así por ejemplo, si se une un cauce de orden 2 a uno de orden 3, el orden del cauce resultante siempre será de orden tres.

En cuanto a la clasificación de las cuencas, se podrían considerar varios aspectos de comparación o análisis. Por el sistema de drenaje y su conducción final, las cuencas hidrográficas pueden ser arréicas, exorréicas, criptorréicas y endorréicas:

- a) Son **arréicas** cuando no logran drenar a un río mar o lago, sus aguas se pierden por evaporación o infiltración sin llegar a formar escurrimiento subterráneo.

- b) Son **criptorréicas** cuando sus redes de drenaje superficial no tienen un sistema organizado o aparente y corren como ríos subterráneos (caso de zonas cársticas).
- b) Son **endorréicas** cuando sus aguas drenan a un embalse o lago sin llegar al mar.
- d) Son **exorréicas** cuando las vertientes conducen las aguas a un sistema mayor de drenaje como un gran río o mar.

**Por su tamaño**, las cuencas pueden ser muy grandes, grandes, medianas y pequeñas, estas son relativas al tamaño de la vertiente, al tamaño e importancia de una región y/o país. En general las cuencas muy grandes como la del río Amazonas, son muy complejas, las cuencas grandes que son más frecuentes de considerarse (5,000 a 20,000 km<sup>2</sup> o más), las cuencas medianas son mucho más frecuentes (1,000 a 5,000 km<sup>2</sup>) y las cuencas pequeñas (menores a 1,000 km<sup>2</sup>). Es muy difícil de precisar rangos, porque la importancia económica de la cuenca puede ser fundamental para un país.

**Por la zona climática**, pueden ser áridas, semiáridas, templadas, húmedas, frías, de altiplano (andes) y tropicales; en función básica de temperatura, precipitación y altura.

**Por la visibilidad de sus divisorias**, éstas pueden ser hidrográficas (sobre la superficie del suelo), hidrológicas (debajo de la superficie del suelo) y marinas (bajo el cuerpo de agua de los mares).

Un aspecto importante es el caso de las cuencas hidrogeológicas o hidrológicas de zonas cársticas y otras, donde la escorrentía sub superficial y subterránea no es correspondiente a la superficial, por lo tanto las áreas de éstas no son las mismas, que su cuenca hidrográfica. La cuenca hidrológica no tiene un límite físico visible.



**Por su balance hídrico** (comparando oferta y demanda) se pueden denominar cuencas balanceadas (cuando la oferta y demanda son compatibles), deficitarias (cuando la demanda es mayor que la oferta) y con exceso (cuando la oferta es mayor que la demanda).

### **2.3.1 Aspectos que interactúan en la caracterización de las cuencas hidrográficas.**

Faustino, (1999) menciona que esta fase es conocida como la fase de inventarios, en donde se evalúa e interpreta estudios básicos necesarios que constituyen el marco biofísico, social, económico y administrativo de todos los recursos de la cuenca.

Al mismo tiempo considera que la caracterización deberá identificar los problemas presentes y potenciales y las relaciones de causalidad que los determinan, de esa manera ese estudio establecerá:

- ❖ Las condiciones físicas, climáticas y topográficas del área.
- ❖ El inventario y condiciones de los recursos naturales renovables.
- ❖ Localización, dotación, operación y mantenimiento de los servicios públicos.
- ❖ Las condiciones socioeconómicas y culturales de la población.
- ❖ El uso y la tecnología aplicada en el aprovechamiento de los recursos naturales de la cuenca y sus efectos sobre los mismos.
- ❖ La localización y estado actual de las obras de infraestructura física existentes en el área de la cuenca para el abastecimiento de agua potable, generación de energía eléctrica, riego, drenaje, etc.
- ❖ La identificación de los organismos públicos y privados del sistema institucional que desarrollan acciones en la cuenca, bien sea en el campo de la producción agropecuaria o forestal, de la estructura social o de cualquier servicio orientado a mejorar las condiciones de vida de la población.

Si se realiza una buena caracterización de la cuenca y un buen diagnóstico previo a iniciar cualquier monitoreo podrán interpretarse algunos resultados obtenidos en las muestras analizadas, por ejemplo el conocer situaciones de deforestación, formas de cultivo, etc pueden confirmar la contaminación de un cauce. (

### **2.3.2 Establecimiento de la Línea Base y su efecto en la cantidad y calidad de agua en un plan de monitoreo hídrico**

Para el establecimiento de la Línea Base es necesario el levantamiento de información primaria y complementaria, la cual basada en los siguientes factores:

- ❖ Topografía y relieve
- ❖ Climatología
- ❖ Geología e hidrogeología
- ❖ Fisiografía y geomorfología
- ❖ Agrología (suelos)
- ❖ Capacidad de uso y uso actual de la tierra (incluye conflictos)
- ❖ Hidrología e Hidráulica
- ❖ Ecología (vegetal y animal)
- ❖ Demografía
- ❖ Socioeconomía (incluye uso de la tierra y aspectos culturales)
- ❖ Administración
- ❖ Aspectos institucionales (incluye aspectos legales)

El efecto de esta información sobre la calidad del agua permitirá interpretar los resultados de los análisis físicoquímicos obtenidos de la muestra tomada. Por lo tanto es importante conocer el efecto de cada uno de esos aspectos:

- ❖ Efecto de la topografía y relieve en la calidad de las aguas.

Cuando el ciclo hidrológico comienza con la precipitación la topografía y el relieve del terreno ejercen una influencia para el destino del agua lluvia precipitada, de tal manera que si cae sobre un suelo impermeable y con pendiente el agua de escorrentía correrá hasta encontrar un suelo permeable o bien una depresión. Durante este recorrido el agua adquiere gran cantidad de sólidos tanto suspendidos como disueltos la composición del agua dependerá de los minerales encontrados en ese suelo.

#### ❖ Climatología

La calidad de las aguas superficiales o subterráneas puede variar a través de su recorrido del ciclo natural dependiendo de los sólidos en suspensión o sólidos disueltos; además algunos minerales son solubles y únicamente necesitan de condiciones físicas para formar parte de la disolución, en cambio otros necesitan de varias reacciones químicas o biológicas para solubilizarse.

Los factores climatológicos como son la temperatura, humedad, precipitación, presión atmosférica ejercen acción sobre la calidad del agua. La solubilidad de las sales puede aumentar por efecto de la temperatura a excepción de las sales de carbonatos de calcio y magnesio. De igual manera las reacciones químicas se favorecen con el aumento de la temperatura.

Algunas reacciones químicas también se ven favorecidas por el aumento de la presión parcial

#### ❖ Geología e hidrogeología.

Dependiendo de los materiales que forman el suelo dónde la precipitación cae así será la calidad del agua

#### ❖ Fisiografía y geomorfología

Describir geomorfológicamente una región puede darnos una idea de que cambios ha sufrido el agua durante su recorrido.

#### ❖ Agrología (suelos)

Con este estudio nos proporcionará información acerca de los cultivos que puedan estar sembrados en esa región, por lo tanto los minerales que puedan estar presentes en ese suelo y por lo tanto disueltos en los acuíferos aledaños.

#### ❖ Capacidad de uso y uso actual de la tierra

Si la tierra se está utilizando para cultivos, de antemano sabremos que los mantos freáticos alrededor serán de alto contenido de sólidos y el conocimiento de del tipo de cultivo me dará información acerca de abono que se pueda estar utilizando. En cambio si la tierra se está utilizando para poblaciones humanas la composición de las agua será en primer lugar con un alto contenido de materia orgánica, y además un buen grado de contaminación dependiendo del manejo que se le está dando a la cuenca.

#### ❖ Hidrología e Hidráulica

Dado que la Hidrología (del griego *hydor-*, agua) estudia las entradas y salidas del agua superficial a través del ciclo hidrológico y las interacciones con su ambiente, estudia la precipitación, evapotranspiración, escorrentía y agua en el suelo es de mucha importancia para la gestión y control de los recursos hídricos. También trata de las propiedades químicas y físicas del agua en todas sus fases

La investigación hidrológica es importante para el desarrollo, gestión y control de los recursos de agua. La hidrología estudia la cantidad y calidad del agua que se desplaza por el ciclo (evaporación, escorrentía, infiltración, flujo subterráneo, y otros componentes).

#### ❖ Demografía

Proporcionará información que se complementará con la información obtenida del uso del suelo.

#### ❖ Otros aspectos

Conocer la socioeconomía, administración, aspectos institucionales, como también la fauna vegetal y animal puede proporcionarnos información del grado de contaminación que pueda tener el agua

En general tener una buena caracterización de la cuenca puede darnos información complementaria para la interpretación de los resultados analíticos obtenidos de las muestras analizadas.

### **2.4. Evaluación de la Composición de las Aguas, muestreo y análisis**

La composición de las aguas naturales puede ser determinada por el significado físico y químico, usualmente por recolección y examinación de muestras.

El análisis del agua en campo es una parte importante de los estudios hidrológicos, algunas propiedades del agua, como el pH esta relacionado con el ambiente del agua, por lo que puede ser fácilmente alterado con el muestreo y el almacenamiento, sin embargo, el análisis de los componentes disueltos, como la Demanda Bioquímica de Oxígeno y otros parámetros solo pueden ser analizados en un laboratorio, para lo cual la muestra debe ser representativa de todo el cuerpo de agua. Además la selección de los parámetros que se van a analizar dependerá del medio natural que será estudiado, como del uso que se le pretenda dar.

Los parámetros son mediciones efectuadas en los sitios de interés que determinan el estado físico, químico, biológico y microbiológico de las aguas y pueden agruparse en cinco clases:

- Parámetros físicos
- Parámetros químicos inorgánicos
- Parámetros químicos orgánicos

- Parámetros microbiológicos.
- Parámetros biológicos (Plancton, bentos y perifiton e insectos)

Los parámetros físicos dan una información muy clara de determinadas características de un agua. Entre las más importantes se encuentran el potencial de hidrogeno (pH), sólidos en suspensión, temperatura, color, olor, sabor, etc

Los parámetros químicos inorgánicos abarcan todos los aniones, cationes y metales traza que tiene una significación sanitaria importante o que comunica al agua alguna de las características clasificadas como indeseables para el uso a que se la destina.

Los parámetros químicos orgánicos constituyen el grupo mas amplio y complejo, abarcando por un lado algunos indicadores de contenido orgánico general, como la demanda bioquímica de oxígeno, carbónico orgánico total no clasificado, o un gran número de familias de compuestos análogos en su estructura o función, que responden a los nombres de grasas, aceites, plaguicidas, detergentes, haloformos, etc. (Catalán, 1995)

Los parámetros microbiológicos abarcan dos amplios campos muy diferentes: bacterianos y los demás organismos, vegetales o animales, susceptibles de estar presentes en las aguas. El más importante entre los primeros es el índice de contaminación fecal, especialmente en el agua para consumo humano.

Los parámetros biológicos, son considerados muy importantes en la evaluación de la “salud de un cuerpo de agua”, debido a que los organismos (vegetales o animales) viven inmersos en el agua. Comúnmente suelen llamárseles Indicadores Biológicos de Calidad de Agua. (Catalán, 1995)

Los parámetros pueden dividirse en específicos, sustitutos e indicadores. Los específicos son los que se pueden determinar directamente, por ejemplo los cationes y los aniones y oligoelementos. Entre los parámetros sustitutos se encuentra la demanda bioquímica de oxígeno (DBO), extracto de carbón con

cloroformo, aceites, minerales, etc. y entre los indicadores se encuentra el índice de coliformes, utilizados para representar los posibles microorganismos patógenos presentes en el agua. (Catalán, 1995)

Hecha la elección del parámetro, así como la forma en que se va a representar, hay que poner los medios oportunos para recoger una muestra representativa y seleccionar las técnicas adecuadas para el acondicionamiento, almacenamiento y transporte de la misma. También habrá que decidir la frecuencia con que debemos obtener el parámetro de calidad deseado, la cual estará en relación con su significado sanitario, con la variación de su concentración en el tiempo y con el destino que se va a dar al agua. Hay que tener en cuenta que la veracidad de los resultados obtenidos, relacionados con el estado actual de el agua, que queremos utilizar, dependerá, en primer lugar, de la perfección con que hagamos estas operaciones.

## **2.5. Índices de Calidad de Agua (ICAS)**

Un índice ambiental es un número o una clasificación descriptiva de una gran cantidad de datos o información ambiental cuyo propósito es simplificar la información para que sea útil para los tomadores de decisión o público en general. Los índices ambientales pueden cumplir con uno o varios objetivos como resumir los datos ambientales que se tengan, unificar criterios para comunicar un resultado ambiental, evaluar los impactos producidos en un ambiente antes y después de un proyecto. O bien centrarse en los parámetros contaminantes más relevantes. (Canter, 1998)

Cuando se realiza un monitoreo de agua en un proyecto de investigación de la contaminación, el resultado de los análisis fisicoquímicos de una o varias muestras de agua pueden presentarse los resultados en forma de índices de calidad de agua con el objetivo de unificar los criterios de evaluación y de simplificar toda la información obtenida.

## **2.6. Programa de Monitoreo.**

Un programa de monitoreo es aquel en el cual se establece la red de muestreo, la frecuencia y los análisis que se van a realizar. Todo eso deberá adaptarse a los objetivos que se persiguen, de tal manera que la muestra que se tome sea lo mas representativa posible.

Lobos (2000) menciona que en forma general los objetivos a corto, mediano y largo plazo de un Programa de Monitoreo pueden ser:

- Determinar la cantidad de agua disponible para satisfacer las necesidades futuras de una calidad definida.
- Incrementar el conocimiento de las condiciones existentes de calidad de aguas y el medio ambiente acuático, bajo condiciones naturales o antrópicas.
- Proveer información de los efectos pasados, presentes y futuros de las actividades naturales y antropogénicas en medio ambiente acuático, incluyendo proyectos hidráulicos como pueden ser represas, captaciones, canalizaciones, proyectos de irrigación y, desarrollos industriales, agrícolas y urbanos.
- Establecer la efectividad de las medidas de control de contaminación.
- Establecer los efectos de la calidad del agua en la salud del ser humano y el ambiente acuático.
- Monitorear los sistemas contaminantes como pueden ser complejos industriales; áreas urbanas; mineras; de intrusión salina, para proteger las fuentes de agua.
- Detectar tendencias en calidad de aguas y proveer sistemas de alerta.

