



# INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL

---

---

CENTRO DE INVESTIGACION EN CIENCIA APLICADA Y  
TECNOLOGÍA AVANZADA. UNIDAD ALTAMIRA

“Diagnóstico y propuesta de Tratamiento del agua  
contaminada para el proceso de recuperación de  
agua en los campos Tamaulipas-Constituciones de  
PEMEX Exploración y Producción ”

## TESIS

para obtener el grado de

**Maestro en Tecnología Avanzada**

presenta

**Ing. Lilia Alejandra Alvarado Delfín**

directores de tesis

**Dr. Arturo López Marure  
Dr. Abelardo Irineo Flores Vela**



**INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL**  
**SECRETARÍA DE INVESTIGACIÓN Y POSGRADO**

**CARTA CESION DE DERECHOS**

En la Ciudad de Altamira Tamaulipas el día 12 del mes de diciembre del año 2007, la que suscribe Lilia Alejandra Alvarado Delfin alumna del Programa de Maestría de Tecnología Avanzada con número de registro B051070, adscrito a CICATA-IPN Unidad Altamira, manifiesta que es autora intelectual del presente trabajo de Tesis bajo la dirección de Dr. Arturo López Marure y cede los derechos del trabajo intitulado **“Diagnostico y propuesta de Tratamiento del agua contaminada para el proceso de recuperación de agua en los campos Tamaulipas-Constituciones de PEMEX Exploración y Producción ”**, al Instituto Politécnico Nacional para su difusión, con fines académicos y de investigación.

Los usuarios de la información no deben reproducir el contenido textual, gráficas o datos del trabajo sin el permiso expreso del autor y/o director del trabajo. Este puede ser obtenido escribiendo a la siguiente dirección [lalvaradod@ipn.mx](mailto:lalvaradod@ipn.mx). Si el permiso se otorga, el usuario deberá dar el agradecimiento correspondiente y citar la fuente del mismo.

Lilia Alejandra Alvarado Delfin

---

Nombre y firma



## INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL SECRETARIA DE INVESTIGACION Y POSGRADO

### ACTA DE REGISTRO DE TEMA DE TESIS Y DESIGNACIÓN DE DIRECTOR DE TESIS

México, D.F. a 9 de noviembre del 2007

El Colegio de Profesores de Estudios de Posgrado e Investigación de CICATA- Altamira en su sesión ORDINARIA RCP 014 07 celebrada el día 9 del mes de noviembre conoció la solicitud presentada por la alumna:

Alvarado	Delfín	Lilia Alejandra
Apellido paterno	materno	nombre

Con registro: B 0 5 1 0 7 0

Aspirante de:

1.- Se designa al aspirante el tema de tesis titulado:  
"Diagnostico y propuesta de Tratamiento del agua contaminada para el proceso de recuperación de agua en los campos Tamaulipas-Constituciones PEMEX Exploración y Producción "

De manera general el tema abarcará los siguientes aspectos:  
Seleccionar los sitios de importancia para recolección de muestras y el análisis cualitativo y cuantitativo del agua  
Realizar el diagnóstico basados en el estudio e interpretación de los datos obtenidos  
Diseñar una propuesta de tratamiento del agua contaminada para su posterior reutilización dentro del proceso

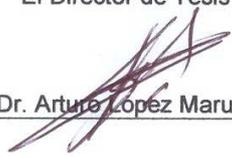
2.- Se designa como Director de Tesis al C. Profesor:  
Dr. Arturo López Marure, Dr. Abelardo I. Flores Vela

3.- El trabajo de investigación base para el desarrollo de la tesis será elaborado por el alumno en:  
CICATA – IPN unidad Altamira

que cuenta con los recursos e infraestructura necesarios.

4.- El interesado deberá asistir a los seminarios desarrollados en el área de adscripción del trabajo desde la fecha en que se suscribe la presente hasta la aceptación de la tesis por la Comisión Revisora correspondiente:

El Director de Tesis

  
Dr. Arturo López Marure

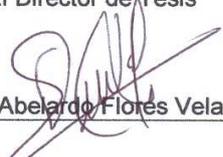
El Aspirante

  
Lilia Alejandra Alvarado Delfín



CENTRO DE INVESTIGACIÓN EN CIENCIA  
APLICADA Y TECNOLOGÍA AVANZADA  
DEL I. P. N.  
UNIDAD ALTAMIRA

El Director de Tesis

  
Dr. Abelardo Flores Vela

El Presidente del Colegio

  
Dr. Felipe de Jesús Carrillo Romo



**INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL**  
**SECRETARÍA DE INVESTIGACIÓN Y POSGRADO**

*ACTA DE REVISIÓN DE TESIS*

En la Ciudad de Altamira, Tams. siendo las 11 horas del día 13 del mes de Diciembre del 2007 se reunieron los miembros de la Comisión Revisora de Tesis designada por el Colegio de Profesores de Estudios de Posgrado e Investigación de CICATA-IPN, Altamira para examinar la tesis de titulada: **“Diagnóstico y Propuesta de Tratamiento del Agua Contaminada para el Proceso de Recuperación de Agua en los Campos Tamaulipas - Constituciones de PEMEX Exploración y Producción”**

Presentada por la alumna:

**Alvarado**  
Apellido paterno

**Delfín**  
materno

**Lilia Alejandra**  
nombre(s)

Con registro: 

B	0	5	1	0	7	0
---	---	---	---	---	---	---

aspirante de: **Maestría en Tecnología Avanzada**

Después de intercambiar opiniones los miembros de la Comisión manifestaron **SU APROBACION DE LA TESIS**, en virtud de que satisface los requisitos señalados por las disposiciones reglamentarias vigentes.

**LA COMISIÓN REVISORA**

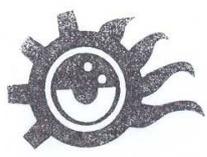
Director de Tesis

  
Dr. Arturo López Marure

Director de Tesis

  
Dr. Abelardo Flores Vela

  
Dra. Antonieta García Murillo

  
CENTRO DE INVESTIGACIÓN EN CIENCIA  
APLICADA Y TECNOLOGÍA AVANZADA  
DEL I. P. N.  
UNIDAD ALTAMIRA

  
Dra. Esther Ramírez Meneses

  
M.C. Rosa M. Ramírez de León

  
Dra. Gabriela García Cervantes

EL PRESIDENTE DEL COLEGIO

  
Dr. Felipe de Jesús Carrillo Romo

---

---

## ÍNDICE

### ÍNDICE DE FIGURAS

### ÍNDICE DE TABLAS

<b>Introducción</b>	<b>1</b>
Objetivo General	3
Objetivos Específicos	3
Justificación	3
Alcances	4
Hipótesis	5
<b>Capítulo I Antecedentes</b>	<b>6</b>
1.1 Trabajos anteriores	6
1.2 Estado del arte	6
<b>Capítulo II Contaminación del Agua</b>	<b>13</b>
2.1 El agua	13
2.1.1 Características fisicoquímicas del agua	15
2.1.2 Propiedades del agua	16
2.2 Contaminantes	17
2.3 Tipos de contaminantes	18
2.3.1 Microorganismos patógenos	19
2.3.2 Desechos orgánicos	19
2.3.3 Sustancias químicas inorgánicas	19
2.3.4 Compuestos orgánicos	20
2.3.5 Sedimentos y materiales suspendidos	20
2.3.6 Contaminación térmica	20
2.4 Fuentes de aguas residuales	21
2.4.1 Aguas residuales Industriales	22
2.5 Características de las aguas residuales	23
2.5.1 Importancia del muestreo	24

---

---

---

---

2.6 Calidad del agua	25
2.7 Naturaleza de las aguas en los campos petroleros	28
2.7.1 Deshidratación del petróleo	28
2.7.2 Recuperación aumentada	30
2.7.3 Recuperación secundaria	31
<b>Capítulo III Tratamiento de aguas residuales</b>	<b>32</b>
3.1 Tipos de tratamiento	32
3.2 Pre-Tratamiento	33
3.3 Tratamiento primario	34
3.3.1 Neutralización	34
3.3.2 Coagulación y floculación	35
3.3.3 Decantación	35
3.3.4 Flotación	36
3.4 Tratamiento secundario	37
3.4.1 Tratamiento aerobio	37
3.4.2 Tratamiento anaerobio	39
3.4.3 Filtros percoladores	39
3.5 Tratamiento terciario	40
3.5.1 Filtración	40
3.5.2 Adsorción	41
3.5.3 Desinfección	41
3.5.4 Intercambio iónico	42
3.5.5 Ultrafiltración	42
3.5.6 Nanofiltración	43
3.5.7 Ósmosis Inversa	44
<b>Capítulo IV Metodología</b>	<b>45</b>
4.1 Establecer los puntos de muestreo	45
4.2 Describir el sitio de muestreo	45
4.2.1 Circuito Tamaulipas-Constituciones en Altamira Tamaulipas	47

---

---

---

---

4.2.2 Cacalilao Veracruz	52
4.3 Tomar las muestras	54
4.4 Métodos de análisis	58
4.4.1 Dureza	59
4.4.2 Cloruros	60
4.4.3 Sulfatos	61
4.4.4 Sólidos Totales	63
4.4.5 Turbidez	66
4.4.6 Demanda química de oxígeno	67
4.4.7 Demanda bioquímica de oxígeno	68
4.4.8 Grasas y aceites	72
4.4.9 Alcalinidad	74
4.4.10 Coliformes totales y fecales	75
<b>Capítulo V Resultados experimentales</b>	<b>79</b>
5.1 Resultados fisicoquímicos del centro de trabajo PEP Altamira	79
5.2 Resultados de microbiología del centro de trabajo PEP Altamira	91
5.3 Espectrometría de infrarrojo	96
5.4 Resultados fisicoquímicos del centro de trabajo Cacalilao veracruz y cuatro lagunas artificiales	96
5.5 Resultados de microbiología del centro de trabajo Cacalilao veracruz y cuatro lagunas artificiales	106
<b>Capítulo VI Propuestas de tratamiento</b>	<b>111</b>
6.1 Propuesta e tratamiento para el de recolección de agua de Campos Tamaulipas-Constituciones de PEP Altamira	111
<b>Capítulo VII Conclusiones</b>	<b>116</b>
7.1 Conclusiones del circuito de recuperación de agua en los campos Tamaulipas-Constituciones de PEP Altamira	116

---

---

---

---

7.2 Conclusiones del análisis de agua de desecho de Batería Arenque de PEP	118
7.3 conclusiones del agua de desecho de la planta de Cacalilao Veracruz	119
7.4 Conclusiones del análisis del agua de las lagunas artificiales en Cacalilao Veracruz	119
7.5 Trabajos futuros	120
<b>Anexo 1 Diagramas</b>	<b>121</b>
<b>Anexo 2 Base de datos</b>	<b>128</b>
<b>Anexo 3 Análisis de varianza</b>	<b>141</b>

**GLOSARIO**

**BIBLIOGRAFÍA**

---

---

---

---

## ÍNDICE DE FIGURAS

2.1 Distribución del agua del planeta	13
2.2 Molécula del agua	14
2.3 Puentes de Hidrogeno	14
2.4 Vista aérea de la Refinería Francisco I. Madero	21
2.5 Recuperación asistida del petróleo	30
2.6 Recuperación secundaria del petróleo	31
3.1 Esquema general del tratamiento de aguas industriales	33
3.2 Fases de la sedimentación	36
4.1 separador de agua libre	47
4.2 Tanque de balance	48
4.3 Presas API	49
4.4 Vista frontal de las presas API	50
4.5 Laguna 1 de Cacalilao Veracruz	52
4.6 Laguna 2 de Cacalilao Veracruz	53
4.7 Laguna 3 y 4 de Cacalilao Veracruz	54
4.8 Recipientes para el muestreo	56
4.9 Muestras para microbiología	56
4.10 Recolección de una muestra	57
4.11 Conjunto de muestras	58
5.1 Resultados DQO y DBO <sub>5</sub> Altamira	80
5.2 Resultados cloruros Altamira	82
5.3 Resultados dureza total Altamira	83
5.4 Resultados de turbidez Altamira	84
5.5 Resultados de alcalinidad Altamira	85
5.6 Resultados de pH Altamira	86
5.7 Resultados suspendidos y sólidos disueltos totales Altamira	87
5.8 Resultados sulfatos Altamira	89
5.9 Resultados grasas y aceites Altamira	90
5.10 Resultados coliformes fecales y totales Altamira	93
5.11 Resultados hongos y levaduras Altamira	94

---

---

---

---

5.12 Resultados mesófilos Altamira	95
5.13 Espectro de infrarrojo del aceite de PEP Altamira	96
5.14 Resultados DQO y DBO <sub>5</sub> Cacalilao Veracruz	98
5.15 Resultados cloruros Cacalilao Veracruz	99
5.16 Resultados dureza total Cacalilao Veracruz	100
5.17 Resultados turbidez Cacalilao Veracruz	100
5.18 Resultados alcalinidad a la F Cacalilao Veracruz	102
5.19 Resultados pH Cacalilao Veracruz	102
5.20 Resultados sólidos suspendidos y disueltos totales Cacalilao Veracruz	104
5.21 Resultados sulfatos Cacalilao Veracruz	105
5.22 Resultados grasas y aceites Cacalilao Veracruz	106
5.23 Resultados coliformes fecales y totales Cacalilao Veracruz	107
5.24 Resultados hongos y levaduras Cacalilao Veracruz	108
5.25 Resultados mesófilos Cacalilao Veracruz	109
6.1 Diagrama general del tratamiento de agua para el proceso de PEP Altamira	112
6.1 Propuesta de tratamiento de agua para el proceso de PEP Altamira	113

## ÍNDICE DE TABLAS

A. Tipos de análisis que se realizan a las muestras	4
1.1 Contribuciones sectoriales a la intensidad de la contaminación	8
1.2 Calidad del agua tratada y su reuso	11
2.1 Propiedades fisicoquímicas del agua	15
2.2 Densidad del agua respecto a la temperatura	16
3.1 Condiciones ideales para el desarrollo microbiológico	38
4.1 Descripción de los puntos de muestreo en PEP Altamira	46
4.2 Descripción de los puntos establecidos en Cacalilao Veracruz	46
5.1 Resumen de las concentraciones del Champayán en Altamira y las lagunas de Cacalilao Veracruz	110

---

---

---

---

## RESUMEN

La contaminación del agua es la incorporación de materias extrañas que deterioran su calidad e interfieren con su uso posterior para múltiples usos; esta contaminación se ha visto incrementada conforme las comunidades y la industria han crecido.

Los factores de calidad determinan si el agua es apropiada para un uso específico y pueden clasificarse en tres grupos: físicos, químicos y biológicos.

Con base a lo anterior, se tiene la necesidad de realizar un muestreo integral y el análisis fisicoquímico del agua desechada en puntos claves del proceso que permiten la elaboración de un diagnóstico certero, mismo que da la información necesaria para proponer la solución de los problemas que presenta el proceso de recuperación de agua en una empresa petroquímica, lo anterior se traducirá en una reducción de la alimentación de agua cruda.

La metodología utilizada es situar los puntos de muestreo, seleccionar los parámetros a analizar así como los métodos a utilizar, los cuales están descritos en las Normas Oficiales Mexicanas, tomar y preparar las muestras, realizar los análisis e interpretar los resultados. Finalmente con base a los datos obtenidos elaborar un diagnóstico de la calidad del agua de PEMEX Exploración y Producción Altamira y efectuar una propuesta tanto para la remediación, como para el monitoreo continuo.

---

---

---

---

## **ABSTRACT**

The contamination of the water is the incorporation of strange matters that they deteriorate its quality and they interfere with its later use for multiple uses; this contamination has been increased as the communities and the industry have grown.

The factors of water quality determine if the water is appropriate for a specific use and they can be classified in three groups: physical, chemical and biological.

With base to the above-mentioned, one has the necessity to carry out an integral sampling and the physiochemical analysis of the water discarded in key points of the process that allow the elaboration of a good, same diagnosis that gives the necessary information to propose the solution of the problems that presents the process of recovery of water in a petrochemical company, the above-mentioned it will be translated in a reduction of the feeding of water hang-over.

The used methodology is to locate the sampling points, to select the parameters to analyze as well as the methods to use, which are described in the Mexican Official Norms, to take and to prepare the samples, to carry out the analyses and to interpret the results. Finally with base to the obtained data to elaborate an diagnose of the quality of the water of PEMEX Exploration and Production Altamira and to make a so much proposal for the solution, like for the continuous monitoring.

---

---

## **INTRODUCCIÓN**

La contaminación del agua es uno de los problemas ambientales mas importantes que afectan a nuestro mundo y surge cuando se produce un desequilibrio, como resultado de la adición de cualquier sustancia al medio ambiente, en cantidad tal que cause efectos adversos en el hombre, en los animales, vegetales o materiales expuestos a dosis que sobrepasen los niveles aceptables en la naturaleza.

Los factores de calidad determinan si el agua es apropiada para un uso específico y pueden clasificarse en tres grupos: físicos, que comprenden lodos, materia flotante, espumas, color, sabor, turbidez, y temperatura; los contaminantes químicos pueden presentarse de distintas formas como es el caso de dureza, salinidad, acidez o basicidad. Se encuentran tanto productos orgánicos como inorgánicos y los contaminantes biológicos son aquellos responsables de la transmisión de enfermedades en las aguas de suministro. <sup>[1][2][3]</sup>

Realizando el muestreo del efluente residual de PEMEX Exploración y Producción, los análisis correspondientes para determinar la calidad del agua residual y la interpretación de los resultados apoyándose en las Normas Oficiales Mexicanas, con esto se establece cual es el tratamiento adecuado y la selección del equipo necesario.

Para realizar el muestreo y el análisis del agua residual en cada momento que el proyecto así lo requiera, se tiene como base las técnicas que establece las Normas Oficiales Mexicanas NOM-001-SEMARNAT-2000 y la NOM-003-SEMARNAT-1997.

En el año 2005 la compañía Champion Technologies de México realizó un muestreo y análisis de cinco puntos específicos distribuidos en la Planta deshidratadora de Altamira, en el Centro de Recolección y en la Planta de Inyección de agua. En este estudio solo se conocieron las condiciones finales del agua y se hizo un muestreo puntual y simple para cada uno de los puntos a analizar.

El proyecto sufrió de una extensión a mediados del 2006 debido a la satisfacción de los directivos de la empresa con el trabajo realizado hasta esas fechas. La segunda parte del proyecto comprende el análisis de las descargas de agua de la Plata Deshidratadora de Cacalilao Veracruz, y cuatro lagunas creadas por los pobladores de la zona para abrevadero de animales de graja. Los resultados del diagnóstico en Cacalilao arrojaron que las lagunas no se encuentran contaminadas.

## **OBJETIVO GENERAL**

Elaborar un estudio diagnóstico que muestre la concentración de sustancias contaminantes en los efluentes de las aguas residuales de los Campos Tamaulipas-Constituciones en PEP Altamira y Cacalilao Veracruz y proponer alternativas para su solución.

## **OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Elaborar un manual de procedimiento para los análisis de agua.
- Seleccionar y determinar las condiciones del muestreo.
- Caracterizar los efluentes de la Planta Campos-Tamaulipas, en Altamira Tamaulipas.
- Caracterizar el agua de cuatro presas artificiales y de la planta de Cacalilao Veracruz.
- Caracterizar la laguna del Champayán y comparar la calidad del agua con algunas lagunas similares.
- Realizar la propuesta de tratamiento.

## **JUSTIFICACIÓN**

El cuidado del medio ambiente y de los recursos naturales, es hoy en día una necesidad tanto a nivel industrial como urbano y social.

En el caso particular de PEMEX Exploración y Producción (PEP) se tiene conciencia de que debido a la naturaleza de los desechos que se presentan en su sistema de recuperación de agua, estos no son desechados directamente en un cuerpo natural de agua.

Por lo tanto se tiene la necesidad de realizar un estudio diagnóstico que pueda determinar el estado en que se encuentran estas aguas residuales. Esto con la finalidad de establecer un

sistema de tratamiento adecuado a las condiciones encontradas y reutilizar el agua tratada dentro del mismo proceso e instalaciones de PEP.

El diagnóstico de la calidad del agua también contribuye a la remediación del sistema de recuperación de agua y a enriquecer y actualizar la base de datos de PEP Altamira.

## ALCANCES

El alcance de este proyecto comprende la selección de los sitios de importancia para recolección de especímenes en los puntos seleccionados, el análisis cualitativo y cuantitativo de dichas muestras, y la realización del diagnóstico basados en el estudio e interpretación de los datos obtenidos de la calidad del agua en los efluentes de los Campos Tamaulipas-Constituciones de PEP Altamira y en la Planta de Cacalilao Veracruz.

Con base a los resultados generados, se proyecta establecer un sistema de tratamiento para los efluentes de aguas contaminadas para Campos Tamaulipas-Constituciones de PEP Altamira.

PARÁMETRO	MÉTODO
Turbidez	Nefelométrico
DBO <sub>5</sub>	Diferencia de oxígeno disuelto
DQO	Reflujo con dicromato de potasio
Sólidos suspendidos totales	Medición cuantitativa por filtración
Sólidos totales Disueltos	Medición cuantitativa por evaporación y calcinación
Alcalinidad a la F	Valoración con un ácido vire fenolftaleína
Dureza total	Formación de complejos con EDTA con iones de Ca y Mg
Grasas y aceites	Extracción soxhlet
Cloruros	Método de Mohr
Sulfatos	Turbidimétrico
Bacterias Coliformes	Método de filtración y cultivo

Tabla A. Tipos de Análisis que se realizan a las muestras tomadas.

## **HIPOTESIS**

La realización de un muestreo integral y el análisis fisicoquímico de agua en puntos claves del proceso permiten la elaboración de un diagnóstico certero para la propuesta y solución de los problemas que presenta el proceso de recuperación de agua en campos Tamaulipas de PEP Altamira y Cacalilao Veracruz, lo cual se traduce en una reducción de la alimentación de agua cruda.

## CAPITULO I ANTECEDENTES

### 1.1 Trabajos Anteriores

CHAMPION TECHNOLOGIES DE MÉXICO S.A. de C.V. El 23 de noviembre del 2005 hizo un estudio único para determinar la calidad del agua en algunos puntos específicos del sistema de recolección de agua en PEP Altamira. Se analizaron cinco corrientes de agua: tres en el Centro de Recolección de agua, uno en la llegada de agua fresca de la laguna del Champayán, y una más en la descarga de bombas para la recirculación de agua. En este estudio solo se conocieron las condiciones finales del agua y se hizo un muestreo puntual y simple para cada uno de los puntos a analizar.

### 1.2 Estado del Arte

La problemática general del agua en México consiste en que la infraestructura actual de distribución permite a las ciudades tener una cobertura del servicio de agua superior al 96 % de la población total. Si bien el indicador podría ser considerado alto, en realidad cerca de 3 millones de habitantes urbanos carecen del servicio de agua potable, a lo que se le añade el hecho de que la calidad del líquido es muy variada en las diferentes ciudades, ya que esta depende del nivel de desarrollo institucional de los operadores que tienen a su cargo el servicio.

Se estima que las aguas residuales urbanas en México alcanzan un gasto de  $210\text{m}^3\text{s}^{-1}$ , producto de una cobertura en la infraestructura de alcantarillado y recolección de 91 %. De este total solo 29% recibe tratamiento en más de mil 270 plantas y lagunas, de las cuales solo mil 100 están en funcionamiento. El gran volumen de aguas residuales, ya sea sin tratamiento o con tratamiento deficiente, que descargan las ciudades incide directamente en los cuerpos receptores de agua y en buena medida son responsables de que más del 23% de los cuerpos de agua del país presenten condiciones de mediana y alta contaminación. <sup>[4]</sup>

Prácticamente en todos los países del mundo el crecimiento económico en general y el desarrollo industrial en particular han tenido consecuencias importantes para el ambiente físico en el cual vive su población, muchos ríos y lagos están seriamente contaminados al igual que el agua en el subsuelo en muchas partes. Evidentemente estos problemas son provocados por una variedad de factores entre los cuales el desarrollo Industrial es importante.<sup>[5]</sup>

En la tabla 1.1 se encuentran las contribuciones de diversos sectores industriales a la intensidad de la contaminación como el porcentaje del total para el periodo de 1970-1989. Los 20 sectores más contaminantes de un total de 130 actividades se registran según su participación total en 1989. Dieciséis de ellos corresponden a la generación de productos intermedios. Estos sectores incrementaron su participación en la intensidad de contaminación de dos tercios a casi 80% en 1989.

Tabla 1.1. Contribuciones Sectoriales a la Intensidad de Contaminación [5]

SECTOR	1970	1971	1972	1973	1974	1975	1976	1977	1978	1979	1980	1981	1982	1983	1984	1985	1986	1987	1988	1989
<b>Petroquímica Básica</b>	4.3	4.6	4.9	4.9	5.8	6.1	6.3	5.9	6.2	6.5	6.7	7.3	8.2	10.5	9.9	9.8	11.6	12.7	13.2	14.6
<b>Fertilizantes</b>	10.2	10.4	11.2	10.8	10.6	10.5	10.9	11.0	9.4	9.3	9.3	10.3	13.8	12.5	12.8	13.3	12.9	14.1	13.2	13.4
<b>Fibras Sintéticas</b>	3.6	4.2	4.7	5.4	5.4	5.9	5.9	6.3	6.1	6.1	5.9	5.5	5.1	5.5	5.6	5.5	5.5	5.8	6.0	5.6
<b>Productos de Hielo y Acero</b>	5.6	5.2	5.2	5.3	5.5	5.4	5.0	5.0	5.5	5.5	5.3	5.0	4.4	4.4	4.6	4.4	4.4	4.3	4.4	4.2
<b>Refinería de Petróleo</b>	4.5	4.5	4.3	4.3	4.3	4.3	4.4	4.4	4.4	4.5	4.8	4.8	4.6	4.6	4.6	4.5	4.6	4.4	4.3	4.1
<b>Resmas Sintéticas</b>	1.8	1.9	2.0	1.9	2.0	2.0	2.2	2.1	2.3	2.6	2.9	3.0	3.0	3.5	3.9	4.0	4.1	4.4	4.4	4.1
<b>Químicos Básicos</b>	3.4	3.2	3.0	3.0	3.1	2.8	2.9	3.1	3.0	2.7	2.7	2.8	3.2	4.0	4.0	3.9	4.1	4.1	4.2	4.0
<b>Materiales Plásticos</b>	3.0	2.9	3.1	3.0	2.9	2.9	3.1	3.2	3.3	3.3	3.7	4.0	3.5	3.5	3.6	3.7	3.7	3.6	3.7	3.8
<b>Pastas Celulósicas</b>	2.7	2.5	2.4	2.4	2.6	2.3	2.5	2.5	2.6	2.5	2.6	2.5	2.6	2.6	2.7	2.8	2.9	2.8	2.8	2.7
<b>Hielo y Acero</b>	3.6	3.3	3.4	3.3	3.4	3.3	3.2	3.5	3.9	3.7	3.5	3.4	3.1	3.0	3.1	2.9	2.9	2.8	2.8	2.7
<b>Insecticidas</b>	3.6	5.1	5.0	5.7	3.5	4.2	3.7	3.7	3.6	3.7	3.3	3.5	3.0	3.1	3.0	3.2	2.9	2.5	2.3	2.5
<b>Farmacéuticos</b>	2.4	2.6	2.7	2.8	2.8	3.0	3.0	3.0	2.8	2.8	2.7	2.7	2.7	2.9	2.7	2.6	2.5	2.2	2.3	2.4
<b>Materiales de Empaques de Cartón</b>	3.1	2.7	2.7	2.9	3.1	2.8	3.0	2.8	2.8	2.9	3.1	2.8	2.7	2.7	2.5	2.5	2.4	2.3	2.3	2.3
<b>Colorantes y Pinturas</b>	1.9	1.9	2.0	2.1	2.3	2.0	2.3	2.8	2.8	2.7	2.6	2.3	2.1	2.1	2.1	2.1	2.1	2.0	2.1	2.1
<b>Textiles de Fibras Blancas</b>	3.1	3.5	3.4	3.1	3.0	3.0	3.0	3.0	2.9	2.9	2.7	2.6	2.4	2.4	2.2	2.3	2.2	2.0	2.0	1.9
<b>Imprenta</b>	2.1	2.0	1.9	1.8	1.8	1.8	2.0	2.0	1.9	1.9	2.1	2.0	1.9	1.8	1.8	1.7	1.7	1.7	1.8	1.7
<b>Gases Industriales</b>	1.5	1.6	1.8	1.9	1.9	2.0	2.1	2.1	2.1	2.2	2.3	2.2	2.2	2.0	2.0	2.1	1.9	1.7	1.7	1.6
<b>Cobre</b>	1.3	1.2	1.2	1.2	1.3	1.2	1.2	1.1	1.1	1.2	1.1	1.2	1.0	0.9	1.0	0.9	0.9	1.2	1.2	1.2
<b>Muebles de Madera</b>	1.7	1.5	1.5	1.4	1.5	1.5	1.5	1.6	1.6	1.6	1.7	1.6	1.4	1.3	1.2	1.2	1.2	1.1	1.1	1.0
<b>Edifical</b>	2.0	1.9	1.7	1.5	1.3	1.5	1.5	1.3	1.2	1.2	1.3	1.3	1.3	1.0	1.0	1.2	1.1	1.0	1.0	1.0
<b>Todos los demás Sectores</b>	33.6	32.5	31	30.3	30.8	30.3	29.3	28.6	29.3	29.4	29.1	28.3	26.7	24.5	24.6	24.5	23.2	22.2	22.2	21.9
<b>Total</b>	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0
<b>Intensidad Total</b>	7.1	7.3	7.6	7.7	7.5	7.5	7.7	7.8	7.7	7.7	7.7	7.8	8.2	8.6	8.6	8.6	8.8	9.2	9.0	9.1

\*Indicador AVHUM: "linear acute humanhealth anf terresrial ecotoxicity" (Wheeler 1991 Industry pollution projections)

Tal vez la conclusión más importante de la tabla anterior es el incremento de la intensidad de la contaminación durante los años 70 y 80 se puede atribuir casi exclusivamente al incremento de la participación de dos sectores: petroquímicos y fertilizantes. Esto es de especial importancia debido a que ambos sectores eran denominados compañías paraestatales como PEMEX y FERTIMEX. [5]

El reutilizar el agua residual tratada es una excelente opción para disminuir el consumo de agua cruda en distintas actividades en donde los requerimientos de los volúmenes de agua son muy elevados en las industrias, donde existe escasez de agua o donde no sea necesario un alto grado de potabilización, el riego de parques y jardines o el lavado de coches.

Casos en concreto son por ejemplo en el año 2002 en España, A. Bes-Piá y sus colaboradores estudiaron la combinación de tratamientos físico-químico y tecnología de membranas para tratar el agua de una industria textil con la finalidad de reutilizarla después del tratamiento. Obtuvieron un 50% de reducción de DQO utilizando floculantes y coagulantes, la desalinización y reducción de sólidos y la realizaron por medio de tratamiento con membranas de Nanofiltración y Ultrafiltración. Concluyeron que el uso de membranas en combinación con tratamientos fisicoquímicos son procesos muy importantes para producir agua que pueda ser reusada procedente de cualquier efluente industrial. [6]

En San Francisco CA S. Frenkel y sus colaboradores proponen el reciclado del agua como una alternativa costeable, promueven el uso de membranas como una forma popular y mas eficiente de tratamiento de aguas residuales, para cada tipo de contaminación existe un tipo de membrana específica además de las condiciones de operación con las que se debe de trabajar con las membranas. [7]

B. L. Book en Pensilvania 1999 y sus colaboradores en su análisis evaluaron los beneficios de la reutilización del agua, plantean el reuso de agua como una alternativa para que no sea descargada y reducir de manera considerable la contaminación de las aguas naturales en esa zona, aun sin existir escasez de agua. Proponen el uso del agua tratada riego de zonas

de jardines y parques públicos, lavado de coches y usos industriales. En su estudio demuestran que existe un ahorro de agua cruda de 147 000 galones por día al reutilizar el agua después de un trataiento. <sup>[8]</sup>

En el año 2003 en Grecia A. Andreadakis y sus colaboradores llevaron acabo la evaluación de diferentes esquemas de tratamiento. Los datos experimentales que obtuvieron fueron considerados para hacer buenas especificaciones para el agua que pretende ser reutilizada, con ayuda de esta información será posible instituir los criterios para establecer normas para el reuso del agua en Grecia. <sup>[9]</sup>

En Egipto Abou-Elea y sus colaboradores implementaron la aplicación de la tecnología de producción mas limpia de la industria química para llegar a cerca de cero emisiones. Tradicionalmente la contaminación del agua era controlada usando los tratamientos de fin de tubo y en algunos casos este tratamiento se volvía difícil y costoso debido a la toxicidad y composición de algunos residuos, la propuesta alternativa para estos problemas es usar las tecnologías mas limpias por medio de la minimización de residuos y la prevención de la contaminación, esto también repercute en un ahorro significativo financiero.

El método trabaja directamente a través de auditorias industriales, la revisión de la utilización de recursos, análisis de costo/beneficio técnicos y económicos, diseño de ingeniería y la determinación cualitativa y cuantitativa de los desechos sólidos y líquidos. La experimentación se llevo acabo en los desechos líquidos en un análisis de fin de tubo, dando como resultado la alta contaminación de desechos orgánicos altamente biodegradables. Abou-Elea establece las posibles formas para la remediación del problema, entre ellas reciclando el agua en filtros a presión en las zonas de reacción y en las bombas de presión, así como una minimización de los materiales y productos en el agua desde el proceso, implementando la cultura del mantenimiento general y rehabilitación del equipo. <sup>[10]</sup>

Un estudio realizado en México en el 2002 por Dioselina Álvarez y sus colaboradores nos dice que en los últimos años el reuso del agua tratada en la agricultura es una opción que

promueve la agricultura sostenible y cuya ventaja principal es la del tipo económico y la desventaja es cuando los sistemas de tratamiento no son aplicados de manera correcta ocasionando problemas de salud pública. La recopilación de diversas investigaciones acerca del reuso del agua y las condiciones en que se debe utilizar se encuentra resumidas en la tabla 1.2 <sup>[11]</sup>

**Tabla 1.2** Calidad del agua tratada y su reuso

Tipo de uso	Tratamiento	Calidad del agua
Urbana, irrigación de cultivos que se ingieren crudos, aéreas verdes	Secundario, filtración y desinfección	pH = 6-9; £10mg/L DBO; £ 2 NTU Coliformes fecales /100 ml ND <sup>3</sup> 1 mg/L Cl2 residual
Irrigación de áreas de acceso restringido, construcción, reuso ambiental	Secundario y desinfección	pH 6-9; £ 30mg/L DBO; £30 mg/L SST; £ 200 col. Fec. /100ml <sup>3</sup> 1 mg/L Cl2 residual
Recarga de acuífero no potable por rocío	Depende del sitio y del uso, tratamiento primario mínimo	Depende del sitio y del uso
Recarga de acuífero no potable por inyección	Depende del sitio y del uso, tratamiento secundario mínimo	Depende del sitio y del uso
Recarga de acuífero potable por rocío	Depende del sitio y del uso, tratamiento secundario y desinfección mínimo	Depende del sitio y de los estándares para agua potable después del percolación por la zona vadosa
Recarga de acuífero potable por inyección, ampliación de superficies	Secundario, filtración, desinfección, tratamiento avanzado	pH = 6.5- 8.5; £2 NTU; ND Coli. Fec./100ml; <sup>3</sup> 1 mg/L Cl2 Residual Conociendo los estándares para agua potable

“USEPA 1992”<sup>[11]</sup>

Los problemas de contaminación no son un tema de estos últimos años, si no que desde las antiguas civilizaciones, como en el año 51 d.C. el romano Séneca se quejaba de la calidad del aire en Roma degradado por “la hediondez del humo de las chimeneas”. Las bostas de caballo en las calles del siglo antepasado eran la versión de los actuales problemas de contaminación del aire que enfrentaban nuestros ancestros. Hace cien años Arrenhius advirtió del calentamiento global por las emisiones de dióxido de carbono a la atmósfera. El pasado siglo nos da incontables ejemplos de la molesta contaminación para la cual las victimas pedían alivio en los tribunales. <sup>[12]</sup>

El Derecho Consuetudinario no ha demostrado su utilidad para las “molestias públicas”, esto es, el tipo de molestias que afecta a la comunidad en lugar de a individuos específicos. Realizar juicios es bastante costoso además de que no siempre es fácil coordinar la acción y obtener pruebas de la relación causa-efecto y de los daños en el contexto de la contaminación.<sup>[12]</sup>

De este modo las comunidades han creado leyes y estatutos que describen ciertos comportamientos contaminantes específicos definiendo normas. En 1863 el Acta de Alcaloides de Inglaterra instituyó la Inspectoría de Alcaloides para regular las emisiones en la industria química. Uno de los primeros estatutos para tratar la contaminación en Estados Unidos fue el Acta de los Derechos en 1899, que prohibió las descargas no autorizadas en las aguas navegables, en los 60's se crearon el Acta del Aire Limpio (1963) y el Acta de la Calidad del Agua (1965), ambas apuntaban a definir un margen de seguridad en la contaminación del ambiente, y también exigían a los estados desarrollar planes reguladores para controlar las fuentes de contaminación en sus jurisdicciones y mantenerlas dentro de los límites.<sup>[12]</sup>

La Ley General de Salud considera que se deben establecer normas para regular los efectos que el ambiente puede tener en la salud, tomar medidas y realizar actividades tendientes a la protección de la salud humana ante los riesgos y daños que representa el deterioro ambiental. La Ley también establece que se deben determinar los valores de concentración máxima permisible de los contaminantes en el ambiente para el ser humano.

## CAPITULO II CONTAMINACIÓN DE AGUA

### 2.1 El Agua

La *hidrosfera*, es el término comúnmente utilizado para mencionar a toda el agua de la superficie terrestre, tanto de los océanos, glaciares, ríos, lagos, lagunas y aguas subterráneas.

De toda esta agua menos del 0.5% se encuentra en los continentes en formas de ríos y lagos. En su mayor parte se encuentra contenida en los océanos y mares poco profundos, (alrededor del 70% de la superficie terrestre esta cubierta por los océanos). El 18 % aproximadamente son sedimentos enterrados de origen marino, por lo cual el agua dulce del planeta representan únicamente el 1.2% del agua total del planeta; de esta cifra, el 23% (0.28% del total) corresponde a aguas dulces subterráneas. <sup>[13][48]</sup>

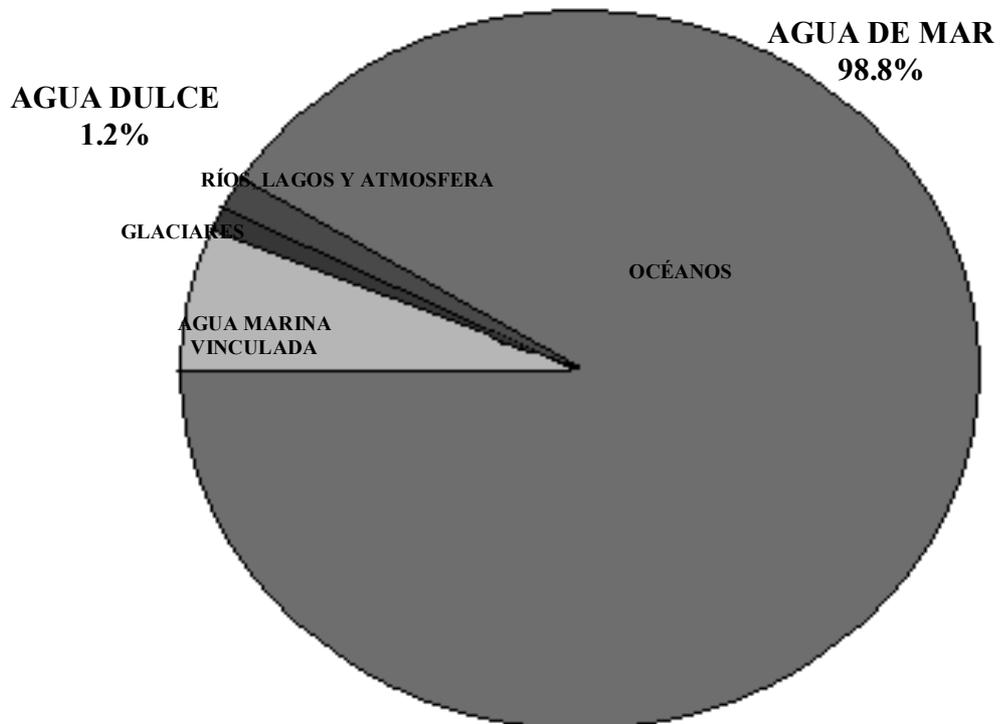


Figura 2.1 Distribución del agua en el planeta.

El agua pura  $H_2O$ , no existe en estado natural, sin embargo es conveniente repasar algunas de sus propiedades fisicoquímicas para comprender el complejo papel que juegan muchos de los fenómenos en que se manifiestan.



Figura 2.2 Molécula de agua.

Los átomos de hidrógeno se unen al átomo de oxígeno formando un ángulo de  $105^\circ$

La molécula del agua esta formada por dos átomos de hidrogeno unidos a un átomo de oxigeno formando un ángulo de  $105^\circ$ . La molécula tiene, por tanto una forma asimétrica, dipolar por la irregular distribución de las cargas eléctricas, que determinan la formación de enlaces de hidrogeno. Como resultado de los enlaces de hidrogeno intermolecular es mas fuerte de lo que cabria de esperar y la energía de liberación para formar vapor es muy alta. El alto calor latente de vaporización hace del vapor de agua un medio muy efectivo para transferir calor. Además la molécula de agua presenta una gran estabilidad prácticamente hasta  $1200^\circ C$ .<sup>[14]</sup>

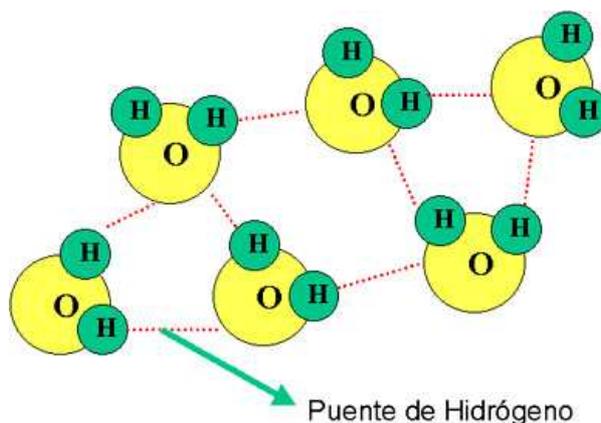


Figura 2.3 Debido a la asimetría de la molécula resultante se presenta una polaridad de cargas que inducen la formación de enlaces de hidrógeno, responsables de las especiales propiedades físicas y químicas del agua.

### 2.1.1 Características fisicoquímicas del agua

Las propiedades de los sistemas acuáticos vienen determinadas en gran medida por las propiedades únicas del agua. Ésta presenta un alto grado de estructuración motivada por los enlaces de hidrogeno (figura 2). La energía del enlace del hidrogeno en el agua líquida varia entre 5 y 20 kJ mol<sup>-1</sup>. Las fuertes interacciones moleculares se traducen en una gran cohesión, reflejada en los valores, anormalmente elevados de los calores latentes de fusión. También es anómala la variación V-T. Cuando el hielo funde se rompen parte de los enlaces de hidrogeno que conformaban su estructura cristalina y el volumen ocupado por la masa líquida no cristalina es menor que la cristalina de que procede. Eso implica una mayor densidad del agua líquida que su forma sólida a la misma temperatura. A medida que se añade al sistema mas energía térmica, continúan colapsando mas enlaces de hidrogeno y continua aumentando la densidad del agua líquida. Sin embargo, el aumento de la energía térmica hace que aumenten los movimientos vibracionales, aumentando el espacio que necesitan las moléculas para ubicarse. Los dos efectos contrapuestos anteriores llevan a que el agua alcance su máxima densidad a 4°C. A temperaturas superiores, los efectos vibracionales superan a los estructurales y la densidad del agua disminuye progresivamente con la temperatura. [15]

La siguiente tabla nos muestra los valores de las constantes físicas del agua.

<b>Nombre</b>	Agua	<b>Capacidad calorífica</b>	Cp 75.29J/Kmol	<b>Temperatura de fusión</b>	Tf 273.15 K
<b>Fórmula</b>	H <sub>2</sub> O	<b>Calor latente de fusión</b>	Δh <sub>f</sub> 6.01kJ/mol	<b>Temperatura de ebullición</b>	Tv 372.15 K
<b>Peso Molecular</b>	18.016	<b>Calor latente de vaporización</b>	Δh <sub>v</sub> 40.66kJ/mol	<b>Constante dieléctrica del agua</b>	ε° <sub>C</sub> 78.54
<b>Densidad</b>	ρ 1.00 g/cm <sup>3</sup>	<b>Viscosidad</b>	μ		ε <sub>25°</sub> <sub>C</sub> 88

Tabla 2.1: Propiedades fisicoquímicas del agua [16]

### 2.1.2 Propiedades del agua

**Densidad del agua:** En la siguiente tabla se muestra la densidad del agua a distintas temperaturas. Se observa que el agua alcanza su densidad máxima a 4 °C.

TEMPERATURA (°C)	DENSIDAD (kgm <sup>-3</sup> )
0	999,8
2	999,9
4	1.000,0
6	999,9
8	999,8
10	999,7
20	998,2
30	995,6
40	992,2
50	988,0
60	983,2
70	977,7
80	971,8
90	965,2
100	958,3

Tabla 2.2: Densidad del agua variante respecto a la temperatura.

A medida que crece la energía externa aumenta la densidad del agua líquida, porque se ocupan más espacios vacíos hasta llegar al máximo de 4°C. Esta es la razón por la cual el hielo es menos denso que el agua y por lo tanto flota sobre ella.

**Calor específico:** El calor específico de una sustancia es la cantidad de calor que se requiere para elevar un grado Celsius la temperatura de un gramo de ella. Según esta definición, las unidades en que se expresa este calor son J/g°C. Así el calor específico del agua es de 4,184 J/g.°C, valor que es anormalmente elevado cuando se le compara con los de otras sustancias. Por ejemplo, el del mercurio es 0,139 y el del etanol es 2,46 J/g°C. Por lo tanto, el valor 4,184 J/g.°C implica que se necesita una gran cantidad de calor para calentar 1 g de agua o se desprende mucho calor cuando ésta se enfría. Como en el estado líquido, análogamente al estado sólido, las moléculas de agua están atraídas mediante

enlaces de hidrógeno, se requiere energía calórica para romper los enlaces de hidrógeno con lo cual las moléculas se mueven más rápido, es decir, alcanzan mayor energía cinética. Pero en el caso del agua, a diferencia de otros líquidos, para una cantidad dada de calor, se eleva menos la temperatura de un gramo de agua. A 100°C todavía hay un número muy grande de enlaces de hidrógeno sin romper y para vaporizar un mol de agua se necesita cerca de cuatro veces más calor que lo esperado de no haber dicho enlace. Esta cantidad adicional de calor es la razón que explica porqué el punto de ebullición del agua es 100°, mientras que el del H<sub>2</sub>S, una molécula comparable, es -61°C. El H<sub>2</sub>S no presenta enlace de hidrógeno, al menos de manera significativa. <sup>[17]</sup>

**Viscosidad** : Es una medida de la resistencia a fluir que presentan los líquidos. Esta definición significa que a mayor viscosidad un líquido escurre más lentamente. La viscosidad de un líquido disminuye con el aumento de temperatura, porque la viscosidad está relacionada directamente con las fuerzas de atracción entre las moléculas del líquido. El agua tiene mayor viscosidad que otros líquidos porque sus fuerzas intermoleculares se deben a los enlaces de hidrógeno. <sup>[17]</sup>

**Transparencia**: La transparencia de una masa sólida o líquida se debe a que esta masa deja pasar totalmente la luz visible. El agua limpia es transparente, lo cual implica que al pasar la luz se puede verificar el proceso de fotosíntesis en un cuerpo de agua y que obviamente este proceso se restringe en la medida que aumenta la turbidez. <sup>[17]</sup>

## 2.2 Contaminantes

La contaminación del agua es la incorporación al agua de materias extrañas, cualquier forma de materia o energía cuya presencia, evacuación o liberación pueda causar daños a la biota, como microorganismos, productos químicos, residuos industriales, y de otros. De este modo, la evacuación de efluentes con temperatura elevada o con alto grado de salinidad pueden ser tanto o más perjudiciales a las comunidades acuáticas como la evacuación de sustancias tóxicas. Residuos sólidos dispuestos en forma inadecuada sobre el suelo son también una fuente de contaminación de las aguas superficiales o subterráneas, mientras

que contaminantes del aire como el dióxido de azufre pueden también constituirse en contaminantes del agua, en este caso a través de su precipitación en forma de lluvia ácida. Estas materias deterioran la calidad del agua y la hacen inútil para los usos pretendidos ya que interfiere con el uso que otro individuo le puede dar a la misma agua. El hecho de que una sustancia sea biodegradable no significa no sea dañina para el medio ambiente. <sup>[18]</sup>

Las primeras comunidades encontraron muy conveniente deshacerse de las sustancias indeseables vertiéndolos en las corrientes naturales de agua que las arrastraban con gran rapidez. La contaminación se vio en aumento cuando la industria creció y las comunidades fueron en aumento. <sup>[1]</sup>

### **2.3 Tipos de contaminantes**

Las sustancias contaminantes del agua se clasifican en tres categorías: Físicas, Químicas y Biológicas.

Los contaminantes físicos incluyen: lodos, materia flotante, espumas, color, sabor, turbidez, y temperatura. La contaminación térmica consiste en aguas procedentes de plantas industriales, relativamente calientes después de su utilización en intercambiadores o enfriadores.

Los contaminantes químicos pueden presentarse de distintas formas como es el caso de dureza, salinidad, acidez o basicidad. Se encuentran tanto productos orgánicos como inorgánicos. Con la presencia de compuestos orgánicos, existe una disminución de oxígeno como resultado de la degradación biológica de dichos compuestos.

Para el caso de la contaminación por compuestos inorgánicos su efecto mas importante es la toxicidad, mas que la disminución de oxígeno, los iones de los metales pesados, tóxicos para los seres humanos, son importantes contaminantes de este grupo, estos iones incluyen mercurio, arsénico, cobre , zinc, cromo, plomo, cadmio, aun en pequeñas cantidades pueden causar serios problemas. <sup>[1][3][18]</sup>

Los contaminantes biológicos son aquellos responsables de la transmisión de enfermedades en las aguas de suministro. Algunas de las enfermedades que son transmitidas por contaminación biológica son el cólera, la tifoidea, paratifoidea, diarreas etc. En algunos casos es perjudicial en operaciones industriales como cuando en los tubos de los condensadores se desarrollan organismos productores de limo dificultando la transferencia calórica. <sup>[1][2]</sup>

### **2.3.1 Microorganismos patógenos**

Consiste en los diferentes tipos de bacterias, virus, protozoos y otros organismos que transmiten enfermedades como el cólera, tifus, gastroenteritis diversas, hepatitis, etc. En los países en vías de desarrollo las enfermedades producidas por estos patógenos son unos de los motivos más importantes de muerte prematura, sobretodo en niños. Normalmente estos microorganismos llegan a l agua en las heces y otros restos orgánicos que producen las personas infectadas. <sup>[NOM-001-SEMARNAT-2000]</sup>

### **2.3.2 Desechos orgánicos**

Son el conjunto de residuos producidos por los seres humanos, ganado, etc. Incluyen heces y otros materiales que pueden ser compuestas por bacterias aeróbicas, es decir en procesos con consumo de oxígeno. Cuando este tipo de desechos se encuentra en exceso, la proliferación de bacterias agota el oxígeno, y ya no pueden vivir en esta agua peces y otros seres vivos que necesitan oxígeno. Buenos indicadores para medir la contaminación por desechos orgánicos son la cantidad de oxígeno disuelto (OD) en el agua, o la demanda bioquímica de oxígeno (DBO<sub>5</sub>). <sup>[18]</sup>

### **2.3.3 Sustancias químicas inorgánicas**

En este grupo están incluidos ácidos, sales y metales tóxicos como el mercurio y el plomo. Si están en cantidades altas pueden causar graves daños a los seres vivos, disminuir los rendimientos agrícolas y corroer los equipos que se usan para trabajar con el agua. <sup>[18]</sup>

### **2.3.4 Compuestos orgánicos**

Muchas moléculas orgánicas como el petróleo, gasolina, plásticos, plaguicidas, disolventes, detergentes, etc. acaban en el agua y permanecen, en algunos casos, largos periodos de tiempo, porque al ser productos fabricados por el hombre, tienen estructuras moleculares complejas difíciles de degradar por los microorganismos.

Los aceites y grasas son difíciles de metabolizar por las bacterias y flotan formando películas en el agua que dañan a los seres vivos. Los fenoles pueden estar en el agua como resultado de contaminación industrial y cuando reaccionan con el cloro que se añade como desinfectante forman clorofenoles que son un serio problema porque dan al agua muy mal olor y sabor. <sup>[19][20]</sup>

### **2.3.5 Sedimentos y materiales suspendidos**

Muchas partículas arrancadas del suelo y arrastradas a las aguas, junto con otros materiales que hay en suspensión en las aguas, son, en términos de masa total, la mayor fuente de contaminación al agua. La turbidez que provocan en el agua dificulta la vida de algunos organismos, y los sedimentos que se van acumulando destruyen sitios de alimentación o desove de los peces, rellenan lagos o pantanos y obstruyen canales, ríos y puertos. <sup>[18]</sup>

### **2.3.6 Contaminación térmica**

El agua caliente liberada por centrales de energía o procesos industriales eleva, en ocasiones, la temperatura de ríos o embalses con lo que disminuye su capacidad de contener oxígeno y afecta a la vida de los organismos. <sup>[19]</sup>



Figura 2.4 Vista aérea de Refinería Francisco. I. Madero

## 2.4 Fuentes de aguas residuales

La generación de las aguas residuales es un producto inevitable de la actividad humana. El tratamiento y disposición apropiada de las aguas residuales supone el conocimiento de las características físicas, químicas y biológicas de dichas aguas; de su significado y de sus efectos principales sobre la fuente receptora.

En general se consideran como *aguas residuales domesticas*, los líquidos provenientes de las viviendas o residencias, edificios comerciales e institucionales. Se denominan *aguas residuales municipales* a los residuos líquidos transportados por el alcantarillado de una ciudad o población y tratado en una planta de tratamiento municipal y se llaman *aguas residuales industriales* las aguas residuales provenientes de las descargas de industrias de manufactura.<sup>[14][21]</sup>

Las aguas de lluvia transportan la carga contaminadora de techos, calles y demás superficies por donde circula; sin embargo, en ciudades modernas se recogen en alcantarillas separadas, sin conexiones conocidas de aguas residuales domesticas o industriales y, en general, se descargan directamente al curso de agua natural mas próximo sin ningún tratamiento. En ciudades que poseen un sistema de alcantarillado combinado se acostumbra captar el caudal de tiempo seco mediante un alcantarillado interceptor y

conducirlo a la planta de tratamiento para su procesamiento. Sin embargo, durante los aguaceros, el caudal en exceso de la capacidad de la planta y del alcantarillado interceptor se desvía directamente al curso natural de agua. En este caso se pueden presentar riesgos serios de contaminación y de violación de las normas de descarga, los cuales solo se pueden evitar reemplazando el sistema de alcantarillado combinado por uno separado.<sup>[22]</sup>

Toda agua residual afecta de alguna manera la calidad del agua de la fuente o cuerpo receptor, sin embargo se dice que un agua residual causa contaminación solamente cuando ella introduce condiciones o características que hacen el agua de la fuente o el cuerpo receptor inaceptable para el uso propuesto de la misma. Así, por ejemplo no se puede decir que las aguas de la alcantarilla domiciliar causa contaminación de las aguas del alcantarillado sanitario municipal.<sup>[21]</sup>

#### **2.4.1 Aguas residuales industriales**

Las aguas residuales industriales son los desechos líquidos que se producen en todas las industrias de procesos húmedos, varía en ellas tanto en cantidad y capacidad contaminante. Los líquidos residuales derivan directamente de la fabricación de todo tipo de productos. Consisten en disoluciones acuosas a distinta concentración de los productos empleados en el proceso productivo. Es imprescindible el tratamiento de esta agua previo a su vertido debido al poder contaminante que tienen, variable según concentraciones de los agentes contaminantes.<sup>[23]</sup>

Las *Aguas Residuales de Proceso* provienen del empleo del agua como medio de transporte, lavado, refrigeración directa, etc. La contaminación de la misma proviene del contacto con los productos de fabricación o los líquidos residuales. Habitualmente, la concentración por agentes contaminantes es diez veces inferior a los líquidos residuales, pero su caudal puede llegar a ser cincuenta veces superior.

Las *Aguas de Drenaje* proceden principalmente de las pluviales. Su contaminación, si existe es muy baja y procede de zonas de almacenaje de productos al aire libre, derrames de

productos en viales y zonas a la intemperie, rodadas de vehículos, etc. Según la actividad de la industria, su tratamiento deberá ser tenido en cuenta. <sup>[14][21]</sup>

Las industrias se clasifican en cinco grupos según sus vertidos:

- Industrias con efluentes principalmente orgánicos: papeleras, azucareras, mataderos, curtidos, conserveras, lecherías y subproductos, fermentaciones, preparación de productos alimenticios, bebidas y lavanderías.
- Industrias con efluentes orgánicos e inorgánicos: refinерías y Petroquímicas, coquerías, químicas y textiles.
- Industrias con efluentes principalmente inorgánicos: Químicas, limpieza y recubrimiento de metales, explotaciones mineras y salinas.
- Industrias con efluentes con materias en suspensión: lavaderos de mineral y carbón, corte y pulido de mármol y otros minerales, laminación en caliente y colada continúa.
- Industrias con efluentes de refrigeración: centrales térmicas y centrales nucleares<sup>[21]</sup>

## 2.5 Características de las aguas residuales

La expresión de las características de un agua residual puede hacerse de muchas maneras, dependiendo del propósito específico de la caracterización. Sin embargo vale la pena notar que toda caracterización de aguas residuales implica un programa de muestreo apropiado para asegurar la representatividad de la muestra y un análisis de laboratorio de conformidad con normas estándar que aseguren precisión y exactitud en los resultados. En general un programa de muestreo para caracterización y control de calidad de las aguas supone un análisis cuidadoso del tipo de muestras, número de ellas y parámetros a analizar.

Aunque en la práctica existen caracterizaciones típicas de aguas residuales, las caudales son muy importantes como referencia de los parámetros de importancia a analizar y de su magnitud, hay que recordar que cada agua residual es única en sus características y que en

lo posible los parámetros de contaminación deben evaluarse en el laboratorio para cada agua residual específica. <sup>[21]</sup>

### 2.5.1 Importancia del muestreo

Muestras instantáneas o muestras simples, representan solamente las características del agua residual para el instante del muestreo y, en la mayoría de los casos, pueden no ser representativas para un periodo prolongado puesto que las características de las aguas residuales varían con el tiempo, mientras que las muestras compuestas, o mezclas de muestras simples o instantáneas, son generalmente preferibles para asegurar representatividad y detectar efectos de la descarga variable de los diferentes contaminantes.

El análisis previo de los usos del agua y de las fuentes contaminantes para la elaboración de diagramas de flujo, permite formular más apropiadamente un programa de muestreo.

Las muestras simples son particularmente deseables cuando el flujo de agua residual no es continuo, cuando la descarga de contaminantes es intermitente, cuando las características del residuo son relativamente constantes o cuando el parámetro a analizar puede cambiar significativamente durante el periodo de muestreo. Las muestras compuestas son preferibles cuando se desea conocer resultados promedio. La mezcla compuesta preferida es una mezcla de muestras individuales proporcionales al caudal instantáneo; para el efecto se toman muestras simples a intervalos constantes de tiempo, generalmente una hora, se almacenan apropiadamente en un refrigerador y al final del periodo de muestreo se mezclan en proporción directa al caudal aforado en cada instante de muestreo. Todo frasco o recipiente de muestreo debe identificarse con una etiqueta que indique: fecha de muestreo, nombre de la fuente, sitio de muestreo, tipo de muestra, hora de muestreo y preservativo usado. <sup>[1][22][24][NMX-AA-003-SCFI-2006]</sup>

## 2.6 Calidad del agua

La calidad del agua está determinada por la presencia y cantidad de contaminantes, factores físico-químicos, cantidad de sales y presencia de fertilizantes. Los seres humanos tienen una gran influencia en todos estos factores, pues ellos depositan residuos en el agua y añaden toda clase de sustancias contaminantes que no están presentes de forma natural. Es conveniente revisar los parámetros utilizados para definir la calidad del agua, algunos de estos se utilizan en el control de los tratamientos realizando mediciones de toma continua o discreta.

**Turbidez:** Es la expresión de la propiedad óptica de la muestra que causa que los rayos de luz sean dispersados y absorbidos en lugar de ser transmitidos en línea recta a través de la muestra; se considera una medida del grado en el cual el agua pierde su transparencia debido a la presencia de partículas en suspensión, cuantos más sólidos en suspensión haya en el agua, más sucia parecerá ésta y más alta será la turbidez. Es considerada como una buena medida de la calidad del agua. <sup>[1][24][25]</sup>

**Demanda Bioquímica de Oxígeno:** Se determina la cantidad de oxígeno que necesita una población microbiana heterogénea para la oxidación aerobia de la materia orgánica biodegradable presente en el agua. Esta determinación requiere de periodos grande de tiempo y depende de la temperatura. Los valores generalmente utilizados son 5 días y 20°C. Su valor da idea de la calidad del agua desde el punto de vista de la materia orgánica presente y permite prever cuanto oxígeno será necesario para la depuración de las aguas. <sup>[19][23][NMX-AA-028-SCFI-2001]</sup>

**Demanda Química de Oxígeno:** Es un parámetro que mide la cantidad de oxígeno que se necesita para oxidar materiales contenidos en el agua por medios químicos (oxidante fuerte) que hay en una muestra líquida. El método mide la concentración de materia orgánica. Sin embargo, puede haber interferencias debido a que haya sustancias inorgánicas susceptibles de ser oxidadas. En la mayoría de los casos guarda una buena relación con la DBO pero la DQO no hace diferencia entre la materia biodegradable y el resto y no

suministra información sobre la velocidad de degradación en condiciones naturales.<sup>[19][NMX-AA-030-SCFI-2001]</sup>

**Sólidos Suspendidos Totales:** Son los sólidos orgánicos e inorgánicos que se encuentran en el agua, son partículas como arcillas, limo y otras, aunque no lleguen a estar disueltas, son arrastradas por el agua en suspensión o en suspensión, y materia orgánica que se encuentra en suspensión y coloidal, que son detenidas por un medio filtrante; pueden ser partículas de óxidos metálicos (como del hierro o el magnesio) y otros sólidos como sedimentos, arena arcilla o cuerpos bacterianos.<sup>[19][25][NMX-AA-034-SCFI-2001]</sup>

**Sólidos Disueltos Totales:** Son todas aquellas sustancias orgánicas e inorgánicas que se encuentran disueltas en el agua y no son retenidas por un medio filtrante. Mide específicamente el total de residuos sólidos filtrables (sales y residuos orgánicos). Los análisis de sólidos disueltos son también importantes como indicadores de la efectividad de procesos de tratamiento biológico y físico de aguas usadas.<sup>[NMX-AA-034-SCFI-2001]</sup>

**Alcalinidad:** Se refiere a la presencia de sustancias hidrolizables en agua y que como producto de hidrólisis generan el ión hidroxilo (OH<sup>-</sup>), contribuyen también en forma importante a la alcalinidad los carbonatos y fosfatos así como la presencia de boratos y silicatos en concentraciones altas. Si todas las bases están presentes como sales de calcio y magnesio, la alcalinidad será igual a la dureza, si la alcalinidad es mayor a la dureza esto significa que hay otras sales básicas (de sodio o potasio) además de las ya mencionadas; si la alcalinidad es menor que la dureza entonces existen sales de calcio y magnesio que no son carbonatos (sulfatos).<sup>[NMX-AA-036-SCFI-2001]</sup>

**Dureza:** Se entiende como la capacidad de un agua para precipitar al jabón basado en la presencia de sales de los iones calcio y magnesio; es la responsable de la formación de incrustaciones en recipientes y tuberías lo que genera fallas y pérdidas de eficiencia en diferentes procesos industriales. En la mayoría de las aguas alcalinas esta necesidad de consumo de jabón está directamente relacionada con el contenido de calcio y magnesio. Las aguas duras son generalmente menos corrosivas que las blandas.<sup>[24][NMX-AA-072-SACFI-2001]</sup>

**Grasas y Aceites:** Son las natas, películas y capas iridiscentes que se separan de la porción acuosa y flotan sobre ella. Son sustancias pobremente solubles, difíciles de transportar, no se digieren fácilmente por medio biológicos, reducen la capacidad de flujo del agua y afectan la transferencia de oxígeno del agua a las células interfiriendo así con el procedimiento del tratamiento aerobio. La determinación de grasas y aceites es indicativa del grado de contaminación del agua por usos industriales y humanos. [22] [NMX-AA-005-SCFI-2001]

**Cloruros:** El ión cloruro es uno de los iones inorgánicos que se encuentran en mayor cantidad en el agua, su presencia es necesaria en aguas potables. Llevan un átomo de cloro en estado de oxidación formal -1. Por lo tanto corresponden al estado de oxidación más bajo de este elemento ya que tiene completado la capa de valencia con ocho electrones. Un alto contenido de cloruros puede dañar estructuras metálicas y evitar el crecimiento de plantas. Es entonces importante el poder determinar la concentración de cloruros en el agua en un amplio intervalo de concentraciones. [24][NMX-AA-073-SCFI-2001]

**Sulfatos:** El ion sulfato es uno de los más comunes en las aguas naturales; son compuestas por las sales o los ésteres del ácido sulfúrico. Contienen como unidad común un átomo de azufre en el centro de un tetraedro formado por cuatro átomos de oxígeno. Las aguas con alta concentración de sulfatos puede formar incrustaciones dentro de las caleras y los intercambiadores de calor, e aguas residuales es un factor que determina problemas por olor y corrosión. [22]

**Bacterias Coliformes:** Designa a una especie de bacterias que tienen ciertas características bioquímicas comunes, que habitan normalmente en el intestino del hombre y otros animales de sangre caliente, crecen aeróbicamente y fermentan la lactosa. Se considera como un indicador de contaminación fecal, y por lo tanto con organismos patógenos, del agua y los alimentos. [22][24][NOM-AA-102-SCFI-2005]

**Mesofilos:** Un organismo es mesófilo cuando tiene una temperatura óptima de crecimiento comprendida entre 20°C y 45°C. La temperatura mínima se encuentra en el

rango de 15°C a 20°C y la temperatura máxima en torno a 45°C. La gran mayoría de los microorganismos son mesófilos, incluidos los patógenos. <sup>[25][26]</sup>

**Hongos y Levaduras:** Se denomina levadura a cualquiera de los diversos hongos microscópicos unicelulares que son importantes por su capacidad para realizar la *fermentación* de hidratos de carbono, produciendo distintas sustancias. <sup>[26]</sup>

## 2.7. Naturaleza de las aguas en los campos petroleros

La composición de los crudos depende del lugar en el que se han formado. Los crudos se distinguen por distintas fracciones de hidrocarburos y por tener distintas proporciones de azufre, nitrógeno y de las pequeñas cantidades de diversos metales, que tienen mucha importancia desde el punto de vista de la contaminación. <sup>[19]</sup>

Muchas de las aguas de desecho originadas por los procesos de refinación, la condensación del vapor de agua ocurre simultáneamente con los vapores de hidrocarburos que generalmente contienen sustancias como H<sub>2</sub>S, NH<sub>3</sub>, HCN, fenoles y mercaptanos. Después de la separación del líquido de hidrocarburos, el vapor condensado contiene aceite y una mezcla de estos contaminantes. Esta agua de desecho son llamadas aguas amargas debido al olor característico del ácido sulfhídrico. <sup>[27][28]</sup>

### 2.7.1 Deshidratación del petróleo

El petróleo que sale del pozo consiste en una mezcla de petróleo crudo, gas y agua de formación, durante la producción primaria el agua llega a ser muy escasa mientras que en la mayor parte de la producción contiene cantidades medibles de agua producida que pueden llegar hasta un 90%, esta debe separarse del petróleo para cumplir con las especificaciones de tubería que estipulan un contenido de agua no mayor del 1%. <sup>[27][28]</sup>

El proceso operativo de la extracción, transporte, deshidratación y comercialización del hidrocarburo en Tamaulipas-Constituciones consiste en los siguientes pasos.

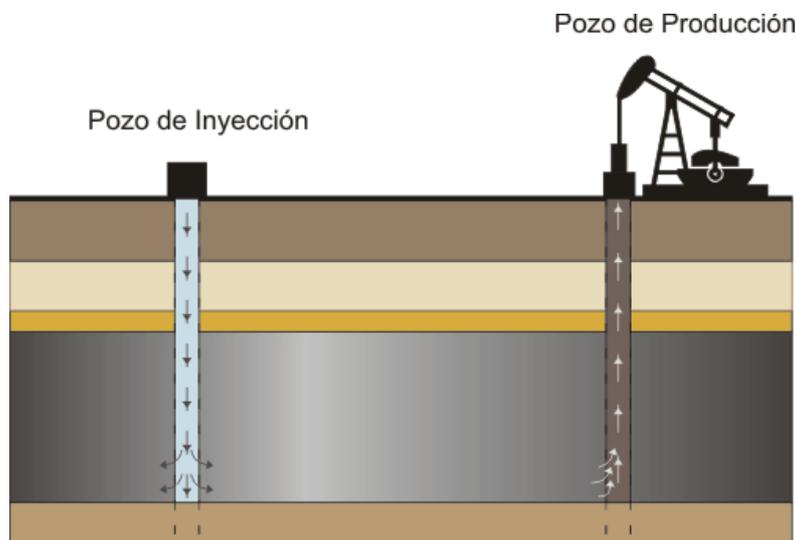
- a) La extracción del hidrocarburo por medio de pozos fluyentes, es decir que cuentan con sistemas de recuperación secundarios como la inyección de agua en forma mecánica.
- b) La Batería 1 Tamaulipas en Altamira recibe la totalidad de la producción extraída de los campos Tamaulipas-Constituciones. La medición de la producción de aceite en cada pozo se realiza en tanques atmosféricos. Se separa el gas del aceite con separadores bifásicos enviando el gas a la planta compresora 3 para su utilización en la red de bombeo neumático mientras que el aceite es almacenado en tanques atmosféricos para enviarlo al proceso de deshidratación.
- c) Se inicia la separación Agua/Aceite (primera etapa) con equipos de separación de agua libre
- d) Mediante calentamiento del hidrocarburo con equipos de calentamiento a fuego directo se continúa con el proceso de deshidratación.
- e) Para mantener la temperatura del hidrocarburo dentro de los tanques se utiliza un serpentín con combustóleo precalentado en un equipo de calentamiento a fuego directo y utilizando un sistema de bombeo para la recirculación del combustóleo dentro de los tanques por medio del serpentín.
- f) Se envía el hidrocarburo a los tanques de balance para su última separación agua/aceite y posterior bombeo de aceite al punto de venta.
- g) El drenado de los tanques de balance se envía a las presas API para su última recuperación del aceite incorporándose nuevamente al proceso de deshidratación.
- h) El agua de desecho es enviada al centro de recolección para ser inyectada al subsuelo mediante pozos letrina para la recuperación secundaria del hidrocarburo.

i) El aceite deshidratado es bombeado a la refinería Francisco I. Madero para su comercialización.

En cada una de estas partes del proceso existe la eliminación de agua, la cual es conducida a las presas API que a su vez es bombeada hacia el Centro de Recolección de agua y a la Planta de Inyección donde una parte del agua contaminada se canaliza a pozos letrinas para su desecho o confinamiento y otra es mezclada con agua cruda proveniente de la Laguna del Champayan para ser bombeada a los Pozos de Inyección y Producción.

### 2.7.3 Recuperación aumentada

La recuperación aumentada se define como cualquier producción adicional después de la producción primaria, que resulte de la introducción de energía artificial dentro del recipiente. Podemos enumerar la inundación con agua, la inyección de gas, y otros procesos que incluyan la inyección de un fluido o de energía para la recuperación del petróleo secundaria o terciaria como se muestra en la figura 2.5. <sup>[27][28]</sup>

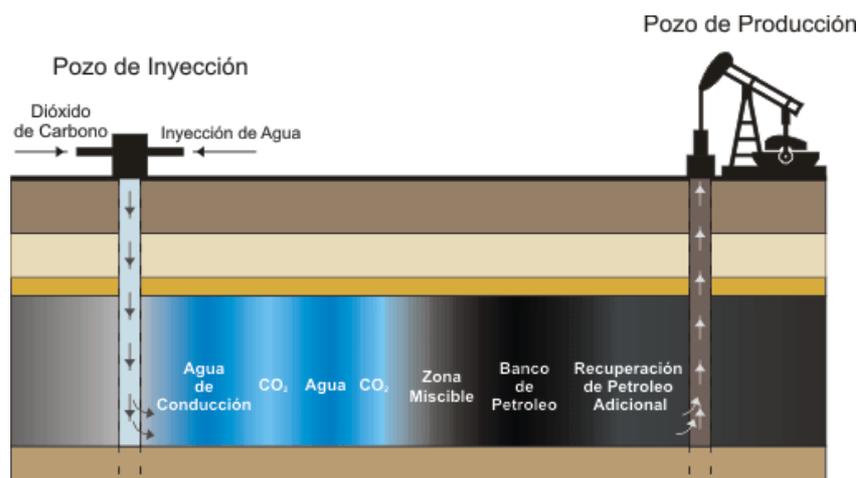


**Figura 2.5** Recuperación Asistida: Se inyecta gas o fluido para aumentar la presión dentro del pozo y por lo tanto un aumento de la producción del pozo.

### 2.7.4 Recuperación secundaria

La recuperación secundaria, como se observa en la figura 2.6, consiste en cualquier recuperación aumentada que se lleve a cabo primero en el yacimiento. Comúnmente sigue a la recuperación primaria, pero puede efectuarse conjunto a ella.

El método más común de recuperación secundaria es la inundación con agua, consiste en la inyección de agua como una barrera uniforme a través de la formación que esta produciendo desde una serie de pozos de inyección hacia el pozo productor. Dichos pozos de producción pueden ser productores convertidos o bien nuevos pozos perforados específicamente para la inyección de agua de inundación. [27][28]



**Figura 2.6** El pozo es inyectado con agua y CO<sub>2</sub> que aumenta la presión dentro del pozo y desplaza el petróleo con más fuerza hacia el pozo de producción.

Una recuperación terciaria es una recuperación aumentada que se lleva a cabo después de la recuperación secundaria y se diseña para recuperar en forma total el petróleo remanente. [27]

## **CAPITULO III**

### **TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES**

#### **3.1 Tipos de tratamiento**

Esta investigación se enfoca a realizar la determinación de sustancias contaminantes en el agua, específicamente a las concernientes a la industria petroquímica y de deshidratación del petróleo, y proponer un sistema de tratamiento adecuado a las necesidades específicas para este tipo de industria y las características particulares del efluente estudiado. La elección del sistema de tratamiento dependerá del porte de la empresa

El objetivo de cualquier tratamiento es eliminar los componentes definidos como contaminantes, molestos o con efectos nocivos para el medio ambiente o la salud humana, y ajustar la calidad del agua vertida a las especificaciones legales.

El reuso de efluentes tratados se ha incrementado en la agricultura ya que tiene como metas promover la agricultura sostenible, preservar las escasas fuentes de agua y mantener la calidad ambiental. Para el caso de México, este tipo de alternativa parece ser atractiva debido a la unión de dos factores: las regiones áridas donde la producción agrícola depende del riego y el bajo costo asociado al tratamiento de aguas residuales. <sup>[11][29]</sup>

Es difícil trasladar los efluentes industriales a la línea de tratamiento de aguas residuales urbanas, debido a que con mucha frecuencia la materia orgánica no es el contaminante principal en los residuos líquidos industriales pero sí en los urbanos. Algunos vertidos industriales solo requieren de neutralización, mientras que para la mayoría de las aguas diluidas no tóxicas es suficiente un tratamiento primario y secundario, aunque en algunos casos también se agrega un tratamiento terciario leve que elimine algún contaminante remanente. En el caso de las aguas residuales que contienen compuestos tóxicos es preciso un pretratamiento específico antes de pasar a uno convencional como el que se muestra en la figura 3.1. <sup>[14]</sup>

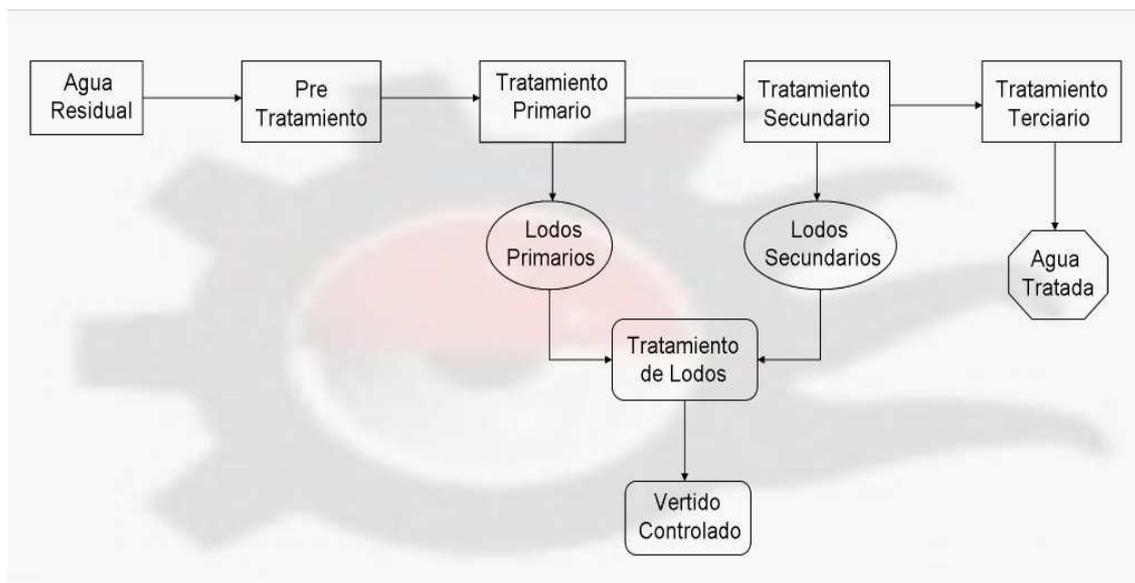


Figura 3.1. Esquema general para el tratamiento de aguas residuales industriales

### 3.2 Pre-tratamiento

La primera parte del tratamiento de las aguas residuales consiste en la retención de los cuerpos sólidos o materias grasas que podrían afectar al funcionamiento de los equipos posteriores. Se utilizan procesos físicos como el cribado, tamizado, desarenado y desengrasado, los equipos que pueden aparecer en esta sección de tratamiento son de distintos tipos tales como rejas, tamices auto limpiantes, microfiltros, entre otros. <sup>[30]</sup>

En esta parte del tratamiento se realiza la neutralización para eliminar la acidez o alcalinidad del agua que presentan casi todas las aguas residuales, ya sea por medio de la adición de sustancias con pH opuesto. La separación de las grasas, aceites y otros materiales menos densos que el agua puede realizarse aprovechando la diferencia de densidades. Los desarenadores cuidan de la separación previa de arenas y otros materiales sólidos, de densidades superiores a las de las materias orgánicas, esto para prevenir la erosión en bombas, la acumulación de sólidos en otros recipientes posteriores y el taponamiento por depósito en tuberías. <sup>[14]</sup>

### 3.3 Tratamiento primario

El tratamiento primario es aquel conjunto de procesos que tienen como misión la separación por medios físicos de las partículas en suspensión no retenidas en el pretratamiento, preparan las aguas residuales para su tratamiento biológico, eliminan ciertos contaminantes y reducen las variaciones del caudal y concentración de las aguas que llegan a la planta. <sup>[14][25]</sup>

Una necesidad frecuente de los efluentes industriales es la eliminación de metales pesados, este puede que sea todo el tratamiento requerido para proteger el tratamiento biológico posterior de la elevada toxicidad de algunos metales. Se incluyen en estos el cadmio, cromo, mercurio, cobre, plomo, níquel, etc. En su forma orgánica, en general precipitan como hidróxido por ajuste del pH mediante la adición de sosa o cal, aunque a veces es más conveniente una precipitación conjunta con  $\text{Fe}(\text{OH})_3$  o  $\text{Al}(\text{OH})_3$ , otras veces hay que recurrir a la precipitación de sus sales o bien oxidarlos o reducirlos previamente. Como alternativa a la precipitación puede usarse el intercambio iónico o los procesos de filtración por osmosis inversa. <sup>[14][25]</sup>

#### 3.3.1 Neutralización

Consiste en el ajuste del pH del agua antes de ser vertida a un cuerpo receptor o de algún tratamiento biológico, los reactivos comúnmente utilizados son la cal, la caliza y el ácido sulfúrico como reguladores del pH.

A pesar de su alto costo, la rápida reacción de la sosa cáustica y su solubilidad en el agua son decisivos para su utilización. Debido a la formación de productos insolubles que precipitan durante esta reacción, es necesario efectuar una decantación posterior. La caliza es utilizada fundamentalmente en forma de un lecho superior a 1 m de espesor, haciendo pasar la corriente de agua que se desea neutralizar de manera ascendente, mientras que el ácido sulfúrico es más utilizado para neutralizar efluentes alcalinos. <sup>[25][30]</sup>

### 3.3.2 Coagulación y floculación

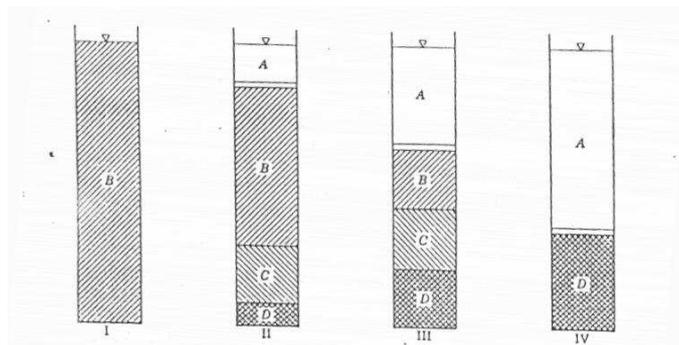
La coagulación seguida de la floculación, es una manera de separar los sólidos en forma de coloides, los coloides son partículas finamente divididas que están dispersas en el agua, estas partículas se encuentran entre los  $0.2\mu$  y  $3-5\mu$  de espesor. La estabilidad de los coloides se debe a su carga generalmente negativa y a la solvatación.

La coagulación consiste en introducir en el agua un agente coagulante que neutraliza la carga eléctrica de un coloide para que forme una partícula de mayor tamaño llamada aglomerado que debido a su gran tamaño y densidad se precipita. La floculación ocurre cuando la agrupación de partículas se pone en contacto unas con otras. <sup>[25][30]</sup>

### 3.3.3 Decantación

La decantación es el proceso principal del tratamiento primario, es una separación física del sólidos (el más pesados que el agua) la que se encuentran en suspensión, aprovechando la fuerza de la gravedad que imprime a las partículas un movimiento descendente, cuya velocidad depende de la densidad y viscosidad del líquido, y del tamaño, forma y densidad de la partícula. Generalmente eliminan arena o flóculos originados de los procesos biológicos o de floculación. Normalmente se emplean dos tipos distintos de equipos, los estáticos donde no existe recirculación de lodos y los dinámicos donde hay recirculación de lodos preformados. <sup>[14][25][30]</sup>

Los decantadores primarios se utilizan para separar los sólidos en suspensión por un proceso de sedimentación. Las partículas más densas se separan por acción de la gravedad, algunas partículas, como la arena, sedimentan en forma discreta mientras que otras tienen tendencia a aglomerarse, mientras mayor sea el tamaño de los flóculos tienden a decantarse mejor. Este fenómeno se aprovecha para inducirlo en las partículas difícilmente decantables. <sup>[14][25][30]</sup>



**Figura 3.2** Fases de la sedimentación donde se observa el descenso del nivel de la superficie de separación de la zona clarificada y la zona de sedimentación retardada con el tiempo. Al final, con el paso del tiempo la velocidad de descenso es mas lenta

Con el tiempo se forma en la parte superior una superficie libre debajo de la cual sedimentan partículas libremente y por encima de la cual hay agua limpia, en la parte media hacia el fondo aparece una zona de sedimentación retardada y en la base una zona de alta concentración donde tiene lugar la compresión y compactación del lodo. La superficie libre desciende con el tiempo hasta contactar con la zona de compresión (Fig. 3.2). [14][25][30]

### 3.3.4 Flotación

Para la operación de la flotación por aire disuelto se utiliza el principio de la solubilidad del aire en el agua sometida a presión, se usa cuando se trata de eliminar sólidos en suspensión con una densidad próxima a la del agua o eliminar grasas y aceites. Consiste fundamentalmente en someter el agua residual ya floculada a presión de 3 a 4 kg/cm<sup>2</sup> durante cierto tiempo en un recipiente, introduciendo simultáneamente aire comprimido hasta lograr la saturación y agitando por diversos medios, hasta lograr la dilución del aire en el agua hasta formar burbujas sobre las cuales se fijan las partículas haciéndolas flotar hacia la superficie donde son retiradas por medios mecánicos. [25][30][31]

El método convencional de separación de aceites del agua, basado en la diferencia de densidad. La ventaja principal de la flotación contra la decantación es que la flotación requiere de menos tiempo de retención precisando un espacio ocupado mucho menor y permite una mayor carga de sólidos en al agua residual, los sólidos flotados están sobre un

medio líquido en contacto con el aire, pudiendo alcanzar concentraciones muy superiores a los decantados. <sup>[18][30][31]</sup>

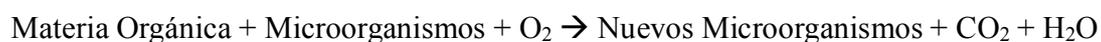
### 3.4 Tratamiento secundario

El tratamiento secundario, también llamado tratamiento biológico, consiste en la eliminación de las sustancias contaminantes que son biodegradables en un proceso biológico basado en microorganismos que existen naturalmente y descomponen la materia orgánica y purifican el líquido. Los procesos biológicos más utilizados son los de fangos activados y filtros percoladores. Un reactor biológico es el espacio donde se realiza el tratamiento secundario y deben de mantenerse las condiciones adecuadas para permitir que los microorganismos se desarrollen correctamente. <sup>[30][32]</sup>

Los tratamiento biológicos pueden dividirse a su vez en aerobio que es aquel que se lleva a cabo bajo la presencia de oxígeno y el anaerobio que es en ausencia de oxígeno. El tratamiento biológico más común es el aerobio seguido de una decantación secundaria. Las bacterias presentes en el tratamiento secundario destruyen y metabolizan la materia orgánica soluble y coloidal reduciendo la DBO y la DQO a valores inferiores de 100mg/l y la velocidad de degradación depende de que los microorganismos presentes en el agua sean los adecuados, la mayoría de las sustancias orgánicas se degradan por la acción microbiana en especial las de origen natural aunque algunas de origen sintético son muy resistentes. <sup>[14][25][30][43]</sup>

#### 3.4.1 Tratamiento aerobio

El tratamiento aerobio es cuando la biomasa está formada por microorganismos aerobios, es decir que son consumidores de oxígeno. El carbono de la materia orgánica se transforma en dióxido de carbono y con producción de energía, se puede representar por la siguiente ecuación:



Las condiciones del reactor biológico contribuyen al desarrollo de los microorganismos, las condiciones ideales son mostradas en la tabla 3.1. La presencia de compuestos tóxicos como fenoles, cianuros, compuestos de cadmio y aceites afecta el crecimiento de los microorganismos o incluso los anula. <sup>[14][30][44]</sup>

Temperatura	35 - 40 °C
Oxígeno Disuelto	> 2 ppm
pH	6.5 – 8.5
Salinidad	< 3000 ppm

**Tabla 3.1.** Condiciones ideales para el desarrollo microbiano en un reactor biológico.

El agua tratada en un reactor biológico contiene fangos que por ser de origen biológico son más fluidos y difíciles de concentrar. En los decantadores secundarios poseen un sistema de succión sobre la superficie del fondo para evitar reacciones biológicas. <sup>[14][44]</sup>

El proceso de fangos activos es el tratamiento aerobio más utilizado para el tratamiento de agua residual y consiste en poner la biomasa en contacto con el agua residual y el oxígeno disuelto en un reactor en condiciones de agitación para mantener la biomasa en suspensión y mantener un buen contacto con el oxígeno disuelto. La materia orgánica se descompone y existe la formación de un lodo floculado. Este tratamiento es similar a la autodepuración por microorganismos aeróbicos. Se introduce un cultivo microbiano en forma de flóculos dispersos en un depósito aireado y agitado y después de un tiempo la mezcla se envía a un decantador secundario que actúa como clarificador, una parte de los lodos que son retirados en el decantador secundario se recirculan al depósito para mantener una adecuada concentración de microorganismos en el reactor biológico.