Mientras tanto, menciona Lobos, 2000 que los objetivos a Mediano o Corto Plazo para lograr los objetivos de largo plazo pueden ser:

- Proveer información sobre la calidad de agua actual y sus tendencias.
- Identificar áreas que necesiten atención y establecer prioridades.



- Monitorear tendencias para anticipar cambios que pueden estar dañando en medio ambiente acuático.
- Establecer sistemas de alerta temprana para anticipar cambios.
- Identificar fuentes de contaminación y cuantificarlas.
- Identificar las precauciones a tener en cuenta para evitar derrames de sustancias tóxicas y, en la eventualidad de un derrame las medidas de minimización a aplicar para reducir el impacto ambiental.
- Determinar la aptitud de un agua natural para un determinado uso mediante el empleo de herramientas predicativas.
- Determinar el cumplimiento de la legislación.
- Determinar la calidad de las aguas transfronteriza.

Los objetivos mencionados se refieren a un monitoreo de aguas superficiales en general, pero en el caso de monitorear el impacto ocasionado en un recurso por una actividad contaminante como es la explotación de minas tiene objetivos bien específicos como:

- Análisis para realizar la caracterización inicial a fin de definir la química del agua para todos los flujos asociados con la mina
- Proporcionar una base para determinar objetivos referentes a la calidad del agua y mejorar el programa de monitoreo regular a largo plazo.
- Controlar la calidad de efluentes y el impacto ambiental monitoreando la calidad del agua de la mina, asegurando que cumple con los objetivos de calidad e identificando las fuentes de contaminantes a largo plazo.
- Monitoreo durante el período de cierre, que puede encerrar dos aspectos: demostrar que no existen fuentes contaminantes que se activen a largo plazo como resultado de laboreo de minas y demostrar la efectividad de las medidas de control para limitar o evitar la liberación de contaminantes a las aguas.

La implementación de un sistema de muestreo y análisis, correctamente planteado, debe abarcar las etapas siguientes (catalán, 1990):

- Estudios preliminares.
- Determinación del número mínimo de muestras a coleccionar y la definición de los parámetros a medir.
- Definir tipos de muestras y la cantidad de estaciones de toma de muestras para satisfacer las necesidades del estudio que se realiza a través de la Red de muestreos.
- Frecuencia de los muestreos y volumen de la muestra a tomar.
- Elección de las técnicas analíticas adecuadas.
- Presentación de los datos obtenidos

## **2.7 Medición de cantidad de agua superficial**

Dentro de las técnicas más comunes de aforo en una corriente se tiene: utilización de vertederos, aforo con correntómetro o molinete, método de la velocidad superficial y la utilización de trazadores

### **a) Aforo con vertederos**

Los vertederos son diques o paredes que se oponen al flujo y que poseen un corte con una forma geométrica regular por la cual pasa el flujo. En general hay dos tipos de vertederos, los de pared delgada y gruesa. Los vertederos de pared delgada se usan básicamente para determinar el caudal en cualquier momento en una corriente pequeña. Los vertederos de pared gruesa se usan principalmente para control de excedencias, y su evacuación puede ser libre o controlada. Los vertederos que nos interesan son los de pared delgada y dentro de estos los más utilizados son: rectangular, triangular y trapezoidal.

### **b) Aforo con molinete o correntómetro.**

Dentro de un aforo con molinete es fundamental la sección donde se va a realizar el aforo. Por lo tanto esta debe cumplir con algunas condiciones para garantizar una buena toma de datos:

- Escoger una sección de fácil acceso.
- Seleccionar el tramo de la corriente de una longitud apreciable y de sección lo más constante, que permita considerar condiciones cercanas a flujo uniforme tanto longitudinal como transversalmente.
- Evitar secciones cercanas a estructuras que interfieran con el flujo.

De los métodos más sencillos para aforar una corriente está el método volumétrico, en el cual se determina en cuanto tiempo se llena un volumen conocido, este se usa para corrientes de caudal pequeño. También se usa las miras, las cuales con reglas graduadas, empotradas en bases de concreto o adosadas a perfiles de acero y con la sección previamente calibrada se puede conocer el caudal en un instante de tiempo.

$$V = a n + b$$

La velocidad se estima mediante un correntómetro o molinete, el cual tiene una hélice que gira de acuerdo a la velocidad de la corriente. La ecuación general de un molinete es:

Donde:

V: velocidad de la corriente (m/s)

n: número de revoluciones de la hélice en la unidad de tiempo  
(rad/s)

a: constante de paso hidráulico, obtenida experimentalmente en ensayos de arrastre (m).

b: constante que considera la inercia y la mínima velocidad para que la hélice se mueva (m/s).

El aforo de una corriente se puede hacer por vadeo cuando la corriente es poco profunda, menos de 1 m y velocidades no mayores de 1 m/s. En este tipo de

aforo el operador se debe parar de tal forma que no obstruya el flujo con su cuerpo. Cuando la profundidad es grande el aforo se puede hacer desde un bote, puente hidrométrico y si se está trabajando desde una altura mayor de 3m con relación al punto más profundo de la sección se usa un lastre o escandallo al final del cable del molinete para mantenerlo en posición vertical.

Para determinar el caudal en una corriente se usa el concepto:

$$Q = V_m A$$

Donde:

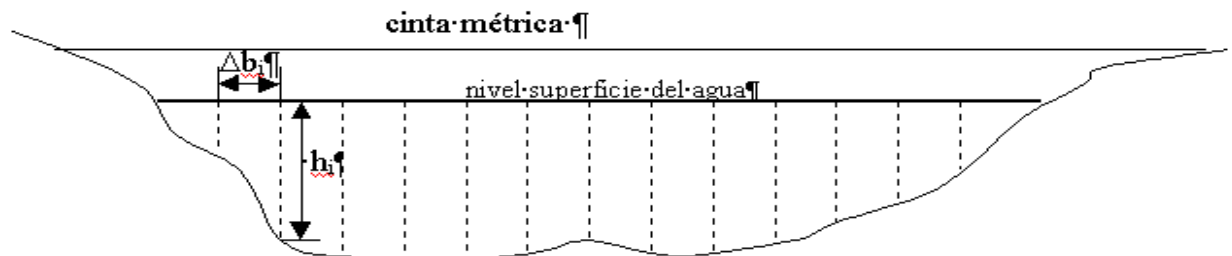
Q: caudal

$V_m$  :velocidad media de la sección

A: área de la sección

Las unidades deben ser consistentes.

Para determinar el área de la sección transversal se mide el ancho de la sección del río con cintas métricas o equipos de topografía y las profundidades cada metro a lo largo de la sección, o por lo menos que por cada subdivisión pase el 10 % de caudal total. Las profundidades se miden con ayuda de varillas, ecosondas u otros elementos esbeltos. El caudal total que pasa por la sección se obtiene como la suma de los caudales parciales, ver Figura 2.



**Figura 2. Sección transversal de una corriente**

En la técnica de aforo con molinete la medición de la velocidad media se hace en puntos representativos de la sección. La velocidad media se mide en la vertical de aforo y se hace un promedio de la velocidad en dos

verticales consecutivas para obtener la velocidad media de una sub área y en las secciones extremas se toma la velocidad igual a  $2/3$  de la velocidad de la vertical de aforo correspondiente.

### c) Trazadores

La medida de caudales por medio de trazadores ha sido utilizada desde principios de siglo, con trazadores como: sal, flotadores, radioisótopos y colorantes. A partir de 1096 se vuelve a utilizar la propiedad de la fluorescencia de ciertas sustancias para aforar corrientes. Esta propiedad permite que algunos elementos tengan un comportamiento espectral doble, absorción y emisión. Para el correcto uso de las sustancias fluorescentes se debe investigar la presencia de algas, derivados del petróleo, tintas, etc. También hay que tener en cuenta que la fluorescencia se afecta por los cambios de temperatura, a bajas temperaturas se incrementan los valores leídos cuando se usan fluorímetros con fuentes de luz y también se afecta por el ph del fluido, en este aspecto las sustancias fluorescentes son estables en un rango de ph de 4-10.5. En cuanto a la variación de la fluorescencia con la concentración esta se puede considerar lineal lo que da un buen comportamiento en hidrología.

Las características de una sustancia fluorescente o trazador deben ser:

- Bajo costo
- No contaminantes
- Solubles en agua

Los trazadores más comunes son: Rhodamina B, Rhodamina W.T., Pontacyl polvo, Pink B y Fluoresceína.

Para medir con estos trazadores se inyecta una sustancia fluorescente con caudal y concentración conocida en forma constante. Una distancia aguas abajo del punto de inyección en la cual se tiene una buena mezcla se toma la lectura de la concentración, la cual permite estimar el caudal:

$$Q = \frac{C}{c} q$$

Donde:

Q: caudal estimado (m<sup>3</sup>/s, l/s)

q: caudal inyectado (m<sup>3</sup>/s, l/s)

C: concentración del trazador inyectado (p.p.m. , p.p.b.)

c: concentración de la muestra tomada (p.p.m. , p.p.b.)

**Tabla 2. Unidades de concentración**

Proporción soluto/solvente	Concentración
1 mg / kg = 1 mg / l	1 p.p.m.
1 m g / kg	1 p.p.b.

Fuente: (Carvajal, 2003)

## 2.8 Procedimientos de toma de muestras.

El objetivo de cualquier muestreo es recolectar una porción de material lo suficientemente pequeña en volumen para ser transportada convenientemente y de fácil manejo hacia el laboratorio mientras mantiene la representatividad y exactitud del material. Este objetivo implica que las proporciones relativas o concentraciones de todos los componentes pertinentes serán los mismos en las muestras que en todo el material que está siendo muestreado y que la muestra será manejada de tal manera que no tenga cambio significativos en composición antes de que sea analizada. (APHA, 1995).

En lo referente al agua, la toma de muestras es una operación importante que ofrece variadas facetas, según el destino que se quiera dar a la misma o el tipo

de análisis a realizar. De esta manera el interés de tomar una muestra de agua para análisis puede ser conocer si es apta para consumo humano, saber si contiene los minerales adecuados para su uso en riego o para uso industrial. O bien como parte de un estudio especializado como un programa de investigación geoquímica o para un programa de monitoreo ambiental.

Además será diferente el procedimiento de hacer un muestreo de una masa de agua, para analizar gases o sales disueltas, estado de polución química o bacteriológica, etc. Igualmente será distinto si se trata de aguas superficiales, efluentes de poblaciones, agua para la industria o residuales de la misma, etc. Esto no permite ver lo delicado que resulta la operación y las múltiples facetas que presenta. (Catalán, 1990)

## **2.9 Tipos de muestras**

Muestra simple o puntual. Cuando la composición de una fuente es relativamente constante a través de un tiempo prolongado o a lo largo de distancias sustanciales en todas las direcciones, puede decirse que la muestra representa un intervalo de tiempo o un volumen más extensos. En tales circunstancias, un cuerpo de agua puede estar adecuadamente representado por muestras simples, como en el caso de algunas aguas de suministro, aguas superficiales, pocas veces, efluentes residuales.

Las muestras simples tomadas a intervalos de tiempo precisados, y analizadas por separado, deben registrar la extensión, frecuencia y duración de las variaciones. Es necesario escoger los intervalos de muestreo de acuerdo con la frecuencia esperada de los cambios, que puede variar desde tiempos tan cortos como 5 minutos hasta 1 hora o más. Es necesario tomar muestras tanto en la estación seca como en la estación lluviosa. Cuando la composición de las fuentes varía en el espacio más que en el tiempo, se requiere tomar las muestras en los sitios apropiados.

Muestras compuestas: En la mayoría de los casos, el término "muestra compuesta" se refiere a una combinación de muestras sencillas o puntuales tomadas en el mismo sitio durante diferentes tiempos. Algunas veces el término "compuesta en tiempo (*time-composite*)" se usa para distinguir este tipo de muestras de otras. La mayor parte de las muestras compuestas en el tiempo se emplean para observar concentraciones promedio, usadas para calcular las respectivas cargas o la eficiencia de una planta de tratamiento de aguas residuales. De igual manera para evaluar los efectos de descargas y operaciones variables o irregulares, tomar muestras compuestas que representen el periodo durante el cual ocurren tales descargas

El uso de muestras compuestas representa un ahorro sustancial en costo y esfuerzo del laboratorio comparativamente con el análisis por separado de un gran número de muestras y su consecuente cálculo de promedios.

No se debe emplear muestras compuestas para la determinación de componentes o características sujetas a cambios significativos e inevitables durante el almacenamiento; sino hacer tales determinaciones en muestras individuales lo más pronto posible después de la toma y preferiblemente en el sitio de muestreo. Ejemplos de este tipo de determinaciones son: gases disueltos, cloro residual, sulfuros solubles, temperatura y pH. Los cambios en componentes como oxígeno o dióxido de carbono disueltos, pH, o temperatura, pueden producir cambios secundarios en determinados constituyentes inorgánicos tales como hierro, manganeso, alcalinidad, o dureza. Las muestras compuestas en el tiempo se pueden usar para determinar solamente los componentes que permanecen sin alteraciones bajo las condiciones de toma de muestra, preservación y almacenamiento.

Muestras integradas: Para ciertos propósitos, es mejor analizar mezclas de muestras puntuales tomadas simultáneamente en diferentes puntos, o lo más cercanas posible. Un ejemplo de la necesidad de muestreo integrado ocurre en ríos o corrientes que varían en composición a lo ancho y profundo de su cauce. Para evaluar la composición promedio o la carga total, se usa una mezcla de



muestras que representan varios puntos de la sección transversal, en proporción a sus flujos relativos. La necesidad de muestras integradas también se puede presentar si se propone un tratamiento combinado para varios efluentes residuales separados, cuya interacción puede tener un efecto significativo en la tratabilidad o en la composición. La predicción matemática puede ser inexacta o imposible, mientras que la evaluación de una muestra integrada puede dar información más útil.

## **2.10. Normativa Salvadoreña de Calidad de Agua.**

. En la Ley de Medio Ambiente, 1998 se define la Gestión Pública Ambiental como todas las actividades o mandatos legales que realiza o ejecuta el Estado o las municipalidades en relación al medio ambiente con consecuencia o impacto en el mismo.

Actualmente se tiene dentro de los Reglamentos Especiales: el Reglamento Sobre la Calidad del Agua, el Control de Vertidos y las Zonas de Protección. En el Título IX: De la Protección de las Obras Sanitarias, el Capítulo I establece los parámetros y los límites máximos que deben tener las aguas negras que sean vertidas al Alcantarillado. En el artículo 97 del Capítulo IV sobre Instalaciones Industriales establece que los establecimientos industriales que viertan sus aguas residuales al alcantarillado deben darle previo tratamiento en los casos de temperaturas altas, aguas alcalinas, o ácidas, aceites y grasas, etc., pero no establece límites. (Ley y Reglamento de Medio Ambiente, 1998)

Para agua potable y envasada si existe la norma y establece todos los parámetros que deben analizarse y establece los límites necesarios para conservar su calidad de agua para consumo humano.

Sin embargo no existe una normativa para vertidos a un cuerpo receptor ya que ha sido motivo de varias modificaciones y la última propuesta, sobre la sectorialización de la norma de vertidos se encuentra en consulta y aún no sido aprobada.

Ninguna ley, norma o reglamento, excepto una guía de la norma de agua potable, establece normas para el muestreo de los diferentes cuerpos de agua como el caso de las normas chilenas (Normas Chilenas, 2003)

### **2.11 Gestión del agua en El Salvador**

El artículo 70, capítulo I, título VIII de la Ley de Medio Ambiente establece que será el Ministerio de Medio Ambiente, quien elaborará y propondrá los reglamentos necesarios para la gestión, uso, protección y manejo de las aguas y ecosistemas, tomado en cuenta la legislación vigente y los criterios ambientales que en dicho artículo establece. Sin embargo a la fecha existen diversos códigos, leyes, reglamentos, ordenanzas municipales y convenios entre varias instituciones en relación al agua y alrededor de 30 entidades que deben cumplir diversas funciones relacionadas con la gestión del agua pero no existe un plan de gestión integrado.

Es decir, no existe en el país una estructura normativa e institucional apropiada para gestionar el agua de manera sostenible, ni políticas ni planes para realizar una gestión integral. Así la asignación de las cuotas de agua para los usos principales, como la generación de energía, riego o agua potable se hace de manera arbitraria (Ibarra, 2001). De igual manera no existe una guía o una norma para la toma de muestras que considere todos los ambientes posibles y que sea técnicamente amplia y que además considere los procedimientos de un muestreo legal.

### **2.12 Utilización de Cadenas de Custodia para procedimientos Legales en caso de Denuncias Ambientales.**

En la Ley de Medio Ambiente, vigente a partir de 1998, el título XII de la Ley de Medio Ambiente trata sobre Infracciones, Sanciones, Delitos y responsabilidad Ambiental. (Ley y Reglamento de Medio Ambiente.198). En estos artículos se detalla cuando se considera un delito ambiental, la responsabilidad civil y

gubernamental en caso de denuncias; sin embargo no establece el procedimiento legal para la toma de una muestra, para el caso, de agua, lo cual puede resultar una acción inútil, sino se pueden asegurar las pruebas e inhabilitar cualquier proceso legal. Para solventar estos vacíos es importante llevar un control desde que se toma la muestra hasta que se realiza el análisis en el laboratorio, es decir, una cadena de custodia.

#### ❖ Cadena de custodia

Los procedimientos de Cadena de Custodia aseguran la integridad de una muestra desde la recolección hasta el resultado de análisis. Esto incluye la habilidad para seguir la huella de la posesión y manejo de la muestra desde la hora de recolección, el registro de análisis hasta la disposición final. Este proceso es importante cuando esta involucrada una litigación o simplemente cuando se requiere en una rutina de control mayor calidad. (APHA, 1995).

Se dice que la muestra está custodiada si cumple las siguientes características:

- Si la muestra está bajo responsabilidad de cualquier persona,
- Si la muestra está a la vista luego de haber estado bajo responsabilidad de alguien o,
- La muestra estuvo bajo responsabilidad de alguien y la cerró para evitar adulteraciones o,
- La muestra está en un área segura predefinida.

Todo este proceso implica una serie de Instrucciones de Trabajo

#### a) Viñetas

Estas son necesarias para evitar confundir las muestras y lo mas recomendado es aquellas engomadas que se adhieren a los frascos fácilmente. La información que deben contener es el número de muestra, nombre del responsable, fecha y hora de recolección, lugar de muestreo y el preservante que lleva la muestra.

b) Precinto o sello.

Este sirve para detectar si una muestra ha sido destapada previamente y sin autorización. Si el precinto son viñetas engomadas debe llevar toda la información anterior, pero también pueden utilizarse sellos plásticos que media vez se cierran ya no se pueden abrir a menos que se rompa.

c) Cuaderno de registros de campo

En este se registra toda la información pertinente al campo, como propósito de muestreo, nombre y número de la muestra, ubicación del lugar de muestreo, registro de parámetros tomados en campo, condiciones del tiempo y otras observaciones del lugar.

d) Record de cadena de custodia

Son formularios que contienen toda la información del número de la muestra, fecha, hora de muestreo, el lugar, tipo de muestras que se tomaron y el volumen de cada una, responsable de la muestra, personas involucradas en la cadena de custodia; inclusive fechas de posesión.

e) Hoja de requerimiento de análisis de la muestra.

Esta hoja contiene información de campo y otra parte es completada por el laboratorio al recibir la muestra: con la siguiente información: Nombre de quien recibe la muestra, número de muestra en el laboratorio, fecha de recibido y determinaciones que van a realizarse a la muestra.

f) Entrega de la muestra al laboratorio.

Cuando la muestra es entregada por una casa comercial, se incluye el número de la factura.

g) El Laboratorio realiza un examen inicial de la condición y sello de la muestra, verifica que la información de la viñeta coincida con el registro de la cadena de custodia. Registra la muestra en el libro de laboratorio con toda la información.

#### h) Asignación de la muestra para análisis

El responsable del laboratorio asigna la muestra a los analistas y es responsable de la cadena de custodia.

En la Consultoría “Asistencia Técnica para Los Laboratorios”, realizada por el consorcio PADCO/WINROCK para el SINAMA ,2001 se señala que únicamente el Laboratorio del Ambiente, hoy Laboratorio de calidad de aguas, practica el procedimiento de muestras custodiadas, que fue implementada por el Programa Ambiental de El Salvador (PAES) para el monitoreo hídrico de las subcuencas del Río Sucio, Suquiapa y Acelhuate, con el propósito de tener un control de calidad en los resultados de los análisis. En cambio otros laboratorios desconocen este proceso, por lo que la división de Medio Ambiente de la PNC recibió la capacitación de SINAMA en conjunto con el Laboratorio de Calidad de aguas.

### **3. Materiales y métodos**

#### **3.1. Características del Estudio.**

##### **3.1.1. Tipo de Estudio.**

Este estudio pretende proporcionar un documento que integre una serie de conocimientos, experiencias y criterios para optimizar la toma de muestras de agua .y tener los criterios de selección de los puntos de muestreo que se están aplicando en la toma de muestras de agua para diferentes ambientes y usos. Además proporcionar lineamientos para la captura de información en campo. Por estas razones se considera que es un estudio de tipo *Explicativo*.

Los estudios explicativos tienen el propósito además de describir situaciones o fenómenos, evaluar diversos aspectos, dimensiones, o componentes del fenómeno., explicando por que ocurre, en que condiciones se dá o por qué dos o más variables están relacionadas. (Hernández, 2000)

### **3.1.2. Diseño de la investigación.**

El presente estudio tiene un diseño de una investigación no experimental de carácter naturaleza descriptivo, dado que los estudios descriptivos tienen como objetivo indagar la incidencia y los valores en que se manifiestan una o más variables y proporcionar su descripción. (Hernández, 2000)

## **3.2. Metodología.**

### **3.2.1. Enfoque del de estudio.**

El estudio está enfocado a proporcionar conocimientos, criterios y lineamientos para un programa de monitoreo hídrico en una gestión ambiental.

### **3.2.2. Determinación de procedimientos y técnicas.**

Se realizó una Investigación bibliográfica sobre los diferentes ambientes naturales: aguas superficiales, aguas subterráneas, lagos y lagunas, manantiales, agua dulce y agua salada, para conocer la variación de las diferentes composiciones físicas y químicas del agua y las condiciones biofísicas en cada ambiente. Esta información bibliográfica se complementó con las experiencias personales de la autora y de la coordinadora del trabajo de tesis.

Con la investigación de los requerimientos específicos para cada cuerpo de agua, se propone estandarizar los procedimientos para la toma de muestras y para ello se presentan los diferentes protocolos.

Como resultado se presentan los protocolos para una toma de una muestra en diferentes cuerpos de agua, como también en el caso de un monitoreo de medición del impacto de una actividad de explotación de los recursos minerales sobre los recursos hídricos. Además dentro de los protocolos se propone se utilice la cadena de custodia en procedimientos legales para el seguimiento de una denuncia.

Después de proporcionar todos los criterios y herramientas para un programa de muestreo se evaluaron tres estudios previos en diferentes ambientes naturales: Evaluación Del Grado De Contaminación Del Recurso Hídrico Del Río Talnique Utilizando Índices De Calidad De Agua Durante La Época Seca Y La Época Lluviosa, (Merlos y Hércules, 2002), y la Propuesta Del Plan De Manejo De Los Recursos Naturales De La Cuenca Del Lago De Ilopango, (Monterrosa, et al, 1998) y el Estudio Hidrogeológico del Acuífero de Guluchapa San Salvador, El salvador, ( Duarte 1998) para estudiar las técnicas de muestreo utilizadas, los criterios tomados con respecto al lugar específico, la interpretación de los resultados y su aplicabilidad a la gestión ambiental.

#### **4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.**

Después de haber proporcionado toda la información ambiental, como la influencia de las condiciones biofísicas, las características de topografía y relieve, geológicas, hidrogeológicas, capacidad y uso del suelo, climatología y todas aquellos aspectos que impactan a los recursos hídricos de una cuenca y dar todos los aspectos técnicos implicados en una toma de muestras de diferentes cuerpos de agua se presenta la siguiente propuesta de procedimientos para el muestreo, como una alternativa de estandarización del procedimiento. Al mismo tiempo se hace referencia a la actual legislación ambiental con respecto al manejo de las denuncias ambientales y propone se normalice un procedimiento utilizando una cadena de custodia que funcionó muy bien en un en un proceso de conservar la integridad de la muestra en el Programa Ambiental de El salvador.

Como resultado final se presenta el resumen de evaluación de tres casos de estudio con el objeto de consolidar la investigación y encontrar todos los aspectos ambientales y técnicos utilizados para analizar las técnicas de muestreo, y los criterios tomados con respecto al lugar específico la necesidad de estandarizar aplicación de las técnicas

##### **4.1 Lineamientos generales para un programa de monitoreo de agua en procedimientos de gestión ambiental**

Antes de comenzar un monitoreo en un cuerpo hídrico deben llevarse a cabo las siguientes etapas:

1. Establecimiento de los objetivos del monitoreo.
2. Visita de reconocimiento y Georeferenciación con GPS
3. Caracterización general del Ambiente. Línea base



4. Definir el número de estaciones y los puntos de muestreo (Establecer la red de muestreo).
5. Determinación del número mínimo de muestras a coleccionar. Y seleccionar los parámetros
6. Definir si la muestra es sencilla o compuesta.
7. Definir la frecuencia de los muestreos.
8. Seleccionar el procedimiento para la toma de muestras de agua de acuerdo al cuerpo de agua investigado y de acuerdo al uso que se le dará al agua.

A continuación se detalla cada etapa

1. Establecimiento de los objetivos del monitoreo.

Antes de empezar cualquier monitoreo es importante tener definidos los objetivos para cada específico. En la revisión bibliográfica en la sección de monitoreo se mencionan algunos objetivos para cada caso, pero esto es particular de cada estudio y lo importante es establecer objetivos claros y definidos.

2. Visita de reconocimiento y Georeferenciación con GPS

En primer lugar es necesario hacer un recorrido en el lugar a donde se va a realizar el muestreo, ya sea río, lago, pozo u otro, con el fin de conocer la topografía del cauce principal, como también todos los afluentes y vertidos, que influyan en la composición del agua, como industrias y poblaciones aledañas. El GPS (global position system) es un equipo que mide la posición exacta del lugar donde estamos ubicados. Es importante utilizar uno para determinar el punto exacto de muestreo.

3. Caracterización general del Ambiente. Línea base

Esta etapa puede requerir un tiempo prolongado, pues de aquí depende la información necesaria para definir puntos de muestreo y para interpretar los

resultados de los análisis de las muestras tomadas, ya que en muchas ocasiones en la interpretación de los resultados analíticos por no corresponder a un parámetro esperado se puede presumir que la muestra fue mal tomada y mas bien puede deberse a un efecto de algún aspecto influyente de la parte alta por ejemplo.

En esta etapa se debe obtener información sobre Topografía y relieve, Climatología, Geología e hidrogeología, Fisiografía y geomorfología, Agrología (suelos), Capacidad de uso y uso actual de la tierra (incluye conflictos), Hidrología e Hidráulica, Ecología (vegetal y animal), Demografía, Socioeconomía (incluye uso de la tierra y aspectos culturales) y Administración. Además en un plano del área geográfica marque todos los cursos naturales de agua, las corrientes de agua de procesos o vertidos, incluyendo la dirección y volumen de flujo. Ubique todas las fuentes potenciales de contaminación.

Con las cartas hidrográficas estacionales obtenga los registros de precipitaciones en el área de estudio y el historial anual de la estación seca y lluviosa.

El flujo de aguas freáticas proporcionará información de aportación a los cursos de agua cercanos.