Los lodos que no son recirculados son retirados y enviados a tratamiento o disposición final. En caso de que el efluente que va a ser tratado no contenga los nutrientes necesarios para el desarrollo microbiano es necesario agregar los nutrientes deficitarios. Este proceso es el más utilizado cuando se requiere que el efluente final sea de alta calidad, los

volúmenes a tratar son considerable y el terreno disponible es limitado, la desventaja de este proceso es que se requiere que los operadores sea de amplia experiencia. <sup>[14][25][30][44]</sup>

### 3.4.2. Tratamiento anaerobio

El tratamiento anaerobio es un proceso biológico donde microorganismos convierten la materia orgánica en metano y dióxido de carbono. Los reactores anaerobios son completamente cerrados para evitar contacto con el aire. El gas generado contiene en promedio 65% de metano el cual puede ser aprovechado como combustible para mantener la temperatura del reactor para la digestión (37°C) . El proceso anaerobio representa una solución mas conveniente y económica para aguas residuales cuya concentración de DQO es mayor a 5000mg/L y una DBO de 2000 a 30 000 mg/L. <sup>[14][30][33][44]</sup>

El proceso de descomposición se lleva acabo en tres etapas: la licuefacción, gasificación y mineralización. La licuefacción es la etapa en donde un grupo de bacterias degrada la materia orgánica como proteínas y lípidos transformándolos en materia más simples como en propionatos y butiratos, a su vez en la etapa de gasificación otros microorganismos degradan estas sustancias a metano. <sup>[30][44]</sup>

### 3.4.3 Filtros percoladores

También son llamados filtros biológicos y es una buena alternativa para espacios reducidos. El mecanismo principal de remoción de la materia orgánica es la absorción y asimilación biológica. Esta formado por un reactor con un material de relleno con aspecto viscoso y gelatinoso sobre el cual crece una película de microorganismos aerobios. El efluente de la sedimentación primaria es distribuido uniformemente por oxígeno para que el medio del soporte del filtro a través de un sistema distribuidor del flujo. <sup>[30][32]</sup>

El oxígeno es suministrado por la circulación del aire entre el medio filtrante y parcialmente por el oxígeno disuelto presente en el agua residual. El crecimiento microbiano comienza en la interfase aerobia del medio filtrante, generando también el

desarrollo de organismos anaerobios y facultativos que en conjunto con los microorganismos aerobios forman el mecanismo básico para la remoción de la materia orgánica. El efluente del filtro percolador deberá pasar a través de un sedimentador secundario para colectar la biomasa. Generalmente no requiere recirculación a diferencia de los lodos activados, donde ésta es determinante para mantener los microorganismos. <sup>[32]</sup>

La altura de un filtro percolador puede llegar a ser de 12 m. Los filtros percoladores no permiten reducir económicamente más de 85% de la materia orgánica contenida en las aguas residuales, sin embargo son más fáciles de operar que el sistema de lodos activados, tienen la ventaja de que el pretratamiento es más barato cuando el agua residual contiene altas concentraciones de material orgánico. <sup>[25][30]</sup>

### **3.5 Tratamiento terciario**

El tratamiento terciario consiste en procesos físicos y químicos especiales con los que se consigue una mayor depuración del agua y para eliminar los contaminantes que no fueron eliminados durante los tratamientos primarios y secundarios, es un tipo de tratamiento más caro que los anteriores y se usa en casos más especiales. El objetivo del tratamiento terciario es la eliminación de microorganismos patógenos, color, detergentes, compuestos nitrogenados y fosfatos. <sup>[19][20][25]</sup>

#### **3.5.1 Filtración**

La filtración es el método que se utiliza para la eliminación de sólidos que fueron arrastrados a la salida del decantador secundario. Existen distintos medios de filtración como grava, arena o una combinación de los mismos. El método de operación consiste en hacer pasar una mezcla de sólidos y fluidos, gas o líquido, a través de un medio filtrante. La filtración de la arena se utiliza con frecuencia en el área de las aguas residuales y es un método muy adecuado para separar los sólidos suspendidos del agua. La filtración media consiste en una capa múltiple de la arena con una variedad en tamaño y gravedad

específica. Los filtros de arena se pueden observar en diversos tamaños y pueden ser manejados manualmente o de forma totalmente automática. <sup>[34][35][43]</sup>

### 3.5.2 Adsorción

En la adsorción se utiliza un sólido para eliminar una sustancia soluble del agua, regularmente se utiliza el carbón activado. El carbón activado se produce específicamente para alcanzar una superficie interna entre 500 - 1500 m<sup>2</sup>/g la cual hace que el carbón tenga una adsorción ideal. El carbón activado granular se utiliza sobre todo en el tratamiento de aguas, puede fijar sustancias solubles por adsorción como aceite mineral, sustancias halogenadas, olor, sabor, levaduras y sustancias no solubles en agua. Se utiliza para el refinamiento de las aguas residuales tratadas. El agua es bombeada dentro de una columna que contiene el carbón activado, la actividad del carbón de la columna depende de la temperatura y de la naturaleza de las sustancias. El agua pasa a través de la columna constantemente, con lo que produce una acumulación de sustancias en el filtro. Por esa razón el filtro necesita ser sustituido periódicamente.

Las moléculas en fase de gas o de líquido serán unidas físicamente a una superficie del carbón activado de la siguiente manera: primero el movimiento del material orgánico a través del sistema de macro-poros del carbón activado, segundo movimiento del material orgánico a través del sistema de micro-poros del carbón y finalmente la adhesión física del material orgánico a la superficie del carbón activo en los meso-poros y micro-poros del carbón activo. <sup>[34][35][36]</sup>

### 3.5.3 Desinfección

La desinfección consiste en la destrucción de microorganismos patógenos muy frecuentemente se realiza mediante productos químicos reactivos como el cloro. La desinfección constituye una barrera eficaz para numerosos patógenos (especialmente las bacterias) durante el tratamiento del agua. Debe utilizarse en aguas superficiales y en aguas subterráneas expuestas a la contaminación fecal. La desinfección residual se utiliza como protección parcial contra la contaminación con concentraciones bajas de microorganismos

y su proliferación, reduce el riesgo general de enfermedades, pero no garantiza forzosamente la salubridad del suministro.

La eficacia de la desinfección puede también ser insatisfactoria con respecto a patógenos presentes en flóculos o partículas que los protegen de la acción del desinfectante. Una turbidez elevada puede proteger a los microorganismos de los efectos de la desinfección, estimular la proliferación de bacterias y generar una demanda significativa de cloro.<sup>[37]</sup>

#### **3.5.4 Intercambio iónico**

Este tratamiento es un proceso rápido y reversible en el cual los iones contaminantes presentes en el agua son reemplazados por iones que despiden una resina de intercambio iónico. Los iones contaminantes son tomados por la resina que debe ser regenerada periódicamente para restaurarla a su forma iónica original. Hay dos tipos básicos de resinas de intercambio iónico: las resinas catiónicas que son las que intercambian cationes y las resinas anódicas que intercambian aniones. Las resinas de Intercambio de iones modernas son preparadas de polímeros sintéticos que han sido sulfonatados para formar unos intercambios de cationes fuertemente ácidos o aminatados para formar intercambios de aniones fuertemente básicos o débilmente básicos.<sup>[38][39]</sup>

La tecnología de intercambio iónico puede ser usada en el tratamiento de aguas primero porque las resinas de intercambio de catión solas se pueden emplear para suavizar el agua por intercambio base, las resinas de intercambio anión solas pueden ser utilizadas para escarbar o eliminar nitrato y finalmente las combinaciones resinas de intercambio de cationes y aniones pueden ser utilizadas para eliminar virtualmente todas las impurezas iónicas presentes en el agua cruda a través de un proceso conocido como des ionización.<sup>[39]</sup>

#### **3.5.5 Ultrafiltración**

Es una tecnología elaborada para detener de forma absoluta los sólidos en suspensión, el tamaño de los poros de las membranas varía entre los 0.001 a 0.02 micras. En la

ultrafiltración el influente es conducido al sistema por baja presión, donde membranas especiales de alta resistencia lo reciben para deliberarlo de materiales de alto peso molecular y sólidos suspendidos. Los fluidos viajan por la superficie de las membranas en forma horizontal a muy alta velocidad impidiendo la formación de lodos que obstaculicen y le resten eficiencia a las membranas. Los sistemas de ultrafiltración son capaces de remover por encima del 90% de los contaminantes, esto significa reducir costos de disposición y/o reciclado hasta de un 10%. Requiere un mínimo de energía para su funcionamiento y poca atención del operador. Son de capacidad variable, ya que van de 50 a 180,000 gpd. Remueve aceite emulsionado, refrigerantes, sólidos suspendidos. <sup>[40]</sup>

Algunos autores mencionan que la ultrafiltración trabajando de manera conjunta con algunos tratamientos fisicoquímicos es una opción tecnológica y económicamente factible par el tratamiento de las aguas residuales provenientes de la industria, como los estudios realizados por Bes-Pia para el reuso del agua residual de la industria textil <sup>[6]</sup> y tal es el caso del estudios de la importancia de las membranas utilizadas en el reciclado de agua en San Francisco California<sup>[7]</sup>. Nakhla y sus colaboradores <sup>[41]</sup> han combinado el uso de membranas con procesos de tratamientos biológicos realizando pilotos para el tratamiento de aguas residuales de procesos de alimentos obteniendo una eficiencia del 95 al 99% en condiciones de vacío.

### 3.5.6 Nanofiltración

La nanofiltración es un proceso de filtración por membranas, operan bajo presión y retiene solutos de bajo peso, pero las sales pasan, total o parcialmente, a través de la membrana con el filtrado. Esto provee un rango de selectividad entre las membranas de Ultrafiltración y Osmosis Inversa, permitiendo simultáneamente concentración y desalado de solutos orgánicos. Las membranas son ciertamente selectivas ya que retienen solutos que la ultrafiltración deja pasar pero deja pasar sales que la osmosis inversa retendría, permite el paso libre de iones monovalentes y reduce el gradiente del incremento de la presión osmótica lo cual se resume en que se obtiene una mayor cantidad de producto permeado. <sup>[40]</sup>

Debido a sus características, muchos investigadores han incluido la nanofiltración en sus experimentos. Un estudio realizado por Mendoza-Roca <sup>[42]</sup> comparó el tratamiento mediante nanofiltración con ozonificación para el agua residual biológicamente tratada procedente de la industrial textil y poder reciclarla después del tratamiento.

### **3.5.7 Osmosis Inversa**

La osmosis inversa consiste en forzar al agua a cruzar una membrana semipermeable ejerciendo una muy alta presión. La membrana tiene la función de dejar prácticamente todas las impurezas, moléculas de la sal, bacterias y los virus. Una de las aplicaciones mas comunes de la osmosis inversa se encuentra el reciclaje y medio ambiente, el tratamiento del agua para potabilización y desalinización. El flujo de agua se conduce a las membranas semi-permeables, para pasar de un estado de alta concentración, a un estado bajo con una eficiencia de hasta el 95.5% pues la membrana solo permite el paso de la molécula de agua, la mayoría de las veces, el equipo de Osmosis Inversa es la parte final del Sistema de Tratamiento de Aguas. <sup>[29][40]</sup>

## **CAPITULO IV METODOLOGIA**

### **4.1 Establecer los puntos de muestreo**

El primer paso para realizar el diagnóstico de la calidad del agua que es desechada por el proceso de deshidratación del crudo en el circuito Tamaulipas-Constituciones en Altamira y de la planta de Cacalilao Veracruz es situar cuales son los puntos mas sensibles y que pueden dar la información necesaria para conocer el escenario actual de este proceso.

Cada punto de muestreo se encuentra estratégicamente colocado para obtener información acerca de algún sitio en especial, también indican si las sustancias encontradas en el agua proceden del origen del agua cruda utilizada, si se producen en alguna sección específica del sistema, si son causa del mal funcionamiento de algún equipo y al mismo tiempo localizar los desperfectos o las fallas. Además podemos examinar cuales son los mejores sitios para montar un determinado tipo de tratamiento y los ajustes que se necesario realizar.

### **4.2 Describir el sitio de muestreo**

Esta sección describe cada una de las áreas de muestreo, el equipo y las herramientas necesarias para la recolección de las muestras de agua, también describe algunos problemas relevantes encontrados en cada una de estas instalaciones. En la tabla 4.1 se observa la notación de los puntos de muestreo establecidos para la recolección de muestras a lo largo del circuito de PEP Altamira.

Punto	Nombre	Ubicación
SEP	Separador	Planta Deshidratadora
TGB-51	Tanque deshidratador TGB-51	Planta Deshidratadora
TGB-163	Tanque deshidratador TGB-163	Planta Deshidratadora
TV-106	Tanque de balance TV-106	Planta Deshidratadora
TV-145	Tanque de balance TV-145	Planta Deshidratadora
TV-153	Tanque de balance TV-153	Planta Deshidratadora
API Comp I	Presa API primer compartimiento	Presa API Planta Deshidratadora
API Comp II	Presa API segundo compartimiento	Presa API Planta Deshidratadora
AR Cárcamo	Cárcamo de Batería Arenque	Batería Arenque
AR	Tanque deshidratador Batería Arenque	Batería Arenque
CR Desc	Descarga de llegada	Centro de Recolección
CR agua Clr	Compartimiento de agua clara	Centro de Recolección
PI cisterna	Cisterna de llegada	Planta de Inyección
PI Ent CHA	Entrada de agua del Champayán	Planta de Inyección
PI Salida	Recirculación de agua hacia los pozos	Planta de Inyección
CHA	Laguna del Champayán	Laguna del Champayán

Tabla 4.1 Descripción de los puntos establecidos para la recolección de especímenes en el circuito Altamira

La tabla 4.2 muestra los puntos de muestreo establecidos en la planta de Cacalilao y cuatro lagunas artificiales de propietarios particulares que se utiliza como bebederos de ganado y otros animales.

Punto	Nombre	Ubicación
C Carc	Cárcamo Planta de Cacalilao	Planta Cacalilao Veracruz
C API	Presa API Planta Cacalilao	Planta Cacalilao Veracruz
C L1	Laguna 1 Planta Cacalilao	Planta Cacalilao Veracruz
C L2	Laguna 2 Cacalilao	Terrenos de dueño particular
C L3	Laguna 3 Cacalilao	Terrenos de dueño particular
C L4	Laguna 4 Cacalilao	Terrenos de dueño particular

Tabla 4.2 Descripción de los puntos establecidos para la recolección de muestras en Cacalilao Veracruz

#### 4.2.1 Circuito Tamaulipas-Constituciones en Altamira Tamaulipas.

Este sistema se divide en tres partes principales: Planta Deshidratadora, Centro de Recolección de Agua y Planta de Inyección de Agua.

La planta deshidratadora de crudo se encuentra localizada en la parte noroeste de la ciudad de Altamira Tamaulipas. En esta primera parte del proceso se lleva a cabo la eliminación del agua que se encuentra mezclada con el petróleo crudo debido a la inyección de agua a los pozos petroleros para aumentar su producción. Este proceso se compone de distintos equipos cada uno con condiciones específicas.

La mezcla agua/crudo/gas llega desde los diferentes campos de producción, con una presión de 2 a 8 Kg/cm<sup>2</sup> una temperatura de 30°C, 47% de agua y un volumen bruto de 22 000 barriles por día (BPD).

La primera etapa es el separador de agua libre (**SEP**), en el cual se separa el agua por acción física y la concentración de agua se reduce a un 8 o 12 %, no hay calentamiento por lo tanto la temperatura en el separador es de 30°C, el gas que es separado se envía a un quemador, el agua que es eliminada se dirige hacia las presas API y la mezcla agua/crudo continúa al siguiente paso que es calentamiento primario.



**Figura 4.1** Separador de agua libre localizado al principio del proceso de deshidratación del crudo en Campos Tamaulipas de PEP Altamira.

Los tanques **TGB-51** y **TGB-163** o tanques deshidratadores, son calentados por medio de un serpentín, después del calentamiento primario donde su temperatura asciende hasta los 60-80°C. El tanque deshidratador tiene una capacidad de 55 000 barriles, la temperatura se encuentra entre los 48 y 60°C, con estas condiciones se elimina el agua formando un lecho de 2 metros de altura en el fondo del tanque de donde es enviado como agua de desecho a las presas API. El porcentaje de agua del crudo debe ser menor al 1% para su exportación.

El último paso de la deshidratación del petróleo es enviar el crudo a los tanques de balance **TV-145**, **TV-153** y **TV-106**, los primeros con una capacidad de 7000 barriles y el último de 12000. En esta parte se almacena el crudo sin calentamiento y permanece en reposo antes de ser bombeado hacia la Refinería Francisco I. Madero para ser exportado. En esta fase del proceso también existe la eliminación de agua debido a la decantación. La temperatura de entrada de los tanques es en promedio de 60°C y a la salida se enfría hasta 45°C. El por ciento de humedad se reduce hasta un 0.5% y el agua que es desechada se envía directamente a las presas API.



**Figura 4.2.** Tanques de balance donde se elimina el agua restante en el crudo hasta llegar a un máximo de 1% de humedad.

Como se ha observado, todos estos equipos envían el agua residual a las presas API, como es de esperarse el agua que llega a las presas no solo contiene gran variedad de sustancias disueltas y suspendidas, también se desecha parte del crudo durante la eliminación de agua, el cual va a dar en pequeñas cantidades a las presas API pero debido a sus características es acumulado tanto en la superficie como en los alrededores de las instalaciones.



**Figura 4.3** Presa API. Recibe el agua que es drenada de los tanques deshidratadores, los tanques de balance y el Separador de agua libre.

La Presa API se integra por dos compartimientos en uso. El primero, conocido como **API Comp I**, que recibe las descargas de los tanques deshidratadores y los tanques de balance, el aceite que se encuentra en la parte superior del agua es succionado por un dispositivo en forma de caña y dependiendo de la calidad del aceite es regresado al proceso de deshidratación, mientras el agua pasa al siguiente compartimiento (**API Comp II**). Este segundo compartimiento recibe directamente las descargas del separador de agua libre (**SEP**). El agua contenida en la Presa API es constantemente bombeada hacia el Centro de Recolección.



**Figura 4.4** Vista Frontal del primer compartimiento de la presa API de la planta deshidratadora

CPG Arenque es una batería de separación ubicada en la zona del Boulevard Costero de Ciudad Madero a un costado de Refinería Madero donde llega la mezcla de agua/crudo/gas proveniente de las plataformas arenque. En la zona e Batería Arenque (**AR**) se sigue el mismo proceso con los tanques de deshidratadores y de balance, el agua es desechada a un cárcamo (**AR cárcamo**) y de ahí es bombeada hasta el Centro de Recolección en Altamira. Es importante mencionar que la densidad del aceite que se maneja en esta zona es menor que el que se maneja en Constituciones.

El Centro de Recolección de agua (CR), como su nombre lo indica, se encarga de recibir el agua residual de los procesos de deshidratación y balance de la planta deshidratadora, batería Arenque y baterías Constituciones. El agua que arriba de los distintos sitios es recolectada por un cárcamo y vertida al primer compartimiento (**CR Desc**) de la presa API del Centro de Recolección, al igual que en las presas de la planta deshidratadora, el agua que llega tiene pequeñas cantidades de aceite que pueden observarse físicamente en la parte superior del agua. La segunda parte de la presa consiste en el compartimiento donde se encuentra el “agua clara”(**CR Agua Clr**), es decir el agua a la cual se le ha retirado una parte del aceite que se observa en el primer compartimiento y por medio de bombas es enviada hacia la Planta de Inyección a través de 2 bombas de las

cuales solamente una se encuentra en operación trabajando con una presión de 13 a 15  $\text{kgcm}^{-2}$  y manejando un volumen de 11 700 barriles por día.

La Planta de Inyección de agua (PI) recibe el agua proveniente del centro de recolección y se encarga de bombear el agua hasta los pozos de inyección. A la entrada de la planta se encuentra una Cisterna (**PI Cis**) que se encarga de distribuir el flujo de agua a las bombas de inyección. Parte del agua proveniente del CR se mezcla con agua cruda que es tomada de la Laguna del Champayán (**PI Ent Cha**), la mezcla que sale de la Planta de Inyección (**PI Salida**) se bombea a los 56 pozos de recuperación secundaria que se encuentran actualmente operando, trabajando con un volumen de 39 000 barriles por día a una presión de  $113\text{kgcm}^{-2}$ . El resto de agua contaminada que proviene del CR y que no es usada para la recuperación secundaria se vierte en los 10 pozos letrina existentes, con un volumen de 10 600 barriles por día trabajando a una presión de  $132\text{kgcm}^{-2}$ .

La Laguna del Champayán (**CHA**) es la principal fuente abastecedora de la ciudad de Altamira, PEP también surte sus necesidades de agua directamente de la Laguna del Champayán, en la parte lateral de la Planta de Inyección de agua se encuentra la toma donde se suministra el agua que llega desde la Laguna del Champayán (**PI Ent CHA**), consiste de 2 bombas que trabajan a una presión 3 - 4  $\text{kgcm}^{-2}$  y manejan un volumen de 42 000 barriles por día.

Tomar muestras directamente de la laguna del Champayán (**CHA**), que consisten en la recolección de tres muestras simples ubicadas en distintas partes de la Laguna del Champayán. La primera muestra (CHA-A) se colectó en la zona de bombeo hacia la planta de inyección, (CHA-B) la segunda muestra fue tomada a 100 metros de la primera en la zona de muelles, y finalmente la tercera muestra (CHA-C) se tomó a 200 metros de la zona de muelles. Se considera como resultado del punto CHA al promedio de las tres muestras colectadas de manera individual en los distintos sitios de la Laguna del Champayán.

#### 4.2.2 Cacalilao Veracruz

La zona de trabajo ubicada en Cacalilao Veracruz se divide en dos partes importantes, la primera es en la zona de la Planta deshidratadora de Cacalilao y la segunda un grupo de lagunas artificiales ubicadas en las zonas aledañas de la planta. La metodología de muestreo en las lagunas varía ligeramente a la utilizada para las presas API.

El primer punto de muestreo dentro de la planta se ubica en el cárcamo (**C carc**) que recibe el agua que es descargada de los tanques de sedimentación y balance, esta agua llega hasta la presa API (**C API**) ubicada en la parte mas lejana de la planta y cerca de las lagunas artificiales en terrenos particulares.

La primera laguna (**C L1**) se encuentra ubicada dentro de los terrenos particulares de la planta de Cacalilao, esta en forma de estanque que en tiempos de lluvia adquiere mayor nivel. Para este punto se establecen tomar tres replicas con base a su mediano tamaño y poca profundidad. [45][46][47][NMX-AA-003-SCFI-2006]



Figura 4.5 Laguna/estanque ubicada dentro de la Planta de Cacalilao Veracruz.

La segunda laguna (C L2) se encuentra en el terreno junto a la planta, es de 18 metros de largo y 10 metros de ancho aproximadamente y con una profundidad de 70 cm en promedio. A consecuencia de esto se decidió ubicar 4 puntos simples para obtener resultados homogéneos y representativos de toda la zona de la laguna. [45][46][47][NMX-AA-003-SCFI-2006]



**Figura 4.6** Laguna 2 (C L2) ubicada justo detrás de la presa API de la Panta Cacalilao Veracruz

La tercera (C L3) y cuarta (C L4) laguna están ubicadas alrededor de 100 metros tras la planta, son del mismo propietario y se utilizan como bebederos para ganado y otros animales. La laguna 3 (C L3) es de una extensión aproximada de 15m de largo por 6m de ancho y con una profundidad de 80 cm, basados en estas condiciones tres muestras son suficientes para obtener resultados representativos de la calidad del agua de la laguna 3. La laguna 4 (C L4) es de mucho menos tamaño que las primeras tres, con aproximadamente 6 m de largo y 5 m de ancho con tan solo 40 cm de profundidad, donde se lograron ubicar solamente dos puntos de muestreo. [45][46][47][NMX-AA-003-SCFI-2006]



**Figura 4.7** A la izquierda, laguna 3 (C L3) de mayor profundidad y con agua ligeramente salada. A la derecha, laguna 4 (C L4) muy pequeña en comparación con las primeras tres, nivel muy bajo y con ligero olor a estiércol.

### 4.3. Tomar las muestras

Para poder efectuar un estudio estadístico de los resultados coleccionar tres replicas de cada punto para cada análisis. Considerar como resultado válido el promedio aritmético de las tres lecturas obtenidas. En el caso de las lagunas en numero de replicas varia con el tamaño y profundidad de la laguna. <sup>[45][46][48]</sup>

En los tanques deshidratadores como en los tanques de balance tomar el agua de las purgas de la tubería por la cual se desecha el agua, en la Presa API y en el Centro de Recolección coleccionar directamente el agua con ayuda de una cubeta o un muestreador, en la Planta de Inyección recolectar el agua de la cisterna de la purga antes de la zona de bombeo al igual que el agua que sale de la planta de inyección rumbo a los pozos de inyección, tomar la primera muestra del agua de la laguna del Champayán dentro de la planta de inyección en una purga junto al tanque donde se bombea el agua para ser mezclada con el agua que fue recuperada durante el proceso, y la segunda parte directamente de tres puntos distintos en la laguna del Champayán.

Debido a que en cada tipo de análisis es necesario llevar a cabo una metodología distinta, desde los recipientes para la colección, el tratamiento de las muestras y el examen de laboratorio para cada parámetro a estudiar, para un mejor manejo separar la recolección

y conservación de las muestras en cinco grandes grupos que son: análisis, fisicoquímicos variados, dureza, DQO, grasas y aceites y microbiología.

Antes de recolectar una muestra es necesario ambientar el material y los recipientes que vayan a ser utilizados durante el muestreo. Consiste en lavar el recipiente con un poco de agua del muestreo, agitar y desechar al agua en otro sitio cercano, nunca dentro del área del muestreo. El objetivo es no llevar contaminantes o sustancias extrañas de un punto a otro o que se encuentren dentro de los recipientes como residuos de agua o reactivos.

Los recipientes utilizados para la recolección de las muestras se pueden observar en la figura 4.8.

Al coleccionar los parámetros fisicoquímicos se utiliza un recipiente de plástico de 1 galón de capacidad, no es necesario administrar ninguna sustancia para la preservación de la muestra.

El recipiente para DQO es de plástico color café oscuro con capacidad de 250 ml, añadir 2 ml de ácido sulfúrico concentrado para conservar la muestra. [NMX-AA-SCFI-030-2001]

En un recipiente de plástico con capacidad de un litro coleccionar las muestras para dureza, añadir 2 ml de ácido nítrico para su preservación. [NMX-AA-SCFI-072-2002]

Durante la recolección de la muestra de agua para el análisis de grasas y aceites no debe ser ambientado el material, ya que este proceso afecta el resultado cuantitativo del parámetro deseado, el recipiente es de vidrio con tapa de polipropileno, para evitar que contenga alguna sustancia que afecte la representatividad del análisis el frasco debe ser enjuagado con hexano para eliminar las grasas y secar una hora en la estufa de vacío. Tomar la muestra de la superficie del agua y no más de 20 cm de profundidad, alejado de las turbulencias y añadir 2 ml de ácido clorhídrico para conservar la muestra. [NMX-AA-SCFI-2000]



Figura 4.8 Recipientes utilizados para recolectar muestras de agua.

Para recolectar muestras de microbiología utilizar bolsas de plástico marca Nasco estériles y sin conservador. Romper el sello de la bolsa, llenar la bolsita hasta tres cuartas parte de su capacidad y cerrar procurando que quede una burbuja de aire dentro de la bolsa como se muestra en la figura 4.9. Colocar inmediatamente las muestras en una hielera fría para su conservación. Para obtener resultados representativos no debe de ambientarse las bolsas para la recolección de la muestra.



Figura 4.9 Muestras para los parámetros microbiológicos.

Etiquetar todas las muestras con la clave del punto de muestreo, número de réplica y análisis a realizar para cada recipiente. Anotar todas las observaciones ocurridas en el momento y zona del muestreo en una libreta de campo incluyendo el pH de cada muestra.

En la figura 4.10 se observa la recolección de una muestra en el tanque de deshidratación TGB-163.



**Figura. 4.10** Recolección de una muestra para grasas y aceites en el tanque deshidratador TGB-163

Colocar las muestras en una hielera con agua fría mientras se realiza el muestreo en otras zonas y para su transporte hacia laboratorio como se muestra en la figura 4.11. Una vez ingresadas las muestras en el laboratorio, conservar a 4°C hasta el momento de su análisis.



**Figura 4.11** Conjunto de muestras colectadas de la Planta de Deshidratación, etiquetadas y listas para ser transportadas hacia el laboratorio.

#### 4.4 Métodos de análisis

Realizar la recolección de las muestras y los análisis cuantitativos y cualitativos de acuerdo a los métodos que establecen las Normas Oficiales Mexicanas.

La NOM-001-SEMARNAT-2000 establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales en bienes y aguas nacionales. Esta norma se toma como base para escoger los parámetros a estudiar y para determinar la metodología de los análisis.

La NOM-003-SEMARNAT-1997 establece los límites máximos permisibles de contaminantes para las aguas residuales tratadas que se reusen en servicios al público

La NOM-CCA-003-ECOL-1993 establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales a cuerpos receptores provenientes de la industria de refinación de petróleo y petroquímica, se toma como norma de referencia secundaria.

La NMX-AA-003-SCFI-2006 establece los lineamientos generales y recomendaciones para muestrear las descargas de aguas residuales, con el fin de determinar sus características físicas y químicas.

#### 4.4.1 Dureza

La norma mexicana NMX-AA-072-SCFI-2002 establece el método de prueba para la determinación de la dureza total en aguas residuales y residuales tratadas.

El método se basa en la formación de complejos por la sal di sódica del ácido etilendiaminetetraacético con los iones calcio y magnesio, la cual consiste en una valoración visual del punto final. El negro de eriocromo T, que es de color rojo en la presencia de calcio y magnesio, vira a azul cuando el calcio y magnesio se encuentran acomplejados o ausentes. El complejo EDTA con el calcio y el magnesio es más fuerte que el de negro de eriocromo T, de manera que la competencia por los iones se desplaza hacia la formación de los complejos con EDTA desapareciendo el color rojo de la disolución y tornándose azul.

Acidificar la muestra con 2 ml de ácido nítrico hasta pH 2 o menor inmediatamente después de la recolección y mantener la muestra en refrigeración a 4°C hasta el momento del análisis.

Realizar la titulación colocando 50 ml de muestra en un matraz Erlenmeyer de 250 ml. Añadir 1 ml de disolución amortiguadora para alcanzar un pH de 10.0 y añadir 0.2 gramos del indicador eriocromo negro T. La muestra debe tomar un color vino rojizo. Titular con la disolución de EDTA 0.01 M agitando continuamente hasta que desaparezcan los últimos matices rojizos. Añadir las últimas gotas con intervalos de 3 a 5 segundos, observar que la muestra cambia de color rojizo a azul.

Calcular la dureza total como:

$$\text{Dureza total expresada como CaCO}_3 \text{ (mgL}^{-1}\text{)} = (A-B) * C * V$$

Donde:

A= ml de EDTA gastados en la titulación de la muestra

B= ml de EDTA gastados en la titulación del blanco

C= mg de CaCO<sub>3</sub> equivalentes a 1 ml de EDTA

V= volumen de la muestra (ml)

#### 4.4.2 Cloruros

La norma mexicana NMX-AA-073-SCFI-2001 establece el método de prueba para la determinación de cloruros totales en aguas residuales y residuales tratadas.

El método se basa en la valoración con nitrato de plata utilizando cromato de potasio como indicador. La plata reacciona con los cloruros para formar un precipitado de cloruro de plata de color blanco. La formación de cromato de plata puede identificarse por el cambio de color de la disolución a anaranjado-rojizo así como en la formación del precipitado.

Preservar la muestra a 4°C hasta su análisis el cual no deberá de ser de mas de una semana.

Acondicionar la muestra de la siguiente manera: utilizar un volumen de muestra de 100ml, ajustar el pH entre 7 y 10 utilizando disoluciones de hidróxido de sodio 0.1N o ácido sulfúrico 0.1N según sea necesario.

Disolución indicadora de cromato de potasio: Pesar 50 gramos de cromato de potasio y disolver en 500 ml de agua, añadir disolución patrón de nitrato de plata hasta que se produzca un precipitado rojo claro. Proteger la disolución de la luz y dejar estabilizar durante 24 horas después de la adición de la disolución de nitrato de plata. Filtrar la disolución para remover el precipitado y aforar a 1 litro con agua.

A la muestra ya acondicionada adicionar 1 ml de disolución indicadora de cromato de potasio, titular con la disolución patrón de nitrato de plata hasta el vire de amarillo a naranja rojizo, manteniendo un criterio constante en el punto final

Calcular la concentración de iones Cloruro  $\text{mgL}^{-1}$  como:

$$\text{Cl}(\text{mgL}^{-1}) = [(A - B) \times N \times 35,450] / V$$

Donde:

A= ml de disolución de nitrato de plata gastados en la valoración de la muestra

B= ml de disolución de nitrato de plata gastados en la valoración del blanco

N= normalidad del nitrato de plata

V= volumen de la muestra en ml

#### 4.4.3 Sulfatos

La norma mexicana NMX-AA-073-1981 establece el método de prueba para la determinación del ion sulfato en aguas residuales y residuales tratadas.

El principio de este método se basa en El ion sulfato se precipita y se pesa como sulfato de bario después de eliminar la sílice y materia insoluble.

Conservar la muestra a  $4^{\circ}\text{C}$  hasta su análisis.

Eliminación de sílice: Si la concentración de sílice excede de  $25 \text{ mgL}^{-1}$  evaporar la muestra a sequedad en una cápsula de platino en un baño de vapor, agregar 1 ml de ácido fluorhídrico concentrado, inclinar la cápsula y rotar hasta que el ácido esté en contacto con el residuo. Continuar con la evaporación a sequedad, completar el secado en un horno a  $180^{\circ}\text{C}$  y si está presente la materia orgánica, carbonizarla a la flama de un mechero. Dejar enfriar y humedecer el residuo con 2ml de agua y 1 ml de ácido fluorhídrico, evaporar a sequedad en un baño de vapor. Añadir 2 ml de ácido fluorhídrico y llevar el residuo soluble en agua caliente y filtrar. Lavar la sílice insoluble con porciones pequeñas de agua caliente, continuar los filtrados y lavar.

En caso de que la muestra tuviera una concentración menor de  $25 \text{ mgL}^{-1}$  de sílice, efectuar el procedimiento anterior sin la adición de ácido fluorhídrico. Pasarla directamente de la flama del mechero a una mufla a  $800^\circ\text{C}$  durante una hora.

Transferir con pipeta volumétrica a un vaso de precipitados, un volumen de muestra clarificada que contenga no más de 50 mg de ión sulfato y ajustar a un volumen de 250ml, llevar a un pH de 4.5 - 5.0 con la solución de ácido clorhídrico 1:1, usando un potenciómetro. Adicionar de 2 ml de la solución de ácido clorhídrico 1:1, calentar la solución a ebullición y agitar lentamente, agregar lentamente solución de cloruro de bario caliente hasta que la precipitación sea completa. Añadir 2 ml en exceso de la solución de cloruro de bario. Si la cantidad de precipitado es pequeña, agregar un total de 5 ml de solución de cloruro de bario. Digerir el precipitado ( $80^\circ\text{C}$  -  $90^\circ\text{C}$ ) no menos de 2 horas.

Mezclar una pequeña cantidad de la pulpa del papel filtro de cenizas conocidas con el precipitado de sulfato de bario y filtrar a temperatura ambiente. La filtración de la pulpa facilita y reduce la tendencia del precipitado a separarse. Lavar el precipitado con porciones pequeñas de agua caliente, para que los lavados estén libres de cloruros y hasta que 10 ml de las aguas de lavado no produzcan turbiedad al adicionarles 1 ml del reactivo de nitrato de plata ácido nítrico.

Secar el papel filtro y precipitado en estufa, pasar a un mechero evitando que el papel filtro se inflame y posteriormente llevar a una mufla a  $800^\circ\text{C}$  durante una hora. Enfriar en el desecador y pesar.

Calcular la concentración de iones sulfato  $\text{mgL}^{-1}$  como:

$$\text{mgL}^{-1} \text{ de SO}_4 = [A * 0.4115 * 1000] / V$$

Donde:

A= Peso del sulfato de bario en mg

V= Volumen de la muestra original en ml

#### 4.4.4 Sólidos Totales

La norma mexicana NMX-AA-034-SCFI-2001 establece el método de prueba para la determinación de sólidos y sales disueltas en aguas naturales, residuales y residuales tratadas.

El principio de este método se basa en la medición cuantitativa de los sólidos y sales disueltas así como la cantidad de materia orgánica contenidos en aguas naturales y residuales, mediante la evaporación y calcinación de la muestra filtrada o no, en su caso, a temperaturas específicas, en donde los residuos son pesados y sirven de base para el cálculo del contenido de estos.

Preservar la muestra a 4°C hasta su análisis. El tiempo máximo de almacenamiento previo al análisis es de 7 días. Sin embargo, se recomienda realizar el análisis dentro de las 24 horas posteriores a su colecta. Las muestras deben estar a temperatura ambiente al momento del análisis.

Preparar las cápsulas de porcelana: Las cápsulas se introducen a la mufla a una temperatura de 550°C durante 30 min. Transferir a la estufa a 103°C - 105°C durante 20 minutos. Sacar y enfriar a temperatura ambiente dentro de un desecador, pesar las cápsulas. Repetir el ciclo hasta alcanzar el peso constante.

Preparación de crisoles Gooch: Introducir un filtro de fibra de vidrio dentro de cada crisol con la cara rugosa hacia arriba, mojar el filtro con agua para asegurar que se adhiera al fondo del crisol. Introducir los crisoles a la mufla a 550° durante 30 min como mínimo. Transferir a la estufa a 103°C - 105°C 20 minutos. Sacar y enfriar a temperatura ambiente dentro de un desecador. Pesar los crisoles y repetir el ciclo hasta alcanzar el peso constante.

Preparación de la muestra: Sacar las muestras del sistema de refrigeración y permitir que alcancen la temperatura ambiente. Agitar las muestras para asegurar la homogeneización de la muestra.

Determinación para sólidos totales (ST): En función de la cantidad de sólidos probables tomar 100 ml de muestra. Transferir la muestra a la cápsula de porcelana que previamente ha sido puesta a peso constante, llevar a sequedad la muestra en la estufa a 103°C-105°C. Enfriar en desecador hasta temperatura ambiente y determinar su peso hasta alcanzar peso constante. Registrar como peso G1.

Determinación para sólidos totales volátiles (SVT): Introducir la cápsula conteniendo el residuo a la mufla a 550°C durante 20 min, transferir la cápsula a la estufa a 103°C - 105°C por 20 min, sacar la cápsula, enfriar a temperatura ambiente en desecador y determinar su peso hasta alcanzar peso constante. Registrar como peso G2.

Determinación de los sólidos suspendidos totales (SST): Medir con una probeta, un volumen de 100 ml de muestra previamente homogeneizada. Filtrar la muestra a través del crisol Gooch preparado anteriormente aplicando vacío, lavar el disco tres veces con 10 ml de agua destilada, dejando que el agua drene totalmente en cada lavado. Suspender el vacío y secar el crisol en la estufa a una temperatura de 103°C a 105°C durante 1 hora aproximadamente. Sacar el crisol, dejar enfriar en un desecador a temperatura ambiente y determinar su peso hasta alcanzar peso constante registrar como peso G4.

Determinación de sólidos suspendidos totales (SST): Introducir el crisol que contiene el residuo y el disco a la mufla, a una temperatura de 550°C durante 20 minutos. Sacar el crisol de la mufla e introducirlo a la estufa a una temperatura de 103°C - 105°C durante 20 minutos. Sacar y enfriar a temperatura ambiente en desecador y determinar su peso hasta alcanzar peso constante. Registrar como peso G5.

Sólidos disueltos totales (SDT): determinar por diferencia entre los sólidos totales menos sólidos suspendidos totales.

Calcular la concentración de los sólidos de la siguiente manera:

$$ST = (G1 - G) * 1000 / V$$

Donde:

ST = sólidos totales, en mgL<sup>-1</sup>

G1= peso de la cápsula con el residuo, después de la evaporación en mg

G = peso de la cápsula vacía en mg y a peso constante

V= volumen de muestra en ml

$$SVT = (G1 - G2) * 1\ 000 / V$$

Donde:

SVT = materia orgánica total en  $\text{mgL}^{-1}$

G2 = peso de la cápsula con el residuo después de la calcinación en mg

V = volumen de muestra en ml

$$SST = (G4 - G3) * 1\ 000 / V$$

Donde:

SST = sólidos suspendidos totales en  $\text{mgL}^{-1}$

G3 = peso del crisol con el disco a peso constante en mg

G4 = peso del crisol con el disco y el residuo seco en mg

V= volumen de muestra en ml

$$SST = (G4 - G5) * 1\ 000 / V$$

Donde:

SST= sólidos suspendidos totales en  $\text{mgL}^{-1}$

G5= peso del crisol con el residuo después de la calcinación en mg

V = volumen de muestra en ml

$$SDT = ST - SST$$

Donde:

SDT = sólidos disueltos totales en  $\text{mgL}^{-1}$

ST = sólidos totales en  $\text{mgL}^{-1}$

SST = sólidos suspendidos totales en  $\text{mgL}^{-1}$

#### **4.4.5. Turbidez**

La norma NMX-AA-038-SCFI-2001 establece el método de prueba para la determinación de la turbidez en aguas residuales y residuales tratadas.

Este método se basa en la comparación entre la intensidad de la luz dispersada por la muestra bajo condiciones definidas y la intensidad de luz dispersada por una suspensión de referencia bajo las mismas condiciones; a mayor dispersión de luz corresponde una mayor turbiedad. Las lecturas son realizadas empleando un turbidímetro calibrado con una suspensión de referencia de formacina preparada bajo condiciones específicas. La turbiedad de una suspensión de concentración específica de formacina se define como el equivalente a 40 NTU, esta suspensión tiene una turbiedad aproximada de 40 unidades Jackson si se determina en el turbidímetro de bujía, por lo tanto las unidades nefelométricas basadas en el empleo de formacina se aproximarán a las unidades del turbidímetro de bujía pero no serán idénticas. El aparato empleado en esta determinación consiste en un nefelómetro con una fuente de luz para iluminar la muestra y uno o varios detectores fotoeléctricos con un dispositivo de lectura exterior para indicar la intensidad de la luz dispersada a 90° de la dirección del haz de luz incidente.

No agregar ninguna sustancia a muestra para preservarla, debe mantenerse en refrigeración a 4°C. Analizar en un tiempo no mayor de 24 horas.

Si la muestra se encuentra en refrigeración, permitir que alcance la temperatura ambiente antes de realizar el análisis. Homogenizar la muestra

Encender el equipo y dejar estabilizando, revisar la calibración del equipo con uno de los estándares dentro del intervalo de trabajo. Ambientar la celda dos veces con una pequeña porción de la muestra para evitar errores por dilución. Llenar la celda.

Reemplazar la celda conteniendo la disolución patrón, por la celda que contiene la muestra por analizar y cerrar el compartimento de la celda. Leer la turbiedad de la muestra.

Si la muestra tiene una turbidez mayor de 40 NTU hacer una dilución de la muestra.

Calcular la turbiedad de la muestra original en base a la dilución realizada:

$$NTU = (A * B) / V$$

Donde:

A = NTU encontradas en la muestra;

B = volumen final en ml de la dilución realizada

V = volumen ml de muestra tomada para la dilución

#### 4.4.6 Demanda Química de Oxígeno (DQO)

La norma mexicana NMX-AA-030-SCFI-2001 establece el método de prueba para la determinación de la demanda química de oxígeno en aguas naturales, residuales y residuales tratadas.

El principio del método se basa en que una gran cantidad de compuestos orgánicos e inorgánicos son oxidados con una mezcla de ácido crómico y sulfúrico a ebullición. La muestra se coloca a reflujo en una disolución de ácido fuerte con un exceso conocido de dicromato de potasio ( $K_2Cr_2O_7$ ). Después de la digestión, el dicromato no reducido se mide por titulación para determinar la cantidad de dicromato consumido y calcular la materia oxidable en términos de oxígeno equivalente.

Adicionar 2ml de ácido sulfúrico y conservar la muestra en refrigeración a 4°C por un tiempo máximo de almacenamiento de 28 días.

Para realizar el análisis Transferir una muestra de 50 ml al matraz Erlenmeyer de 500 ml. Agregar 1 gramo sulfato mercúrico (la relación de sulfato mercúrico/cloruros debe ser 10 a 1) y algunas perlas de vidrio. Adicionar una alícuota de 25 ml de la disolución estándar de dicromato de potasio 0.041 7 M y mezclar mediante un movimiento circular. Se pueden utilizar cantidades menores de muestra conservando la proporción de los reactivos. Conectar el matraz erlenmeyer al condensador tipo Friedrich y hacer circular el agua de

enfriamiento. Por el extremo superior del condensador agregar lentamente 75ml de la disolución de ácido sulfúrico-sulfato de y agitar con movimiento circular para homogeneizar. Calentar el matraz que contiene la mezcla y mantener a reflujo durante 2 horas a partir del momento en que empieza la ebullición. Dejar enfriar y lavar el condensador con 25 ml de agua destilada. Añadir agua por el extremo superior del condensador hasta completar un volumen aproximado de 300 ml, retirar el matraz del condensador y enfriar a temperatura ambiente. Agregar 3 gotas de disolución Indicadora de 1.10 fenantrolina como indicador y titular con la disolución de sulfato ferroso amoniacal 0.25 M. Tomar como punto final el primer cambio de color de azul verdoso a café rojizo. Llevar simultáneamente un blanco preparado con agua destilada y todos los reactivos que se utilizan en el procedimiento.

La demanda química de oxígeno, expresada en mg de O<sub>2</sub> L<sup>-1</sup>, se calcula de la siguiente manera:

$$DQO = \frac{V_1 - V_2 * M * 8\ 000}{V_3}$$

Donde:

V<sub>1</sub> = volumen en ml de la disolución de sulfato ferroso amoniacal requerido para la valoración del blanco

V<sub>2</sub> = volumen en ml de la disolución de sulfato ferroso amoniacal requerido para la valoración de la muestra

V<sub>3</sub> = volumen en ml de la muestra

M= molaridad de la disolución de sulfato ferroso amoniacal utilizada en la determinación.

#### 4.4.7 Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO)

La norma mexicana NMX-AA-028-SCFI-2001 establece el método de prueba para determinar la Demanda Bioquímica de Oxígeno en aguas naturales, residuales y residuales tratadas.

El principio del método se basa en medir la cantidad de oxígeno que requieren los microorganismos para efectuar la oxidación de la materia orgánica presente en aguas naturales y residuales y se determina por la diferencia entre el oxígeno disuelto inicial y el oxígeno disuelto al cabo de cinco días de incubación a 20°C. El oxígeno disuelto (OD) se puede emplear cualquiera de los dos métodos establecidos en la norma mexicana NMX-AA-012-SCFI-2001

La muestra no se debe agregar ningún preservador, conservar a y por un tiempo no mayor a 24 horas.

Preparar las siguientes diluciones:

Disolución amortiguadora de fosfato. Pesar 8.5 gramos de fosfato monobásico de potasio, 21.75 gramos de fosfato dibásico de potasio, 33.4 gramos de fosfato dibásico de sodio heptahidratado y 1.7 gramos de cloruro de amonio, disolver en 500 ml de agua y aforar a 1 litro. El pH de la disolución debe ser de 7.2. Desechar el reactivo (o cualquiera de los siguientes reactivos) si hay algún signo de crecimiento biológico en el frasco de almacenamiento.

Disolución de sulfato de magnesio. Pesar 22.5 gramos de sulfato de magnesio heptahidratado y disolver en agua y diluir a 1 litro.

Disolución de cloruro de calcio. Pesar aproximadamente 27.5 gramos de cloruro de calcio anhídrido, disolver en agua y diluir a 1 litro.

Disolución de cloruro férrico. Pesar aproximadamente 0.25 gramos de cloruro férrico hexahidratado, disolver en agua y diluir a 1 litro.

Preparar el agua para dilución:

Colocar el volumen requerido de agua en un frasco y añadir por cada litro de agua 1 ml de cada una de las siguientes disoluciones: disolución de sulfato de magnesio disolución

de cloruro de calcio disolución de cloruro férrico y disolución amortiguadora de fosfatos. Preparar el agua de dilución diariamente. Antes de usar el agua de dilución debe ponerse a una temperatura de 20°C. Saturar con oxígeno aireando con aire filtrado, libre de materia orgánica durante 2 horas.

Si la muestra presenta alto contenido de biocidas como cloro o se sabe de su bajo contenido de materia orgánica, es necesario inocular la muestra.

Pretratamiento de la muestra:

Muestras con pH ácidos o básicos: Neutralizar las muestras a un pH entre 6.5 y 7.5 con ácido sulfúrico o hidróxido de sodio de concentración tal que la cantidad de reactivo no diluya la muestra en más del 0.5 %. El pH del agua de dilución sembrada no debe verse afectado por la dilución de la muestra.

Ajustar la temperatura de la muestra a 20°C antes de hacer diluciones

Técnica de dilución:

Las diluciones que dan lugar a un OD residual mayor de 1 mgL<sup>-1</sup> y una captación de OD de al menos 2 mgL<sup>-1</sup> después de 5 días de incubación, producen los resultados más confiables. Hacer 3 diluciones por duplicado de la muestra preparada para obtener una captación de OD en dicho intervalo. La experimentación con una muestra concreta permite el uso de un número menor de diluciones. Un análisis más rápido tal como la DQO, presenta una correlación aproximada con la DBO<sub>5</sub> y sirve como una guía para seleccionar las diluciones. En ausencia de datos previos, utilizar las siguientes diluciones: de 0 % a 1 % para los residuos industriales fuertes, de 1 % a 5 % para las aguas residuales sedimentadas y crudas, del 5 % al 25 % para el efluente tratado biológicamente y del 25% al 100 % para las aguas superficiales contaminadas.

Preparar las diluciones directamente en frascos tipo Winkler. Utilizando una pipeta volumétrica, añadir el volumen de muestra deseado a frascos Winkler individuales de 300ml. Añadir cantidades adecuadas del material de siembra a los frascos tipo Winkler o al

agua de dilución. Llenar los frascos con suficiente agua de dilución, sembrada si es necesario, de forma que la inserción del tapón desplace todo el aire, sin dejar burbujas. No realizar diluciones mayores de 1:300 (1 ml de la muestra en un frasco). Determinar el OD inicial en uno de los frascos de cada una de las diferentes diluciones. En los frascos de los duplicados de cada una de las diluciones, Ajustar herméticamente el tapón, poner un sello hidráulico y la contratapa e incubar durante 5 días a 20°C.

#### Determinación del OD inicial:

Método electrométrico: La determinación del OD inicial se realiza por medio del método electrométrico con electrodo de membrana, de acuerdo a lo establecido en la norma mexicana NMX-AA-012-SCFI. Los aceites, grasas o cualquier sustancia que se adhiera a la membrana puede ser causa de baja respuesta en el electrodo

#### Blanco del agua de dilución:

Emplear un blanco del agua de dilución como un control aproximado de la calidad del agua de dilución no sembrada y de la limpieza de los frascos de incubación. Junto con cada lote de muestras, incubar un frasco de agua de dilución no sembrada. Determinar el OD inicial y final. El consumo de OD no debe ser mayor de 0.2 mgL<sup>-1</sup> y preferentemente no menor a 0.1 mgL<sup>-1</sup>.

#### Incubación:

Incubar a 20°C las botellas de DBO<sub>5</sub> que contengan las muestras con las diluciones deseadas y el blanco de agua de dilución. En caso de no contar con contratapas, diariamente se debe verificar que el sello hidráulico esté intacto en cada botella incubada, agregar agua si es necesario.

#### Determinación del OD final:

Después de 5 días de incubación determinar el OD en las diluciones de la muestra y en los blancos, de acuerdo a lo establecido en la norma mexicana NMX-AA-012-SCFI. La medición del OD debe ser realizada inmediatamente después de destapar la botella de Winkler, para evitar la absorción de oxígeno del aire por la muestra.

Calcular la DBO<sub>5</sub> de la siguiente manera cuando no se utilice inóculo ni diluciones:

$$DBO_5 \text{ (mgL}^{-1}\text{)} = OD_i \text{ mgL}^{-1} - OD_5 \text{ mgL}^{-1}$$

Donde:

OD<sub>i</sub> mgL<sup>-1</sup> = oxígeno disuelto inicial

OD<sub>5</sub> mgL<sup>-1</sup> = oxígeno disuelto al quinto día.

Calcular la DBO<sub>5</sub> de la siguiente manera cuando se emplea una dilución:

$$DBO_5 \text{ (mgL}^{-1}\text{)} = \frac{OD_i \text{ mgL}^{-1} - OD_5 \text{ mgL}^{-1}}{\% \text{ de dilución expresado en decimales}}$$

#### 4.4.8 Grasas y aceites

La norma mexicana NMX-AA-005-SCFI-2000 que establece el método de prueba para la determinación de grasas y aceites en aguas naturales, residuales y residuales tratadas.

El principio del método se basa en la adsorción de grasas y aceites en tierra de diatomeas, los cuales son extraídos en un Soxhlet empleando hexano como disolvente. Una vez terminada la extracción se evapora el hexano y se pesa el residuo que ha quedado en el recipiente; siendo este valor el contenido de grasas y aceite.

Tomar la muestra de la superficie del cuerpo de agua con un volumen de aproximadamente 1 litro de muestra en un frasco de vidrio de boca ancha y tapa de cubierta metálica. Dado que la muestra entera se ocupa en esta prueba, no se pueden tomar alícuotas de la muestra para realizar otro tipo de análisis. En caso de existir la presencia de aceites emulsionados en el agua a muestrear, la muestra se toma de 20 a 30 centímetros de profundidad, cuando no haya mucha turbulencia para asegurar una mayor representatividad.

Preservar la muestra por acidificación con 2 ml de ácido clorhídrico 1:1 o hasta un valor de pH menor a dos y refrigerarlas a 4°C. El tiempo máximo de almacenamiento previo al análisis es de 28 días.

Preparar los matraces de extracción introduciéndolos a la estufa a una temperatura de 103°C - 105°C, enfriar en desecador y pesarlos, repetir el procedimiento hasta obtener el peso constante de cada uno de los matraces.

Preparar el material filtrante colocando un papel filtro en el embudo Büchner, colocar el embudo en un matraz Kitazato y agregar 100 ml de la suspensión de tierra de diatomeas-sílice (10grl<sup>-1</sup>) sobre el filtro, aplicar vacío y lavar con 100 ml de agua. Transferir el total de la muestra acidificada al embudo Büchner preparado aplicando vacío hasta que cese el paso de agua. Con ayuda de unas pinzas, transferir el material filtrante a un cartucho de extracción y limpiar las paredes internas del embudo y el frasco contenedor de la muestra, la parte interna de la tapa del frasco con trozos de papel filtro previamente impregnados de hexano hasta remover la película de grasa y los sólidos impregnados sobre las paredes; colocar los trozos de papel en el mismo cartucho.

Secar el cartucho en una estufa a 103°C - 105°C por de 30 minutos. Posteriormente colocar el cartucho en el equipo Soxhlet. Adicionar 100 ml de de hexano al matraz (de 125 ml de capacidad) de extracción previamente puesto a peso constante y preparar el equipo Soxhlet colocando la corneta Soxhlet sobre el matraz y el refrigerante sobre la corneta, colocar las mangueras y abrir el flujo de agua. Evitar tocar con las manos el cartucho y el matraz de extracción, para ello utilizar pinzas ó guantes de látex.

Colocar el equipo de extracción sobre la parrilla de calentamiento, controlar la temperatura del reflujo y extraer a una velocidad de 20 ciclos por hora durante un período de 4 horas. Una vez terminada la extracción retirar el matraz del equipo Soxhlet, y evaporar el disolvente.

El matraz de extracción libre de disolvente se coloca en el desecador hasta que alcance la temperatura ambiente. Pesar el matraz de extracción y determinar la concentración de grasas y aceites recuperables. Analizar un blanco de reactivo bajo las mismas condiciones de la muestra.

Calcular la cantidad de grasas y aceites de la siguiente manera:

$$G \text{ y } A \text{ (mgL}^{-1}\text{)} = (A - B) / V$$

Donde:

A = peso final del matraz de extracción en mg

B = peso inicial del matraz de extracción en mg

V= volumen de la muestra en litros.

#### 4.4.9 Alcalinidad

La norma mexicana NMX-AA-036-SCFI-2001 que establece el método de prueba para la determinación de acidez y alcalinidad de las aguas naturales, residuales y residuales tratadas.

El principio del método se basa en la medición de la alcalinidad en el agua por medio de una valoración de la muestra empleando como disolución valorante un ácido de concentración perfectamente conocida.

No agregar ningún conservador a la muestra. Evitar la agitación de la muestra y su exposición prolongada al aire. Conservar a una temperatura de 4 °C hasta su análisis. El tiempo máximo de almacenamiento es de 24 horas.

Transferir 100 ml de muestra en un matraz Erlenmeyer de 250 ml. Adicionar 2 gotas de disolución indicadora de fenolftaleína (5grl<sup>-1</sup>). Titular con la disolución valorada de ácido clorhídrico (0.02 N) hasta el vire de la fenolftaleína de rosa a incoloro, registrar los mililitros gastados (alcalinidad a la fenolftaleína). Adicionar 2 gotas de la disolución indicadora de naranja de metilo (0.5grl<sup>-1</sup>). Continuar con la titulación hasta alcanzar el vire

del naranja de metilo de canela a amarillo (alcalinidad total). Registrar los volúmenes para ambos puntos finales.

Calcular la alcalinidad total de la siguiente manera:

$$\text{Alcalinidad total como CaCO}_3 \text{ en mgL}^{-1} = \frac{A * N (50)(1\ 000)}{V}$$

Donde:

A = volumen total gastado de ácido en la titulación al vire del anaranjado de metilo en ml

N= normalidad de la disolución de ácido;

V = es el volumen de la muestra en ml

50 = factor para convertir eqL<sup>-1</sup> a mg CaCO<sub>3</sub>L<sup>-1</sup>

1 000 = factor para convertir ml a l

#### 4.4.10 Coliformes totales y fecales

La norma mexicana NMX-AA-102-SCFI-2005 establece el método para la detección y enumeración de organismos coliformes, coliformes termotolerantes (fecales) por filtración en membrana.

El método se basa en la filtración de una muestra directa o una alícuota de la muestra a través de una membrana de celulosa que retiene los organismos, colocando la membrana ya sea en un medio de cultivo selectivo de agar lactosado o en un cojinete absorbente saturado con un medio líquido lactosado. La membrana se incuba durante 24 horas ya sea a 37°C para la detección de organismos coliformes, o alternativamente a 44.0°C ± 1°C para la presencia de organismos coliformes termotolerantes. Se lleva a cabo la cuenta directa de las colonias características desarrolladas sobre la membrana, y algunas de estas colonias se resiembran para pruebas confirmativas para producción de gas e indol. Finalmente se hace el cálculo del número de organismos coliformes, organismos coliformes termotolerantes y *Escherichia coli* presuntiva que pueden estar presentes en 100 ml de la muestra.

El análisis bacteriológico de la muestra debe practicarse inmediatamente después de su recolección, es por ello que se recomienda que de no efectuarse así el análisis se incide dentro de las seis horas próximas a la recolección de la muestra y en ningún caso, este lapso debe exceder de 24 horas. Durante el periodo que transcurre del muestreo al análisis, se debe conservar la muestra a 4°C. Con objeto de inhibir la reproducción bacteriana. Colectar 100ml de muestra para el análisis de cada parámetro.

#### Filtración:

Poner en el embudo previamente 50 ml de agua de dilución estéril. Colocar las bases en la unidad filtrante y en ambiente, colocar la membrana con ayuda de las pinzas estériles. La cuadrícula de la membrana debe quedar visible. Colocar el embudo con cuidado y sujetarlo. Agitar vigorosamente la muestra, verter en el embudo y filtrar con ayuda del vacío. Enjuagar con agua de dilución estéril.

#### Transferencia de la membrana.

Después del último enjuague y terminada la filtración, quitar el embudo y con ayuda de la pinza estéril, levantar la membrana y sobreponerla una caja de Petri con medio de agar.

Para filtrar otra muestra, usar otro tipo equipo de filtración o bien desinfectar el equipo.

#### Incubación.

Invertir las cajas de Petri y colocarlas en una incubadora. Para aislar los organismos Coliformes Totales. Incubar una membrana ya sea 37°C entre 18 y 24 horas; para aislar los organismos termotolerantes incubar la otra membrana a 44 °C entre 18 y 24 horas.

El mismo tipo de medio generalmente puede usarse para ambas membranas, pero utilizar el medio MFC solamente a 44 °C y los medios Endo y LES Endo a 37°C.

Examen de las membranas:

Después de la incubación, las cajas o membranas deben examinarse inmediatamente. Si esto no es posible, almacenarse entre 4 y 5°C durante períodos cortos, siempre y cuando esto no afecte la apariencia de las colonias.

Organismos coliformes:

Examinar las membranas y contar como organismos coliformes presuntivos todas las colonias, independientemente del tamaño que muestren, que tengan las siguientes características después de su incubación a 37°C

En caldo o agar Endo: Un color rojo oscuro con brillo metálico verde - dorado.

En agar LES Endo: Un color rojo oscuro con brillo metálico verde - dorado.

Considerar como organismos coliformes termotolerantes presuntivos (coliformes fécales) todas las colonias que muestren, después de incubación a 44°C las mismas características coloniales que se describen anteriormente. Si se usa medio MFC las colonias serán de color azul.

Es importante hacer notar que las cuentas de colonias en membranas a 37°C y a 44°C son solamente resultados de coliformes presuntivos dado que no se detecta la producción de gas.

Resembrado, incubación y examen:

Para confirmar los resultados de la membrana, resembrar cada colonia o una por tubo de fermentación en agua lactosa Peptona e incubar a 36°C durante 48 h: la producción de gas durante este período confirma la presencia de organismos coliformes.

Para organismos coliformes termotolerantes y *E. coli* presuntiva en membranas resembrar cada colonia, una por tubo, en agua lactosa peptona y agua triptona e incubarlos a 44°C durante 24 h. La producción de gas en agua lactona peptona confirma la presencia de organismos coliformes termotolerantes y el desarrollo de un color rojo en la superficie

del cultivo en agua de triptona después de la adición de 0.3 ml de reactivo de Kovacs confirma la presencia de *E. coli* presuntiva.

Calcular el número de organismos coliformes, organismos coliformes fecales a partir del número de colonias características contadas en las membranas y tomando en cuenta los resultados de las pruebas confirmativas expresando el resultado como unidades formadoras de colonias en un volumen de referencia especificado en la muestra (generalmente 100 ml ó 1 ml) de acuerdo con la siguiente fórmula:

$$\frac{\text{Coliformes totales}}{\text{Volumen de referencia}} = \frac{\text{Colonias coliformes contadas por vol. de referencia}}{\text{Volumen filtrado de muestra}}$$

## CAPITULO V

### RESULTADOS EXPERIMENTALES

En este capítulo se muestran los resultados obtenidos experimentalmente de los análisis tanto fisicoquímicos como bacteriológicos y la presencia de metales en el agua que involucra el proceso de recuperación de PEP Altamira y Cacalilao Veracruz.

El sitio de trabajo de PEP Altamira, para una mejor interpretación de los resultados, se dividió en tres partes que guardan una relación entre sí. Primero la zona de la planta deshidratadora y la presa API (en color café), donde descarga el agua de la planta. El el Centro de Recolección de Agua (zona verde), donde se recibe el agua que es desechada de los procesos de deshidratación de crudo provenientes de los campos Tamaulipas-Constituciones y Batería Arenque. Finalmente la Planta de Inyección de Agua (en color azul) que es la parte donde se recibe el agua del centro de recolección y una parte se mezcla con agua cruda de la laguna del Champayán.

En Cacalilao Veracruz, la zona en color café indica la parte de la planta deshidratadora de esta localidad, mientras que la parte verde indica las lagunas artificiales que se encuentran en los alrededores de la Planta Cacalilao.

#### **5.1 Resultados Fisicoquímicos del Centro de trabajo PEP Altamira**

En las siguientes gráficas se muestran las concentraciones en miligramos por litro de cada uno de los parámetros que fueron considerados para este estudio.

En la figura 5.1 se muestran las concentraciones de la Demanda Química de Oxígeno (DQO) que representa la cantidad de oxígeno necesaria para oxidar la materia tanto orgánica como mineral, En Aguas poco contaminadas deberá ser inferior a 50 ppm, y de la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO) que indica la reducción de la cantidad de oxígeno utilizada por microorganismos en un periodo de 5 días. A título indicativo se pueden dar los siguientes parámetros: Agua Pura 0 - 20 mgL<sup>-1</sup>, Agua Levemente Contaminada 20 - 100

mgL<sup>-1</sup>, Agua Medianamente Contaminada 100 - 500 mgL<sup>-1</sup>, Agua Muy Contaminada 500 - 3000 mgL<sup>-1</sup> y Agua Extremadamente Contaminada 3000 - 5000 mgL<sup>-1</sup>.

La grafica para expresar la concentración de DQO se presenta en escala logarítmica para percibir de manera mas clara los resultados encontrados.

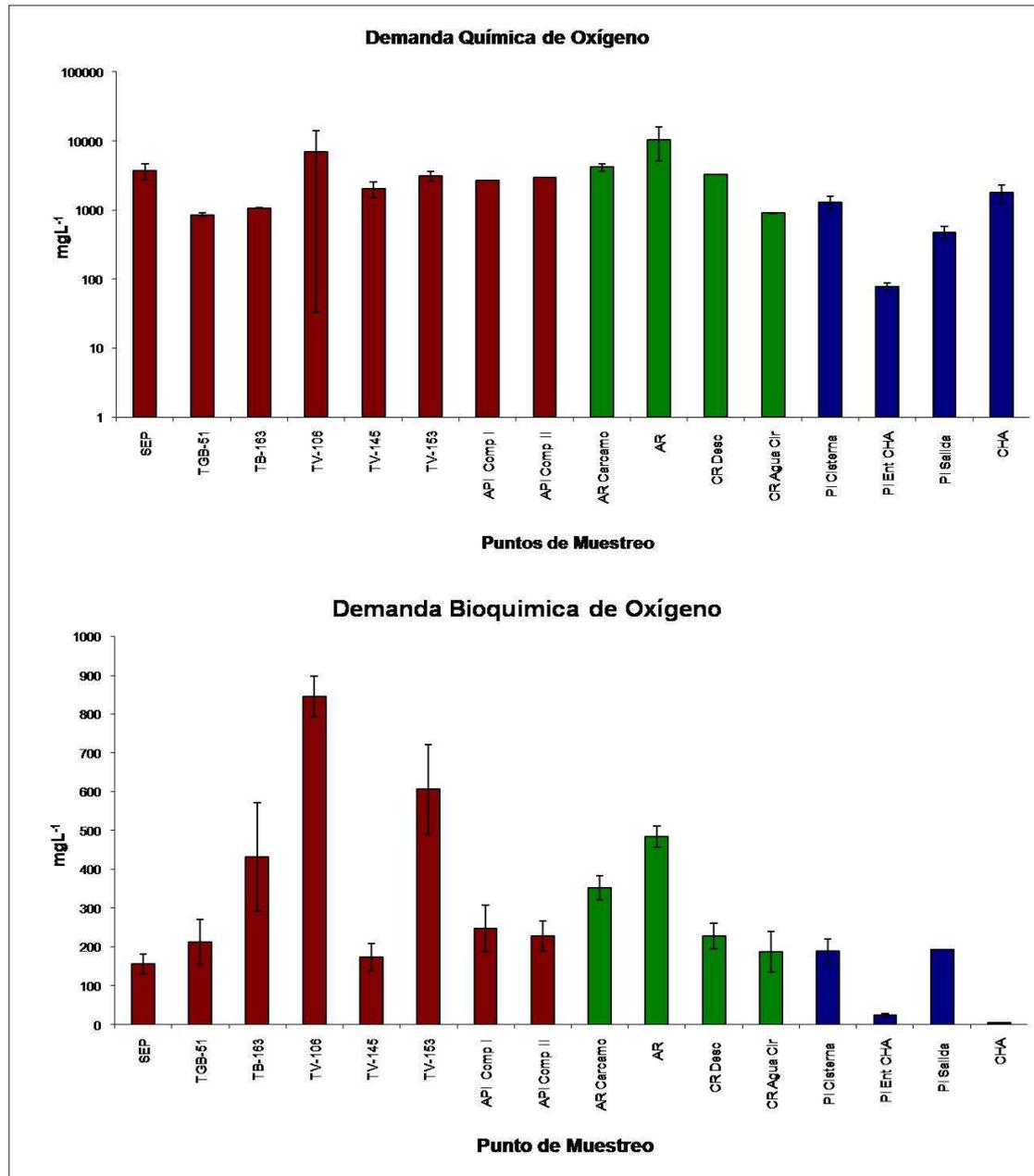


Figura 5.1 Resultados de la Demanda Química de Oxígeno y Demanda Bioquímica de Oxígeno que indican concentraciones de los 1000 a las 10 000 mgL<sup>-1</sup> para DQO, mientras que para la DBO<sub>5</sub> la concentración más elevada indica alrededor de 900 mgL<sup>-1</sup>.

Como se puede observar en las graficas de la figura 5.1 se considera que el agua se encuentra altamente contaminada según lo establecido en los parámetros de DBO y DQO. Estas concentraciones repercuten en la disminución del oxígeno disuelto en el agua.

La NOM-001-SEMARNAT-2000 permite como límite máximo  $150 \text{ mgL}^{-1}$  de  $\text{DBO}_5$  para descarga en ríos y lagunas, mientras que la NOM-003-SEMARNAT-1997 que establece los límites máximos permisibles de contaminantes para aguas de reuso en el servicio publico y de uso indirecto para el ser humano permite una concentración máxima de  $30 \text{ mgL}^{-1}$ . Siendo esta ultima referencia de mayor importancia para el estudio.

Los cloruros son una de las sales que están presentes en mayor cantidad en todas las fuentes de abastecimiento de agua y de drenaje. Son compuestos que llevan un átomo de cloro en estado de oxidación formal -1. Por lo tanto corresponden al estado de oxidación más bajo de este elemento ya que tiene completado la capa de valencia con ocho electrones. El sabor salado del agua, producido por los cloruros, es variable y dependiente de la composición química del agua, cuando el cloruro está en forma de cloruro de sodio, el sabor salado es detectable en una concentración de  $250 \text{ mgL}^{-1}$  de NaCl. Cuando el cloruro está presente como una sal de calcio ó de magnesio, el típico sabor salado de los cloruros puede estar ausente aún a concentraciones de  $1000 \text{ mgL}^{-1}$  En la figura 5.2 se muestra la concentración de cloruros encontrada dentro del circuito de PEP Altamira.

El agua del mar contiene aproximadamente  $19\ 000 \text{ mg/l}$  de cloruro. Las concentraciones menores a  $50 \text{ mgL}^{-1}$  no tienen efectos perjudiciales en la mayoría de las aplicaciones industriales, pero las aguas con altos contenidos de los aniones cloruros aceleran la corrosión en la superficie de los metales.

En la siguiente figura se observa claramente que en la sección de la Laguna del Champayán la cantidad de cloruros es mínima, estos compuestos están presentes solo dentro del proceso. Excepto por la sección de arenque, la concentración de cloruros es relativamente constante en todos los puntos lo cual hace suponer que el origen de estas sustancias es en los pozos y no son creados durante el proceso.

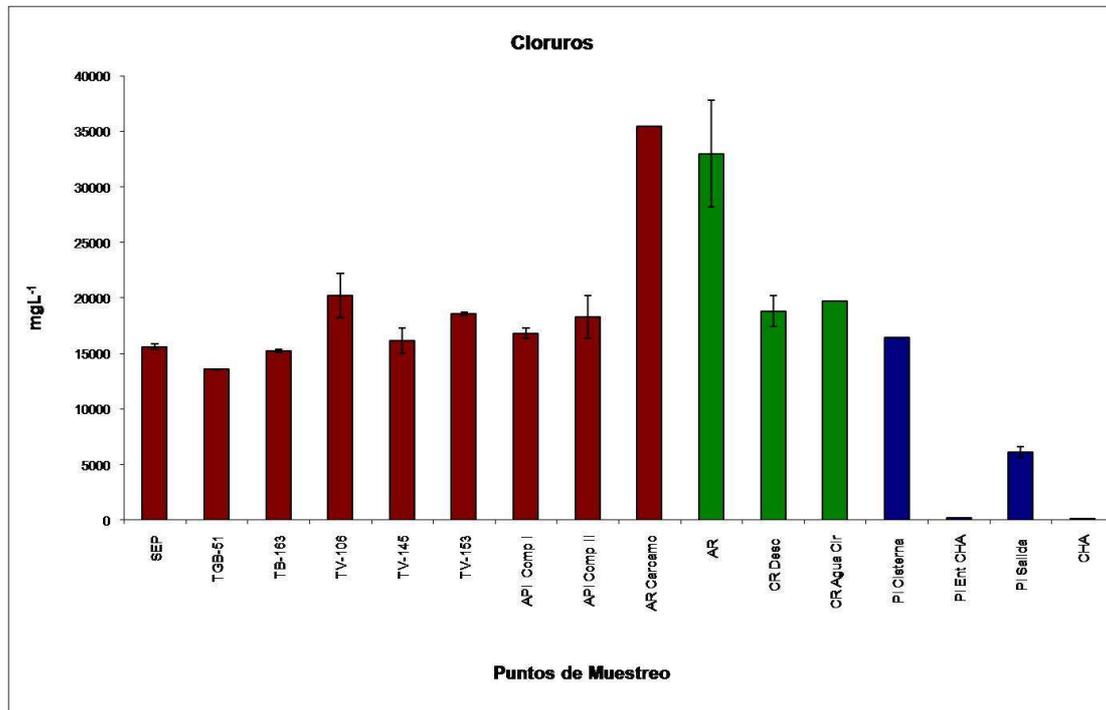


Figura 5.2. Concentraciones de cloruros que se encuentran en el proceso de recuperación de agua de PEP Altamira.

En muchas industrias la dureza es la base principal para clasificar el agua que utilizan. Según la ASTM la dureza es una característica que se expresa como la concentración total de calcio y de magnesio, aunque otros constituyentes como el hierro y otros cationes también contribuyen a la dureza aunque es una escala tan pequeña que en realidad no afectan a la dureza de las aguas industriales.

La figura 5.3 muestra la concentración de dureza total que se encuentra en el agua que recorre el circuito de PEP Altamira. Desde la laguna, el agua se considera muy dura debido a su alta concentración ligeramente arriba de los 300 mgL<sup>-1</sup>. Estas altas cantidades de sales de calcio y magnesio circulando en las tuberías producen graves incrustaciones en el interior de las tuberías. Durante el proceso la concentración de sales se encuentra en un rango de entre los 4000 mgL<sup>-1</sup> y 10 000 mgL<sup>-1</sup>. El agua que se desecha del proceso posee gran cantidad de sales que se originan del pozo de producción, sin el mantenimiento adecuado las tuberías y equipos de la planta deshidratadora pueden sufrir deterioro y por consiguiente reducción de la eficiencia.

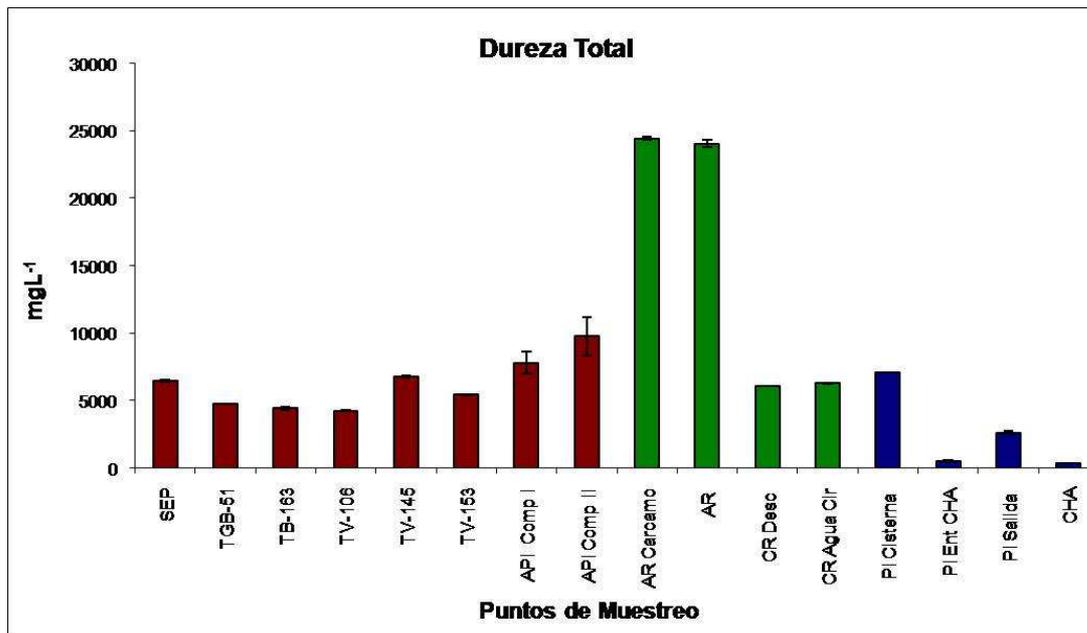


Figura 5.3 Concentración de la dureza total encontrados en el proceso de recuperación de agua del PEP Altamira

En la figura 5.4 se muestra la turbidez que tiene el circuito de recuperación de agua. Es claro que la turbidez refleja el grado de contaminación que existente en el agua que es desechada en cada parte del proceso. En la parte de separador se observa una mayor turbidez pues es donde se elimina gran parte de aceite y otras sustancias haciendo notable la alta concentración de contaminantes. Los puntos que sobresalen después del separador son la presa API y la presa en el centro de recolección, esto debido a la acumulación de contaminantes y primordialmente aceite en la parte superficial de la presa. En el cárcamo ubicado en Batería Arenque, se observa una elevada turbidez debido a la acumulación que sufre el agua antes de ser enviada al centro de recolección.

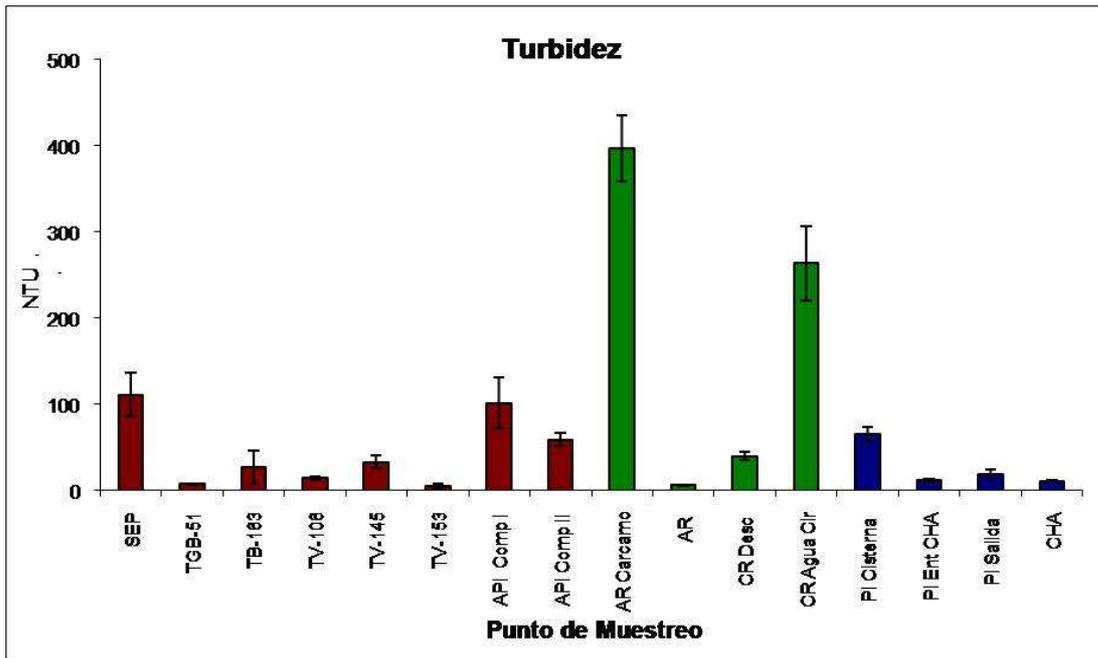


Figura 5.4 Turbidez del agua que se desecha en cada parte del proceso de recuperación de agua de los Campos Tamaulipas-Constituciones de Altamira

La alcalinidad es la capacidad en que una disolución mantiene su pH estable frente a la adición de un ácido o una base. La alcalinidad se refiere a la presencia de sustancias hidrolizables en agua y que como producto de hidrólisis generan el ión hidroxilo (OH<sup>-</sup>), como son las bases fuertes, y los hidróxidos de los metales alcalinotérreos; contribuyen también en forma importante a la alcalinidad los carbonatos y fosfatos. Cuando medimos la alcalinidad a la fenolftaleína (alcalinidad a la F) la titulación se lleva a cabo hasta que el vire cambia de rosa a incoloro, es decir, la cantidad de ácido que puede recibir antes de que cambie su carácter alcalino.

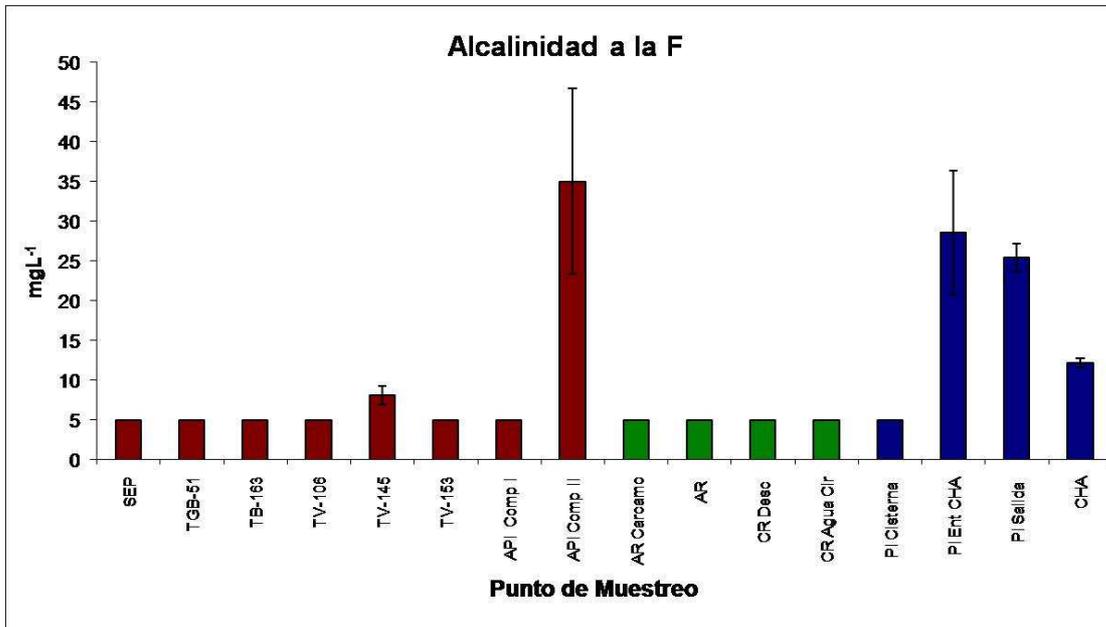


Figura 5.5 Alcalinidad a la fenolftaleína en el circuito Tamaulipas-Constituciones de PEP Altamira, el límite de detección es de 5mgL<sup>-1</sup>

De la figura 5.5 se observa que el agua en general presenta una alcalinidad por debajo del límite detectable, a excepción del agua cruda de la laguna debido a su pH ligeramente básico.

En la figura 5.6 se puede conservar que el pH varía entre 6 y 9 dependiendo de la zona. El agua cruda de la laguna tiene un pH natural de 9 que es ligeramente alcalino, mientras que a lo largo del proceso el pH se mantiene entre 7 y 8 lo que quiere decir que el agua que se maneja en la laguna en general es neutra. El cárcamo de arenque presenta un pH ligeramente ácido debido a la presencia de ácido sulfhídrico, mientras que en la cisterna de la planta de inyección, la acumulación del agua y aceite en un sitio cerrado da como resultado mayor producción de H<sub>2</sub>S lo cual al estar en contacto con el agua causa que su pH baje a 6.