4. Definir el numero de estaciones y los puntos de muestreo (Establecer la red de muestreo).

Estadísticamente se puede encontrar un número mínimo de estaciones de muestreo; sin embargo, en un programa de monitoreo no puede estimarse el número matemáticamente, sino que dependerá de las condiciones que se encuentren en la caracterización del ambiente

Así establecer la red de muestreo estará íntimamente vinculado a la información que se ha recabado en la descripción del área. Como regla general se consideran punto de muestreo los siguientes:

- ❖ Aguas arriba y aguas debajo de cualquier posible fuente de contaminación (población, cultivos, etc.).

- ❖ Antes y después de cada efluente.
- ❖ Antes y después de una descarga industrial.
- ❖ Al inicio y al final de una cuenca.
- ❖ Cuando estén definidos los puntos confirmar con el GPS la ubicación.

#### 5. Determinación del número mínimo de muestras a coleccionar. Y seleccionar los parámetros

La determinación del número mínimo de muestras que se van a tomar como la frecuencia y el intervalo de tiempo en que serán tomadas es particular en cada caso dependiendo de los objetivos de la investigación, como también si se trata de ríos, lagos o el efecto de un vertido sobre un cauce receptor. Los parámetros a medir dependerán de los objetivos del estudio, de los antecedentes y del uso que dará al agua, pues será diferente para agua potable como para estudiar la contaminación de un vertido y será distinto si el vertido es de aguas domésticas o de aguas industriales y dentro de cada caso existirán diferentes variantes.

La determinación de los parámetros a medir dependerá de la evaluación específica de cada componente, así para el caso del análisis de los drenajes subterráneos será imprescindible análisis de sólidos totales en suspensión, metales asociados y acidez. Además debe tomarse en cuenta todos los recursos con que se cuentan: económicos y técnicos, por ejemplo para los parámetros que se elijan debe existir el equipo adecuado, así por ejemplo, si el laboratorio elegido no cuenta con un cromatógrafo de gases, no podrán analizarse residuos de plaguicidas

En general los parámetros típicos de monitoreo pueden describirse en dos grupos:

- b) Inorgánicos y físicos: SS, temperatura, color, olor y sabor, pH, conductividad, sólidos totales disueltos, oxígeno disuelto, sulfato,

alcalinidad, acidez, cianuro, nitrógeno, fosfatos, metales disueltos, alcalinidad, hierro.

c) Orgánicos: fenol petróleo, grasa.

Parámetros tóxicos: metales pesados, cianuro, amoníaco...

#### 6. Definir si la muestra es sencilla o compuesta.

Se utilizan muestras sencillas si la composición de una fuente es relativamente constante a través de un tiempo prolongado o a lo largo de distancias sustanciales en todas las direcciones, puede decirse que la muestra representa un intervalo de tiempo o un volumen más extensos. Una muestra compuesta se emplea para observar concentraciones promedio, usadas para calcular las respectivas cargas o la eficiencia de una planta de tratamiento de aguas residuales. De igual manera para evaluar los efectos de descargas y operaciones variables o irregulares, tomar muestras compuestas que representen el periodo durante el cual ocurren tales descargas y para ciertos propósitos, es mejor analizar mezclas de muestras puntuales tomadas simultáneamente en diferentes puntos, o lo más cercanas posible, lo que constituye las muestras integradas. La necesidad de muestras integradas también se puede presentar si se propone un tratamiento combinado para varios efluentes residuales separados, cuya interacción puede tener un efecto significativo en la tratabilidad o en la composición. La predicción matemática puede ser inexacta o imposible, mientras que la evaluación de una muestra integrada puede dar información más útil.

#### 7. Definir la frecuencia de los muestreos.

La frecuencia estará determinada además de los objetivos, de las fuentes contaminantes y del uso que se dará a la información analítica, cómo de la normativa existente, para el caso la ley de medio ambiente en el reglamento especial de aguas residuales capítulo IV da los lineamientos mínimos de muestreo y análisis para las aguas residuales mínimas en un cuerpo receptor y para los efluentes de los sistemas de tratamiento de aguas residuales de tipo

ordinario la frecuencia mínima de muestreo y análisis está definida según caudal y los componentes característicos, en cambio para la normativa de agua potable envasada establece la frecuencia de acuerdo al parámetro físico químico o microbiológico. (Ley de medio Ambiente, 1998).

En términos generales podemos decir que para diseñar un programa de muestreo, independiente de los objetivos que se persigan se debe consultar antes a la legislación correspondiente.

8. Definir el volumen de la muestra a tomar, de acuerdo al objetivo del monitoreo.

Dependiendo del objetivo así serán los parámetros que se elijan y la metodología para cada parámetro da las pautas del volumen de muestra a tomar, el envase y de la preservación. Sin embargo también hay que tomar en consideración el transporte de las muestras hacia el laboratorio y el número de muestras y el tamaño deberá ser manejable.

9. Seleccionar el procedimiento para la toma de muestras de agua de acuerdo al cuerpo de agua investigado y de acuerdo al uso que se le dará al agua.

En esta etapa se aplica el procedimiento a cada cuerpo de agua ya que será diferente para ríos, lagos esteros, etc.

#### **4.2 Protocolo para la toma de muestras de aguas superficiales.**

1. Anotaciones de las condiciones de campo.

Aunque se haya realizado un buen estudio en la caracterización de la cuenca o subcuenca a la que pertenece el río en estudio, resulta necesario recolectar todas las condiciones ambientales del área, ya que las condiciones de un día o de horas anteriores pueden influir en la calidad del agua.

En la tabla No. 2 se presenta un resumen la recolección de información en campo.

## 2. Selección de la sección transversal

Seleccione una sección que sea bastante uniforme, recta, que no tenga depresiones ni obstáculos que cambien la velocidad del río, que no se encuentre muy cerca de la orilla o demasiado alejados. Además que no sea puntos de estancamiento .de confluencia, ni tenga afluentes de contaminación.. Asegurarse que el flujo es uniforme, de mezcla homogénea, libre de turbulencias. o de lo contrario tomar muestras compuestas.

Sin embargo cuando se muestra cerca del área de influencia de una población o de un vertido industrial hay tomar en cuenta la velocidad del río, de tal manera que los sólidos suspendidos se mantengan en la superficie y no sedimentados en el fondo.

## 2 Limpieza de la sección transversal

Limpie la sección de palos, piedras u otros obstáculos que desvíen la corriente.

## 4. Medir velocidad y la cantidad de agua.

Los métodos de aforo se explican detalladamente en la sección 2.7 de este documento. Seleccionar el método de acuerdo a los medios y recursos disponibles.

La foto a continuación muestra un equipo de hidrometría para realizar un aforo por el método de vadeo



**Fotos No. 1 y 2 Equipo de hidrometria utilizado para la medición de caudal en la corriente**

#### 5. Calibración del equipo

Existen equipos de medición portátil que poseen electrodos específicos para medir cada parámetro. Estos equipos deben calibrarse siempre antes de cada monitoreo.

#### 6. Medición de parámetros en campo.

Los parámetros que se miden en campo o “in situ” son generalmente constantes pues son aquellos que ayudan a la caracterización ambiental de la corriente natural. Estos son: temperatura del curso de agua, conductividad, Ph, turbidez, oxígeno disuelto. .

La medición de los parámetros en campo se realiza antes de tomar la muestra y estos datos se comparan con los resultados analíticos.



**Foto 3. Medición de parámetros fisicoquímicos en campo**

7. Selección de frascos y preservantes.

Utilice frascos limpios ya sea de plástico o vidrio. La selección del tipo de envase dependerá del método estándar utilizado. Los recipientes de vidrio son inconvenientes para muestras destinadas a ser analizadas por metales traza; el vidrio libera silicio y sodio, a su vez, pueden adsorber trazas de metales contenidas en la muestra. Por otra parte los recipientes de plástico -excepto los teflonados (politetrafluoroetileno, TFE)- deben descartarse para muestras que contengan compuestos orgánicos, estos materiales liberan sustancias del plástico (por ejemplo, ésteres de ftalato del plástico) y a su vez disuelven algunos compuestos orgánicos volátiles de la muestra. Las tapas de los envases, generalmente de plástico, también pueden ser un problema, por lo que se debe usar empaques de metal o TFE. Para situaciones críticas, es adecuada la inclusión de un blanco del recipiente para demostrar la ausencia de interferencias. Usar los de vidrio para todos los análisis de compuestos orgánicos volátiles, semi volátiles, plaguicidas, PCBs, aceites y grasas. Para muestras específicas como demanda bioquímica de oxígeno se recolecta en envases apropiados. Algunas muestras requieren bajas temperaturas o químicos para preservarlas. Los preservantes mas utilizados son ácidos clorhídrico, sulfúrico, nítrico, ascórbico, hidróxido de sodio, tiosulfato de sodio y



biocidas y otras necesitan bajas temperaturas. En la tabla No 1 de anexos se resume los requerimientos para las tomas de muestra de acuerdo al parámetro.

## 8. Toma de muestra.

Si se van a tomar varias muestras bacteriológicas deberán en frascos o bolsas esterilizadas, selladas y puestas en refrigeración inmediatamente. Luego tomar las muestras que son más estables como todas las muestras de sólidos y dejar por último la muestra de oxígeno disuelto y demanda bioquímica de oxígeno.

### 8.1 Recomendaciones generales para la toma de muestras.

- ❖ Seleccione el punto medio de la sección, introduzca el frasco y enjuáguelo 3 veces. Para tomar la muestra introduzca el frasco verticalmente 10 cm. y llene hasta rebalse. y tome las muestras de acuerdo al parámetro que se va analizar.



Foto 4 Procedimiento de toma la muestra de agua y enjuague del frasco

- ❖ Si se van a realizar lecturas de parámetros en campo, como oxígeno disuelto no será conveniente realizarla al centro del cauce cuando la velocidad del río sea muy grande, ya que la lectura será muy elevada y no será representativa.

- ❖ Si en el río existen puntos de vertidos industriales, la toma de la muestra se realiza aguas arriba del vertido, en el vertido cauce y aguas abajo del vertido.
- ❖ Como ya se dijo la selección de frascos y el preservante adecuado se realiza en base a los parámetros que va a ser analizados. En anexos se presenta una tabla resumen del volumen de muestra, el envase, el preservante y el tiempo de almacenamiento que establece el Standard Methods (1999).
- ❖ Cuando el río no tenga la suficiente profundidad, tomar la muestra teniendo el cuidado de tocar el sedimento del fondo.
- ❖ Si existe una caída o salto la muestra debe tomarse antes de la caída y unos 2 metros después o sea dónde la velocidad del río se ha normalizado.
- ❖ Las botellas plásticas deben ser llenadas hasta el rebalse, mientras que las de vidrio se dejarán unos dos centímetros de aire a fin de prevenir la posible dilatación de la muestra, excepto cuando se vayan a determinar gases (catalán, J, 1990).

#### 9. Identificación de la muestra.

Para asegurarse que los resultados analíticos correspondan al lugar muestreado, deberá llevarse un control estricto del registro de la muestra y llevar proceso de cadena de custodia de igual manera que en un proceso legal.



**.Foto 5.Procedimiento de identificación y rotulación de frascos.**

#### 10. Preservación de muestras

Preservar las muestras que requieren reactivos químicos, como se en la imagen la muestra para oxígeno disuelto y preservar con enfriamiento todas las muestras



**Foto 6.Proceso de preservación de muestras.**

### 11. Traslado de muestras a laboratorio.

Las muestras deben ser trasladadas inmediatamente al laboratorio seleccionado.

### 12. Procesamiento e interpretación de la información ambiental y científica

Después de que las muestras han sido analizadas y el responsable del laboratorio haya entregado los resultados analíticos, éstos deberán ser tratados estadísticamente y si es posible presentarlos en gráficos para poder interpretarse si son representativos del medio estudiado. En esta fase será de mucha utilidad la información recolectada en campo, tanto en los estudios previo (línea base), como durante el muestreo y correlacionar esta información con los estudios analíticas. Es en este momento que se verifica si el diseño del programa de muestreo fue correcto.

**Tabla 3 Recolección de datos de campo para muestras de ríos.**

<b>Nombre del proyecto:</b>		<b>Código muestra</b>		
<b>Objetivos del proyecto</b>				
<b>Responsable del muestreo:</b>				
<b>Sitio de muestreo:</b>	<b>No. De muestreo</b>	<b>Fecha</b>	<b>Hora:</b>	<b>Temperatura ambiental:</b>
<b>Ubicación geográfica:</b>				
<b>Características ambientales:</b>		<b>Topografía del terreno:</b>	<b>Población cercana:</b>	

Presencia de lluvia.: si <input type="checkbox"/> no <input type="checkbox"/>  Lluvia el día anterior: si <input type="checkbox"/> no <input type="checkbox"/>  Intensidad de la lluvia:	<b>Relieve:</b>	Si. <input type="checkbox"/>  No <input type="checkbox"/>
<b>Sólidos arrastrados por la corriente:</b>  Muy poco. <input type="checkbox"/>  Regular <input type="checkbox"/>  Mucho <input type="checkbox"/>	<b>Tipo de muestra:</b>	<b>Presencia de vertido ocasional :</b>  Si. <input type="checkbox"/>  No <input type="checkbox"/>
<b>Velocidad de la corriente en el punto de muestreo:</b>  Estancada. <input type="checkbox"/> Lenta. <input type="checkbox"/> Moderada. <input type="checkbox"/> Rápida. <input type="checkbox"/> Tormentosa <input type="checkbox"/>	<b>Ubicación de la cuenca:</b>  Alta. <input type="checkbox"/>  Baja <input type="checkbox"/>	<b>Margen del río:</b>  Derecho. <input type="checkbox"/>  Izquierdo <input type="checkbox"/>  Centro <input type="checkbox"/>
<b>Caudal:</b>	<b>Altitud</b>	<b>Amplitud del cuerpo de agua (m):</b>
<b>Apariencia del agua:</b>  <b>Color:</b>	pH	<b>Profundidad del cuerpo de agua (m):</b>
	Temperatura	
<b>Parámetros de campo :del agua</b>	<b>Parámetros fisicoquímicos:</b>	<b>Microbiológicos u otros parámetros</b>
Oxígeno disuelto (mg. /L).	Turbidez (NTU):	Conductividad (unidades)
Observaciones adicionales:		

### **4.3 Protocolo para la toma de muestras de aguas subterráneas**

#### **1. Establecimiento de los objetivos del monitoreo.**

Básicamente un programa de monitoreo de agua subterránea se basa en la observación de pozos de producción y observación de tuberías de observación de la tabla de agua en operación. Aunque en la mayoría de las veces se necesitan puntos adicionales de monitoreo para medir los niveles de agua subterránea y parámetros especiales. Dentro de los objetivos de un programa de monitoreo podrían se mencionan los siguientes:

- a) Delimitar los límites de un acuífero y determinar las diferentes unidades hidrogeológicas de un acuífero.
- b) Determinar los principales parámetros hidráulicos de los acuíferos con el propósito de establecer el tipo de acuífero.
- c) Conocer las entradas y salidas del acuífero.
- d) Inventariar las fuentes potenciales de contaminación de un acuífero.
- e) Determinar su calidad para agua potable o para otros usos

#### **2. Visita de reconocimiento**

Antes de perforar un pozo de prueba es necesario recopilar una serie de información En primer lugar es necesario hacer un recorrido en el lugar a donde se va a realizar el muestreo, con el fin de identificar las posibles fuentes de contaminación. Si no se dispone de información antecedente será necesario iniciar con estudios geológicos e hidrogeológicos.

#### **3. Caracterización general del Ambiente. Línea base.**

- ❖ El muestreo de agua subterránea o de un acuífero implica a veces la perforación de pozos nuevos, lo cual es un proceso muy costoso, por lo que una investigación minuciosa sobre toda la información disponible sobre las condiciones geológicas e hidrogeológicas del acuífero resulta

muy beneficiosa. Si no existieran datos publicados realizar estudios preliminares.

- ❖ En segundo lugar identificar todas las posibles fuentes de contaminación que afecte la producción de los pozos. Esta investigación preliminar podría determinar investigaciones hidrogeológicas adicionales.
- ❖ El estudio hidrogeológico nos proporcionará la información siguiente:
  - a) Los parámetros hidráulicos del acuífero y la interconexión hidráulica entre río acuífero.
  - b) Las capas altas y bajas de los horizontes de baja permeabilidad.
  - c) La estratificación vertical de los acuíferos.
  - d) El nivel del agua subterránea y su variación en época lluvia o época lluviosa.
  - e) La dirección y velocidad del flujo subterráneo.
  - f) Las áreas y magnitudes de la recarga natural y artificial del acuífero.
  - g) Las áreas y magnitudes de la descarga natural y artificial del acuífero
- ❖ Deben realizarse observaciones y muestreo en pozos existentes, pero en caso de que no existan se pueden instalar *piezómetros*, que son tubos con rejillas en forma de ranuras, las cuales permiten la entrada de agua a su interior, instalados en la superficie del suelo y con una longitud que sobrepasen la profundidad del nivel freático del acuífero, con el objeto de determinar la carga hidráulica en un punto específico.
- ❖ Para realizar muestreo y análisis de agua puede realizarse directamente en el piezómetro o por bombeo del pozo existente., pero esto dependerá de lo que se quiera determinar, así se necesita conductividad y temperatura como indicadores de contaminación, realizar medidas directas de los piezómetros.

- ❖ Pero si se necesita una medida más exacta de pH y alcalinidad parcial, realizar las muestras por bombeo. Si lo que se quiere es estimar la exactitud de los iones metálicos en solución, es recomendable filtrar la muestra en un filtro 0.5 micrones ( $\mu\text{m}$ ) y acidificada con  $\text{HNO}_3$  O  $\text{HCL}$

4. Definir el número de estaciones y los puntos de muestreo (Establecer la red de muestreo).

Para determinar las estaciones de muestreo se requiere un estudio amplio del acuífero, eso implica realizar estudios en pozos de observación durante algún periodo.

5. Determinación del número mínimo de muestras a coleccionar.

Seleccionados los pozos (existentes y nuevas perforaciones) que serán muestreados se podrá conocer cuantas muestras se van a necesitar.

6. Definición de los parámetros a medir y las técnicas analíticas que se van a utilizar y la especificación en la toma de la muestra según el análisis.

Los parámetros a medir dependerán de los objetivos del plan de monitoreo y del tipo de red de trabajo instalada y además de los antecedentes y del uso que dará al agua. En general los parámetros pueden seleccionarse con el objetivo de proteger la producción de un pozo municipal o para identificar ciertos contaminantes y la posible fuente de contaminación.

7. Definir si la muestra es sencilla o compuesta.

Se utilizan muestras sencillas ya que los muestreos son puntuales en cada pozo.

8. Definir la frecuencia de los muestreos.

La frecuencia al igual que en aguas superficiales estará determinada además de los objetivos, de las fuentes contaminantes y del uso que se dará a la información analítica, cómo de la normativa existente.



9. Definir el volumen de la muestra a tomar, de acuerdo al objetivo del monitoreo.

Dependiendo del objetivo así serán los parámetros que se elijan y la metodología para cada parámetro da las pautas del volumen de muestra a tomar, el envase y de la preservación. Sin embargo también hay que tomar en consideración el transporte de las muestras hacia el laboratorio y el número de muestras y el tamaño deberá ser manejable.

**Tabla 4. .Recolección de datos para muestras de pozos.**

Sitio de muestreo:				Muestras Colectadas:		Código muestra
Muestreo N°:				Fecha de muestreo:		Tipo de pozo :
Hora de muestreo:				Localización geográfica: Norte:      Oeste:		Bacteriológico
Nivel de agua en el pozo:				Profundidad del pozo		Química Parcial
Parámetros Físico-químicos:				Química completa:		conductividad
Presencia de lluvia:				Observaciones:		
Temperatura del agua (°C)	pH	Conductividad (unidades)	REDOX (unidades)	Oxígeno Disuelto Mg/l	% de Saturación de Oxígeno	Turbidez NTU
Responsable del Muestreo:						

#### 4.4. Protocolo de muestras subterráneas con objetivo de explotación del recurso geotérmico.

1. Establecimiento de los objetivos del monitoreo, Visita de reconocimiento, Georeferenciación y Caracterización general del Ambiente o Línea base

Estas etapas se desarrollan con las indicaciones generales descritas anteriormente.

4. Definir el número de estaciones y los puntos de muestreo.

En este caso se realiza un muestreo inicial tanto de aguas termales como no termales con el fin de obtener una información de amplia naturaleza del área y determinar los puntos de muestreo para resolver problemas específicos. Esta etapa y el inicio del monitoreo debe iniciarse durante la época seca para evitar la mezcla con aguas superficiales.

Localizar sitios seguros para evitar accidentes en las áreas geotérmicas.

5. Determinación del número de muestras a coleccionar.

Giggenbach y Goguel (1989), expertos en geoquímica, recomiendan que en la investigación inicial se recomienda un mínimo de 50 muestras en frascos de 100 a 150 ml. Estos frascos deberán ser apropiados para inmersión en agua hirviendo y con sello para evitar la entrada de aire, puede ser polietileno de alta densidad o de polipropileno.

6. Equipo de muestreo.

50 frascos de muestreo descritos en la sección anterior.

- ❖ Termómetros para aguas normales y termómetros para soportar temperaturas hasta 1200 °C con bulbo protegido.
- ❖ Guantes de hule para muestras geotérmicas.
- ❖ Un portador de frascos de 2.5 m de largo para tomar las muestras.
- ❖ Equipo de filtro y filtros milipore con jeringa plástica para presurizar manualmente la muestra.

- ❖ 20 Frascos para muestras gaseosas de 300ml. Con tapón rotoflo, que es un tapón de material teflón que sella perfectamente.
- ❖ Tubos para muestreo de gases (de vidrio sílica, acero inoxidable o titanio) de 25 mm de diámetro exterior más un embudo para captura de muestras de fumarolas o pozos de agua hirviendo.
- ❖ Equipo personal de protección
  7. Definición de los parámetros a medir y las técnicas analíticas que se van a utilizar y la especificación en la toma de la muestra según el análisis.

La información básica inicial que se debe obtener de una muestra geotérmica son los parámetros de litio, sodio, potasio, rubidio, cesio, magnesio, calcio, boro, bicarbonato, sílice, sulfatos y cloruros y para las muestras gaseosas helio, hidrógeno, argón, oxígeno, nitrógeno y metano, adicionalmente la información de utilidad en problemas específicos puede ser la determinación de aluminio, arsénico, hierro, mercurio, amoníaco, flúor y bromo

8. Definir la frecuencia de los muestreos.

Esto dependerá de los objetivos de investigación.

#### **4.5 Protocolo para la toma de muestras de agua de lagos**

1. Establecimiento de los objetivos del monitoreo.

Antes de diseñar una red de monitoreo es bien importante tener definidos los objetivos del muestreo. Estos pueden ser para caracterizar el agua del lago, conocer el balance de materiales y entradas de la contaminación, como también las entradas y salidas de nutrientes para estudios el porcentaje de producción, características de intercambio, patrones de circulación y otras propiedades del lago.

2. Caracterizar del área de influencia. Línea base

- ❖ Realizar una descripción física del área, señalando el área geográfica a su alrededor, Identificar las entradas y salidas del lago, como las pendientes por dónde se drenan las aguas lluvias, identificar las posibles fuentes de contaminación, identificar los ríos contribuyentes, describir los elementos más importantes del ecosistema (biodiversidad acuática, hábitat, etc.).
- ❖ Buscar información geográfica, geológica y antecedentes para identificar y clasificar el tipo de lago.
- ❖ Realizar estudios hidrológicos para determinar el balance hídrico.
- ❖ Investigar el desarrollo económico de la cuenca. El desarrollo económico está relacionado directamente con la explotación de los recursos, por lo cual dará información del grado de explotación y contaminación del lago.

3. Definir el número de estaciones y los puntos de muestreo (Establecer la red de muestreo).

Existen dos tipos de muestreo que pueden realizarse: Muestreo horizontal o Muestreo vertical.

- ❖ Muestreo Horizontal (Muestreo en todas las entradas y salidas del lago, como todas las posibles fuentes de contaminación)

En el caso de lagos compuestos por varias cuencas o que tiene varios tributarios o que el objetivo del monitoreo sea conocer el balance natural del lago es recomendable un muestreo en forma horizontal. Para ello las investigaciones preliminares de caracterización del área son determinantes para la selección de los puntos de muestreo. Es necesario muestrear todos los tributarios significativos y las salidas de corrientes, fuentes de contaminación, y de sedimentos.

- ❖ Muestreo por profundidad.( Verticalmente)

Para los lagos homogéneos y que no presentan variabilidad en sentido horizontal se recomienda el muestreo vertical o por profundidad.

El muestreo por profundidad variará de acuerdo al criterio del investigador, pero estará referido al perfil vertical termal del lago en cada una de las estaciones de muestreo... en general se muestrearán cinco profundidades:

- En la superficie,
- Inmediatamente arriba de la termoclina.
- Inmediatamente debajo de la termoclina.
- A la mitad del hypolimnion.
- Un metro o menos arriba de la interfase del sedimento y agua.

(IHD-WHO, 1978).

Establecido el tipo de muestreo y los puntos de muestreo se prepara un mapa con las estaciones seleccionadas.

❖ Muestreos combinados.

Puede elegirse un muestreo combinado ya que todo el preparativo para realizar un muestreo en lago resulta costoso se pueden aprovechar los mismos recursos para realizar el muestreo tanto vertical como horizontal.

4. Definir la frecuencia de los muestreos.

Resulta difícil especificar la frecuencia de muestreo por los varios niveles de vida presentes en cualquier lago. Un programa de monitoreo es muy particular de un lago y no aplicable a otro que puede tener diferentes condiciones ambientales. Sin embargo se puede dar en términos muy generales que si se trata de evaluar la calidad puede hacerse muestreos continuos hasta diarios para tener un perfil; pero si se trata de un control de la calidad los muestreos pueden ser de 3-4 semanas entre cada uno.

En la tabla No 5 que se presenta a continuación se facilitan los aspectos a considerar para la toma de datos de campo en el caso de lagos.

**Tabla 5. Recolección de datos para muestras de lagos.**

Nombre del proyecto:		Código muestra				
Responsable del muestreo:						
Sitio de muestreo:	No. De muestreo	Fecha		Hora:	Temperatura ambiental:	
<b>Características ambientales:</b> Presencia de lluvia.: si <input type="checkbox"/> no <input type="checkbox"/>  Lluvia el día anterior: si <input type="checkbox"/> no <input type="checkbox"/>  Intensidad de la lluvia:		Tipo de muestra		Localización georeferencial:		
Apariencia del agua:  Color:		Transparencia del agua (profundidad Secchi):		Profundidad del cuerpo de agua (m):		
Profundidades de muestreo	Metros	Parámetros de campo del agua				
en la superficie,		Ph	Temperatura	Oxígeno disuelto	Turbidez (NTU):	Conductividad (unidades)

				(mg. /L).		
Inmediatamente arriba de la termoclina.						
Inmediatamente debajo de la termoclina...						
A la mitad del hypolimnion						
Un metro o menos arriba de la interfase del sedimento y agua						
	<b>Parámetros fisicoquímicos solicitados:</b>			<b>Microbiológicos u otros parámetros</b>		
Observaciones adicionales:						

#### 4.6 Protocolo de muestras en bahías, estero o mar

En las zonas costeras la salinidad en el agua puede cambiar en forma natural o bien inducida por el hombre provocando cambio en el agua dulce, por lo tanto para la selección de los puntos de muestreo deberán realizarse pruebas para determinar si no existe intrusión salina, para ello se muestrea a diferentes profundidades mediante una red de piezómetros, con el objetivo de determinar la calidad de la zona de interfase.