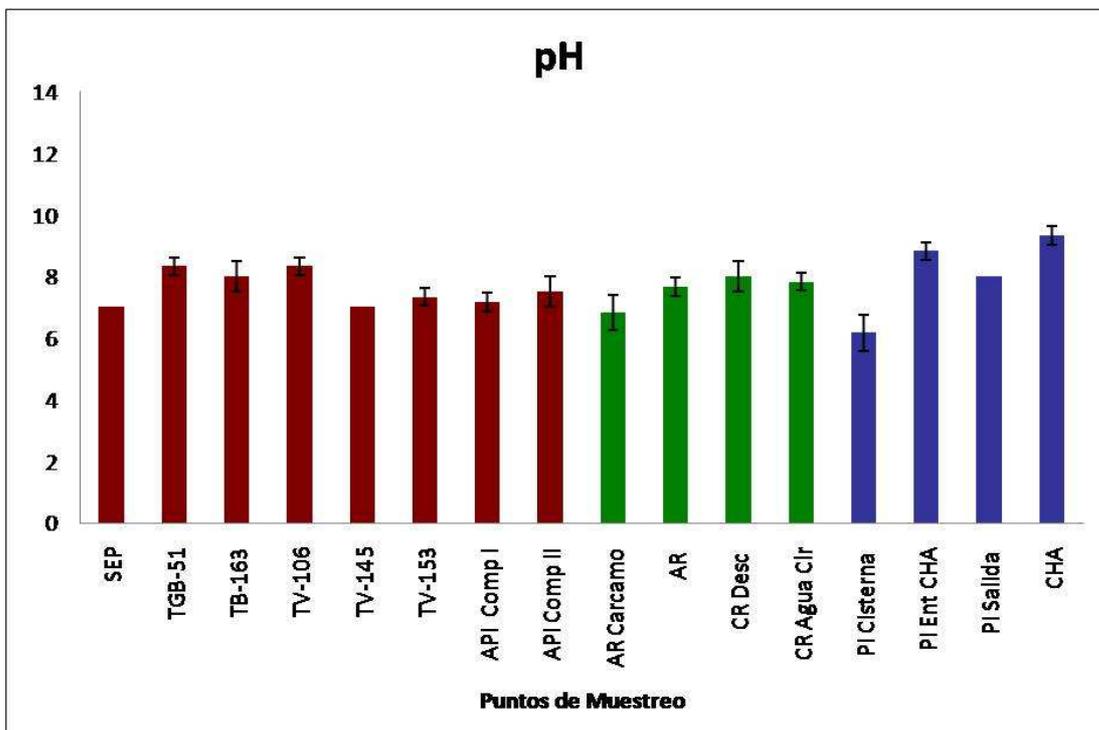
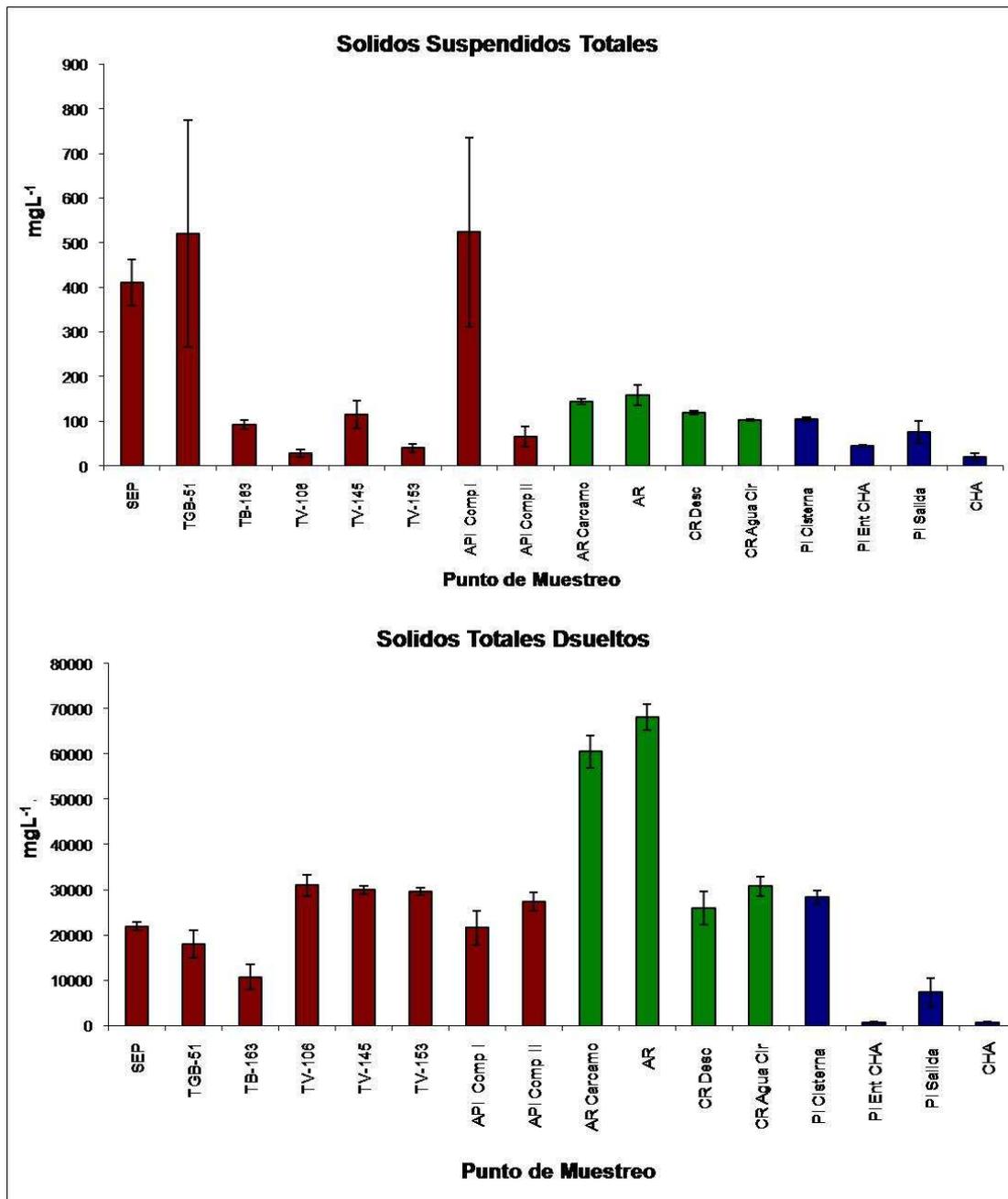


Figura 5.6 Valores de pH para el sistema de recuperación de agua y la Laguna del Champayán



**Figura 5.7** Concentración de sólidos en el circuito de recuperación de agua PEP Altamira. Arriba. Sólidos suspendidos totales cuyas concentraciones varían de entre las 100 y 600 mgL<sup>-1</sup>. Abajo. Sólidos disueltos totales, incluyen las sales disueltas en el agua y la concentración es mucho mas elevada que los SST que oscilan entre los 1000mgL<sup>-1</sup> en la laguna del Champayán y de 40000 a 70000 mgL<sup>-1</sup> en durante el proceso de recuperación de agua.

Los sólidos están presentes en el agua residual en muchas formas, en la figura 5.7 observamos la concentración de sólidos suspendidos totales, SST, (arriba), es decir la

materia que se encuentra flotando, que se sedimenta y la materia orgánica coloidal, a manera de referencia la NOM-001-SEMANAT-2000 permite una concentración máxima de  $200\text{mgL}^{-1}$  cuando el agua será descargada en sistemas de riego agrícola, resaltando que solamente tres puntos, separador de agua libre, Tanque de deshidratador 51 y el primer compartimiento de la presa API sobrepasan este límite tomado como referencia de la Norma Oficial anteriormente mencionada.

Por otro lado la NOM-003-SEMARNAT-1995 que establece los límites máximos permisibles de contaminantes para aguas de reuso en el servicio público y de uso indirecto para el ser humano permite una concentración máxima de  $30\text{mg/L}$ , donde solamente el Champayán cumple con este límite.

Los sólidos totales disueltos (STD) comprenden aquellas sustancias tanto orgánicas como inorgánicas, que son solubles en el agua, como pueden ser las sales y compuestos orgánicos polares, estas sustancias no son retenidas en un medio filtrante. En la figura 5.7 (abajo) observamos la concentración de sólidos disueltos. Si la dureza del agua es alta por consecuencia la cantidad de sólidos disueltos será más elevada, pues la dureza también consiste en una parte de este parámetro.

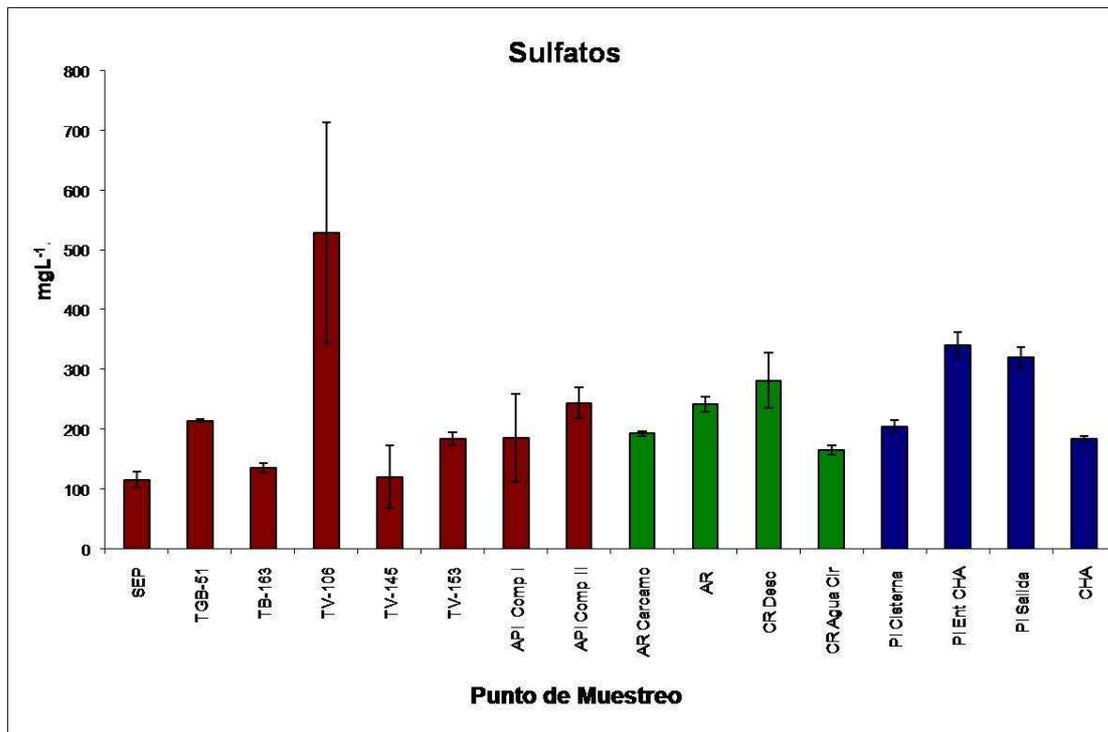


Figura 5.8 Concentración de ion sulfato en el sistema de recuperación de agua de PEP Altamira

Los sulfatos ( $\text{SO}_4^{2-}$ ) se encuentran en formas muy variadas como son sales o ésteres del ácido sulfúrico. A partir de su origen, el agua tiene mayor cantidad de sulfatos como se observa en la figura 5.8, es decir estas sales se encuentran de manera natural desde el agua que se toma de la Laguna del Champayán.

La figura 5.9 muestra la cantidad de grasas y aceites que es eliminada junto con el agua residual, estos aceites consisten principalmente en crudo, que durante el proceso de deshidratación fue eliminado junto con el agua por causa de deficiencias en el proceso de separación.

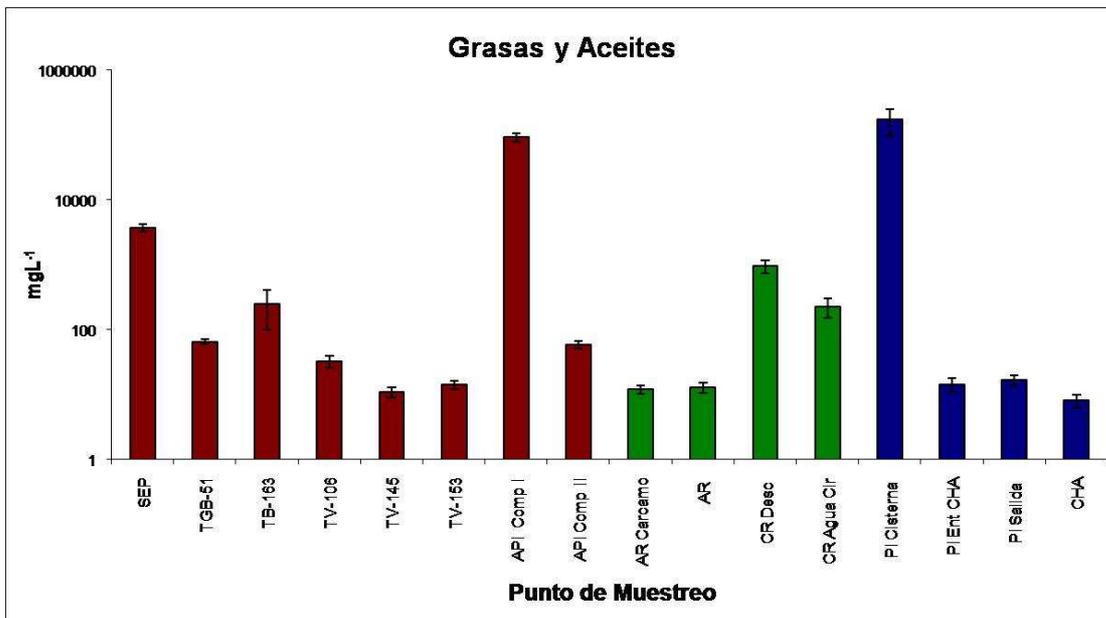


Figura 5.9 Concentración de grasas y aceites presentes en el circuito de recuperación de agua en Campos Tamaulipas-Constituciones en Altamira.

La grafica se presenta en escala logarítmica, para poder observar de manera mas objetiva los resultados encontrados. La primera separación que sufre la mezcla aceite/agua es la que se efectúa en el separador de agua libre donde se observa una eliminación importante de aceite junto con el agua.

Durante el resto de la deshidratación la concentración de aceite es mucho menor que en que separador, lo que nos indica que la eficiencia del proceso es buena, este separador elimina mas aceite en el turno vespertino que en el matutino puesto que por las tardes trabaja al máximo de su capacidad lo que provoca una menor eficiencia de separación.

En el primer compartimiento de la presa API observamos nuevamente una elevada cantidad de aceite, esto es debido a que las pequeñas descargas se unen en este compartimiento lo que causa la acumulación del crudo. Las presas están diseñada para que al haber suficiente aceite en la superficie sea recolectado por el sistema de aspirado que se encuentra alrededor de la presa y re circulado al proceso de deshidratación.

El agua al pasar al segundo compartimiento lleva, por consiguiente, una menor cantidad de crudo. Esto mismo se observa en el centro de recolección donde también se emplea una presa API para recolectar el agua residual de las baterías, en el primer compartimiento, es decir donde se descarga el agua que llega de los distintos centros de trabajo, la concentración de aceite es mayor en el primer compartimiento que en el segundo debido al aspirado de crudo que se lleva a cabo antes de que el agua pase al segundo compartimiento.

Por último la concentración de aceite es extremadamente elevada en la cisterna ubicada en la planta de inyección que recibe el agua proveniente del centro de recolección, esta cisterna es completamente cerrada y sirve para mediar el flujo de agua que entra a la central de bombas, la alta concentración se debe no solo a la acumulación del aceite si no que por las características que posee el crudo permanece incrustado en las paredes y en la superficie del agua, es importante mencionar que esta cisterna no cuenta con ningún sistema de aspirado por lo cual su mantenimiento es exclusivamente manual.

Tomando como referencia la norma NOM-003-SEMARNAT-1995 que establece los límites máximos permisibles de contaminantes para aguas de reuso en el servicio público y de uso indirecto para el ser humano, se permite un máximo de  $15 \text{ mgL}^{-1}$  de grasas y aceites, donde solamente se cumple con este requisito en el agua proveniente de la laguna del Champayán y en batería arenque, que posee una mejor separación debido a la baja densidad del aceite proporcionando una mayor eficiencia de separación.

## **5.2 Resultados de microbiología del Centro de Trabajo PEP Altamira**

Los análisis microbiológicos que se realizaron consistieron en bacterias coliformes fécales y totales, microorganismos mesófilos y hongos y levaduras.

El método utilizado es el de filtración por membrana, este método es efectivo en gran parte de los puntos de muestreo proporcionando resultados confiables, pero en ciertos puntos donde se observa una alta turbidez y sobretodo una alta concentración de grasas y

aceites la lectura no es posible, por lo cual se utilizó un método alternativo llamado de “Numero mas Probable”

El la figura 5.10 se observa la presencia de coliformes fecales y coliformes totales, estos resultados se encuentran relacionados entre si debido a que los coliformes totales incluyen también a las bacterias coliformes fecales. En la zona de la planta deshidratadora se encuentra la mínima presencia de estos microorganismos o definitivamente no están presentes, esto por la posible inhibición de estas bacterias a causa de las sustancias físicas o químicas contenidas en el agua. Como ya se sabe el crecimiento microbiano se efectúa cuando las condiciones del medio son apropiadas para su desarrollo, es por esto que en la zona de las presas del centro de recolección comienza a observarse un incremento de bacterias coliformes tanto fecales como totales, contribuyendo tanto la estabilidad del flujo, la reducción de aceite y el aumento de la temperatura.

Drásticamente disminuye la presencia de bacterias coliformes en la cisterna de la planta de inyección, este sitio, como ya se había mencionado anteriormente, se encuentra completamente cerrado, favoreciendo a la formación de ácido sulfhídrico dando como consecuencia una ligera disminución del pH a condiciones acidas. En este medio no ayuda al desarrollo de organismos coliformes, entre otras sustancias presentes en el agua.

En la laguna del Champayán el crecimiento de bacterias coliformes se ve favorecido completamente, de ahí que el agua que es tomada de la laguna sea rica en coliformes. Mientras que el agua que se recircula y envía a los pozos de inyección es una mezcla de agua cruda del Champayán con agua que es recuperada después del proceso de deshidratación, causando una disminución de la presencia microbiana.

Tomando como referencia la norma NOM-003-SEMARNAT-1995 que establece los límites máximos permisibles de contaminantes para aguas de reuso en el servicio público y de uso indirecto para el ser humano, se permite hasta 1000 unidades de coliformes fecales.

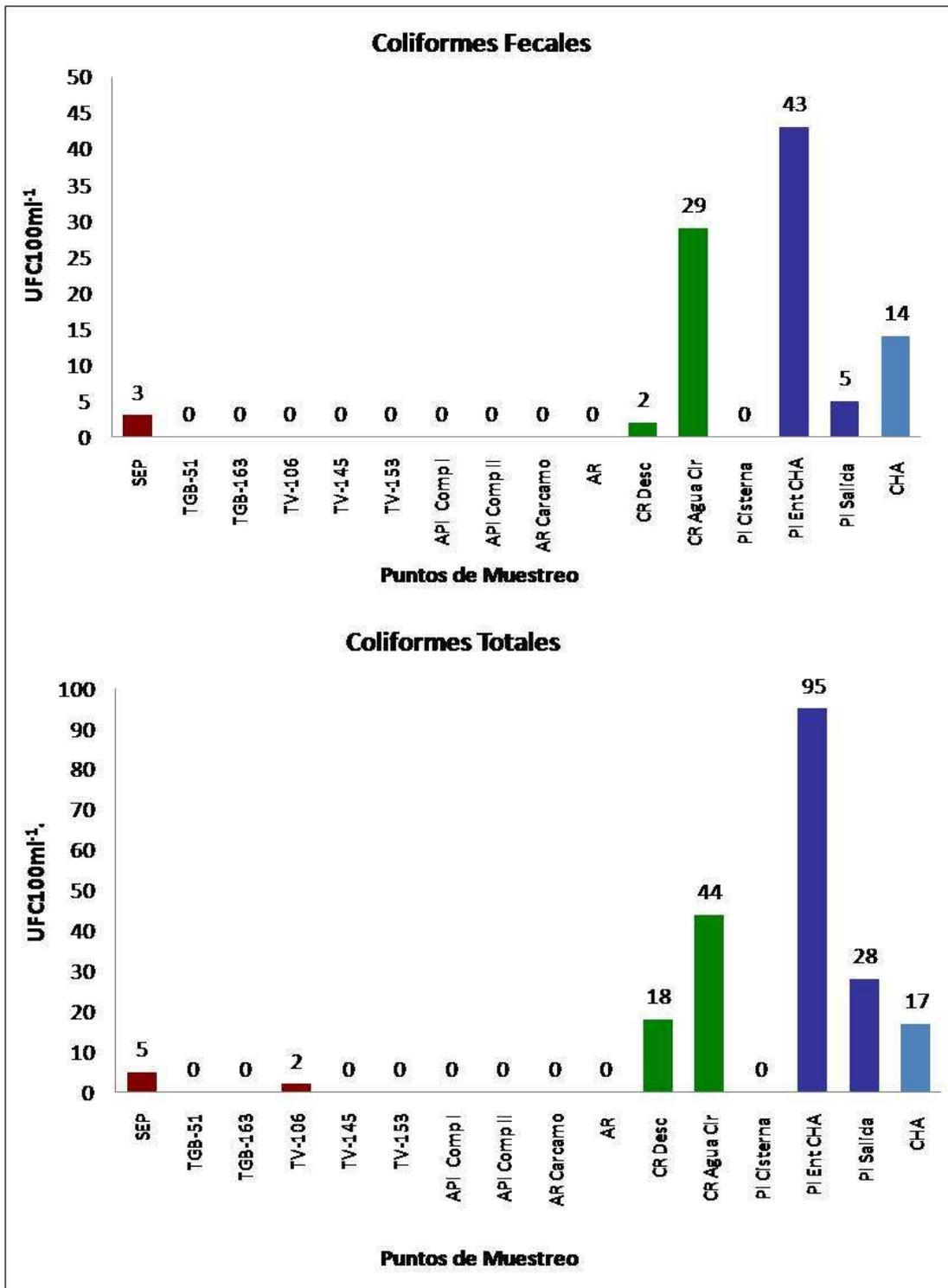


Figura 5.10 Coliformes fecales y Coliformes totales presentes en las aguas de recuperación de PEP Altamira.

La figura 5.11 muestra la presencia de hongos y levaduras que como se puede observar, esta limitada a la laguna del Champayán, esporádicamente se observan en un tanque deshidratador y el primer compartimiento de la presa API de la planta deshidratadora. El agua a la salida de la planta de inyección, es mezclada con el agua que recuperada durante el proceso de deshidratación, dando como resultado la presencia de hongos y levaduras en el agua que se envía a los pozos de inyección.

La razón principal por la cual el crecimiento de los hongos y levaduras no es muy importante es por la presencia de compuestos clorados y la elevada concentración de cloruros.

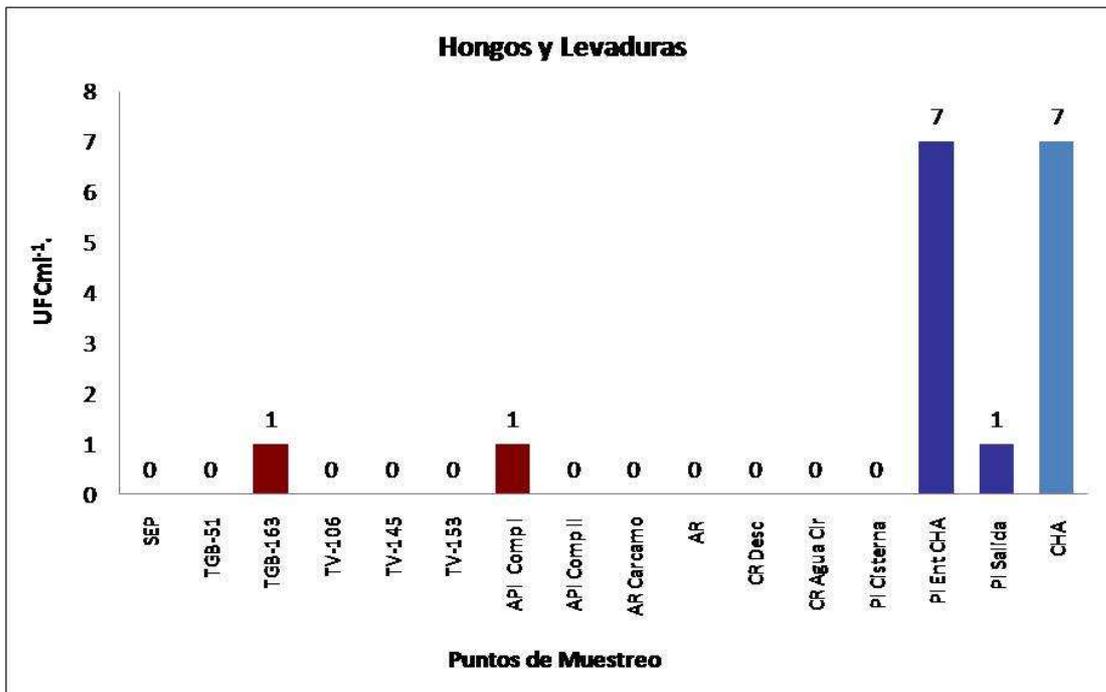


Figura 5.11 Presencia de hongos y levaduras en el sistema de recolección de agua de PEP Altamira

Finalmente los microorganismos mesófilos, microorganismos que se desarrollan entre los 20°C y 45°C.

Los microorganismos mesófilos se presentan casi en todos los puntos del sistema de recolección de agua, la causa principal pudiera ser que el calentamiento en el proceso de

deshidratación favorece el crecimiento de microorganismos. Al ir disminuyendo el calentamiento durante el proceso la proliferación de estos microorganismos disminuye. En el caso del segundo compartimiento de la presa API de la planta deshidratadora, los organismos mesófilos encuentran un medio bastante favorable para su desarrollo, la estabilización del agua, el flujo lento o estancamiento, el calor transmitido por la radiación solar, ya que se encuentra a la intemperie, y la baja concentración de aceite en la superficie del cuerpo de agua. Lo mismo ocurre en el compartimiento de agua clara del centro de recolección, solo que en una proporción mucho menor. Esto es claramente observado en la figura 5.12

La laguna del Champayán por ser un cuerpo natural de agua también tiene condiciones favorables para el crecimiento de microorganismos mesófilos, a diferencia de la presa API, el volumen de la laguna es mucho mayor por lo que la temperatura se eleva más lentamente que en la presa.

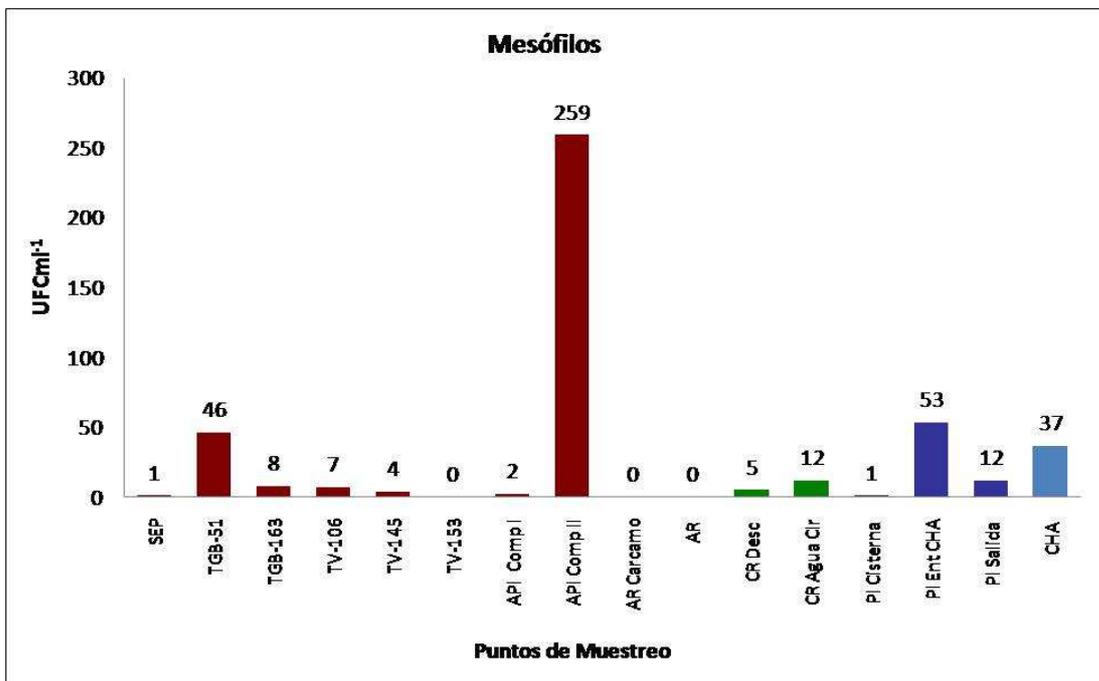
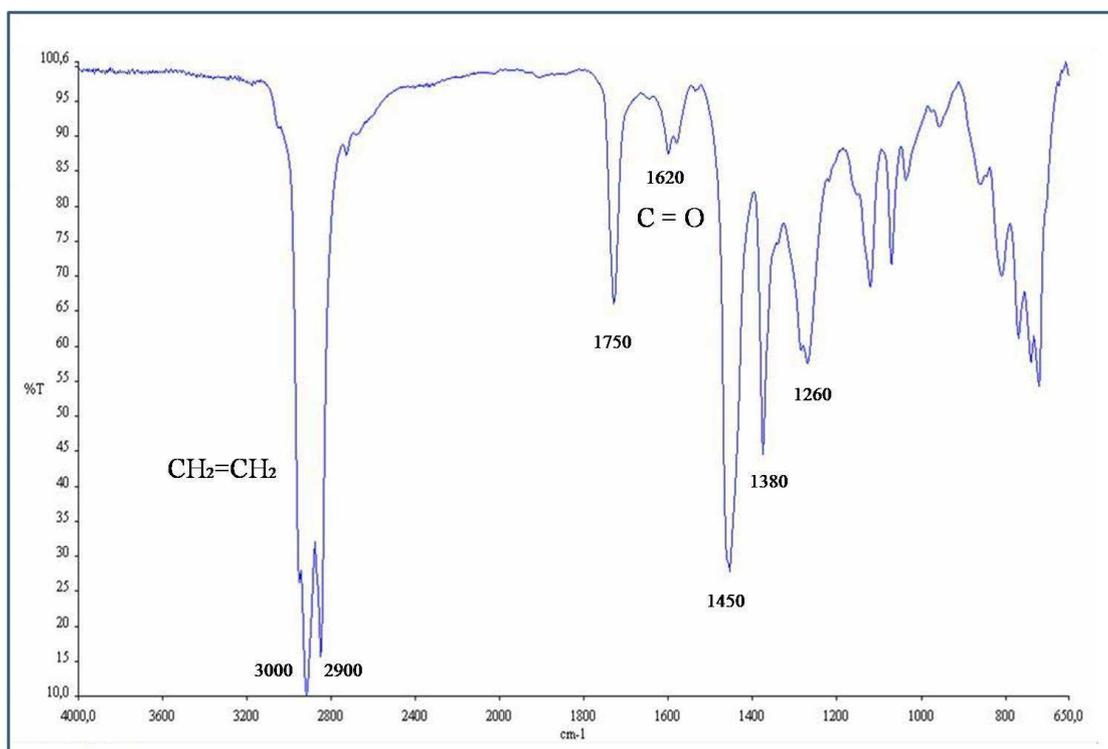


Figura 5.12 Conteo de microorganismos mesófilos en el sistema de recolección de agua en los Campos Tamaulipas-Constituciones de PEP Altamira

### 5.3 Espectrometría de Infrarrojo

En la figura 5.13 se observa un espectro de infrarrojo donde se muestra la composición del aceite que es manejado en Campos Tamaulipas-Constituciones en PEP Altamira. El espectro muestra que el aceite está formado por alcanos y alquenos alifáticos, además existe la presencia de compuestos aromáticos y algunos ésteres.



**Figura 5.13** Espectro de Infrarrojo para el aceite que se encuentra en el primer compartimiento de la presa API en Campos Tamaulipas-Constituciones de PEP Altamira.

### 5.4 Resultados Físicoquímicos del Centro de trabajo Cacalilao Veracruz y cuatro presas artificiales

El diagnóstico del agua residual en Cacalilao Veracruz, nace como una extensión del proyecto realizado en Altamira. Este consiste en analizar el agua que se maneja dentro de la planta deshidratadora en Cacalilao, el agua de una laguna que se forma en las inmediaciones de la planta en época de lluvias y el agua de las tres presas artificiales, usadas como abrevaderos para los animales, ubicadas en los alrededores de la planta.

En color café se localizan los resultados pertenecientes al agua que es desechada dentro de la planta deshidratadora de Cacalilao y la lagunilla formada en tiempos de lluvia que se halla dentro de los terrenos de PEP Cacalilao. En color azul se encuentran los resultados obtenidos de las presas artificiales de los alrededores.

En general, en el agua dentro de la planta existe mayor concentración de contaminantes, mientras que en las lagunas se reducen a un nivel mínimo.

Para compararse con los resultados de las lagunas artificiales de Cacalilao Veracruz se tomó como referencia los resultados obtenidos de los análisis realizados a la laguna del Champayán

En la figura 5.14 se observa la concentración de la demanda química de oxígeno y la demanda bioquímica de oxígeno, la concentración de ambas se reduce significativamente en el agua de las presas, esto es por que se trata de agua cruda, que se recolecta en pequeñas fosas en la tierra y proviene de las lluvias.

La concentración de DQO y DBO<sub>5</sub> es menor que la que se encuentra en Altamira por que la planta en Cacalilao maneja volúmenes menores de agua y crudo, además el agua que utiliza para la inyección de pozos no es mezclada con agua de recuperada.

Las cantidades encontradas en las lagunas artificiales tanto de DQO como de DBO<sub>5</sub> son similares o menores a las de la laguna del Champayán, por lo cual se consideran normales en aguas crudas.

Tomando como referencia la NOM-001-SEMARNAT-2000 se toma como límite máximo una concentración de 150 mgL<sup>-1</sup> de DBO<sub>5</sub> para aguas que son descargadas en ríos o lagunas, el cárcamo y la presa a API dentro de la planta de Cacalilao sobrepasan este límite.

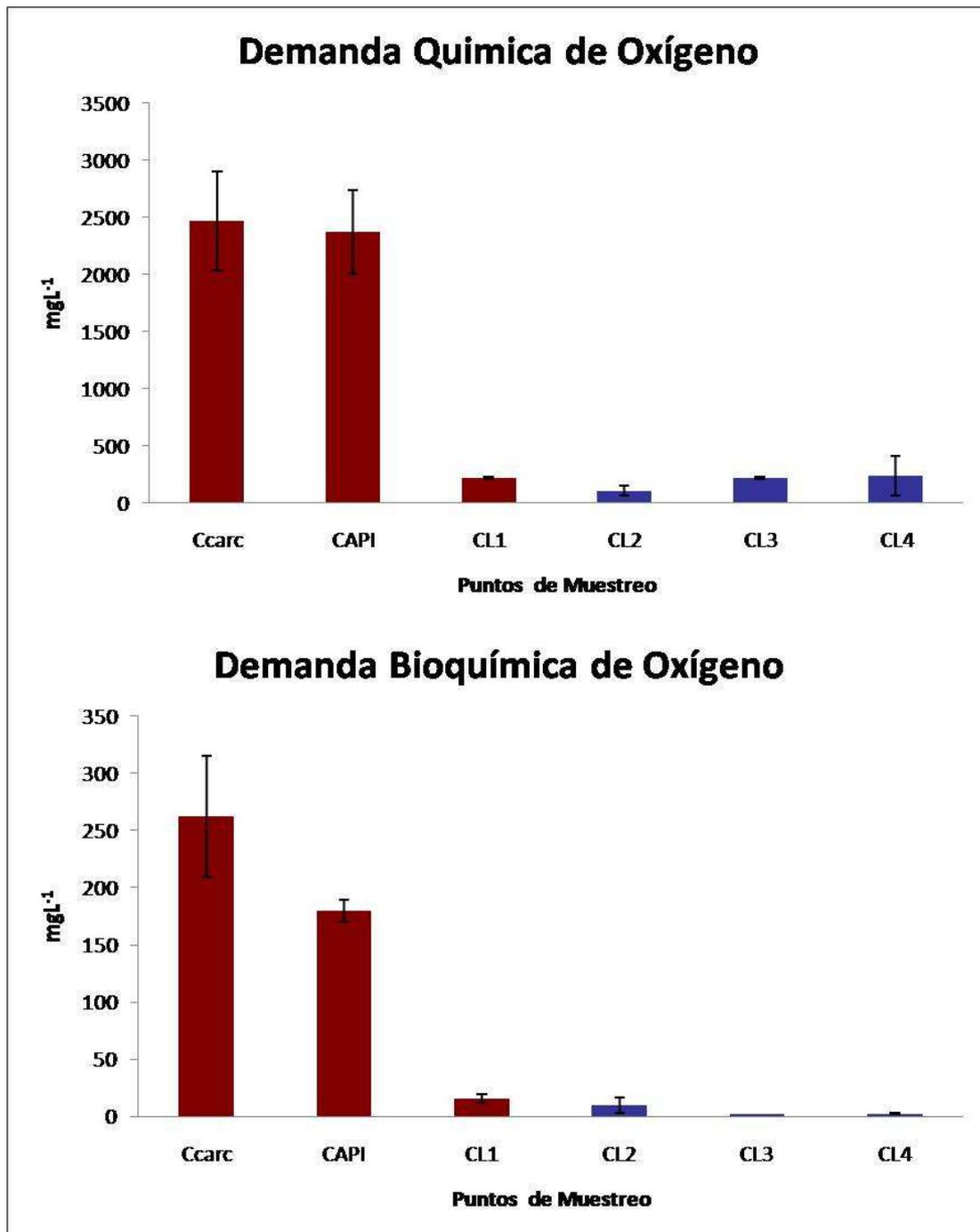


Figura 5.14 Concentración de la demanda química de oxígeno y la demanda bioquímica de oxígeno en Cacalilao Veracruz.

La concentración de cloruros en el agua que es desechada en la planta Cacalilao, figura 5.15, es similar a la encontrada en Altamira. Sin embargo, el agua de la pequeña laguna que se forma en los alrededores de la planta (por ser agua proveniente de la lluvia y no de los

procesos industriales) tiene una concentración similar a las lagunas artificiales encontradas en los terrenos cercanos.

Haciendo una comparación de los cloruros hallados en el Champayán con los de las lagunas de Cacalilao encontramos que son mucho mas elevados en Cacalilao, esto debido a que el agua del Champayán es completamente dulce mientras que en Cacalilao el agua tiende a ser salada. En la tierra de los alrededores de la laguna observamos padecería de conchas y caracoles.

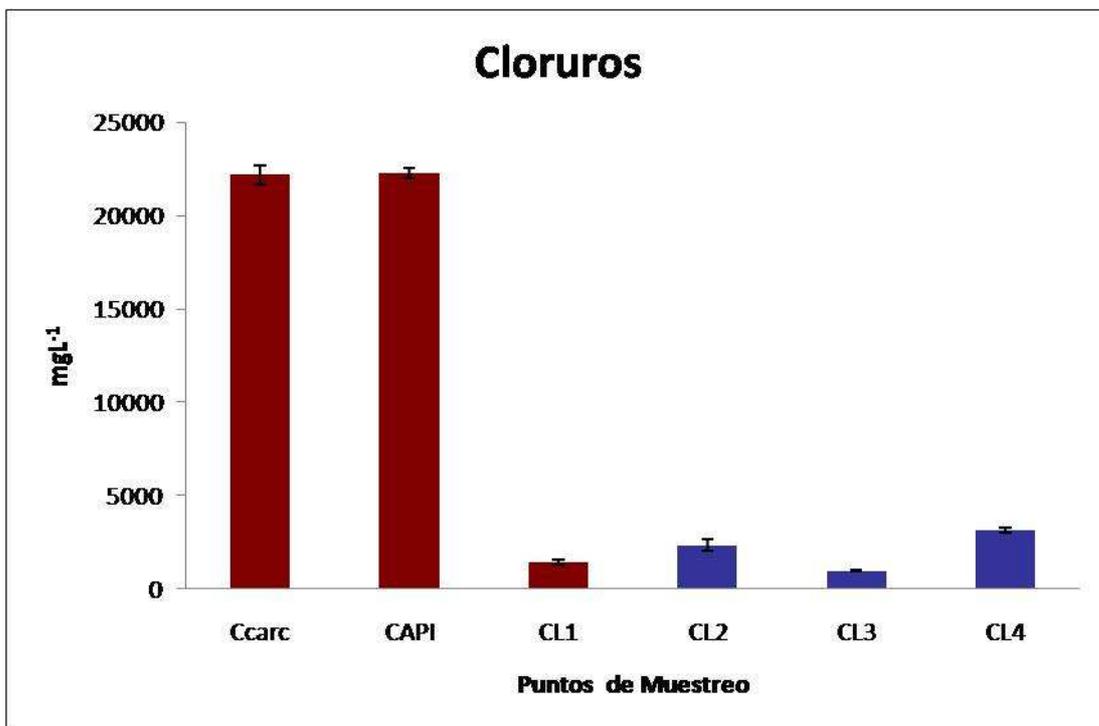


Figura 5.15 Concentración de cloruros hallados en la planta Cacalilao y las lagunas artificiales en Veracruz.

En la figura 5.16 se puede observar claramente que la dureza en el agua desechada en la planta Cacalilao es similar a la de Altamira.

Comparando las concentraciones de dureza en el Champayán con las lagunas de Cacalilao podemos decir que el agua en las tres lagunas de Cacalilao es mas dura que la del Champayán. La dureza en las aguas crudas o en las aguas naturales es una característica que depende de la situación geográfica de cada laguna.

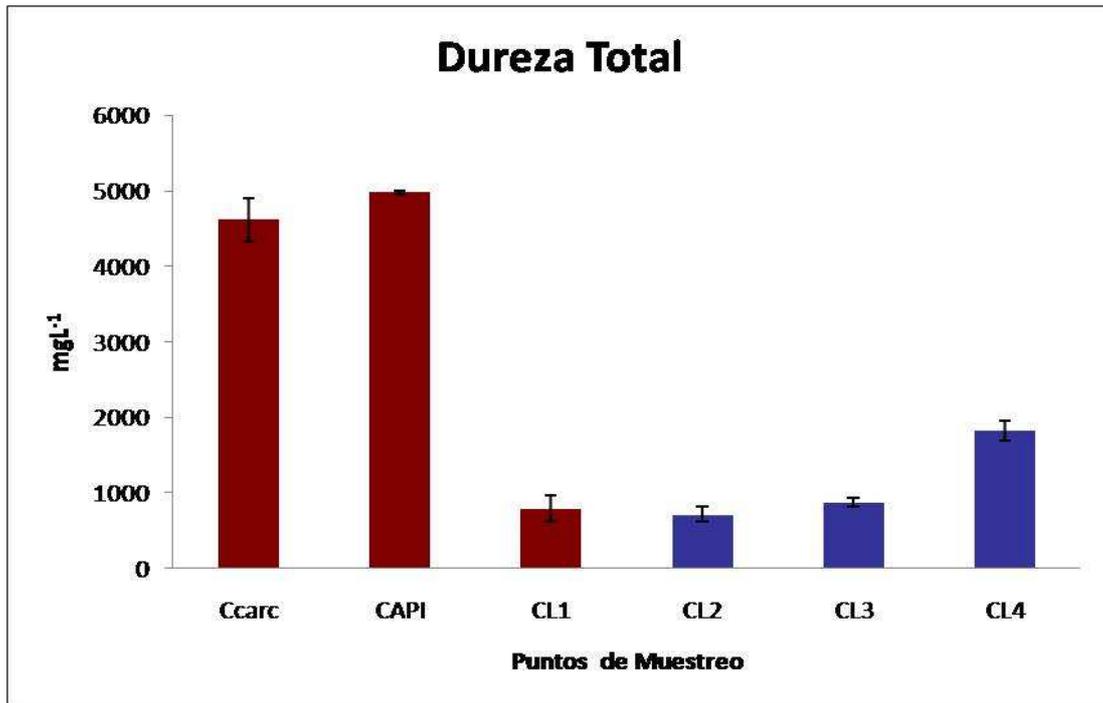


Figura 5.16 Concentración de la dureza total encontrada en la planta de Cacalilao Veracruz y las lagunas cercanas.

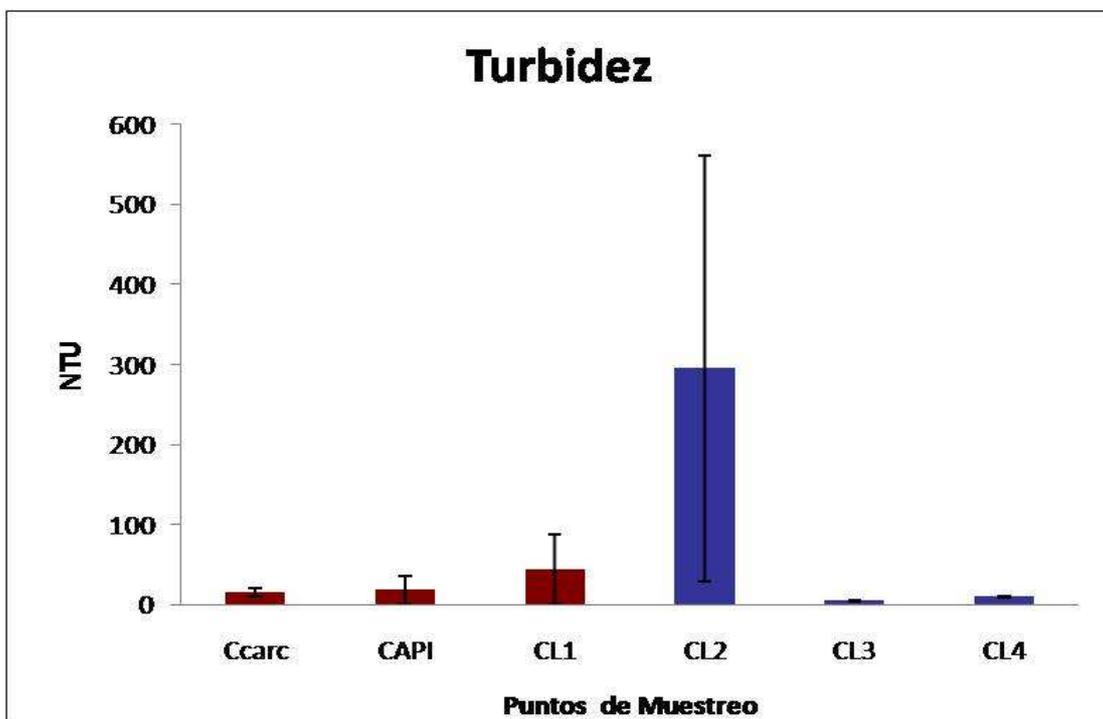


Figura 5.17 Turbidez encontrada en el agua de desecho de la planta de Cacalilao Veracruz y las lagunas circunvecinas.