1. Establecimiento de los objetivos del monitoreo.

Los objetivos podrán ser:

- 1) Determinar el grado de intrusión salina,
- 2) Determinar la calidad o contaminación del recurso.,
- 3) Para estudios hidrodinámicos,
- 4) Conocer niveles de nutrientes, pesticidas, sedimentos, metales pesados.
- 5) Conocer la calidad del recurso hídrico en aspectos productivos (pesquería, producción agrícola y uso potable

## 2. Visita de reconocimiento y Georeferenciación.

En este caso es muy importante observar en la visita de reconocimiento la topografía del terreno, ver todos los accidentes geográficos que favorezcan la entrada de mar.

## 3. Caracterización general del Ambiente. Línea base.

Entre la caracterización del ambiente además de las recomendaciones generales planteadas en el inciso 4.1 es necesario de registrar datos de altitud, oleaje y marea.

La técnica es similar a la de ríos o lagos únicamente tomar en cuenta en los parámetros la salinidad.

## 4. Definir el número de estaciones y los puntos de muestreo (Establecer la red de muestreo).

Para encontrar las estaciones de muestreo en aguas estuarinas se tiene que realizar análisis previos para determinar las siguientes zonas:

- ❖ zonas de agua dulce
- ❖ Antes y después de una zona de mezcla agua dulce-agua salada
- ❖ la zona donde predomina el agua salada.
- ❖ Además todas las posibles fuentes de contaminación



5. Determinación del número mínimo de muestras a coleccionar. Y seleccionar los parámetros

La determinación del número mínimo de muestras que se van a tomar como la frecuencia y los intervalos de tiempo en que serán tomadas es particular en cada caso dependiendo de los objetivos de la investigación. En general los parámetros típicos de monitoreo pueden describirse en dos grupos:

- b) Inorgánicos y físicos: sólidos suspendidos, temperatura, color, olor y sabor, pH, conductividad, sólidos totales disueltos, oxígeno disuelto, sulfato, alcalinidad, acidez, cianuro, nitrógeno, fosfatos, metales disueltos, alcalinidad, hierro.
- c) Orgánicos: fenol, petróleo, grasa.

Parámetros tóxicos: metales pesados, cianuro, amoníaco...

6. Definir si la muestra es sencilla o compuesta.

Se utilizan muestras sencillas en cada zona de mezcla.

7. Definir la frecuencia de los muestreos.

La frecuencia estará determinada además de los objetivos, de las fuentes contaminantes y del uso que se dará a la información analítica, como de la normativa existente.

8. Definir el volumen de la muestra a tomar, de acuerdo al objetivo del monitoreo.

Dependiendo del objetivo así serán los parámetros que se elijan y la metodología para cada parámetro.

**Tabla 6. Recolección de datos para muestras de Bahías, Estero y Mar**

<b>Nombre del proyecto:</b>		<b>Responsable del muestreo</b>					
Sitio de colecta o muestreo		Muestras colectadas				Código de la muestra	
Hora		Plancton					
Posición geográfica:		Bentos					
Altitud:		Crustáceos					
Condiciones ambientales:		Necton					
Época de muestreo:		Macroalgas					
Lluvia:							
Oleaje:		Parámetros Químicos					
Marea:		Otras:					
Dirección de la corriente:		Transparencia del agua (profundidad Secchi					
Viento y nubosidad:		Observaciones:					
Temperatura Ambiental (°C):							
Encargado del Muestreo:							
Profundidad (metros)	T° del agua (°C)	pH	OD (mg/l)	S o/oo	Conductividad	Turbidez	Productividad primaria

**Tabla 7 Resumen para un programa de monitoreo de diferentes cuerpos hídricos**

Aspecto	Ríos	Pozos	Lagos	Bahía, estero y Mar
<p>Establecimiento de los objetivos del monitoreo.</p>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1) Investigar la calidad del. Agua</li> <li>2) Determinar posibles fuentes de contaminación y cuantificarlas.</li> <li>3) Determinar la aptitud de un agua natural para un determinado uso mediante.</li> <li>4) Determinar el cumplimiento de la legislación.</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1) Delimitar los límites de un acuífero. Y determinar las diferentes unidades hidrogeológicas de un acuífero.</li> <li>2) Determinar los principales parámetros hidráulicos del acuíferos con el propósito de establecer el tipo de acuífero.</li> <li>3) Conocer las entradas y salidas del acuífero.</li> <li>4) Inventariar las fuentes potenciales de contaminación de un acuífero.</li> <li>5) Determinar su calidad para agua potable o para otros usos</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1) Para caracterizar el agua del lago</li> <li>2) Para conocer el balance de materiales y entradas de la contaminación,</li> <li>3) Para conocer las entradas y salidas de nutrientes para estudios el porcentaje de producción,</li> <li>4) Para conocer características de intercambio, patrones de circulación y otras propiedades del lago.</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1) Determinar el grado de intrusión salina,</li> <li>2) Determinar la calidad o contaminación del recurso.,</li> <li>3) Para estudios hidrodinámicos,</li> <li>4) Conocer niveles de nutrientes, pesticidas, sedimentos, metales pesados.</li> <li>5) Conocer la calidad del recurso hídrico en aspectos productivos (pesquería, producción agrícola y uso potable.</li> </ol>
<p>Visita de reconocimiento y Georeferenciación con GPS</p>	<p>Hacer un recorrido en el lugar a donde se va a realizar el muestreo, con el fin de conocer la topografía del cauce principal, como también todos los afluentes y vertidos, que influyan en la composición del agua, como industrias y poblaciones aledañas. Utilizar un GPS para determinar el</p>	<p>Hacer un recorrido en el lugar a donde se va a realizar el muestreo, con el fin de conocer la topografía del cauce principal, como también todos los afluentes y vertidos, que influyan en la composición del agua, como industrias y poblaciones aledañas. Es importante utilizar un GPS para determinar el punto exacto de muestreo.</p>	<p>Hacer un recorrido en el lugar a donde se va a realizar el muestreo, con el fin de conocer la topografía del cauce principal, como también todos los afluentes y vertidos, que influyan en la composición del agua, como industrias y poblaciones aledañas. Es importante utilizar un GPS para</p>	<p>Hacer un recorrido en el lugar a donde se va a realizar el muestreo, con el fin de conocer la topografía del cauce principal, como también todos los afluentes y vertidos, que influyan en la composición del agua, como industrias y poblaciones aledañas. Es importante utilizar un GPS para</p>

	punto exacto de muestreo.		determinar el punto exacto de muestreo.	determinar el punto exacto de muestreo.
<p>Caracterización general del Ambiente. Línea base</p>	<p>Obtener información sobre Topografía y relieve, Climatología, Geología e hidrogeología, Fisiografía y geomorfología, Agrología (suelos), Capacidad de uso y uso actual de la tierra (incluye conflictos), Hidrología e Hidráulica, Ecología (vegetal y animal), Demografía, Socioeconomía (incluye uso de la tierra y aspectos culturales) y Administración. Además en un plano del área geográfica marque todos los cursos naturales de agua, las corrientes de agua de procesos o vertidos, incluyendo la dirección y volumen de flujo. Ubique todas las fuentes potenciales de contaminación.</p> <p>Con las cartas hidrográficas estacionales obtenga los registros de precipitaciones en el área de estudio y el historial anual de la estación seca y lluviosa.</p> <p>El flujo de aguas freáticas proporcionará información de aportación a los cursos de agua</p>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. investigación minuciosa sobre toda la información disponible sobre las condiciones geológicas e hidrogeológicas del acuífero. Si no existieran datos publicados realizar estudios preliminares.</li> <li>2. identificar todas las posibles fuentes de contaminación que afecte la producción de los pozos.</li> <li>3. Estudio hidrogeológico completo, recarga natural y artificial del acuífero.</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Realizar una descripción física del área, señalando el área geográfica a su alrededor, Identificar las entradas y salidas del lago, como las pendientes por dónde se drenan las aguas lluvias, identificar las posibles fuentes de contaminación, identificar los ríos contribuyentes describir el ecosistema, como también realizar o investigar estudios anteriores sobre inventario de biodiversidad.</li> <li>2. Buscar información geográfica, geológica y antecedentes para identificar y clasificar el tipo de lago.</li> <li>3. Realizar estudios hidrológicos para determinar el balance hídrico.</li> <li>4. Investigar el desarrollo económico de la cuenca. El desarrollo económico está relacionado directamente con la explotación de los recursos,</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Realizar la caracterización de la cuenca al igual que en el caso de ríos únicamente tomar en cuenta en los parámetros la salinidad.</li> <li>2. Registrar datos de altitud, oleaje y marea.</li> </ol>

	cercanos.		por lo cual dará información del grado de explotación y contaminación del lago.	
Definir el número de estaciones y los puntos de muestreo (Establecer la red de muestreo).	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Aguas arriba y aguas debajo de cualquier posible fuente de contaminación (población, cultivos, etc.).</li> <li>2. Antes y después de cada efluente.</li> <li>3. Antes y después de una descarga industrial.</li> <li>4. Al inicio y al final de una cuenca.</li> <li>5. Cuando estén definidos los puntos confirmar con el GPS la ubicación.</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Para determinar las estaciones de muestreo se requiere un estudio amplio del acuífero, eso implica realizar estudios en pozos de observación durante algún periodo</li> <li>2. Esta etapa y el inicio del monitoreo debe iniciarse durante la época seca para evitar la mezcla con aguas superficiales</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1) Colocar estaciones en todas las entradas y salidas del lago, como todas las posibles fuentes de contaminación, y de sedimentos. todos los tributarios significativos y las salidas de corrientes (muestreo horizontal)</li> <li>2) Para los lagos homogéneos se realiza un muestreo referido al perfil vertical termal del lago en cada una de las estaciones de muestreo: <ul style="list-style-type: none"> <li>• En la superficie, Inmediatamente arriba de la termoclina.</li> <li>• Inmediatamente debajo de la termoclina.</li> <li>• A la mitad del hypolimnion.</li> <li>• Un metro o menos arriba de la interfase del sedimento y agua.</li> </ul> </li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. zonas de agua dulce</li> <li>2. Antes y después de una zona de mezcla agua dulce-agua salada</li> <li>3. la zona donde predomina el agua salada.</li> <li>4. Además todas las posibles fuentes de contaminación</li> </ol>
Determinación del número mínimo de muestras a coleccionar. Y	Dependiendo de los objetivos de la investigación En general los	Dependiendo de los objetivos de la investigación En general los parámetros	Dependiendo de los objetivos de la investigación En general los	Dependiendo de los objetivos de la investigación En general los

<p>seleccionar los parámetros</p>	<p>parámetros típicos de monitoreo pueden describirse en tres grupos:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Inorgánicos y físicos: SS, temperatura, color, olor y sabor, ph, conductividad, sólidos totales disueltos, oxígeno disuelto, sulfato, alcalinidad, acidez, cianuro, nitrógeno, fosfatos, metales disueltos, alcalinidad, hierro.</li> <li>2. Orgánicos: fenol petróleo, grasa.</li> </ol> <p>Parámetros tóxicos: metales pesados, cianuro, amoníaco...</p>	<p>típicos de monitoreo pueden describirse en tres grupos:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>3. Inorgánicos y físicos: SS, temperatura, color, olor y sabor, ph, conductividad, sólidos totales disueltos, oxígeno disuelto, sulfato, alcalinidad, acidez, cianuro, nitrógeno, fosfatos, metales disueltos, alcalinidad, hierro.</li> <li>4. Orgánicos: fenol petróleo, grasa.</li> </ol> <p>Parámetros tóxicos: metales pesados, cianuro, amoníaco...</p>	<p>parámetros típicos de monitoreo pueden describirse en tres grupos:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>5. Inorgánicos y físicos: SS, temperatura, color, olor y sabor, ph, conductividad, sólidos totales disueltos, oxígeno disuelto, sulfato, alcalinidad, acidez, cianuro, nitrógeno, fosfatos, metales disueltos, alcalinidad, hierro.</li> <li>6. Orgánicos: fenol petróleo, grasa.</li> </ol> <p>Parámetros tóxicos: metales pesados, cianuro, amoníaco...</p>	<p>parámetros típicos de monitoreo pueden describirse en tres grupos:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>7. Inorgánicos y físicos: SS, temperatura, color, olor y sabor, ph, conductividad, sólidos totales disueltos, oxígeno disuelto, sulfato, alcalinidad, acidez, cianuro, nitrógeno, fosfatos, metales disueltos, alcalinidad, hierro.</li> <li>8. Orgánicos: fenol petróleo, grasa.</li> <li>9. Parámetros tóxicos: metales pesados, cianuro, amoníaco...</li> </ol>
<p>Definir si la muestra es sencilla o compuesta</p>	<p>Se utilizan muestras sencillas si la composición de una fuente es relativamente constante a través de un tiempo prolongado</p>	<p><b>Muestras sencillas en cada pozo.</b></p>	<p><b>Muestras sencillas en cada punto</b></p>	<p><b>Muestras sencillas en cada punto</b></p>
<p>Definir la frecuencia de los muestreos.</p>	<p>En términos generales dependiendo de los objetivos del monitoreo y de la normativa correspondiente</p>	<p>Para determinar las estaciones de muestreo se requiere un estudio amplio del acuífero, eso implica realizar estudios en pozos de observación durante algún periodo.</p>	<p>En términos muy generales si se trata de evaluar la calidad puede hacerse muestreos continuos hasta diarios para tener un perfil, pero si se trata de un control de la calidad los muestreos pueden ser de 3-4 semanas.</p>	<p><b>Dependiendo de los objetivos de la investigación</b></p>

<p>Volumen mínimo de la muestra.</p>	<p>Dependiendo del objetivo así serán los parámetros que se elijan y la metodología para cada parámetro el envase y de la preservación. Sin embargo también hay que tomar en consideración el transporte de las muestras hacia el laboratorio y el número de muestras y el tamaño deberá ser manejable.</p>	<p>Seleccionados los pozos (existentes y nuevas perforaciones) que serán muestreados se podrá conocer cuantas muestras se van a necesitar.</p>	<p>Igual que en ríos</p>	<p>Igual que en ríos</p>
--------------------------------------	---	--	--------------------------	--------------------------

#### **4.7 Toma de muestras de agua en caso de denuncias ambientales**

Una denuncia ambiental ésta considerada por el Ministerio de Medio Ambiente como un mecanismo de participación ciudadana a través del cual las personas puede denunciar acciones u omisiones que vulneren el medio ambiente. Para ello el ministerio tiene un procedimiento de atención a las denuncias que comienza con la presentación de un formulario de denuncia y de esa forma el ministerio procede a la inspección y se basa en una serie de principios para valorar o clasificar la denuncia. Sin embargo muchas denuncias no han seguido el procedimiento adecuado, debido a la falta de controles y registros que pueden respaldar la información, pues si no existe responsabilidad por la muestra la información es incompleta.

Una muestra está custodiada cuando:

- Está bajo responsabilidad de cualquier persona,
- Si está a la vista luego de haber estado bajo responsabilidad de alguien o,
- Si estuvo bajo responsabilidad de alguien y la cerró para evitar adulteraciones o
- La muestra está en un área segura predefinida.

Todo este proceso implica una serie de Instrucciones de Trabajo, como son:

##### i) Viñetas

Estas son necesarias para evitar confundir las muestras recolectadas y lo mas recomendado es aquellas engomadas que se adhieren a los frascos fácilmente. La información que deben contener es el número de muestra, nombre del responsable, fecha y hora de recolección, lugar de muestreo y el preservante que lleva la muestra.

##### j) Precinto o sello en cada uno de los envases de las muestras.

Este sirve para detectar si una muestra ha sido destapada previamente y sin autorización. Si el precinto son viñetas engomadas debe llevar toda la información anterior, pero también pueden utilizarse sellos plásticos que media vez se cierran ya no se pueden abrir a menos que se rompa.



k) Llevar un cuaderno de registros de campo

En este se registra toda la información pertinente al campo, como propósito de muestreo, nombre y número de la muestra, ubicación del lugar de muestreo, registro de parámetros tomados en campo, condiciones del tiempo y otras observaciones del lugar.

l) Record de cadena de custodia

Son formularios que contienen toda la información del número de la muestra, fecha, hora de muestreo, el lugar, tipo de muestras que se tomaron y el volumen de cada una, responsable de la muestra, personas involucradas en la cadena de custodia; inclusive fechas de posesión.

m) Hoja de requerimiento de análisis de la muestra.

Esta hoja contiene información de campo y otra parte es completada por el laboratorio al recibir la muestra: con la siguiente información: Nombre de quien recibe la muestra, número de muestra en el laboratorio, fecha de recibido y determinaciones que van a realizarse a la muestra.

n) Entrega de la muestra al laboratorio.

Cuando la muestra es entregada por una casa comercial, se incluye el número de la factura.

o) El Laboratorio realiza un examen inicial de la condición y sello de la muestra, verifica que la información de la viñeta coincida con el registro de la cadena de custodia. Registra la muestra en el libro de laboratorio con toda la información.

p) Asignación de la muestra para análisis


El responsable del laboratorio asigna la muestra a los analistas y es responsable de la cadena de custodia.

q) Evaluación del informe.

Los resultados de los análisis serán presentados firmados por la persona responsable del laboratorio y debidamente certificados por un abogado.

A continuación se presentan ejemplo de tres formularios de cadena de custodia utilizados por el Programa Ambiental de El Salvador, del Ministerio de Agricultura (PAES/MAG) en el año 2000, para la custodia de muestras en el caso de un estudio gubernamental sobre la contaminación de tres recursos hídricos: Río Sucio, Río Acelhuate y Río suquiapa. Este mismo tipo de formulario pueden utilizarse para un seguimiento legal y la institución representante en ese caso será la entidad gubernamental para el seguimiento que puede ser la Fiscalía General de la República o la PNC.

**Tabla 8 Formulario de Cadena de Custodia de Campo**

	<b>CADENA DE CUSTODIA DE MUESTREO</b> <b>AGUA Y SEDIMENTO</b>		FECHA :    /    /
	PROYECTO: PROGRAMA AMBIENTAL DE EL SALVADOR		N° Planilla:
	RESPONSABLE TOMA DE MUESTRA:		


CODIGO DE ESTACION	CODIGO DE PRECINTO	HORA EXTRAC. MUESTRA	MEDIO			OBSERV											CODIGO DADO POR LAB.	NOTAS (Observac. Varias, Incluyendo peso frasco vacio)	
			AGUA	SEDIM	SUELO		DBO	DQO	NTK	N-NO <sub>3</sub>	N-NO <sub>2</sub>	N-NH <sub>3</sub>	S-SUSP	Col. Totales	Col. Fecales				

\* OBSERVACIONES : M-Muestra ; D-Duplicado ; DA: Duplicado Adicionado ; BC: Blanco de Campo ; BF: Blanco de Frasco ; BM: Blanco de Muestreador

Fecha	Hora	ENTREGA				RECIBE				OBSERVACION	T°
		Organización	Nombre	CIP	Firma	Organización	Nombre	CIP	Firma		

(PAES, 2000)

**Tabla 9 Formulario de Recepción de Muestras**

	<b>CADENA DE CUSTODIA</b> <b>ESTADO DE RECEPCION DE MUESTRAS</b>	
	<b>PROYECTO: PROGRAMA AMBIENTAL DE EL SALVADOR</b>	<b>Nº</b>

Fecha:

Hora:

Conservadora Nº:

**A. EXAMEN INICIAL**

Información de personal de transporte:

\_\_\_\_\_ (Nombre y Firma, Matricula del Vehículo de Transporte)

Información del precinto/faja de seguridad:

\_\_\_\_\_ (Número de precinto/faja)

¿Ha llegado el precinto de seguridad sano? SI / NO

¿Está el formulario de cadena de custodia (CDC) en la conservadora?

SI / NO

¿Fue la CDC completada por la persona que ha entregado la conservadora al laboratorio?

SI / NO

¿Fue la CDC completada por la persona que ha recibido la conservadora?

SI / NO

¿Se ha empacado la conservadora con refrigerante suficiente?

SI / NO

Tipo de refrigerante \_\_\_\_\_ Temperatura del testigo \_\_\_\_\_ ° C

**B. FASE DE CONTROL**

Día en que las muestras han sido controladas:

Tipo de embalaje utilizado en las conservadoras:

\_\_\_\_\_ ¿Han llegado los envases en condiciones adecuadas?

SI / NO

Si la respuesta anterior es negativa, por favor detalle:

\_\_\_\_\_ ¿Están las etiquetas completas (día, hora, firma)?

SI / NO

\_\_\_\_\_ ¿Han sido preservadas las muestras (con reactivos)?

SI / NO

\_\_\_\_\_ ¿Coinciden las etiquetas de las muestras con los datos del formulario de CDC?

SI / NO

Si la respuesta anterior es negativa, por favor detalle:

\_\_\_\_\_ ¿Se han utilizado los envases correctos para los análisis químicos indicados?

SI / NO

\_\_\_\_\_ ¿Estaban ausentes de burbujas los viales de 50 ml?

SI / NO

Si la respuesta anterior es negativa, por favor detalle los envases que contienen burbujas, identificándolos con su código \_\_\_\_\_

**ENTREGA:**


\_\_\_\_\_ (Firma y aclaración)

**RECIBE:**

\_\_\_\_\_ (PAES, 2000)

\_\_\_\_\_ (Firma y aclaración)

**Tabla 10. Formulario Cadena de Custodia entrada a Laboratorio**

	CADENA DE CUSTODIA	
	PROYECTO: PROGRAMA AMBIENTAL DE EL SALVADOR	
	LABORATORIO ANALITICO	N°

RECEPCION DE MUESTRAS								
ENTREGA:					RECIBE:			
FECHA	HORA	IDENTIF. MUESTRA	PRECINTO NUMERO	NUMERO DE FRASCO	REFERENCIA LABORATORIO	PARAMETROS	TIPO DE ENVASE/ VOLUMEN	PRESERV. / TEMPERT.
OBSERVACIONES:							ACEPTADA	
							SI	NO

(PAES,

200)

## 4.8 Casos de estudio

### 4.8.1 Evaluación Del Grado De Contaminación Del Recurso Hídrico Del Río Talnique Utilizando Índices De Calidad De Aguas Durante La Época Seca Y Lluviosa. (Merlos y Hércules, 2002).

**Objetivo del estudio:** Evaluar el grado de contaminación del Río Talnique y el efecto de sus tributarios mediante la aplicación de índices de Calidad de Aguas.

**Tabla 11 Resumen de estudio río Talnique**

Aspecto	Río Talnique
Ubicación geográfica.	Subcuenca del distrito de riego de zapotitan, ubicado en el Km. 30 de la carretera de San Salvador hacia Santa Ana.
Extensión	No determinado
Aspectos geográficos	Enmarcado por el paralelo 13°40` Latitud Norte y el meridianos 89°25` Longitud Oeste.
Topografía del terreno	Relativamente plana con ligeras elevaciones que no exceden los 500 m.s.n.m. Rodeado por cadena de montañas escarpadas y pequeñas colinas.
Clima	Cálido
Temperatura ambiental	21° - 26°C
Precipitación anual	1400-1600 mm
Humedad Relativa	82%
Estaciones de muestreo	Se seleccionaron 8 estaciones de muestreo seleccionados en base a la influencia de los tributarios Chuchucato, Ateos y río Sucio como de las áreas de impacto por poblaciones aledañas.

Poblaciones aledañas	Poblado San José Los Sitios. Hacienda El Tránsito, Valle de Zapotitán. Y no se consideró en el trabajo el poblado de Ateos
Afluentes	Solo menciona Río Niágara, Río Ateos y Río Chuchucato. El trabajo carece de mapa de la cuenca.
Tipos de contaminantes	Descarga de hacienda El tránsito, San José Los Sitios, y otras como Sacacoyo, Ciudad Arce, Armenia, Jayaque que son de tipo doméstica. Pero también recibe descargas agroindustriales como de granjas avícolas, una tenería, y otras.
Zonas de cultivo	Esta zona es muy explotada para la agricultura.
Período de muestreo	No lo especifica en la metodología, pero los resultados denotan que fue de marzo a Junio 2001
Principales conclusiones generales del trabajo	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. La calidad del agua del río es más afectada en la zona media baja dónde está más afectada por los vertidos industriales, agrícolas y doméstico.</li> <li>2. Idealmente deben de tratarse las aguas antes de ser vertidas al río.</li> <li>3. La calidad del río varía dependiendo de las actividades que afectan a la cuenca.</li> </ol>

### **Principales Vacíos encontrados.**

- ❖ Falta en la caracterización de la zona, pues no se conoce la extensión del río, su velocidad, ni con detalle las fuentes de contaminación
- ❖ Al no presentar el mapa de la cuenca no se conoce con exactitud si tiene otros afluentes o poblados que lo afecten.

- ❖ En la interpretación de resultados si evaluó los efectos de las condiciones climáticas, las descargas en los puntos, y de otros aspectos de la caracterización pero no lo menciona en sus conclusiones.

Tampoco menciona el efecto en los resultados de la correcta toma de muestras.

#### 4.8.2 Propuesta de Plan de Manejo de Los Recursos Naturales de La Cuenca del Lago de Ilopango. (Monterrosa, et al, 1998).

**Objetivo del estudio:** manejo del recurso hídrico en aspectos productivos (pesquería, producción agrícola y uso potable).

**Tabla 12. Resumen estudio Lago de Ilopango**

Aspecto	Lago Ilopango
Origen del lago	Volcánico – Tectónico Reciente variación volcánica.
Aspectos geográficos	Pendiente de la cuenca muy pronunciada Declive abrupto de la zona costera, estrecha zona costera Cuenta con 4 islas emergidas y con otras sumergidas
Dimensiones	72.5 km <sup>2</sup>
Altitud	400 m.s.n.m
Profundidad	240-260 metros (profundidad Máxima)
Sustratos	Piedra y arena (zonas de entradas de ríos)
Afluentes / efluentes	Presencia de afluentes y efluentes, formados por volcánica(Endorreico)
Ríos contribuyentes	Río Coayas, Río Cujuapa y Río Chagüite
Profundidad Secchi	entre 2.5 a 11 metros



Población	614,000 habitantes 3500 pescadores artesanales 6 comunidades agrícolas (60 agricultores promedio en la comunidad)
Posibles fuentes de contaminación	No se encuentra un apartado que mencione textualmente fuentes de contaminación, pero si tiene una caracterización muy detallada que demuestra la influencia de poblaciones, actividades de agricultura, agroforestería. En conclusión presenta para la caracterización el estudio de diez componentes: área física, geomorfología, geología, hidrología, ecología, bosques y agricultura, biodiversidad, limnología, atributos del lago, y la vocación ambiental de la cuenca.
Salidas del lago	Desembocadura en el Río Jiboa
Drenaje de aguas lluvias	Por la formación volcánica de la cuenca, el área de influencia posee fuertes pendientes en donde se drenan las aguas lluvias en forma perpendicular y radial al lago
Principales contribuyentes	Río Coayas, Río Cujuapa y Río Chagüite.
Descripción del muestreo realizado	Se utilizaron 6 estaciones de muestreo, establecidas y distribuidas alrededor del lago: Chagüite, Cutenama, Cerros Quemados, Desagüe, Cuilapa y Corinto. En cada estación se realizaron muestreos verticales a diferentes profundidades, es decir se realizó un muestreo combinado horizontal-vertical.
Parámetros medidos en campo	Transparencia o profundidad de Secchi, Temperatura ambiental y del agua, pH, oxígeno disuelto, % de saturación de oxígeno, potencial de oxígeno reducción, conductividad, turbidez y salinidad.

. Resultados encontrados:

- ❖ Este informe es muy completo en la caracterización del área de investigación queda ampliamente descrita.
- ❖ No describe la metodología utilizada en los muestreos.

#### 4.8.3 Estudio Hidrogeológico Del Acuífero Guluchapa, San Salvador, El Salvador (Duarte, 1998).

**Objetivo del estudio:** La cuantificación del potencial hídrico del Acuífero Guluchapa y la determinación de su rendimiento sostenible.