Se puede observar en la figura 5.17 que turbidez es baja en la planta de Cacalilao, alrededor de 15 a 20 NTU. Caso distinto en las lagunas, en las partes con menor profundidad de agua, la turbidez aumenta considerablemente debido a la cantidad de lodos presentes. Tanto en el punto CL1 Y CL2, existe mucha variabilidad de las lecturas realizadas, esto como consecuencia de que el nivel del agua no es constante, habiendo unas partes muy bajas que generan una mayor turbidez en el agua al momento de recolectar la muestra.

La alta turbidez ocasionada por lodos, sólidos como ramas, insectos y eses de animales, es común en aguas naturales, en especial donde la actividad de sus alrededores genera turbulencias, como la presencia de ganado.

En lo que respecta a la alcalinidad del agua en Cacalilao, figura 5.18, no existe variedad alguna, toda el agua que se analizó tiene una alcalinidad menor al límite de detección que son  $5 \text{ mgL}^{-1}$ . esto mismo se observa en el pH, figura 5.19, que permanece entre 7 y 8. Por lo tanto se puede decir que le agua es neutra con una pequeña tendencia a la alcalinidad, lo cual es común en aguas naturales. El agua de la laguna del Champayán es aun más alcalina, con un pH de 9.35, que la de Cacalilao.

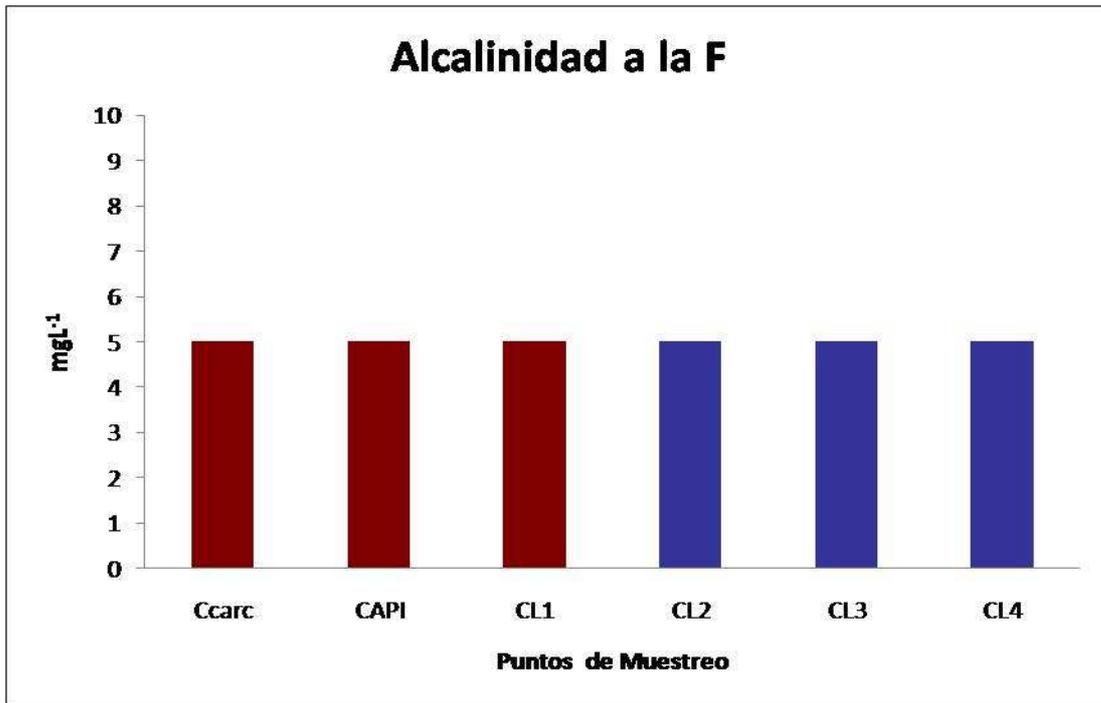


Figura 5.18 Alcalinidad a la f del agua analizada en los distintos puntos en Cacalilao Veracruz

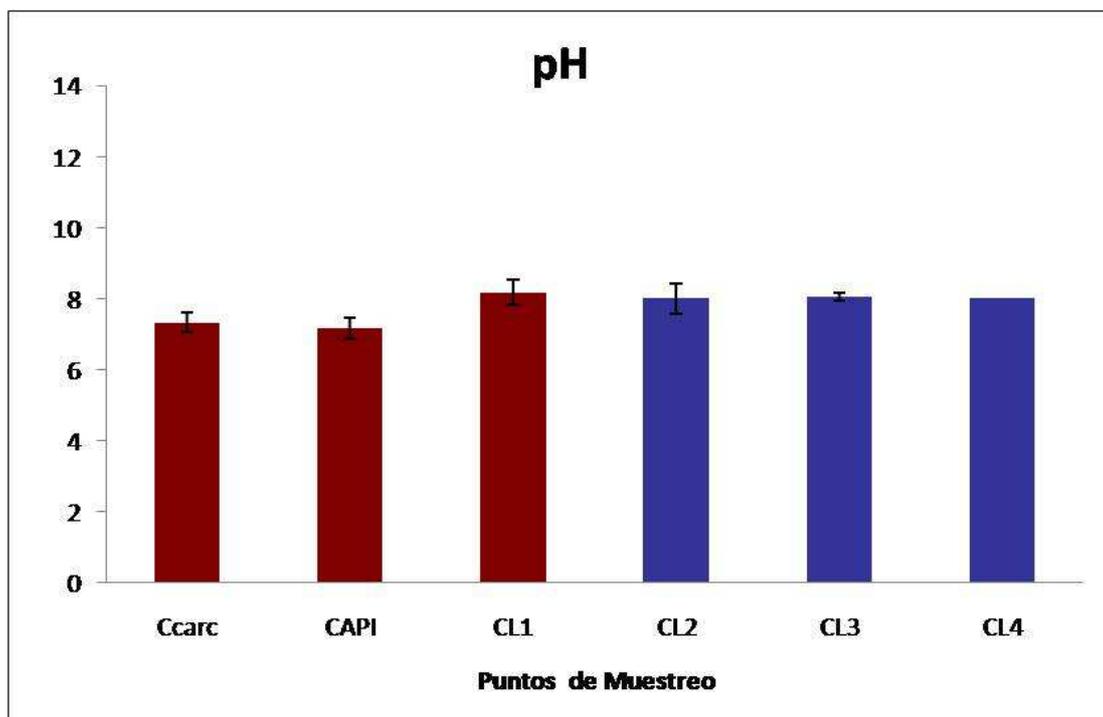


Figura 5.19 pH medido en el agua de la planta de Cacalilao Veracruz y las presas circunvecinas.

La presencia de sólidos suspendidos en el agua de la planta de Cacalilao en realidad no es muy importante comparada con los que se trabajan en Altamira, tomando como referencia la norma NOM-001-SEMARNAT-2000 que establece  $200\text{mgL}^{-1}$  como nivel máximo permisible en el agua de desecho a ríos y lagunas, ningún punto en Cacalilao sobrepasa este límite. Figura 5.20.

La concentración de los sólidos disueltos totales se presenta en la planta de Cacalilao de manera similar que en la planta de Altamira. Para el caso de la laguna del Champayán la concentración de sólidos disueltos totales es alrededor de la quinta parte de la presente en las lagunas de Cacalilao, esto es consecuencia de la dureza pues al existir mayor dureza en las aguas de Cacalilao existe mayor cantidad de sales y otros sólidos disueltos en el agua.

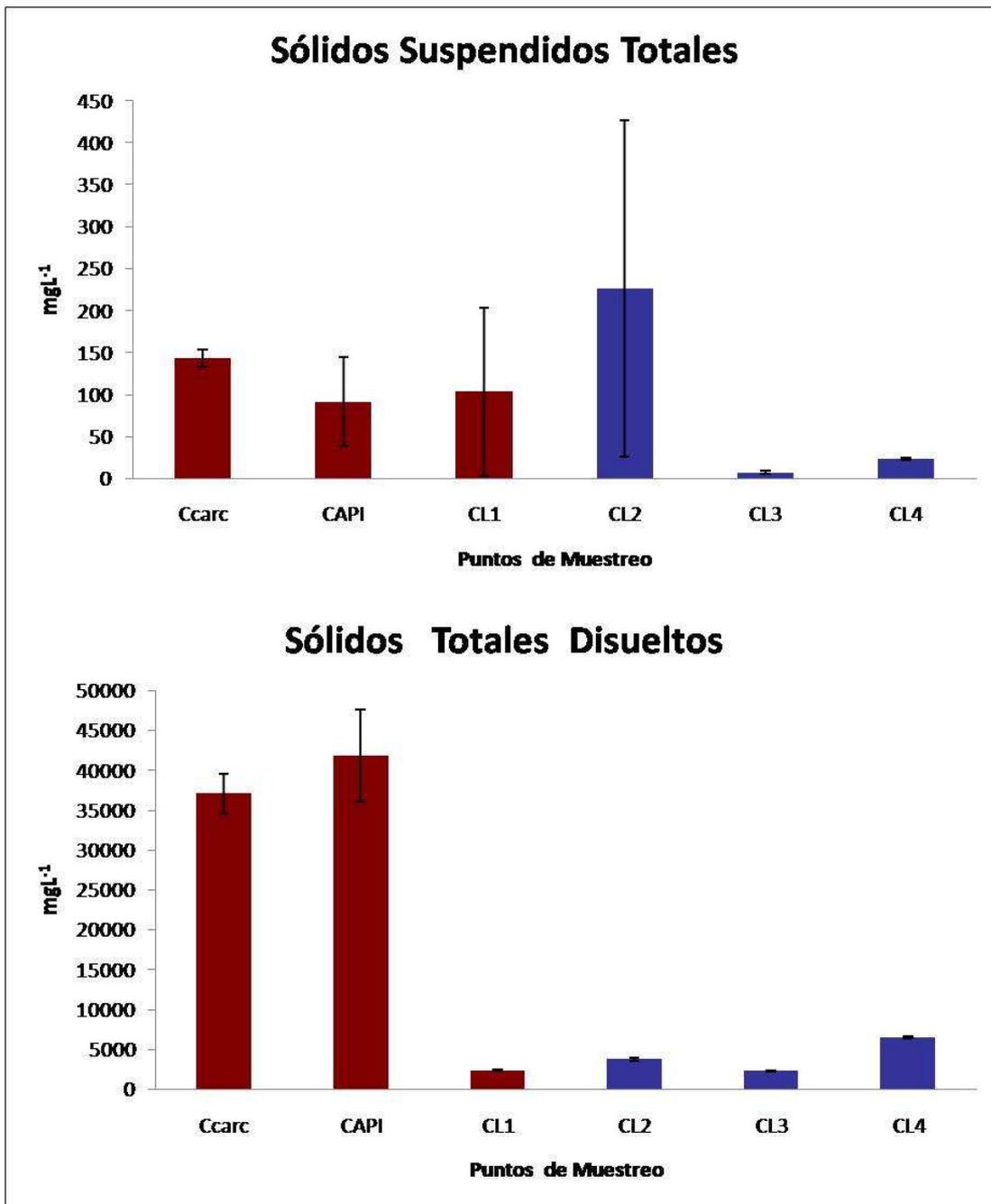


Figura 5.20 Concentración de Sólidos Suspendidos Totales (arriba) y Sólidos Disueltos Totales (abajo) encontrados en Cacalilao Veracruz.

Como puede observarse en la figura 5.21, los sulfatos se encuentran en mayor cantidad en las aguas naturales, mientras que en la planta de Cacalilao. Estas sales o esteres del acido sulfúrico tienen mayor abundancia en aguas crudas del Champayán que en Cacalilao.

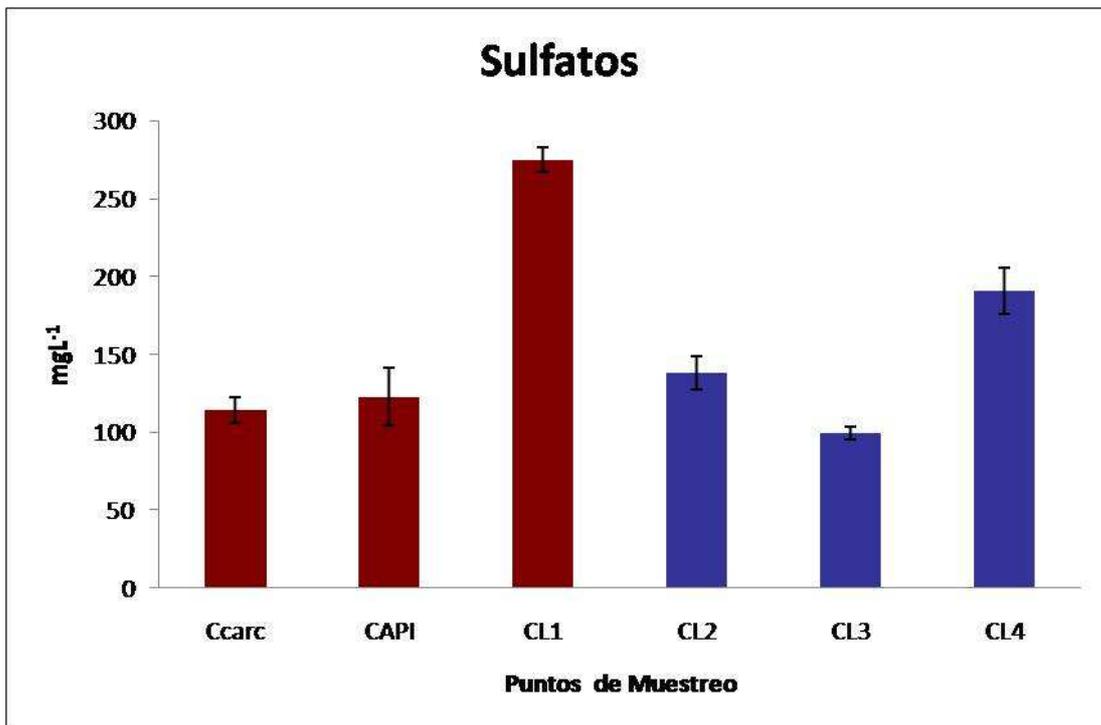


Figura 5.21 Concentración de sulfatos en la planta de Cacalilao Veracruz y las lagunas circundantes.

Comparando las grasas y aceites registradas en la planta deshidratadora en Cacalilao Veracruz, tenemos una mejor separación y por lo tanto menor eliminación del aceite, de aquí que la acumulación de aceite en la presa API sea menor, como es mostrado en la figura 5.22.

A diferencia de las aguas naturales, en las lagunas de Cacalilao las concentraciones de aceite son más altas que las encontradas en el Champayán, por lo tanto puede existir arrastre de aceite por las lluvias proveniente de tractores o automoviles de los alrededores, o por acarreo por medio de los animales del área, entre otras fuentes. Aun así, la concentración de grasas y aceites en las lagunas de Cacalilao no sobrepasa el límite de referencia que indica la NOM-001-SEMARNAT-2000 de 25mgL<sup>-1</sup> para descarga en ríos y lagunas.

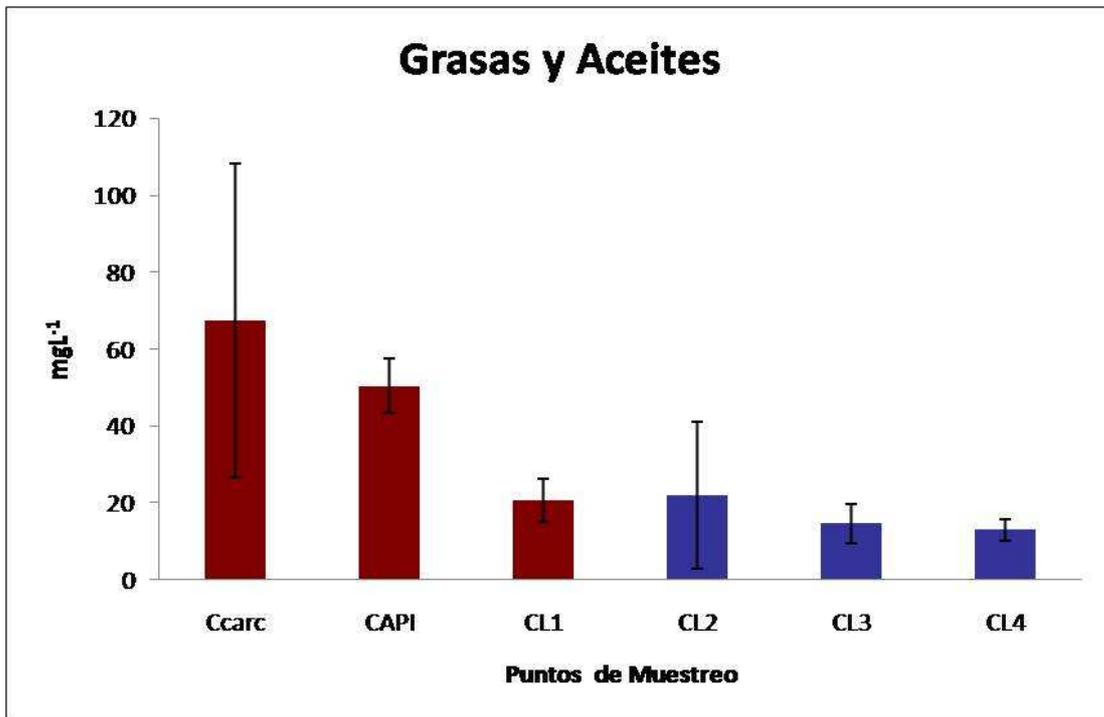


Figura 5.22 Concentración de grasas y aceites para la planta deshidratadora y las lagunas en Cacalilao Veracruz

### 5.5 Resultados de microbiología del Centro de Trabajo de PEP Cacalilao Veracruz

Los análisis microbiológicos que se realizaron tanto en la planta de Cacalilao y en las lagunas contiguas, consistieron en bacterias coliformes fecales y totales, microorganismos mesófilos, hongos y levaduras. El método utilizado es el de filtración por membrana, este método es efectivo en todos los puntos de muestreo.

En la figura 5.23 se observa la presencia de organismos coliformes fecales y coliformes totales, es notorio que la laguna que se encuentra dentro de la planta tiene mayor presencia de estos microorganismos.

Aquí es importante aclarar que el agua de esta laguna permanece estancada de forma indefinida además de tener un nivel extremadamente bajo, estar al aire libre y al alcance de todo tipo de vida animal de tamaño pequeño como perros, gatos y todo aquel que pueda pasar por entre el enrejado. Al permanecer inmóvil el agua al ambiente y al calor del clima

se genera las condiciones idóneas para el desenfrenado crecimiento de todo tipo de microorganismos.

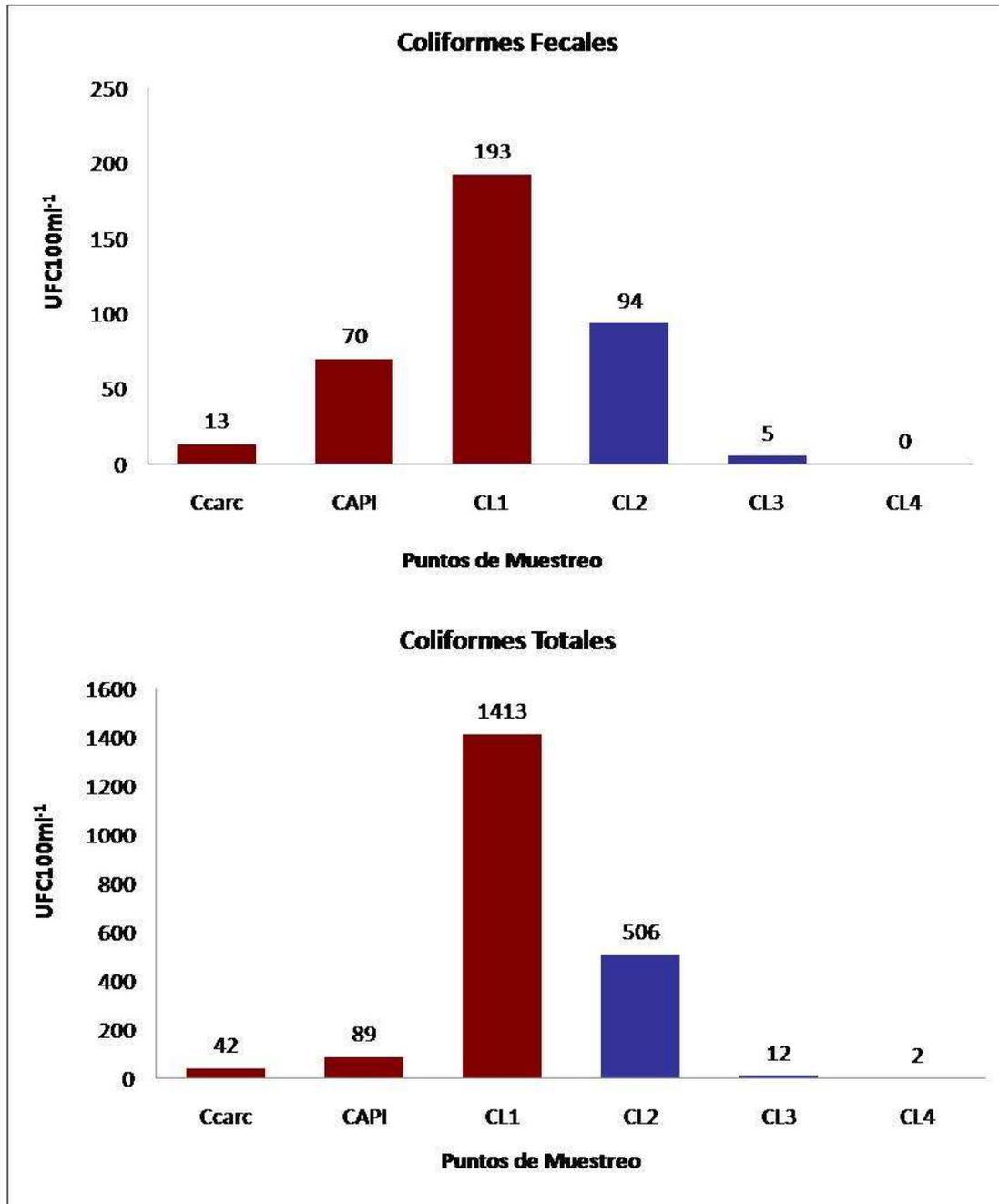


Figura 5.23 Presencia de coliformes fecales y totales en el agua de la planta de Cacalilao y las lagunas de sus alrededores. El agua de las lagunas tiene mayor presencia de microorganismos debido a que esta expuesta a mas variables que la de las planta deshidratadora.

En el caso de la laguna numero 2 que se encuentra fuera del área de la panta deshidratadora, es notable también la presencia de coliformes, esta laguna también se encuentra abierta a la presencia de todo tipo de animales del lugar.

Comparando los coliformes de Cacalilao con los que se detectaron en la laguna del Champayán, las lagunas de Cacalilao están expuestas a la constante presencia de eses de animales de granja y ganado entre otros, además de ser más pequeñas y no haber circulación de agua, por lo cual el crecimiento de microorganismos se facilita.

Los hongos y levaduras son mostrados en la figura 5.24. En la planta deshidratadora de Cacalilao, tal como en la de Altamira, el crecimiento de los hongos es inhibido por la presencia de compuestos clorados y aceite.

Comparando la cantidad de hongos y levaduras de la laguna del Champayán ( $7\text{UFCml}^{-1}$ ) con las lagunas de Cacalilao se observa que estas últimas tienen ligeramente mayor presencia de microorganismos. Lo cual es normal por tratarse de aguas naturales y sin movimiento.

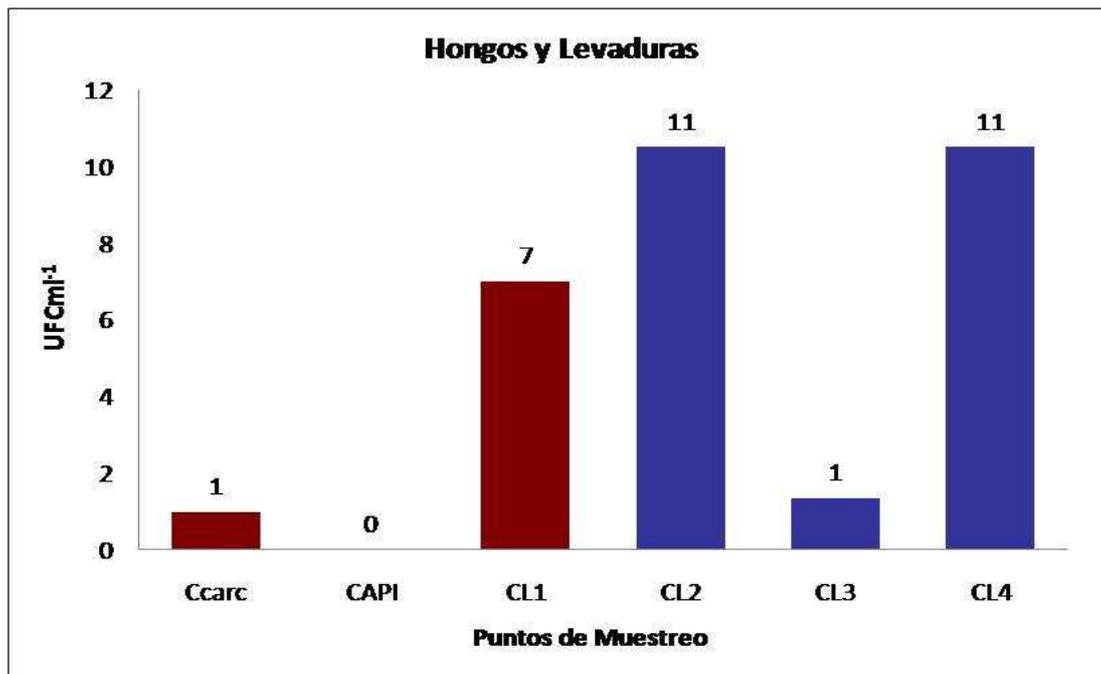


Figura 5.24 Presencia de hongos y levaduras en la planta Cacalilao y en las lagunas artificiales vecinas.

Los organismos mesófilos en Cacalilao tienen un comportamiento muy distinto en cada punto que fue analizado, figura 5.25.

En el cárcamo la presencia de mesófilos es muy poca, mientras que en la presa API se generan condiciones apropiadas para que se desarrollen en mayor proporción, el agua permanece estable y tiene baja concentración de aceite comparada con Altamira.

En la laguna numero 1, ubicada dentro de la planta, por ser agua que permanece estancada y tiene muy bajo nivel, los microorganismos crecen con gran rapidez, por ser poca el agua y encontrarse a la intemperie, el calor del día hace que se eleve rápidamente la temperatura del agua encontrando condiciones favorables para el desarrollo microbiano.

Comparando el agua de las lagunas artificiales con la laguna del Champayán (53UFCml<sup>-1</sup>), solamente la laguna numero 2 tiene mayor presencia de mesófilos que el Champayán, la explicación mas certera es porque en un punto de la laguna numero 2 existe muy nivel y el calor del día, dándose condiciones mas favorables para el crecimiento microbiano.

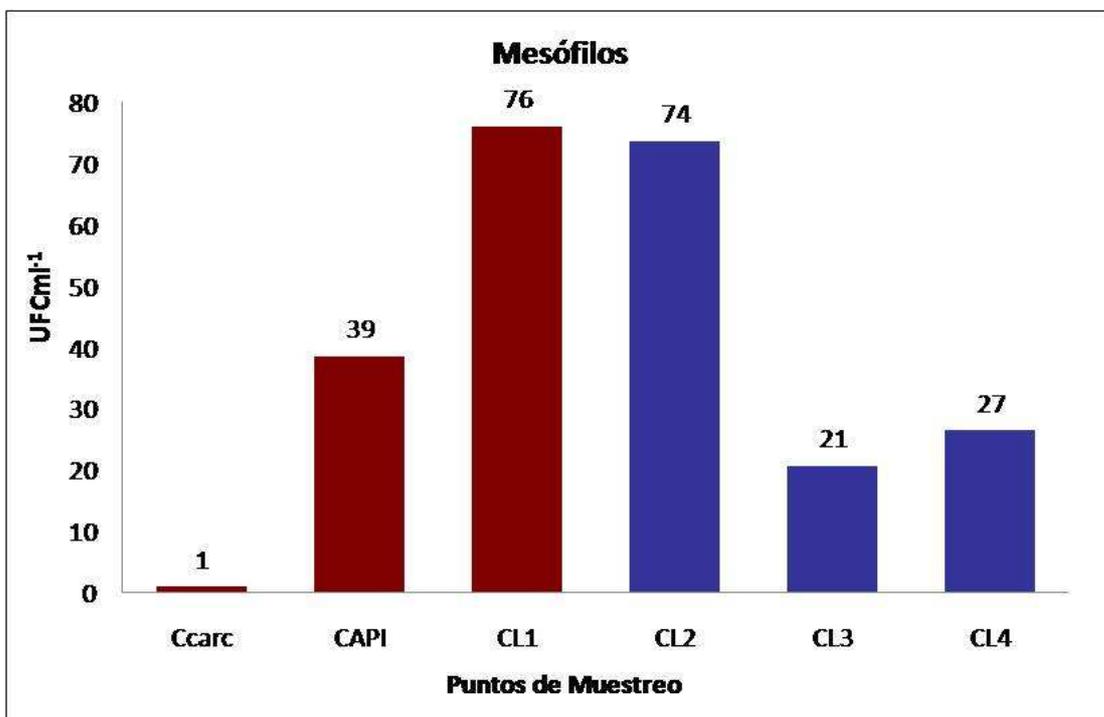


Figura 5.25 Presencia de microorganismos mesófilos es Cacalilao Veracruz

Las concentraciones de todos los parámetros analizados en el agua tanto de la laguna del Champayán así como las lagunas artificiales de Cacalilao se encuentran en la tabla 5.1. Se toma como referencia los resultados obtenidos del análisis del Champayán por tratarse de un cuerpo natural de agua.

Parámetro	CHA	CL2	CL3	CL4
DBO <sub>5</sub> (mg/L)	4.01	9.80	2.00	2.25
DQO (mg/L)	1800.00	107.00	218.00	240.00
Cloruros (mg/L)	153.60	2363.00	989.00	3143.00
Dureza Total (mg/L)	386.60	714.00	876.00	1825.00
Alcalinidad a la F (mg/L)	12.20	5.00	5.00	5.00
pH	9.35	8.00	8.00	8.00
SST (mg/L)	19.00	225.00	7.00	23.00
SDT (mg/L)	814.30	3736.00	2279.00	6422.00
Grasas y Aceites (mg/L)	8.15	22.00	14.00	13.00
Sulfatos (mg/L)	185.00	137.00	99.00	190.00
Coliformes fecales (UFC/100ml)	43.00	94.00	5.00	0.00
Coliformes totales (UFC/100ml)	95.00	506.00	12.00	2.00
Hongos y Levaduras (UFC/ml)	7.00	11.00	1.00	11.00
Mesófilos (UFC/ml)	53.00	74.00	21.00	27.00

**Tabla 5.1** Resumen de las concentraciones de contaminantes en la laguna del Champayán (CHA) en Altamira Tamaulipas, y las lagunas de Cacalilao Veracruz (CL2, CL3 Y CL4).

## **CAPITULO VI**

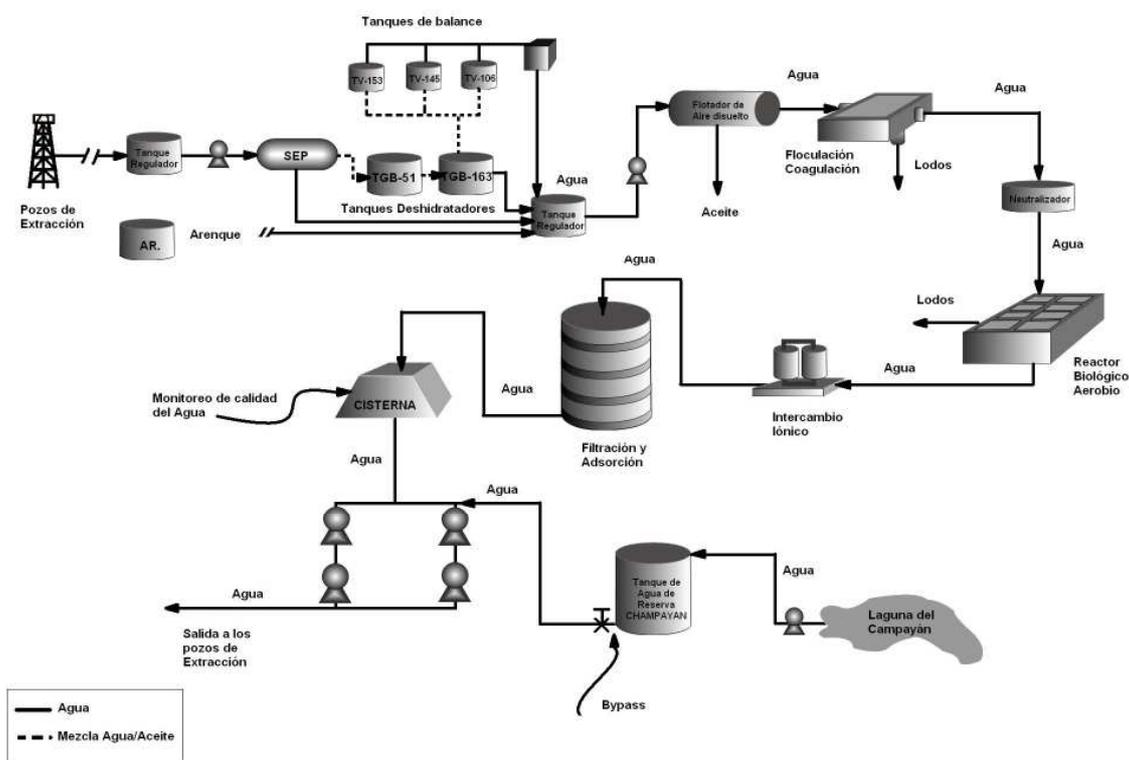
### **PROPUESTAS DE TRATAMIENTO**

#### **6.1 Propuestas de tratamiento para el sistema de recolección de agua de Campos Tamaulipas-Constituciones de PEP Altamira.**

Los datos obtenidos en el diagnóstico del agua contaminada que es desechada en los campos Tamaulipas-Constituciones en PEP Altamira sirven como base para detectar problemas que se presentan en los equipos, detectar los puntos con mayor producción o desecho de contaminantes, las condiciones en que se generan y la selección y ubicación del equipo necesario para su tratamiento.

El primer punto sensible detectado fue al comienzo de proceso de deshidratación en el flujo de la mezcla aceite/agua que alimenta al separador de agua libre. Por las mañanas el separador trabaja por arriba de su capacidad, provocando que haya una menor eficiencia en la separación, ocasionando que en la eliminación de agua haya una gran concentración de aceite. Esto genera tanto una innecesaria acumulación de aceite en las presas API, como un desperdicio de recursos.

La propuesta para resolver este problema es colocar un tanque de almacenamiento provisto de una bomba que sirva de “colchón” para regular y bombear el flujo de agua que es enviado al separador, de esta manera evitar que se trabaje a mayor o menor capacidad del equipo. En la figura 6.1 se muestra el diagrama general del tratamiento de agua.



**Figura 6.1** Diagrama general de Tratamiento para el agua recuperada durante el proceso de deshidratación del crudo en Campos Tamaulipas-Constituciones de PEP Altamira.

Las presas API son tecnología obsoleta, contaminan el suelo al ocurrir derrames, y por encontrarse a cielo abierto las emisiones a la atmósfera son constantes a todas horas del día y sin control alguno.

Se propone desaparecer por completo las presas API tanto de la planta deshidratadora como las ubicadas en el centro de recolección de agua. Estos terrenos serán aprovechados para ubicar los equipos de tratamiento de aguas residuales.

En la figura 6.2 se muestra el diagrama de bloques propuesto para el tratamiento del agua que es desechada para el proceso de deshidratación de PEP Altamira.

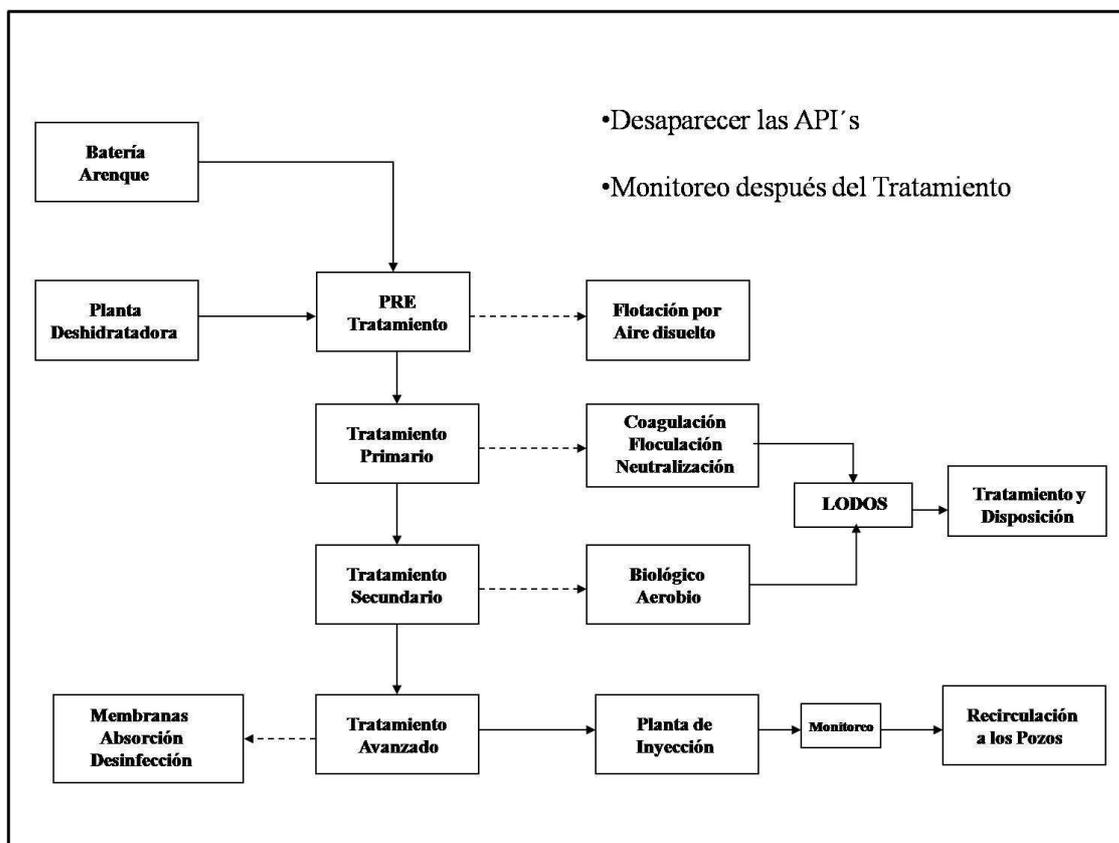


Figura 6.2 Propuesta de tratamiento para el proceso de recuperación de agua en los Campos Tamaulipas-Constituciones de PEP Altamira.

En esta propuesta se plantea que el agua que es desechada durante el proceso de deshidratación procedente tanto de batería arenque como de campos Tamaulipas-Constituciones se envíe a un pretratamiento para la eliminación del aceite, por medio de equipos de flotación de aire disuelto, este proceso aparte de eliminar aceite también elimina sólidos suspendidos en el agua. El lugar más indicado para ubicar el pretratamiento es en la zona de la presa API detrás de la planta deshidratadora. Eliminando el aceite con este proceso le damos mayor vida útil a los equipos de tratamiento posteriores y evitamos taponamiento de las tuberías.

El agua ya con concentraciones de aceite no mayor a  $10\text{mgL}^{-1}$  continúa hacia el tratamiento primario y se lleva a cabo en dos partes, primero la coagulación/floculación en un tanque especialmente diseñado para este proceso, donde el coagulante más recomendado es el sulfato de aluminio administrando en una dosis de 100 a  $300\text{mgL}^{-1}$ , pero también existen

otras opciones como el sulfato ferroso y el cloruro férrico al 40%. Con este proceso eliminamos los sólidos suspendidos en el agua, la reducción de la DQO (que puede ser muy variada según la eficiencia de los equipo y el coagulante que va desde un 20 hasta un 50%), después de decantar el agua es posible observar la por consiguiente la marcada reducción de la turbidez.

En la segunda parte, es necesario hacer un ajuste del pH a 7, es decir neutralizar el agua, utilizando como reguladores cal o ácido sulfúrico. Aunque regularmente el agua que es recolectada durante el proceso de deshidratación de agua es de carácter neutro, el pH puede variar durante el pretratamiento y el tratamiento primario, de aquí la importancia de neutralizar el agua antes de ser enviada al tratamiento secundario.

El tratamiento secundario consiste en utilizar reactores biológicos para eliminar la DBO y la DQO restante, como la DQO es superior a 5g/L se recomienda utilizar procesos aerobios que ofrecen ventajas económicas sobre los procesos anaerobios.

Otra opción sería omitir el reactor biológico, y amentar la eficiencia en la floculación, el resto de la DQO y DBO tratada por medio de filtración tradicional y micro filtración u ósmosis inversa, estas últimas también utilizadas para la eliminación de sales que aumentan la dureza en el agua.

Al término de la decantación y clarificación secundaria, se recomienda usar una serie de filtros, el primero por medios granulares como arena y antracita y el segundo utilizando carbón activado como medio de adsorción con la finalidad de fijar moléculas orgánicas como fenoles, hidrocarburos y compuestos clorados, así como el olor, el color y el sabor del agua.

Utilizando equipos de la ósmosis es posible eliminar sales que hayan quedado disueltas en el agua reduciendo la dureza.

Una vez que el proceso de tratamiento del agua ha concluido, el agua tratada se almacena en una cisterna donde es clorada para que no genere el crecimiento de microorganismos. Es en esta sección donde se monitorea la calidad del agua final para conocer las condiciones en que se encuentra y en las que es inyectada a los pozos.

La planta de inyección se encarga de bombear el agua a los pozos de inyección donde el ciclo vuelve a comenzar. El objetivo es reducir del 90 al 95% la alimentación de agua cruda y la inyección de agua contaminada a los pozos cisterna.

Al encontrarse en mejores condiciones el agua de inyección existirá un menor desgaste de los pozos de producción aumentando la eficiencia y la productividad de los Campos Tamaulipas-Constituciones de PEP Altamira.

El agua tratada puede utilizarse también en servicios dentro de la planta que sean de contacto indirecto u ocasional al ser humano.

En distintas etapas del tratamiento del agua existe la producción de lodos como producto secundario, el cual es considerado como un desecho. Antes de ser confinado, estos lodos pueden ser analizados y dependiendo del resultado obtenidos pueden tener distintos destinos, como venderse como combustibles, deshidratarse y venderse como abono ya sea para plantas de ornato para parques y jardines, para la agricultura en caso de no ser tóxicos. En el caso de que los análisis señalen a los lodos como residuo sólido peligroso entonces no hay más remedio que su confinamiento en sitios especiales izados para esta función.

## **CAPITULO VII CONCLUSIONES**

### **7.1 Conclusiones del circuito de recuperación de agua en los Campos Tamaulipas- Constituciones de PEP Altamira**

El diagnóstico realizado en campos Tamaulipas –Constituciones de PEP Altamira proporcionó la información necesaria de la concentración de contaminantes encontrada en el agua que se desecha durante el proceso de deshidratación del petróleo crudo, con esta información fue posible elaborar una propuesta para tratar el agua que es descargada y en lugar de desecha una parte, reutilizarla en mejores condiciones con la finalidad de reducir el consumo del Champayán de un 90 a 95%.