**Tabla 13. Resumen estudio acuífero Guluchapa**

Aspecto	Acuífero Guluchapa
Ubicación de acuífero	Se encuentra dentro de la cuenca del río Guluchapa, la cual está localizada a 12 Km. al este de la ciudad de San salvador. Está limitado al norte con la divisoria de aguas subterráneas de la subcuenca del río Las Cañas, al este con el Lago de Ilopango, al oeste con el cerro San jacinto, considerado como una barrera impermeable y al sur con la divisoria de aguas subterráneas de la subcuenca del Río comalapa.
Extensión del acuífero	25 km <sup>2</sup>
Principales unidades hidrogeológicas	Rocas Volcánicas terciarias, piroclastos peistocènicos constituidos por cenizas volcánicas, pómez y tobas y los depósitos sedimentarios cuaternarios, consistentes en depósitos aluviales (arenas, gravas y limos)
Tipo de acuífero	semiconfinado

Coeficiente de almacenamiento	
Los parámetros hidráulicos del acuífero	Coeficiente de almacenamiento entre $10^{-3}$ a $10^{-4}$ . Trnasmisividad 1000 a 1900 m <sup>2</sup> /día. Existe interconexión hidráulica río-acuífero.
La estratificación vertical del acuífero.	No determinado
Flujo subterráneo disponible	22,300 m <sup>3</sup> /día
Dirección y velocidad del flujo subterráneo	De oeste a este
Recarga natural	Por precipitación que se infiltra de 20,500/m <sup>3</sup> /día y por percolación vertical de los ríos, determinada en 6,000 m <sup>3</sup> /día (18% de la escorrentía superficial)
Descarga natural	El Lago de Ilopango por flujo subterráneo y los ríos a través de flujo base.

### **Observaciones y vacíos encontrados:**

Nuevamente, el estudio da una amplia caracterización del ambiente, pero no detalla la metodología de muestreo de agua, aunque si se encuentra en la tabla de resultados todos los parámetro físico químicos analizados.

- ❖ En ningún momento se analizan los resultados comparándolos con las técnicas de muestreo o con las condiciones climáticas.

## 5. CONCLUSIONES

5.1 En el desarrollo de cualquier programa de monitoreo de agua se necesita un conocimiento amplio de los diferentes ambientes o fuentes naturales donde se encuentran los cuerpos de agua, dado que será diferente tomar una muestra de un río, que de un lago o de aguas subterráneas o pozos.

5.2 También será necesario conocer la composición fisicoquímica para establecer los parámetros a analizar, el lugar de muestreo, la frecuencia de muestreo como también para establecerse un criterio previo del resultado esperado.

5.3 El muestreo es una parte vital del estudio de la composición de las aguas naturales y es la fuente de error más importante en todo el proceso de obtener información de la calidad del agua.

5.4 Establecer la línea base antes de un monitoreo puede ser largo y compendioso, pero invertir el tiempo y los recursos necesarios para obtener una caracterización minuciosa del área de muestreo dará como resultado muestras muy representativas y además facilitará la interpretación de los resultados obtenidos.

5.5 Dar a conocer el procedimiento empleado para la colecta de muestra es importante para establecer la relación de los resultados analíticos con las condiciones de campo

5.6 Además de conocer ampliamente las condiciones del ambiente y los procedimientos adecuados es importante conocer la normativa existente del país en ese momento y verificar si ya existe alguna norma de muestreo.

5.7 Conocer la calidad del agua de un recurso hídrico es un trabajo de investigación extenso y profundo, que requiere realizar una investigación previa completa para definir desde los objetivos del muestreo hasta los análisis que se van a realizar.

## **6. RECOMENDACIONES.**

- 6.1 Realizar otro estudio que contemple todos los aspectos mencionados en este trabajo pero con mayor ampliación sobre un solo cuerpo de agua, como por ejemplo para el muestreo de agua de lago.
- 6.2 Conocer la calidad del agua de un recurso hídrico no es simplemente tomar una muestra y analizarla, es un trabajo de investigación extenso y profundo por lo que independientemente del objetivo que se tenga debe planificarse con un tiempo tal que permita recolectar toda la información posible del área en estudio.
- 6.3 Después de que se haya terminado cualquier investigación sobre monitoreo hídrico, por minuciosa y amplia que esta haya sido resulta necesario actualizar la información, ya que las condiciones en el área pueden haber cambiando por diferentes motivos como por ejemplo un asentamiento nuevo, o un vertido industrial que en el momento del estudio no existía.
- 6.4 Se recomienda aplicar los elementos mencionados en este estudio y en el Plan de manejo del Lago de Ilopango para otros cuerpos hídricos del El Salvador.
- 6.5 La mayoría de estudios encontrados sobre los acuíferos de El Salvador datan de fechas muy anteriores, por lo que se recomienda que se actualicen para tener información más reciente.

## BIBLIOGRAFÍA

1. APHA,AWWA. 1995. “ Standard Methods for the examination of water and wastewater”.19thedition. Washington, USA.
2. Canter, LW. 1998, Manual de impacto ambiental: técnicas para la elaboración de estudios de impacto. Trad.Echaniz *et al.* Madrid. 841 p.
3. Catalán,J.”Química del Agua”.Edit. Bellisco .Madrid.1990.423 p.
4. Carbaja, L.F. Mecánica de Fluidos. Consultado en Septiembre 27,2003  
[http://poseidon.unalmed.edu.co/Materias/carvajal/lec\\_aforo.html](http://poseidon.unalmed.edu.co/Materias/carvajal/lec_aforo.html)
5. Ciencias de la Tierra. Libro electrónico. Disponible en internet  
<http://www1.ceit.es/Asignaturas/Ecologia/Hipertexto/00General/IndiceGral.html>
6. Custodio E. Et al .1998 Hidrogeología Subterránea. Elserier, Barcelona
7. Duarte, J.R., 1998. Estudio Hidrogeológico del Acuífero de Guluchapa, San Salvador, El Salvador, Costa Rica. 134p.
8. Duarte, J.R., 2001.Curso de Introducción a la Hidrogeología. Universidad de El Salvador. 64 p
9. Dallas, L., 1982.”Estudio e interpretación de las características químicas del agua natural. Government printing office. USA
- 10..EPA (Environmental Protection Agency, US). 1976. Quality criteria for water. USA. 256 p.
- 11.Giggenbach,W y Goguel,R. 1989. Collection and Analysis of Geothermal and volcanic water and gas disc arches. Chemistry division, department of Scientific and industrial Research Peptone, New Zealand. 4<sup>th</sup> edition, 81p.
- 12.Hernández,S. R.,1998. Metodologia de la Investigacion McGraw-Hill. Méjico.501p.
- 13.Ibarra, M *et al* “Hacia la Gestión Sutentable del Agua en El Salvador. Propuestas básicas para una Política Nacional Hídrica”.Servicio Litográficos de El Salvador. 2001

14. Lobos, JE. 2000. Monitoreo de la contaminación hídrica de los afluentes del Embalse Cerrón Grande. Informe final-Fase I de Consultoría. 122 p.
15. Ministerio de Medio Ambiente y Recursos naturales (MARN). "Ley y Reglamento de medio Ambiente". Editorial Imprenta Criterio. San Salvador, 2000. 145 p.
- 16.. Caracterización de algas, protozoos e insectos acuáticos presentes en las comunidades planctónicas y bentónicas en las aguas del río Chagüite (afluente del Lago de Ilopango), El Salvador... Tesis de Licenciatura en Biología, Facultad de Ciencias y Humanidades, Universidad de El Salvador 259 p.
10. Monterrosa, et al 1993 Propuesta de Plan de Manejo de Los Recursos Naturales de La Cuenca del Lago de Ilopango.
17. Norma Salvadoreña (NSO) 1996. Normas de calidad para agua potable NSO 13.07.01 1996:10 CONACYT (Concejo Nacional de Ciencia y Tecnología, SV) 17 p.
18. PAES (Programa Ambiental de El Salvador). 1998. Análisis de resultados del monitoreo preliminar de contaminación de las subcuencas de los ríos sucio, Suquiapa y Acelhuate. Subcomponente de Monitoreo de Recursos hídricos. MAG (Ministerio de Agricultura y Ganadería, SV); DGRNR (Dirección General de Recursos Naturales Renovables). 64 p.
19. PADCO/ WINROCK., .Informe el Diagnóstico de Situación de los Laboratorios. Programa de Apoyo a la Gestión Ambiental de El Salvador (ATN/SF-5025-ES). 2001.
20. Sagastizado, M. "Impacto del uso de la tierra en la calidad del agua en la micro cuenca del Río Talnique, Subcuenca del Río Sucio, La Libertad, El Salvador." Tesis de Maestría de Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza, CATIE, Turrialba, Costa Rica. 2002.
21. Sagastizado, M, 1996. "Poblaciones de enterobacterias en aguas superficiales y sedimento durante la estación seca en Bahía de Jiquilisco, El Salvador". Tesis de Licenciatura en Biología, Facultad de Ciencias Naturales y Matemáticas., Escuela de Biología Universidad de El Salvador 96 p.

# **ANEXOS**



## Anexo 1. Recomendaciones Para El Muestreo Y Preservación De Muestras

**Tabla A1.1. Preservación y muestras**

Determinación	Recipiente <sup>2</sup>	Volumen mínimo de muestra, mL	Tipo de muestra <sup>3</sup>	Preservación <sup>4</sup>	Almacenamiento máximo recomendado <sup>5</sup>
Acidez	P, V	100	s	Refrigerar	14 d
Alcalinidad	P, V	200	s	Refrigerar	14 d
Boro	P	100	s, c	No requiere	6 meses
Bromuro	P, V	100	s, c	No requiere	28 d
Carbono orgánico, total	V	100	s, c	Análisis inmediato; o refrigerar y agregar H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub> o H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> hasta pH<2	28 d
Cianuro: Total	P, V	500	s, c	Agregar NaOH hasta pH>12, refrigerar en la oscuridad <sup>6</sup>	14 d <sup>7</sup>
Cloro, residual	P, V	500	s	Análisis inmediato	—
Clorofila	P, V	500	s, c	30 d en la oscuridad	30 d
Cloruro	P, V	50	s, c	No requiere	28 d
Color	P, V	500	s, c	Refrigerar	48 h
Compuestos orgánicos:					
Sustancias activas al azul de metileno	P, V	250	s, c	Refrigerar	48 h

Plaguicidas	V(S), tapón de TFE	1000	s, c	Refrigerar; agregar 1000 mg ácido ascórbico/L si hay cloro residual	7 d hasta la extracción
Fenoles	P, V	500	s, c	Refrigerar; agregar H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> hasta pH<2	40 d después de extraer
Purgables por purga y trampa	V, tapón de TFE	2 □ 40	s	Refrigerar; agregar HCl hasta pH<2; agregar 1000 mg ácido ascórbico/L si hay cloro residual	14 d
Conductividad	P, V	500	s, c	Refrigerar	28 d
DBO	P, V	1000	s	Refrigerar	48 h
Dióxido de carbono	P, V	100	s	Análisis inmediato	—
Dióxido de cloro	P, V	500	s	Análisis inmediato	—
DQO	P, V	100	s, c	Analizar lo más pronto posible, o agregar H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> hasta pH<2; refrigerar	28 d
Dureza	P, V	100	s, c	Agregar HNO <sub>3</sub> hasta pH<2	6 meses
Fluoruro	P	300	s, c	No requiere	28 d
Fosfato	V(A)	100	s	Para fosfato disuelto filtrar inmediatamente; refrigerar	48 h
Gas digestor de lodos	V, botella de gases	—		—	—
Grasa y aceite	V, boca ancha calibrado	1000	s, c	Agregar HCl hasta pH<2; refrigerar	28 d
Metales, general		500	s	Filtrar <sup>8</sup> , agregar HNO <sub>3</sub> hasta pH<2	6 meses
Cromo VI	P (A), V(A)	300	s	Refrigerar	24 h
Cobre,	P (A), V(A)				

colorimetría					
Mercurio	P (A), V(A)	500	s, c	Agregar HNO <sub>3</sub> hasta pH<2, 4 ° C, refrigerar	28 d
Nitrógeno:					
Amoniaco	P, V	500	s, c	Analizar lo más pronto posible, o agregar H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> hasta pH<2; refrigerar	28 d
Nitrato	P, V	100	s, c	Analizar lo más pronto posible o refrigerar	48 h (28 d para muestras cloradas)
Nitrato + nitrito	P, V	200	s, c	Agregar H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> hasta pH<2, refrigerar	28 d
Determinación	Recipiente <sup>2</sup>	Volumen mínimo de muestra, mL	Tipo de muestra <sup>3</sup>	Preservación <sup>4</sup>	Almacenamiento máximo recomendado <sup>5</sup>
Nitrito	P, V	100	s, c	Analizar lo más pronto posible o refrigerar	48 h
Orgánico, Kjeldahl	P, V	500	s, c	Refrigerar; agregar H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> hasta pH<2	28 d
Olor	V	500	s	Analizar lo más pronto posible; refrigerar	—
Oxígeno, disuelto:	G, botella DBO	300	s		
Electrodo				Análisis inmediato	—
Winkler				La titulación puede aplazarse después de la acidificación	8 h
Ozono	V	1000	s	Análisis inmediato	—
pH	P, V	50	s	Análisis inmediato	—
Sabor	V	500	s	Analizar lo más pronto posible; refrigerar	—

Salinidad	V, sello de cera	240	s	Análisis inmediato o usar sello de cera	—
Sílica	P	200	s, c	Refrigerar, no congelar	28 d
Sólidos	P, V	200	s, c	Refrigerar	2-7 d, ver protocolo
Sulfato	P, V	100	s, c	Refrigerar	28 d
Sulfuro	P, V	100	s, c	Refrigerar; agregar 4 gotas de acetato de zinc 2N/100 mL; agregar NaOH hasta pH>9	7 d
Temperatura	P, V	—	s	Análisis inmediato	—
Turbidez	P, V	100	s, c	Analizar el mismo día; para más de 24 h guardar en oscuridad, refrigerar	48 h
Yodo	P, V	500	s, c	Análisis inmediato	—

Abreviaturas

.p = plástico

v= vidrio

s = simple

c = compuesta