El reuso del agua tratada contribuye a ahorrar y minimizar el consumo de agua cruda, esto proporciona beneficios económicos, sociales y ambientales. Económicos por que se reduce el pago de derecho del agua de la laguna del Champayán; sociales por que la comunidad de Altamira también consume agua de la laguna del Champayán, en tiempo de sequias el volumen de agua que no es consumido por la planta sirven para abastecer de agua potable a miles de familias altamirenses; y ambiental por que el agua no será desechada en pozos cisterna que a la larga puedan filtrarse hacia cuerpos acuíferos, los desechos de la planta de tratamiento estarán bajo control y la reducción del consumo del agua del Champayán evitara que puedan ocurrir desequilibrios ecológicos.

Por otra parte, existe la posibilidad de que la concentración de los contaminantes pueda variar en un mismo sitio debido al punto exacto en que se tomo la muestra, por esta razón se realizó el estudio estadístico de los resultados. Debido a las características de los puntos de muestreo, cada replica fue tomada en forma simple para cada punto, asegurando así mayor representatividad en los resultados de los análisis, evitando la contaminación entre muestras y el ruido que como consecuencia se pudiera ocasionar.

Tomando como referencia la turbidez en el circuito de recuperación de agua de PEP Altamira, el agua se encuentra altamente contaminada, en zonas con mucho aceite y alta cantidad de sólidos, la turbidez aumenta a más de 300 unidades, en el Champayán la turbidez del agua se debe a la presencia de sólidos suspendidos o lodos, limo, insectos y algunas plantas acuíferas.

Los sulfatos son el único parámetro que se puede considerar proviene del agua cruda, los resultados demuestran que las aguas naturales son las portadoras de la mayoría de los sulfatos encontrados.

El agua se encuentra fuera de especificaciones de la NOM-003-SEMARNAT-1997 para ser reutilizada en actividades indirectas para el ser humano, el único punto que cumple con esta norma es el agua del Champayán. Esto representa un problema debido a que en algunos casos como lo es la DQO, la alcalinidad y los sulfatos en gran parte provienen de la laguna.

El agua de la laguna del Champayán tiene una DQO alta pero al pasar por el cárcamo y la bomba hacia la planta de inyección la DQO baja considerablemente debido al movimiento y la aireación que sufre durante el camino, aun así, la mayoría de la DQO proviene del pozo de producción y del primer tanque de balance. La DBO se encuentra en menor concentración pero aun así muy elevada comparada con las aguas naturales como para ser reutilizada sin tratamiento alguno.

El agua del Champayán es dulce, lo que hace concluir que la alta concentración de cloruros presentes en los procesos de recuperación de agua proviene del pozo de producción y permanecen prácticamente constantes durante todo el proceso hasta que el agua es mezclada con la del Champayán. Este caso aplica también tanto a los sólidos totales y la dureza que son arrastrados, como los cloruros, desde el pozo de producción.

En el caso de la alcalinidad y el pH, estos presentan un comportamiento diferente, la laguna del Champayán, como fuente natural de agua, tiene un pH ligeramente alcalino, que

tiene tendencia a neutralizarse durante el proceso. En la cisterna el pH baja tanto hasta convertirse en ácido débil, en los sitios donde se acumula al agua con el aceite existe la formación de gases de ácido sulfhídrico, que al irse mezclando con el agua va bajando el pH a ácido.

El aceite, al ser denso y viscoso, se acumula tanto en las tuberías, las paredes de las presas, los cárcamos y las cisternas, debido a esto se encuentran mayores concentraciones de grasas y aceites en estos sitios. La eliminación de aceite durante el proceso se debe a que la separación del agua y el aceite no es tan eficiente y una pequeñísima parte de este es desechado junto con el agua.

En el agua del Champayán existen microorganismos que crecen y se desarrollan naturalmente. Basta un microorganismo y las condiciones óptimas para que se desarrollen rápidamente y formen colonias. El agua que entra del Champayán a la planta de inyección se almacena en un cárcamo por un corto tiempo lo que ocasiona una contaminación y por consecuencia, un acelerado crecimiento de los coliformes, mesófilos, hongos y levaduras. En los sitios tibios, con poca turbulencia y baja concentración de aceite se lleva a cabo el crecimiento microbiano.

## **7.2 Conclusiones del análisis del agua de desecho de Baterías Arenque PEP**

La batería Arenque en todos los parámetros demuestra ser un caso especial, fácilmente explicable al tratarse de un sitio de trabajo con características distintas a los Campos de Tamaulipas-Constituciones. El aceite que se trabaja en arenque posee diferentes características a las de Altamira, por consiguiente responde mejor a la separación del agua obteniendo mejor eficiencia en la deshidratación. Por otro lado, los pozos de producción poseen diferentes características tanto física como químicamente con respecto a los ubicados en Altamira haciendo que al agua que pasa a través de ellos adquiera, en este caso, mayor concentración de contaminantes. La contaminación del agua también se puede ver reflejada en el crecimiento microbiológico, debido a que la presencia de contaminantes

es tan alta que el agua se vuelve tóxica para poder mantener cualquier tipo de vida microbiana.

### **7.3 Conclusiones del análisis del agua de desecho de la planta de Cacalilao Veracruz**

Los pozos de Cacalilao, como es el caso de arenque, poseen distintas características físicas y químicas que en Altamira y Arenque, pero en este caso las concentraciones son menores que en Altamira, esto se observa claramente con la turbidez. La separación de aceite del agua es más eficiente lo cual se demuestra en la baja concentración de aceites encontrada el agua. El pH y la alcalinidad demuestran que el agua que se elimina durante el proceso es neutra.

### **7.4 Conclusiones del análisis del agua de las lagunas artificiales en Cacalilao Veracruz**

El objetivo del análisis del agua de las presas fue comparar la calidad del agua con otras aguas naturales. La primera laguna que se encuentra ubicada dentro de la planta presenta concentraciones de contaminantes similares a la de las otras tres lagunas que están ubicadas fuera de los terrenos de PEMEX y a los alrededores de la planta. Las lagunas artificiales acumulan el agua de la lluvia.

Al comparar el agua de las lagunas artificiales con el agua del Champayán es posible deducir que las lagunas artificiales no son contaminadas por la presencia de la planta deshidratadora de Cacalilao, además la calidad del agua de las lagunas se encuentra dentro de los límites máximos permitidos por la NOM-001-SEMARNAT-2000.

La concentración de contaminantes en las lagunas de Cacalilao es menor que las halladas en Champayán debido a que el agua acumulada en las lagunas artificiales es de origen pluvial.

En general las aguas naturales tienen una composición y comportamiento diferente que las aguas que son desechadas durante el proceso de deshidratación del petróleo, ya sea en

Cacalilao Veracruz o en los Campos Tamaulipas-Constituciones en Altamira Tamaulipas. La principal razón es por que el agua de las plantas es inyectada a los pozos en donde esta en contacto no solamente con el crudo si no que es filtrada bajo presión en el pozo de producción.

De esta manera se puede concluir que el origen de la contaminación del agua proviene de los pozos de producción, de los cuales Arenque contamina más que Tamaulipas-Constituciones que a su vez contamina más el agua que los pozos de Cacalilao Veracruz.

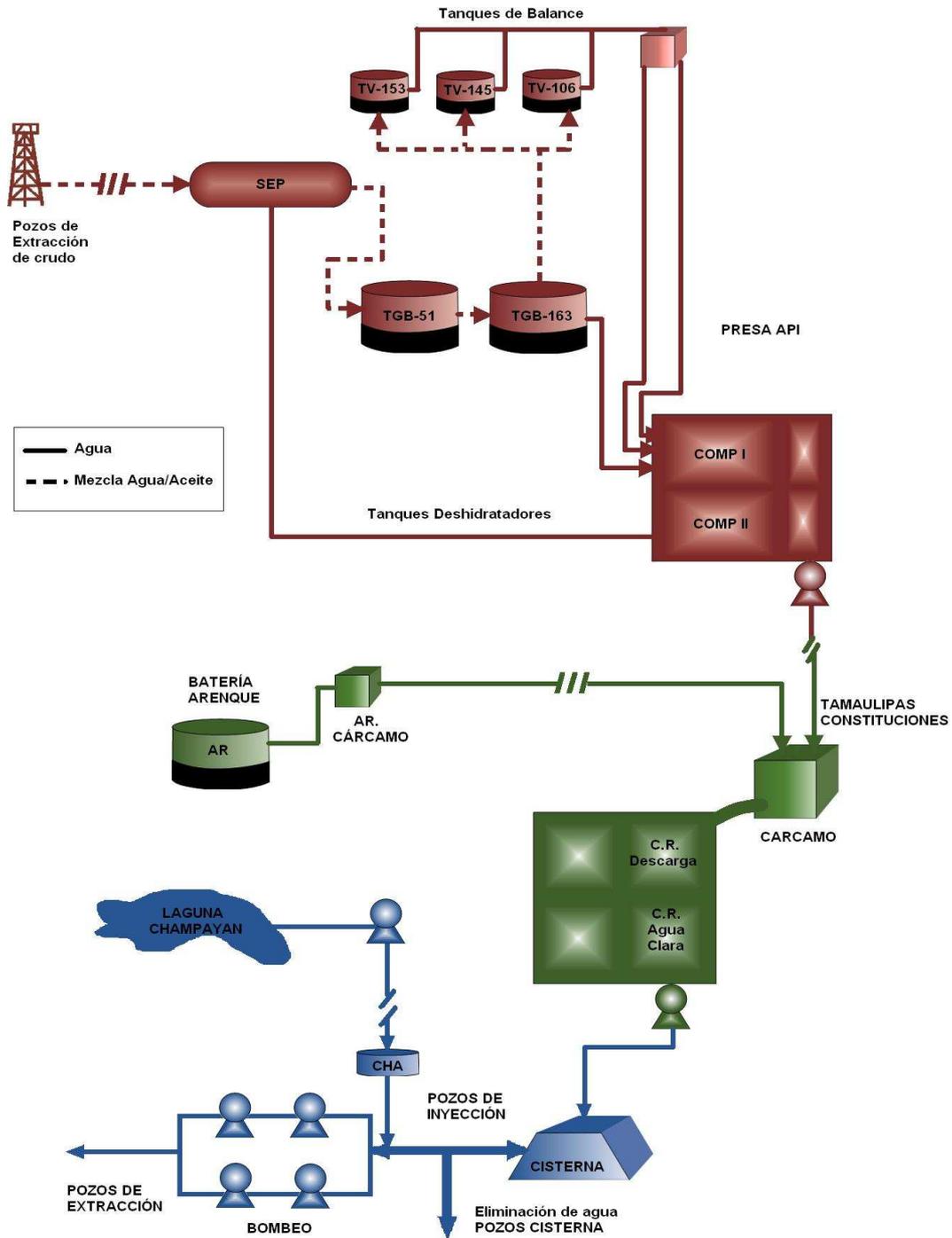
### **7.5 Trabajos futuros**

Con la propuesta de tratamiento es posible por un lado, diseñar una planta de tratamiento de agua piloto para el proceso de recuperación de agua contaminada en PEP Altamira, y por el otro las pruebas correspondientes y finalmente el escalamiento y adaptación para llevarlo a acabo en las plantas de Altamira.

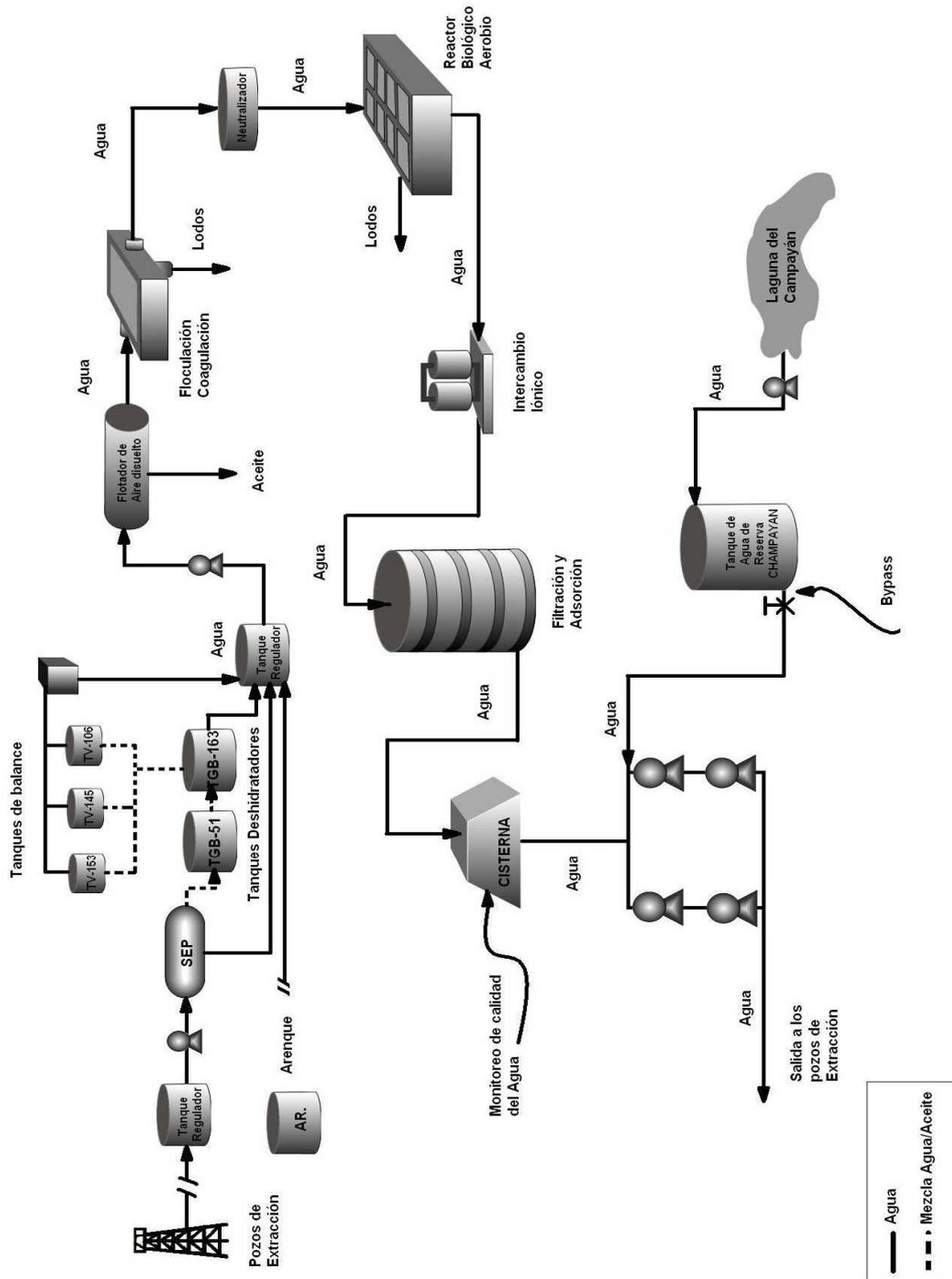
Finalmente es importante llevar un monitoreo constante del agua tratada para verificar el funcionamiento de la planta de tratamiento y detectar problemas y variaciones oportunamente.

ANEXO 1  
DIAGRAMAS

A 1.1 Diagrama general del proceso de recuperación de agua contaminada de Campos Tamaulipas-Constituciones y CPG Arenque de PEP Altamira

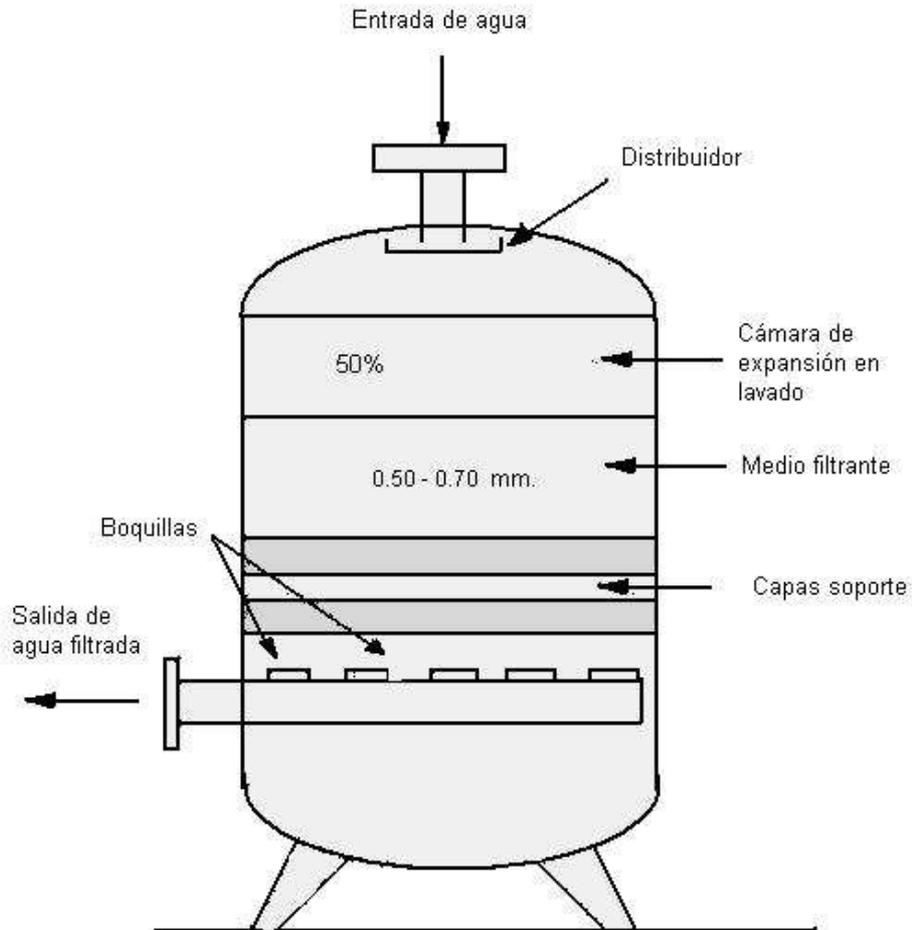


**A 1.2 Diagrama general del tratamiento de agua para el proceso de recuperación de agua contaminada de Campos Tamaulipas-Constituciones y CPG Arenque de PEP Altamira**



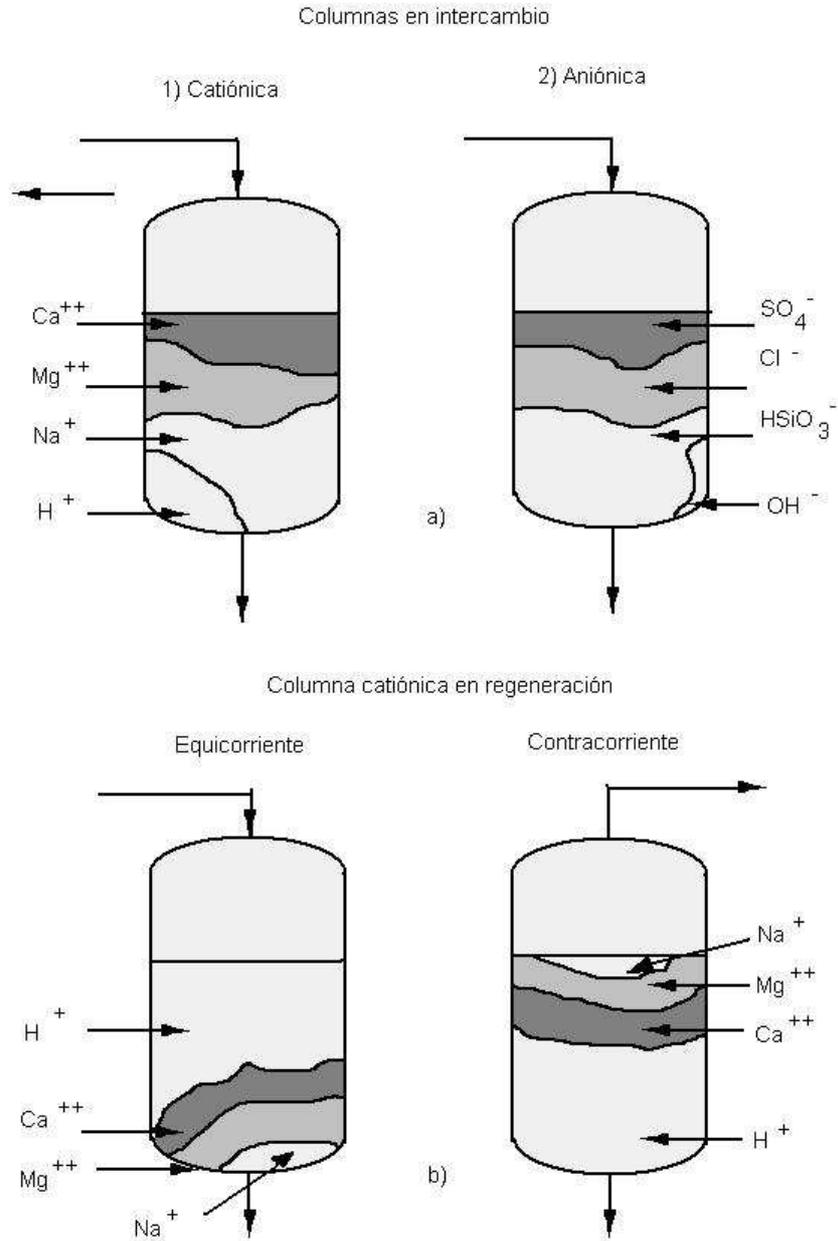
**A 1.3 Diagrama de los equipos utilizados para el tratamiento de agua residual**

**Figura A.1.** Filtro a presión vertical.



El agua a filtración atraviesa las capas del medio filtrante y sale por el colector del fondo.

Figura A.2 Intercambiador iónico.

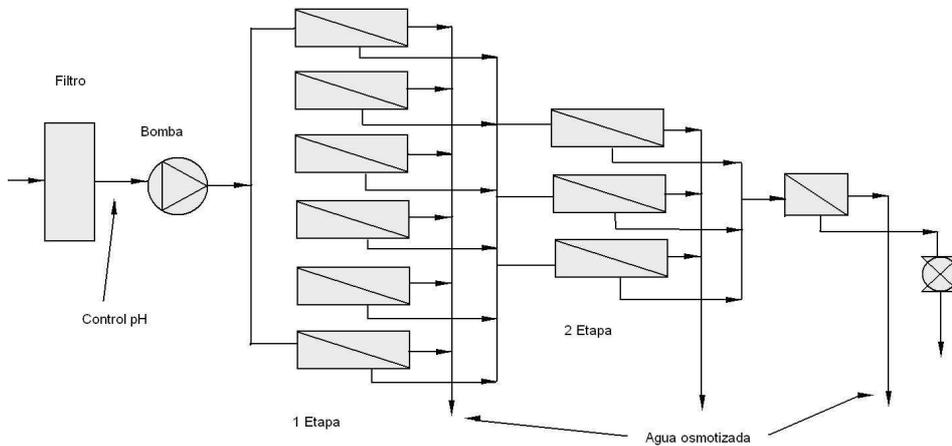


Perfiles de avance de los iones al final de la etapa de intercambio.

- a) Para una columna catiónica y una aniónica, y hacia el final de la etapa de regeneración.

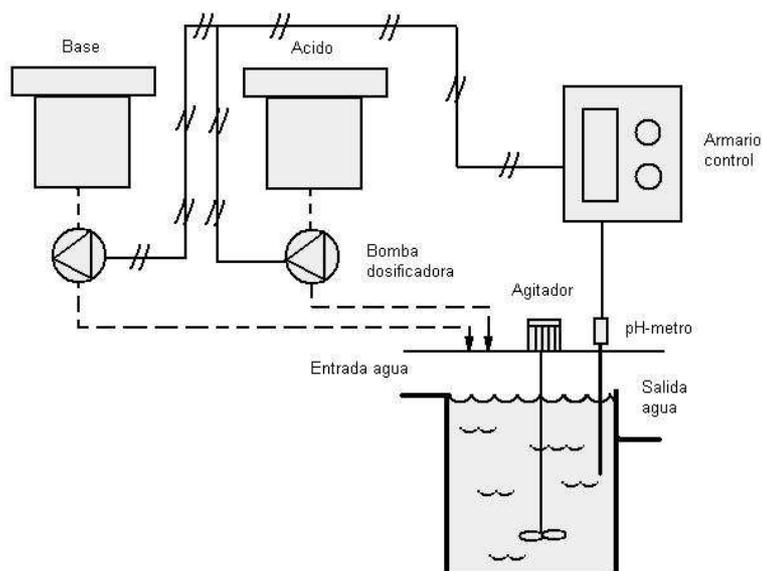
b) De la columna catiónica cuando la regeneración se realiza en equicorriente y en contracorriente

**Figura A.3** Diagrama del proceso de Osmosis Inversa en tres etapas.



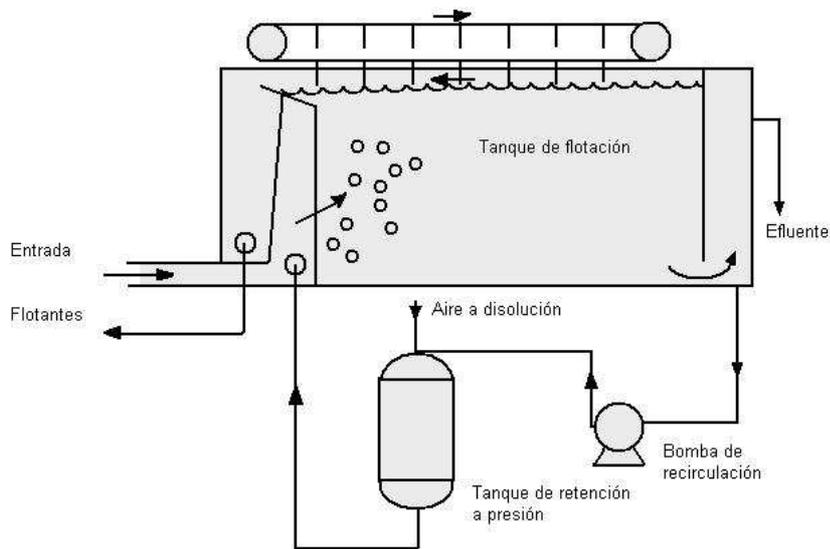
Las unidades de fibra hueca logran una alta recuperación pero la recuperación total esta limitada por razones hidráulicas. La recuperación total se puede aumentar mediante pasos múltiples, hasta un 90% dependiendo de la calidad del agua.

**Figura A.4.** Proceso de neutralización.



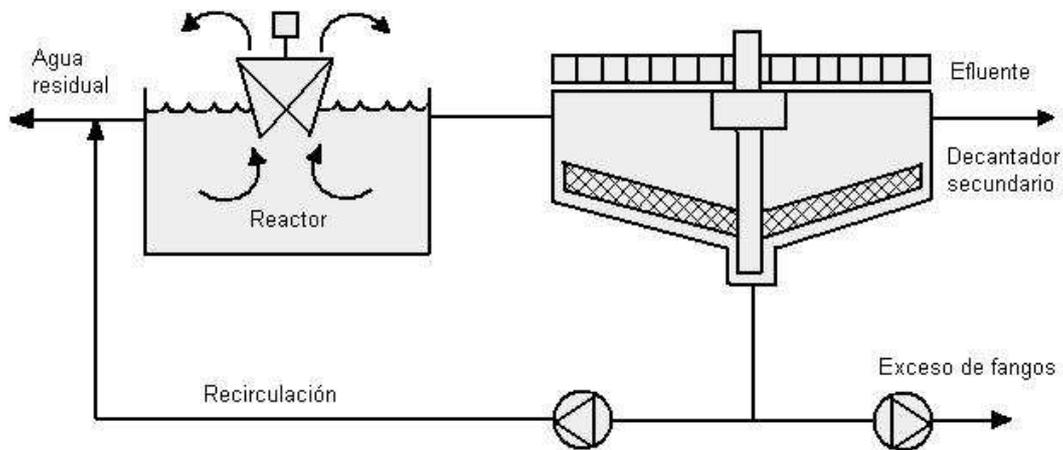
La neutralización mas ajustada de vertidos que puede ser ácidos o básicos se consigue por adición del reactivo antagonista.

**Figura A.5** Flotación por aire disuelto.



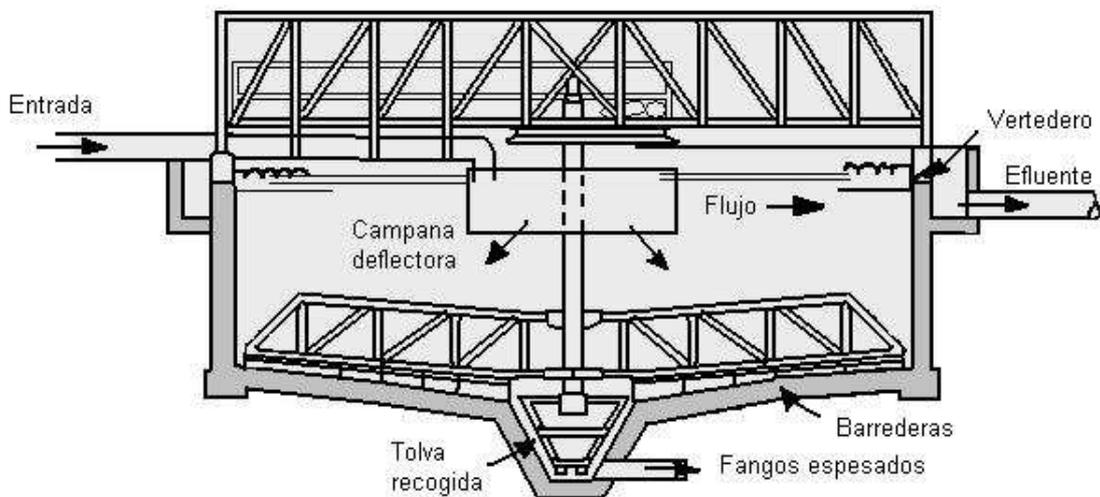
La flotación mediante burbujas de aire se utiliza para mejorarla separación de sustancias menos densas que el agua como las grasas y aceites, pero también para concentrar sólidos ligeros.

**Figura A.6** reactor biológico aerobio.



Modelo tradicional de reactor biológico de lodos activos y decantación secundaria con recirculación de lodos.

**Figura A.7** Espesado de lodos



El espesado por gravedad realiza una concentración de los lodos decantados. El espesador opera en la zona de compresión con un proceso más lento que la decantación.

## ANEXO 2 BASE DE DATOS

A continuación se muestran los resultados de los análisis obtenidos individualmente en cada una de las muestras recolectadas, ordenadas por punto de muestreo, y calculando el promedio aritmético de cada replica y la desviación estándar.

### A 2.1 Base de datos del Campos Tamaulipas-Constituciones de PEP Altamira

Punto: SEP

Parámetro	Muestras			Promedio X	Desviación Estándar
	A	B	C		
Alcalinidad a la F (mgL <sup>-1</sup> )	5.00	5.00	5.00	5.00	0.00
Cloruros (mgL <sup>-1</sup> )	15545.00	15168.00	16140.00	15617.67	490.06
DQO (mgL <sup>-1</sup> )	2660.00	5970.00	2480.00	3703.33	1965.05
DBO <sub>5</sub> (mgL <sup>-1</sup> )	107.00	157.00	206.00	156.67	49.50
Dureza total (mgL <sup>-1</sup> )	6280.00	6550.00	6610.00	6480.00	175.78
Grasas y aceites (mgL <sup>-1</sup> )	3307.00	4868.00	3038.00	3737.67	988.09
Sólidos Suspendidos Totales (mgL <sup>-1</sup> )	526.00	334.00	371.00	410.33	101.86
Sólidos Disueltos Totales (mgL <sup>-1</sup> )	22697.00	23776.00	19541.00	22004.67	2200.75
Sulfatos (mgL <sup>-1</sup> )	129.00	117.00	102.00	116.00	13.53
Turbidez (NTU)	92.40	170.00	72.00	111.47	51.71
pH	7.00	7.00	7.00	7.00	0.00
Coliformes fecales (UFC100ml <sup>-1</sup> )	6.00	2.00	0.00	2.67	3.06
Coliformes totales (UFC100ml <sup>-1</sup> )	8.00	6.00	2.00	5.33	3.06
Hongos y levaduras (UFCml <sup>-1</sup> )	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Mesófilos (UFCml <sup>-1</sup> )	0.00	1.00	0.00	0.33	0.58

## Punto: TGB-51

Parámetro	Muestras			Promedio X	Desviación Estándar
	A	B	C		
Alcalinidad a la F (mgL <sup>-1</sup> )	5.00	5.00	5.00	5.00	0.00
Cloruros (mgL <sup>-1</sup> )	13652.36	13509.85	13552.61	13571.61	73.13
DQO (mgL <sup>-1</sup> )	757.34	831.83	965.90	851.69	105.69
DBO <sub>5</sub> (mgL <sup>-1</sup> )	176.20	116.97	342.97	212.05	117.19
Dureza total (mgL <sup>-1</sup> )	4832.00	4708.00	4796.00	4778.67	63.79
Grasas y aceites (mgL <sup>-1</sup> )	54.25	64.89	77.66	65.60	11.72
Sólidos Suspendidos Totales (mgL <sup>-1</sup> )	220.00	104.00	1238.00	520.67	623.93
Sólidos Disueltos Totales (mgL <sup>-1</sup> )	9745.00	24453.00	19874.00	18024.00	7526.50
Sulfatos (mgL <sup>-1</sup> )	214.43	218.95	211.42	214.93	3.79
Turbidez (NTU)	8.98	6.17	7.57	7.57	1.41
pH	8.50	8.50	8.00	8.33	0.29
Coliformes fecales (NMP100ml <sup>-1</sup> )	3.00	3.00	3.00	3.00	0.00
Coliformes totales (NMP100ml <sup>-1</sup> )	3.00	3.00	3.00	3.00	0.00
Hongos y levaduras (UFCml <sup>-1</sup> )	0.00	0.00	2.00	0.67	1.15
Mesófilos (UFCml <sup>-1</sup> )	17.00	84.00	37.00	46.00	34.39

## Punto: TGB-163

Parámetro	Muestras			Promedio X	Desviación Estándar
	A	B	C		
Alcalinidad a la F (mgL <sup>-1</sup> )	5.00	5.00	5.00	5.00	0.00
Cloruros (mgL <sup>-1</sup> )	14934.94	15390.97	15334.00	15219.97	248.48
DQO (mgL <sup>-1</sup> )	1099.97	1055.28	1040.00	1065.08	31.16
DBO <sub>5</sub> (mgL <sup>-1</sup> )	1165.30	721.05	408.00	764.78	380.54
Dureza total (mgL <sup>-1</sup> )	4228.00	4648.00	4468.00	4448.00	210.71
Grasas y aceites (mgL <sup>-1</sup> )	56.38	93.64	605.31	251.78	306.74
Sólidos Suspendidos Totales (mgL <sup>-1</sup> )	89.00	114.00	72.00	91.67	21.13
Sólidos Disueltos Totales (mgL <sup>-1</sup> )	18408.00	5059.00	8839.00	10768.67	6880.53
Sulfatos (mgL <sup>-1</sup> )	142.36	127.31	137.00	135.56	7.63
Turbidez (NTU)	27.60	26.30	27.60	27.17	0.75
pH	7.50	8.50	8.00	8.00	0.50
Coliformes fecales (UFC100ml <sup>-1</sup> )	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Coliformes totales (UFC100ml <sup>-1</sup> )	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Hongos y levaduras (UFCml <sup>-1</sup> )	2.00	0.00	0.00	0.67	1.15
Mesófilos (UFCml <sup>-1</sup> )	7.00	18.00	0.00	8.33	9.07

## Punto: TV-106

Parámetro	Muestras			Promedio X	Desviación Estándar
	A	B	C		
Alcalinidad a la F (mgL <sup>-1</sup> )	5.00	5.00	5.00	5.00	0.00
Cloruros (mgL <sup>-1</sup> )	17835.00	18001.00	24803.00	20213.00	3975.92
DQO (mgL <sup>-1</sup> )	15800.00	1900.00	3400.00	7033.33	7629.11
DBO <sub>5</sub> (mgL <sup>-1</sup> )	912.00	896.00	728.00	845.33	101.93
Dureza total (mgL <sup>-1</sup> )	4202.00	4292.00	4322.00	4272.00	62.45
Grasas y aceites (mgL <sup>-1</sup> )	26.59	23.40	48.93	32.97	13.91
Sólidos Suspendidos Totales (mgL <sup>-1</sup> )	45.00	15.00	24.00	28.00	15.39
Sólidos Disueltos Totales (mgL <sup>-1</sup> )	27132.00	28439.00	37597.00	31056.00	5702.24
Sulfatos (mgL <sup>-1</sup> )	734.00	752.00	102.00	529.33	370.19
Turbidez (NTU)	12.50	11.20	19.40	14.37	4.41
pH	8.50	8.50	8.00	8.33	0.29
Coliformes fecales (UFC100ml <sup>-1</sup> )	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Coliformes totales (UFC100ml <sup>-1</sup> )	0.00	2.00	2.00	1.33	1.15
Hongos y levaduras (UFCml <sup>-1</sup> )	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Mesófilos (UFCml <sup>-1</sup> )	0.00	11.00	9.00	6.67	5.86

## Punto: TV-145

Parámetro	Muestras			Promedio X	Desviación Estándar
	A	B	C		
Alcalinidad a la F (mgL <sup>-1</sup> )	10.60	8.80	5.00	8.13	2.86
Cloruros (mgL <sup>-1</sup> )	17577.00	17419.00	13505.00	16167.00	2306.71
DQO (mgL <sup>-1</sup> )	270.00	2510.00	845.00	1208.33	1163.36
DBO <sub>5</sub> (mgL <sup>-1</sup> )	251.00	117.00	155.00	174.33	69.06
Dureza total (mgL <sup>-1</sup> )	7440.00	6920.00	6020.00	6793.33	718.42
Grasas y aceites (mgL <sup>-1</sup> )	6.83	14.88	11.70	11.14	4.05
Sólidos Suspendidos Totales (mgL <sup>-1</sup> )	168.00	130.00	46.00	114.67	62.43
Sólidos Disueltos Totales (mgL <sup>-1</sup> )	31326.00	29644.00	29101.00	30023.67	1160.07
Sulfatos (mgL <sup>-1</sup> )	44.00	78.00	241.00	121.00	105.30
Turbidez (NTU)	36.60	58.70	4.94	33.41	27.02
pH	7.00	7.00	7.00	7.00	0.00
Coliformes fecales (UFC100ml <sup>-1</sup> )	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Coliformes totales (UFC100ml <sup>-1</sup> )	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Hongos y levaduras (UFCml <sup>-1</sup> )	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Mesófilos (UFCml <sup>-1</sup> )	2.00	4.00	5.00	3.67	1.53

## Punto: TV-153

Parámetro	Muestras			Promedio X	Desviación Estándar
	A	B	C		
Alcalinidad a la F (mgL <sup>-1</sup> )	5.00	5.00	5.00	5.00	0.00
Cloruros (mgL <sup>-1</sup> )	18416.00	18167.00	18830.00	18471.00	334.90
DQO (mgL <sup>-1</sup> )	2300.00	2800.00	4200.00	3100.00	984.89
DBO <sub>5</sub> (mgL <sup>-1</sup> )	433.00	517.00	868.00	606.00	230.75
Dureza total (mgL <sup>-1</sup> )	5544.00	5402.00	5422.00	5456.00	76.86
Grasas y aceites (mgL <sup>-1</sup> )	12.00	16.00	15.00	14.33	2.08
Sólidos Suspendidos Totales (mgL <sup>-1</sup> )	59.00	39.00	23.00	40.33	18.04
Sólidos Disueltos Totales (mgL <sup>-1</sup> )	28688.00	28497.00	31839.00	29674.67	1876.80
Sulfatos (mgL <sup>-1</sup> )	209.00	180.00	166.00	185.00	21.93
Turbidez (NTU)	11.10	2.44	2.56	5.37	4.97
pH	7.00	7.50	7.50	7.33	0.29
Coliformes fecales (UFC100ml <sup>-1</sup> )	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Coliformes totales (UFC100ml <sup>-1</sup> )	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Hongos y levaduras (UFCml <sup>-1</sup> )	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Mesófilos (UFCml <sup>-1</sup> )	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

## Punto: API Comp I

Parámetro	Muestras			Promedio X	Desviación Estándar
	A	B	C		
Alcalinidad a la F (mgL <sup>-1</sup> )	14.00	5.00	5.00	8.00	5.20
Cloruros (mgL <sup>-1</sup> )	17659.00	17016.00	15783.00	16819.33	953.34
DQO (mgL <sup>-1</sup> )	2180.00	3300.00	3470.00	2983.33	700.88
DBO <sub>5</sub> (mgL <sup>-1</sup> )	122.00	364.00	258.00	248.00	121.31
Dureza total (mgL <sup>-1</sup> )	9140.00	8300.00	6040.00	7826.67	1603.29
Grasas y aceites (mgL <sup>-1</sup> )	87895.00	120842.00	68737.00	92491.33	26354.84
Sólidos Suspendidos Totales (mgL <sup>-1</sup> )	1904.00	397.00	81.00	794.00	974.19
Sólidos Disueltos Totales (mgL <sup>-1</sup> )	31004.00	26079.00	29558.00	28880.33	2531.47
Sulfatos (mgL <sup>-1</sup> )	79.00	84.00	395.00	186.00	181.02
Turbidez (NTU)	140.00	146.00	17.90	101.30	72.29
pH	7.00	7.50	7.00	7.17	0.29
Coliformes fecales (UFC100ml <sup>-1</sup> )	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Coliformes totales (UFC100ml <sup>-1</sup> )	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Hongos y levaduras (UFCml <sup>-1</sup> )	1.00	0.00	0.00	0.33	0.58
Mesófilos (UFCml <sup>-1</sup> )	0.00	4.00	3.00	2.33	2.08

## Punto: API Comp II

Parámetro	Muestras			Promedio X	Desviación Estándar
	A	B	C		
Alcalinidad a la F (mgL <sup>-1</sup> )	38.00	62.00	5.00	35.00	28.62
Cloruros (mgL <sup>-1</sup> )	13890.00	15422.00	16948.00	15420.00	1529.00
DQO (mgL <sup>-1</sup> )	2220.00	6620.00	4680.00	4506.67	2205.12
DBO <sub>5</sub> (mgL <sup>-1</sup> )	141.00	290.00	255.00	228.67	77.91
Dureza total (mgL <sup>-1</sup> )	11300.00	11570.00	6450.00	9773.33	2881.26
Grasas y aceites (mgL <sup>-1</sup> )	65.95	72.94	40.42	59.77	17.12
Sólidos Suspendidos Totales (mgL <sup>-1</sup> )	90.00	60.00	47.00	65.67	22.05
Sólidos Disueltos Totales (mgL <sup>-1</sup> )	23099.00	26436.00	32635.00	27390.00	4839.05
Sulfatos (mgL <sup>-1</sup> )	301.00	236.00	197.00	244.67	52.54
Turbidez (NTU)	75.50	64.90	37.50	59.30	19.61
pH	7.00	8.00	7.50	7.50	0.50
Coliformes fecales (NMP100ml <sup>-1</sup> )	3.00	3.00	3.00	3.00	0.00
Coliformes totales (NMP100ml <sup>-1</sup> )	3.00	3.00	3.00	3.00	0.00
Hongos y levaduras (UFCml <sup>-1</sup> )	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Mesófilos (UFCml <sup>-1</sup> )	366.00	280.00	130.00	258.67	119.44

## Punto: AR Cárcamo

Parámetro	Muestras			Promedio X	Desviación Estándar
	A	B	C		
Alcalinidad a la F (mgL <sup>-1</sup> )	5.00	5.00	5.00	5.00	0.00
Cloruros (mgL <sup>-1</sup> )	35403.00	35432.00	35446.00	35427.00	21.93
DQO (mgL <sup>-1</sup> )	3011.00	4612.00	4873.00	4165.33	1008.16
DBO <sub>5</sub> (mgL <sup>-1</sup> )	302.00	336.00	420.00	352.67	60.74
Dureza total (mgL <sup>-1</sup> )	24280.00	24370.00	24700.00	24450.00	221.13
Grasas y aceites (mgL <sup>-1</sup> )	8.51	14.89	12.76	12.05	3.25
Sólidos Suspendidos Totales (mgL <sup>-1</sup> )	140.00	157.00	135.00	144.00	11.53
Sólidos Disueltos Totales (mgL <sup>-1</sup> )	66007.00	65304.00	50444.00	60585.00	8789.39
Sulfatos (mgL <sup>-1</sup> )	186.00	201.00	193.00	193.33	7.51
Turbidez (NTU)	425.00	311.00	45.00	260.33	195.00
pH	6.50	7.50	6.50	6.83	0.58
Coliformes fecales (UFC100ml <sup>-1</sup> )	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Coliformes totales (UFC100ml <sup>-1</sup> )	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Hongos y levaduras (UFCml <sup>-1</sup> )	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Mesófilos (UFCml <sup>-1</sup> )	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

## Punto: AR

Parámetro	Muestras			Promedio X	Desviación Estándar
	A	B	C		
Alcalinidad a la F (mgL <sup>-1</sup> )	5.00	5.00	5.00	5.00	0.00
Cloruros (mgL <sup>-1</sup> )	39403.00	21983.00	37578.00	32988.00	9574.19
DQO (mgL <sup>-1</sup> )	3500.00	5200.00	22800.00	10500.00	10685.97
DBO <sub>5</sub> (mgL <sup>-1</sup> )	492.00	428.00	534.00	484.67	53.38
Dureza total (mgL <sup>-1</sup> )	23460.00	24150.00	24510.00	24040.00	533.57
Grasas y aceites (mgL <sup>-1</sup> )	12.76	8.51	18.08	13.12	4.79
Sólidos Suspendidos Totales (mgL <sup>-1</sup> )	171.00	109.00	195.00	158.33	44.38
Sólidos Disueltos Totales (mgL <sup>-1</sup> )	75500.00	66917.00	61944.00	68120.33	6857.64
Sulfatos (mgL <sup>-1</sup> )	248.00	216.00	265.00	243.00	24.88
Turbidez (NTU)	5.61	5.33	8.15	6.36	1.55
pH	7.50	7.50	8.00	7.67	0.29
Coliformes fecales (UFC100ml <sup>-1</sup> )	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Coliformes totales (UFC100ml <sup>-1</sup> )	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Hongos y levaduras (UFCml <sup>-1</sup> )	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Mesófilos (UFCml <sup>-1</sup> )	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

## Punto: CR Desc

Parámetro	Muestras			Promedio X	Desviación Estándar
	A	B	C		
Alcalinidad a la F (mgL <sup>-1</sup> )	5.00	5.00	5.00	5.00	0.00
Cloruros (mgL <sup>-1</sup> )	17542.86	16887.32	21998.00	18809.39	2780.80
DQO (mgL <sup>-1</sup> )	936.11	10043.50	921.21	3966.94	5262.46
DBO <sub>5</sub> (mgL <sup>-1</sup> )	276.00	205.28	200.99	227.42	42.12
Dureza total (mgL <sup>-1</sup> )	6092.00	6032.00	6134.00	6086.00	51.26
Grasas y aceites (mgL <sup>-1</sup> )	132.00	454.00	1102.00	562.67	494.05
Sólidos Suspendidos Totales (mgL <sup>-1</sup> )	113.00	106.00	116.00	111.67	5.13
Sólidos Disueltos Totales (mgL <sup>-1</sup> )	15920.00	33749.00	28305.00	25991.33	9136.91
Sulfatos (mgL <sup>-1</sup> )	325.00	343.86	175.30	281.39	92.36
Turbidez (NTU)	30.10	36.60	53.20	39.97	11.91
pH	7.50	8.00	8.50	8.00	0.50
Coliformes fecales (UFC100ml <sup>-1</sup> )	0.00	6.00	0.00	2.00	3.46
Coliformes totales (UFC100ml <sup>-1</sup> )	2.00	48.00	4.00	18.00	26.00
Hongos y levaduras (UFCml <sup>-1</sup> )	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Mesófilos (UFCml <sup>-1</sup> )	4.00	5.00	7.00	5.33	1.53

## Punto: CR Agua Clara

Parámetro	Muestras			Promedio X	Desviación Estándar
	A	B	C		
Alcalinidad a la F (mgL <sup>-1</sup> )	5.00	5.00	5.00	5.00	0.00
Cloruros (mgL <sup>-1</sup> )	21282.19	18145.72	19740.00	19722.64	1568.31
DQO (mgL <sup>-1</sup> )	891.41	936.11	876.52	901.35	31.01
DBO <sub>5</sub> (mgL <sup>-1</sup> )	212.86	88.00	260.80	187.22	89.21
Dureza total (mgL <sup>-1</sup> )	6244.00	6408.00	6264.00	6305.33	89.47
Grasas y aceites (mgL <sup>-1</sup> )	144.00	134.00	412.00	230.00	157.70
Sólidos Suspendidos Totales (mgL <sup>-1</sup> )	100.00	106.00	101.00	102.33	3.21
Sólidos Disueltos Totales (mgL <sup>-1</sup> )	27086.00	28348.00	36933.00	30789.00	5358.14
Sulfatos (mgL <sup>-1</sup> )	175.30	167.68	155.00	165.99	10.25
Turbidez (NTU)	174.00	244.00	343.00	253.67	84.91
pH	8.00	7.50	8.00	7.83	0.29
Coliformes fecales (UFC100ml <sup>-1</sup> )	40.00	10.00	36.00	28.67	16.29
Coliformes totales (UFC100ml <sup>-1</sup> )	60.00	14.00	58.00	44.00	26.00
Hongos y levaduras (UFCml <sup>-1</sup> )	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Mesófilos (UFCml <sup>-1</sup> )	10.00	13.00	13.00	12.00	1.73

## Punto: PI Cistema

Parámetro	Muestras			Promedio X	Desviación Estándar
	A	B	C		
Alcalinidad a la F (mgL <sup>-1</sup> )	5.00	5.00	5.00	5.00	0.00
Cloruros (mgL <sup>-1</sup> )	16460.00	16431.00	16431.00	16440.67	16.74
DQO (mgL <sup>-1</sup> )	1919.00	787.00	1130.00	1278.67	580.46
DBO <sub>5</sub> (mgL <sup>-1</sup> )	121.00	201.00	244.00	188.67	62.42
Dureza total (mgL <sup>-1</sup> )	7098.00	7092.00	7112.00	7100.67	10.26
Grasas y aceites (mgL <sup>-1</sup> )	141.48	246105.00	267053.00	171099.83	148424.30
Sólidos Suspendidos Totales (mgL <sup>-1</sup> )	103.00	97.00	116.00	105.33	9.71
Sólidos Disueltos Totales (mgL <sup>-1</sup> )	29371.00	29348.00	26301.00	28340.00	1765.86
Sulfatos (mgL <sup>-1</sup> )	205.00	226.00	186.00	205.67	20.01
Turbidez (NTU)	83.70	53.40	60.00	65.70	15.93
pH	5.50	6.50	6.50	6.17	0.58
Coliformes fecales (UFC100ml <sup>-1</sup> )	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Coliformes totales (UFC100ml <sup>-1</sup> )	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Hongos y levaduras (UFCml <sup>-1</sup> )	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Mesófilos (UFCml <sup>-1</sup> )	1.00	0.00	3.00	1.33	1.53

## Punto: PI Ent CHA

Parámetro	Muestras			Promedio X	Desviación Estándar
	A	B	C		
Alcalinidad a la F (mgL <sup>-1</sup> )	33.33	17.61	34.83	28.59	9.54
Cloruros (mgL <sup>-1</sup> )	233.59	183.61	180.31	199.17	29.85
DQO (mgL <sup>-1</sup> )	100.00	74.00	58.98	77.66	20.75
DBO <sub>5</sub> (mgL <sup>-1</sup> )	12.45	35.53	22.34	23.44	11.58
Dureza total (mgL <sup>-1</sup> )	596.00	373.00	578.00	515.67	123.88
Grasas y aceites (mgL <sup>-1</sup> )	9.57	19.14	13.83	14.18	4.79
Sólidos Suspendidos Totales (mgL <sup>-1</sup> )	48.00	40.00	44.00	44.00	4.00
Sólidos Disueltos Totales (mgL <sup>-1</sup> )	780.00	958.00	192.00	643.33	400.87
Sulfatos (mgL <sup>-1</sup> )	243.42	386.00	355.90	328.44	75.15
Turbidez (NTU)	10.50	16.30	8.49	11.76	4.06
pH	9.00	9.00	8.50	8.83	0.29
Coliformes fecales (UFC100ml <sup>-1</sup> )	2.00	2.00	2.00	2.00	0.00
Coliformes totales (UFC100ml <sup>-1</sup> )	30.00	26.00	22.00	26.00	4.00
Hongos y levaduras (UFCml <sup>-1</sup> )	0.00	0.00	1.00	0.33	0.58
Mesófilos (UFCml <sup>-1</sup> )	2.00	4.00	4.00	3.33	1.15

## Punto: PI Salida

Parámetro	Muestras			Promedio X	Desviación Estándar
	A	B	C		
Alcalinidad a la F (mgL <sup>-1</sup> )	22.70	23.10	30.45	25.42	4.36
Cloruros (mgL <sup>-1</sup> )	5335.00	5736.00	7218.00	6096.33	991.87
DQO (mgL <sup>-1</sup> )	445.00	683.00	294.00	474.00	196.11
DBO <sub>5</sub> (mgL <sup>-1</sup> )	149.00	402.00	26.96	192.65	191.29
Dureza total (mgL <sup>-1</sup> )	2570.00	2870.00	2460.00	2633.33	212.21
Grasas y aceites (mgL <sup>-1</sup> )	13.83	23.40	12.76	16.66	5.86
Sólidos Suspendidos Totales (mgL <sup>-1</sup> )	50.00	46.00	133.33	76.44	49.31
Sólidos Disueltos Totales (mgL <sup>-1</sup> )	16102.00	3409.00	2610.67	7373.89	7569.30
Sulfatos (mgL <sup>-1</sup> )	326.00	353.00	285.17	321.39	34.15
Turbidez (NTU)	56.70	70.10	23.40	50.07	24.05
pH	8.00	8.00	8.00	8.00	0.00
Coliformes fecales (UFC100ml <sup>-1</sup> )	4.00	10.00	0.00	4.67	5.03
Coliformes totales (UFC100ml <sup>-1</sup> )	18.00	36.00	30.00	28.00	9.17
Hongos y levaduras (UFCml <sup>-1</sup> )	0.00	1.00	0.00	0.33	0.58
Mesófilos (UFCml <sup>-1</sup> )	17.00	9.00	11.00	12.33	4.16

## Punto: Laguna Champayán

Parámetro	Muestras			Promedio X	Desviación Estándar
	A	B	C		
Alcalinidad a la F (mgL <sup>-1</sup> )	11.40	11.40	13.90	12.23	1.44
Cloruros (mgL <sup>-1</sup> )	150.00	156.00	155.00	153.67	3.21
DQO (mgL <sup>-1</sup> )	1000.00	1400.00	3000.00	1800.00	1058.30
DBO <sub>5</sub> (mgL <sup>-1</sup> )	4.40	5.80	1.83	4.01	2.01
Dureza total (mgL <sup>-1</sup> )	374.00	395.00	390.00	386.33	10.97
Grasas y aceites (mgL <sup>-1</sup> )	14.89	9.57	0.00	8.15	7.55
Sólidos Suspendidos Totales (mgL <sup>-1</sup> )	11.00	8.00	38.00	19.00	16.52
Sólidos Disueltos Totales (mgL <sup>-1</sup> )	913.00	867.00	663.00	814.33	133.06
Sulfatos (mgL <sup>-1</sup> )	191.00	189.00	177.00	185.67	7.57
Turbidez (NTU)	14.00	10.10	10.50	11.53	2.15
pH	9.00	9.50	9.50	9.33	0.29
Coliformes fecales (UFC100ml <sup>-1</sup> )	28.00	56.00	46.00	43.33	14.19
Coliformes totales (UFC100ml <sup>-1</sup> )	78.00	112.00	94.00	94.67	17.01
Hongos y levaduras (UFCml <sup>-1</sup> )	4.00	15.00	3.00	7.33	6.66
Mesófilos (UFCml <sup>-1</sup> )	89.00	16.00	53.00	52.67	36.50

## A 2.2 Base de datos de la Planta Deshidratadora de Cacalilao Veracruz y cuatro lagunas artificiales vecinas. Campos

Punto: C Cárcamo

Parámetro	Muestras			Promedio X	Desviación Estándar
	A	B	C		
Alcalinidad a la F (mgL <sup>-1</sup> )	5.00	5.00	5.00	5.00	0.00
Cloruros (mgL <sup>-1</sup> )	22633.00	21657.00	22207.00	22165.67	489.31
DQO (mgL <sup>-1</sup> )	2080.00	2380.00	2930.00	2463.33	431.08
DBO <sub>5</sub> (mgL <sup>-1</sup> )	273.00	309.00	205.00	262.33	52.81
Dureza total (mgL <sup>-1</sup> )	4443.00	4946.00	4455.00	4614.67	287.01
Grasas y aceites (mgL <sup>-1</sup> )	32.00	112.00	58.00	67.33	40.81
Sólidos Suspendidos Totales (mgL <sup>-1</sup> )	131.00	146.00	151.00	142.67	10.41
Sólidos Disueltos Totales (mgL <sup>-1</sup> )	39540.00	37135.00	34600.00	37091.67	2470.29
Sulfatos (mgL <sup>-1</sup> )	120.00	105.00	118.00	114.33	8.14
Turbidez (NTU)	13.00	22.00	12.00	15.67	5.51
pH	7.00	7.50	7.00	7.17	0.29
Coliformes fecales (UFC100ml <sup>-1</sup> )	4.00	16.00	20.00	13.33	8.33
Coliformes totales (UFC100ml <sup>-1</sup> )	30.00	40.00	56.00	42.00	13.11
Hongos y levaduras (UFCml <sup>-1</sup> )	0.00	0.00	1.00	0.33	0.58
Mesófilos (UFCml <sup>-1</sup> )	5.00	11.00	9.00	8.33	3.06

## Punto: C API

Parámetro	Muestras			Promedio X	Desviación Estándar
	A	B	C		
Alcalinidad a la F (mgL <sup>-1</sup> )	5.00	5.00	5.00	5.00	0.00
Cloruros (mgL <sup>-1</sup> )	22358.00	21980.00	22468.00	22268.67	255.97
DQO (mgL <sup>-1</sup> )	2320.00	2760.00	2030.00	2370.00	367.56
DBO <sub>5</sub> (mgL <sup>-1</sup> )	176.00	173.00	191.00	180.00	9.64
Dureza total (mgL <sup>-1</sup> )	4950.00	4976.00	4998.00	4974.67	24.03
Grasas y aceites (mgL <sup>-1</sup> )	57.00	43.00	51.00	50.33	7.02
Sólidos Suspendidos Totales (mgL <sup>-1</sup> )	31.00	113.00	130.00	91.33	52.94
Sólidos Disueltos Totales (mgL <sup>-1</sup> )	35656.00	47210.00	42511.00	41792.33	5810.43
Sulfatos (mgL <sup>-1</sup> )	102.00	137.00	129.00	122.67	18.34
Turbidez (NTU)	6.00	38.00	12.00	18.67	17.01
pH	7.50	7.00	7.50	7.33	0.29
Coliformes fecales (UFC100ml <sup>-1</sup> )	96.00	42.00	72.00	70.00	27.06
Coliformes totales (UFC100ml <sup>-1</sup> )	120.00	54.00	92.00	88.67	33.13
Hongos y levaduras (UFCml <sup>-1</sup> )	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Mesófilos (UFCml <sup>-1</sup> )	89.00	18.00	9.00	38.67	43.82

## Punto: C L 1

Parámetro	Muestras			Promedio X	Desviación Estándar
	A	B	C		
Alcalinidad a la F (mgL <sup>-1</sup> )	5.00	5.00	5.00	5.00	0.00
Cloruros (mgL <sup>-1</sup> )	1556.00	1376.00	1306.00	1412.67	128.97
DQO (mgL <sup>-1</sup> )	227.00	217.00	210.00	218.00	8.54
DBO <sub>5</sub> (mgL <sup>-1</sup> )	16.30	11.50	19.10	15.63	3.84
Dureza total (mgL <sup>-1</sup> )	998.00	710.00	669.00	792.33	179.29
Grasas y aceites (mgL <sup>-1</sup> )	21.00	26.00	15.00	20.67	5.51
Sólidos Suspendidos Totales (mgL <sup>-1</sup> )	215.00	22.00	72.00	103.00	100.16
Sólidos Disueltos Totales (mgL <sup>-1</sup> )	2428.00	2440.00	2404.00	2424.00	18.33
Sulfatos (mgL <sup>-1</sup> )	283.00	267.00	275.00	275.00	8.00
Turbidez (NTU)	114.00	6.00	12.00	44.00	60.70
pH	8.50	8.20	7.80	8.17	0.35
Coliformes fecales (UFC100ml <sup>-1</sup> )	450.00	10.00	118.00	192.67	229.31
Coliformes totales (UFC100ml <sup>-1</sup> )	4000.00	44.00	196.00	1413.33	2241.41
Hongos y levaduras (UFCml <sup>-1</sup> )	19.00	0.00	2.00	7.00	10.44
Mesófilos (UFCml <sup>-1</sup> )	127.00	54.00	47.00	76.00	44.31

## Punto: C L 2

Parámetro	Muestras				Promedio X	Desviación Estándar
	A	B	C	D		
Alcalinidad a la F (mgL <sup>-1</sup> )	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	0.00
Cloruros (mgL <sup>-1</sup> )	2768.00	2223.00	2418.00	2039.00	2362.00	501.31
DQO (mgL <sup>-1</sup> )	151.00	64.00	133.00	81.00	107.25	77.33
DBO <sub>5</sub> (mgL <sup>-1</sup> )	17.20	3.40	12.80	5.80	9.80	11.23
Dureza total (mgL <sup>-1</sup> )	766.00	673.00	820.00	599.00	714.50	210.55
Grasas y aceites (mgL <sup>-1</sup> )	10.00	18.00	10.00	50.00	22.00	40.21
Sólidos Suspendidos Totales (mgL <sup>-1</sup> )	483.00	42.00	358.00	19.00	225.50	420.50
Sólidos Disueltos Totales (mgL <sup>-1</sup> )	3705.00	3786.00	3991.00	3463.00	3736.25	484.53
Sulfatos (mgL <sup>-1</sup> )	143.00	122.00	142.00	144.00	137.75	22.70
Turbidez (NTU)	627.00	30.00	483.00	39.00	294.75	565.21
pH	8.00	8.50	7.50	8.00	8.00	0.91
Coliformes fecales (UFC100ml <sup>-1</sup> )	96.00	170.00	0.00	108.00	93.50	156.29
Coliformes totales (UFC100ml <sup>-1</sup> )	220.00	1600.00	0.00	202.00	505.50	1607.77
Hongos y levaduras (UFCml <sup>-1</sup> )	6.00	29.00	6.00	1.00	10.50	27.49
Mesófilos (UFCml <sup>-1</sup> )	37.00	42.00	164.00	52.00	73.75	128.22

## Punto: C L 3

Parámetro	Muestras			Promedio X	Desviación Estándar
	A	B	C		
Alcalinidad a la F (mgL <sup>-1</sup> )	5.00	5.00	5.00	5.00	0.00
Cloruros (mgL <sup>-1</sup> )	1007.00	997.00	965.00	989.67	21.94
DQO (mgL <sup>-1</sup> )	87.00	117.00	110.00	104.67	15.70
DBO <sub>5</sub> (mgL <sup>-1</sup> )	2.00	2.00	2.00	2.00	0.00
Dureza total (mgL <sup>-1</sup> )	901.00	916.00	812.00	876.33	56.22
Grasas y aceites (mgL <sup>-1</sup> )	16.00	9.00	19.00	14.67	5.13
Sólidos Suspendidos Totales (mgL <sup>-1</sup> )	6.00	9.00	6.00	7.00	1.73
Sólidos Disueltos Totales (mgL <sup>-1</sup> )	2196.00	2298.00	2345.00	2279.67	76.17
Sulfatos (mgL <sup>-1</sup> )	100.00	103.00	95.00	99.33	4.04
Turbidez (NTU)	4.33	4.33	5.00	4.55	0.39
pH	8.00	8.20	8.00	8.07	0.12
Coliformes fecales (UFC100ml <sup>-1</sup> )	0.00	0.00	16.00	5.33	9.24
Coliformes totales (UFC100ml <sup>-1</sup> )	2.00	0.00	34.00	12.00	19.08
Hongos y levaduras (UFCml <sup>-1</sup> )	0.00	4.00	0.00	1.33	2.31
Mesófilos (UFCml <sup>-1</sup> )	10.00	7.00	45.00	20.67	21.13

## Punto: C L 4

Parámetro	Muestras		Promedio X	Desviación Estándar
	A	B		
Alcalinidad a la F (mgL <sup>-1</sup> )	5.00	5.00	5.00	0.00
Cloruros (mgL <sup>-1</sup> )	3239.00	3047.00	3143.00	135.76
DQO (mgL <sup>-1</sup> )	360.00	120.00	240.00	169.71
DBO <sub>5</sub> (mgL <sup>-1</sup> )	2.51	2.00	2.26	0.36
Dureza total (mgL <sup>-1</sup> )	1917.00	1734.00	1825.50	129.40
Grasas y aceites (mgL <sup>-1</sup> )	15.00	11.00	13.00	2.83
Sólidos Suspendidos Totales (mgL <sup>-1</sup> )	22.00	24.00	23.00	1.41
Sólidos Disueltos Totales (mgL <sup>-1</sup> )	6509.00	6355.00	6432.00	108.89
Sulfatos (mgL <sup>-1</sup> )	201.00	180.00	190.50	14.85
Turbidez (NTU)	10.00	9.00	9.50	0.71
pH	8.00	8.00	8.00	0.00
Coliformes fecales (UFC100ml <sup>-1</sup> )	0.00	0.00	0.00	0.00
Coliformes totales (UFC100ml <sup>-1</sup> )	0.00	4.00	2.00	2.83
Hongos y levaduras (UFCml <sup>-1</sup> )	12.00	9.00	10.50	2.12
Mesófilos (UFCml <sup>-1</sup> )	25.00	28.00	26.50	2.12

### ANEXO 3 ANÁLISIS DE VARIANZA

Para realizar el análisis de varianza de los resultados se dividió el circuito de recolección de agua de PEP en tres secciones: Presas API Tamaulipas-Constituciones, Centro de Recolección y Planta de Inyección, debido a que estas ya mencionadas secciones trabajan de manera independiente entre si.

#### A 3.1 Tablas de análisis de varianza de los resultados obtenidos en las Presas API de los Campos Tamaulipas-Constituciones de PEP Altamira

$$F_{0.01}=10.9$$

Cloruros

Fuente	Grados de Libertad	Suma de Cuadrados	Media de Cuadrados	F
Tratamientos	2	11060229	5530114	1.068
Error	6	31051360	5145226	
Total	8	42059266		

DQO

Fuente	Grados de Libertad	Suma de Cuadrados	Media de Cuadrados	F
Tratamientos	2	1160914	580457	0.034
Error	6	101476976	16912829	
Total	8	102637890		

DBO<sub>5</sub>

Fuente	Grados de Libertad	Suma de Cuadrados	Media de Cuadrados	F
Tratamientos	2	13898	4632	0.598
Error	6	46473	7745	
Total	8	60372		

## Dureza Total

Fuente	Grados de Libertad	Suma de Cuadrados	Media de Cuadrados	F
Tratamientos	2	1644635	822317	0.226
Error	6	21815522	3635820	
Total	8	38261897		

## Grasas y Aceites

Fuente	Grados de Libertad	Suma de Cuadrados	Media de Cuadrados	F
Tratamientos	2	16434474828	8217237414	35
Error	6	1391051476	231841912	
Total	8	17825526304		

## Sólidos Suspendidos Totales

Fuente	Grados de Libertad	Suma de Cuadrados	Media de Cuadrados	F
Tratamientos	2	797922	398961	0.9641
Error	6	2482724	413787	
Total	8	3280646		

## Sólidos Disueltos Totales

Fuente	Grados de Libertad	Suma de Cuadrados	Media de Cuadrados	F
Tratamientos	2	78508473	39254236	3.39
Error	6	69325315	11554219	
Total	8	147833788		

## Sulfatos

Fuente	Grados de Libertad	Suma de Cuadrados	Media de Cuadrados	F
Tratamientos	2	24648	12324	1.031
Error	6	71670	11945	
Total	8	96318		

## Turbidez

Fuente	Grados de Libertad	Suma de Cuadrados	Media de Cuadrados	F
Tratamientos	2	4569	2284	0.823
Error	6	16338	2773	
Total	8	21207		

## pH

Fuente	Grados de Libertad	Suma de Cuadrados	Media de Cuadrados	F
Tratamientos	2	0.3879	0.3879	1.745
Error	6	0.6667	0.111	
Total	8	1.0555		

**A 3.2 Tablas de análisis de varianza de los resultados obtenidos en el Centro de Recolección de Agua del Circuito de PEP Altamira**

$$F_{0.01} = 21.2$$

## Cloruros

Fuente	Grados de Libertad	Suma de Cuadrados	Media de Cuadrados	F
Tratamientos	1	1250355	1250355	0.245
Error	4	20390861	5097715	
Total	5	21641216		

DQO

Fuente	Grados de Libertad	Suma de Cuadrados	Media de Cuadrados	F
Tratamientos	1	14091339	14091339	1.01
Error	4	55390936	13847734	
Total	5	69482275		

DBO<sub>5</sub>

Fuente	Grados de Libertad	Suma de Cuadrados	Media de Cuadrados	F
Tratamientos	1	2400	2400	0.494
Error	4	19396	4849	
Total	5	21796		

Dureza Total

Fuente	Grados de Libertad	Suma de Cuadrados	Media de Cuadrados	F
Tratamientos	1	72158	72158	13.572
Error	4	21266	5316	
Total	5	93427		

Grasas y Aceites

Fuente	Grados de Libertad	Suma de Cuadrados	Media de Cuadrados	F
Tratamientos	1	805207	805207	6.94
Error	4	464298	116074	
Total	5	1269499		

Sólidos Suspendidos Totales

Fuente	Grados de Libertad	Suma de Cuadrados	Media de Cuadrados	F
Tratamientos	1	41	41	0.97
Error	4	169	42	
Total	5	210		

Sólidos Disueltos Totales

Fuente	Grados de Libertad	Suma de Cuadrados	Media de Cuadrados	F
Tratamientos	1	3571926	3571926	0.064
Error	4	223210109	55802527	
Total	5	258912035		

Sulfatos

Fuente	Grados de Libertad	Suma de Cuadrados	Media de Cuadrados	F
Tratamientos	1	19839	19839	4.57
Error	4	17333	4333	
Total	5	37172		

Turbidez

Fuente	Grados de Libertad	Suma de Cuadrados	Media de Cuadrados	F
Tratamientos	1	68055	68055	17.74
Error	4	15347	3836	
Total	5	83402		

pH

Fuente	Grados de Libertad	Suma de Cuadrados	Media de Cuadrados	F
Tratamientos	1	0.0435	0.0435	0.261
Error	4	0.6651	0.1662	
Total	5	0.7086		

**A 3.3 Tablas de análisis de varianza de los resultados obtenidos en la Planta de Inyección de Agua del circuito de PEP Altamira**

$$F_{0.01}=10.9$$

Cloruros

Fuente	Grados de Libertad	Suma de Cuadrados	Media de Cuadrados	F
Tratamientos	2	405543027	202771513	603.13
Error	6	2017182	336197	
Total	8	4075602009		

DQO

Fuente	Grados de Libertad	Suma de Cuadrados	Media de Cuadrados	F
Tratamientos	2	2246752	1123376	8.97
Error	6	751313	125218	
Total	8	2998053		

DBO<sub>5</sub>

Fuente	Grados de Libertad	Suma de Cuadrados	Media de Cuadrados	F
Tratamientos	2	55803	27901	1.886
Error	6	88729	14788	
Total	8	144538		

Dureza Total

Fuente	Grados de Libertad	Suma de Cuadrados	Media de Cuadrados	F
Tratamientos	2	67802238	33901119	881.6
Error	6	230724	38454	
Total	8	68032962		

Grasas y Aceites

Fuente	Grados de Libertad	Suma de Cuadrados	Media de Cuadrados	F
Tratamientos	2	58539470118	29269735059	3.9
Error	6	44060278323	7343379720	
Total	8	102599748441		

Sólidos Suspendidos Totales

Fuente	Grados de Libertad	Suma de Cuadrados	Media de Cuadrados	F
Tratamientos	2	5586	2793	3.28
Error	6	5108	851	
Total	8	10694		

Sólidos Disueltos Totales

Fuente	Grados de Libertad	Suma de Cuadrados	Media de Cuadrados	F
Tratamientos	2	1252031802	626015901	31
Error	6	121039370	20173228	
Total	8	1373071172		

Sulfatos

Fuente	Grados de Libertad	Suma de Cuadrados	Media de Cuadrados	F
Tratamientos	2	32080	16040	10.71
Error	6	8980	1496	
Total	8	41061		

Turbidez

Fuente	Grados de Libertad	Suma de Cuadrados	Media de Cuadrados	F
Tratamientos	2	4662	2331	8.42
Error	6	1661	276	
Total	8	6323		

pH

Fuente	Grados de Libertad	Suma de Cuadrados	Media de Cuadrados	F
Tratamientos	2	11.153	5.576	37.73
Error	6	0.866	0.147	
Total	8	12.040		

---

---

## GLOSARIO

<b>Aerobio</b>	Microorganismos que requieren de la presencia de oxígeno para poder vivir
<b>Agua cruda (o naturales)</b>	Aquellas que provienen de lluvias, se incluyen las que provienen de nieve y granizo
<b>Aguas pluviales</b>	Se define como agua natural el agua cruda, subterránea, de lluvia, de tormenta, residual y superficial.
<b>Agua residual</b>	Es el líquido de composición variada proveniente de usos municipal, industrial, comercial, agrícola, pecuario o de cualquier otra índole, ya sea pública o privada y que por tal motivo haya sufrido degradación o alteración en su calidad original
<b>Agua residual tratada</b>	Es aquélla que mediante procesos individuales o combinados de tipo físicos, químicos, biológicos u otros, se han adecuado para hacerlas aptas para su reuso en servicios al público.
<b>Anaerobio</b>	Proceso bioquímico que no requiere oxígeno libre. Organismo que funciona en ausencia de oxígeno molecular.
<b>Autodepuración</b>	Capacidad de un cuerpo hídrico, que recibe o ha recibido una carga contaminante, de recuperar las condiciones físico, químicas y biológicas preexistentes a la incorporación de los contaminantes
<b>Biomasa</b>	Masa de organismos en cualquier nivel trófico, área o volumen de un ecosistema. La biomasa se mide en cantidad de materia por unidad de superficie o de volumen. Los valores de biomasa y sus variaciones son magnitudes muy importantes en ecología. La biomasa vegetal es susceptible de utilización
<b>Blanco analítico</b>	Agua reactivo o matriz equivalente que no contiene, por adición deliberada, la presencia de ningún analito o sustancia

---

---

---



---

	por determinar, pero que contiene los mismos disolventes, reactivos y se somete al mismo procedimiento analítico que la muestra problema.
<b>Biota</b>	Conjunto de especies de plantas, animales y otros organismos que ocupan un área dada
<b>Coliforme</b>	Bacilos Gram negativos, no esporulados, aerobios o anaerobios facultativos, que a 35 °C fermentan la lactosa con la producción de de ácido y aldehído dentro de un período de 24 h
<b>Contaminantes básicos</b>	Son aquellos compuestos o parámetros que pueden ser removidos o estabilizados mediante procesos convencionales. En lo que corresponde a las Normas Oficiales Mexicanas sólo se consideran los siguientes: grasas y aceites, materia flotante, demanda bioquímica de oxígeno <sub>5</sub> y sólidos suspendidos totales
<b>Cuerpo receptor</b>	Son las corrientes, depósitos naturales de agua, presas, cauces, zonas marinas o bienes nacionales donde se descargan aguas residuales, así como los terrenos en donde se infiltran o inyectan dichas aguas cuando puedan contaminar el suelo o los acuíferos
<b>Crudo (petróleo)</b>	Para una serie de n mediciones del mismo mensurando, es la magnitud s que caracteriza la dispersión de los resultados
<b>DBO</b>	Demanda bioquímica de oxígeno
<b>Descarga</b>	Es el conjunto de aguas residuales que se vierten o disponen en algún cuerpo receptor.
<b>Desviación estándar experimental</b>	Para una serie de n mediciones del mismo mensurando, es la magnitud s que caracteriza la dispersión de los resultados
<b>DQO</b>	Demanda química de oxígeno
<b>E. Colí</b>	Escherichia colí. Organismos coliformes fecales producen gas a partir de lactosa e indol a partir de triptofano a 44°C.
<b>EDTA</b>	Ácido etilendiaminotetraacético
<b>Efluente</b>	Toda descarga líquida que contenga cualquier forma de materia inorgánica y/u orgánica o energía, que no cumpla los límites

---



---

---



---

	establecidos por las correspondientes normas
<b>Facultativo</b>	Microorganismo que tiene la capacidad de vivir en diferentes condiciones; por ejemplo, con o sin oxígeno libre.
<b>Límite de detección</b>	Concentración mínima del analito en una muestra, la cual puede ser detectada pero no necesariamente cuantificada bajo las condiciones de operación establecidas en el instrumento
<b>Límite máximo permisible</b>	Valor o rango asignado a un parámetro, el cual no debe ser excedido en la descarga de aguas residuales.
<b>Microorganismo</b>	Organismo unicelular de tamaño microscópico
<b>Muestra compuesta</b>	Es la que resulta del mezclado de varias muestras simples
<b>Muestra simple</b>	Es aquella muestra individual tomada en un corto período de forma tal que el tiempo empleado en su extracción sea el transcurrido para obtener el volumen necesario.
<b>NOM</b>	Norma Oficial Mexicana
<b>Oxígeno disuelto (OD)</b>	Cantidad de oxígeno que está disuelta en el agua y que es esencial para los riachuelos y lagos saludables. El nivel de oxígeno disuelto puede ser un indicador de cuán contaminada está el agua y cuán bien puede dar soporte esta agua a la vida vegetal y animal.
<b>Parámetro</b>	Variable que se utiliza como referencia para determinar la calidad del agua.
<b>Patógeno</b>	Toda aquella entidad biológica capaz de producir enfermedad o daño en la biología del huésped ya sea un humano, animal, vegetal, etc.
<b>PEP</b>	PEMEX Exploración y Producción
<b>Peso constante</b>	Es el peso que se registra cuando el material ha sido calentado, enfriado y pesado, y que en dos ciclos completos las pesadas no presentan una diferencia significativa
<b>Reuso en servicios al público con contacto</b>	Es el que se destina a actividades donde el público en general esté expuesto indirectamente o en contacto físico incidental y

---



---

---

---

<b>indirecto u ocasional</b>	que su acceso es restringido, ya sea por barreras físicas o personal de vigilancia. En lo que corresponde a esta Norma Oficial Mexicana se consideran los siguientes reusos: riego de jardines y camellones en autopistas; camellones en avenidas; fuentes de ornato, campos de golf, abastecimiento de hidrantes de sistemas contra incendio, lagos artificiales no recreativos, barreras hidráulicas de seguridad y panteones
<b>Tierra de diatomeas/diatomáceas</b>	Algas marinas microscópicas, de composición unicelular, de formas y tamaños variados, todas ellas están compuestas por una pared celular transparente, con una capa externa translúcida de sílice semejante al cristal y una capa interna de pectina.

---

---

---

---

## BIBLIOGRAFÍA

- [1] American Society for Testing and Materials. Manual de aguas para usos industriales. EUA 1969
  - [2] Nierenberg W. A. Environmental Biology. EUA 1995
  - [3] Instituto Mexicano de Tecnología del Agua. Manual de Operación de Plantas de Tratamiento de Lodos Activados. México 2005
  - [4] García Arreguín Aureliano. El agua Contaminada del país. IPN-CIECAS Vol. 8. Enero 2005
  - [5] Ten Kate Adrian. Economía del Medio Ambiente en América Latina. México 1998
  - [6] Bes Piá A., Mendoza Roca J.A., Alcaina Miranda M., Iborra Clar A., Iborra Clar M. Reuse of wastewater of the textile industry after its treatment with a combination of physico-chemical treatment and membrane technologies. Desalination vol. 149 2002 pp. 169-174
  - [7] Frenkel Val S. The role of membranes in water recycling and reuse. Jenks Consultans, San Francisco. EUA 1999
  - [8] Book Brian L., Wert Jason D., Siegfried Steven M. Reuse without a water shortage-analysis and evaluation of beneficial reuse for State College, Pennsylvania. EUA 1999
  - [9] Andreadakis A., Mamais D., Gavalaki E., Panagiotopoulou V. Evaluation of Treatment Schemes Appropriate for Wastewater reuse in Greece. Global Nest Vol. 5 2003 N. 1 pp. 1-8
  - [10] Abou Elela Sohair, Abdel Haleem Hesham, Abou Taleb Enas, Ibrahim Hanan. Application of cleaner production technology in chemical industry: a near zero emission. Journal of Cleaner Production. Vol. 15 2007 pp.1852-1858.
  - [11] Álvarez Bernal Dioselina, Contreras Ramos Silvia. Sistemas de tratamiento de aguas residuales por aplicación de suelo. Avance y Perspectiva vol. 21 2002 pp 333-340
  - [12] Kolstad Charles D. Normas Anticontaminación: Enfoques pasados e Innovaciones. México 1998
- 
-

- 
- 
- [13] Ludevid Anglada Manuel. El cambio Global en el Medio Ambiente. Introducción a sus causas humana. España 1997.
- [14] Rigola Lapeña Miguel. Tratamiento de Aguas Industriales, de Proceso y Residuales. México 1999.
- [15] Figueruelo Juan E., Marino Martín. Química Física del Medio Ambiente. México 2001
- [16] Perry Robert H., Green Don W. Manual del Ingeniero Químico. Tomo I y IV. España 2003
- [17] Linés Escardó Alberto. La física del agua en las características del clima. España. pp247-252
- [18] Sánchez Luis Enrique. Control de contaminación de las aguas. Departamento de ingeniería de minas. Escuela Politécnica de la Universidad de Sao Paulo. UNESCO. Brasil 2006
- [19] Echarri Prim Luis. Población, ecología y ambiente. Universidad de Navarra. España 2007
- [20] Echarri Prim Luis. Ciencias de la tierra y del medio ambiente. Universidad de Navarra. España 2007
- [21] Ambientum Magazine. Clasificación de aguas residuales. España 2002
- [22] Romero Rojas Jairo A. Calidad del Agua. Escuela Colombiana de Ingeniería Colombia 2000
- [23] Departamento de Sanidad del Estado de NY Manual de tratamiento de aguas Negras. EUA 1976
- [24] Departamento de Sanidad del Estado de NY Albany. Manual de tratamiento de aguas. EUA 1996
- [25] Cerón García Juan, Moreno López María, Olías Álvarez Manuel. Contaminación y tratamiento de aguas. Universidad de Huelva. España 2005
- [26] Merchuk José. Microbiología Industrial. Departamento de asuntos científicos y tecnológicos. Ben Gurion University. Israel 2006
- [27] Kemmer Frank N. Manual del agua, su naturaleza, tratamiento y aplicaciones. Nalco Chemical Company. Tomo II y III. 1989
- 
-

- 
- 
- [28] Environmental Protection Agency. Exención de los residuos de la exploración y producción de petróleo crudo y gas natural de los reglamentos federales de residuos peligrosos. EUA 1995
- [29] Teselentis Y., Alexpopolou S. Water SCI Technologies
- [30] Vega de Kuper Juan Carlos
- [31] URSO Tratamiento de Aguas Residuales Urbanas e Industriales. Flotación por aire disuelto. España 2007
- [32] ESSBIO. Servicios sanitarios. Planta de tratamiento. Chile 2007
- [33] Aquamerket. Productos y servicios para la industria del agua Latinoamericana. Filtros percoladores. Chile 2007
- [34] Lenntech Water Purification and Air Treatment. FAQ de los contaminantes del agua. Países Bajos 2007
- [35] Metcalf & Eddy. Wastewater engineering . EUA 1991
- [36] Sirianuntapiboon Suntud, Sadahiro Ohmomo, Salee Paneeta. Some properties of a granular activated carbon-sequencing batch reactor (GAC-SBR) system for treatment of textile wastewater containing direct dyes. Journal of Environmental Management vol. 85 2007 pp. 162–170
- [37] Organización Mundial de la Salud. Control de la contaminación del agua: guía para la aplicación de los principios relacionados con la calidad del agua. ONU Suiza 2007
- [38] Avilla Joseph. Lo esencial acerca del intercambio iónico. XXV Conferencia anual. Water Quality Association. 1999
- [39] Excel Water Technologies. Water Quality Association. España 2004
- [40] ACS Medio Ambiente. Equipos y Sistemas para el Tratamiento de Aguas. México 2006
- [41] Nakha George, Lugowski Andrew, Patel Javnika, Rivest Victor. Combined biological and membrane treatment of food-processing wastewater to achieve dry-ditch criteria: Pilot and full-scale performance. Bioresource Technology vol. 97 2006 pp. 1–14
- 
-

- 
- 
- [42] Mendoza J.A., Bes Piá A., Roig Alcover L., Iborra Clar A., Iborra Clar M., Alcaina Miranda M. Comparison between nanofiltration and ozonation of biologically treated textile wastewater for its reuse in the industry. *Desalination* vol. 157 2003 pp 81-86
- [43] Baptista Leite Claudio B. Contaminación del agua y suelos. Instituto de Investigaciones Tecnológicas de Sao Paulo. UNESCO. Brasil 2000
- [44] Romero Rojas Jairo A. Tratamiento de Aguas residuales por lagunas de estabilización. Escuela Colombiana de Ingeniería Colombia 2000
- [45] Hermann Rump Hands. Laboratory manual for the examination of water, wastewater and soil. Alemania 1999
- [46] Mays Larry W. Water distribution systems handbook. Department of Civil and Environmental Engineering Arizona State University. EUA 1999
- [47] Focus Corporation. Environmental Monitoring Program . Programa de Muestreo de Calidad del Agua del Río North Saskatchewan 2002. Canadá 2004
- [48] Resendiz Romero Gilberto. Mas allá del H<sub>2</sub>O, alternativas y propósitos. IPN-CIECAS Vol. 4. México 2004
- [49] Freud J.E. Estadística elemental. México 1992
- [50] Seymour Raimond B. Carraher Charles E. Introducción a la química de los polímeros. España 1995.
- [51] Rubinson K.A., Rubinson J.F. Análisis Instrumental. Pearson Education 2000
- [52] American Society of Civil Engineering and American Water Works Association/ Environmental Protection Agency. Magnament of Water Treatment Plant Residuals. EUA 1996
- [53] Capra A., Scicolone B. Recycling of poor quality urban wastewater by drip irrigation systems. *Journal of Cleaner Production* vol. 15 2007 pp. 1529-1534
- [54] Chemical Engineering Magazine. Desnatador de aceite residual. 2006
- [55] Ekrem Üstün Gökhan, Akal Solmaz Akal Solmaz, Askin Birgül. Regeneration of industrial district wastewater using a combination of Fenton process and ion exchange—A case study. *Resources, Conservation and Recycling* vol. xxx 2007 pp xxx—xxx
- 
-

- 
- 
- [56] Equipos Mecánicos y Electromecánicos SA. Plantas Laotss para de tratamiento de aguas residuales. 2006
- [57] Guanajuato, Gobierno del Estado. Catalogo de Tecnologías. México 2005
- [58] Kumar Sarkar Santosh, Saha Mahua, Takada Hideshige, Bhattacharya Bhattacharya, Mishra Pravakar. Water quality management in the lower stretch of the river Ganges, east coast of India: an approach through environmental education. Journal of Cleaner Production vol. 15 2007 pp. 1559-1567
- [59] Milacron Mexicana Sales. Efectos de las impurezas del agua en fluidos de trabajo de metales base-agua. Reporte técnico No. J/N 00/52. México 2004
- [60] Organización Mundial de la Salud. Control de la contaminación del agua: guía para la aplicación de los principios relacionados con la calidad del agua. ONU Suiza 2007
- [61] Comisión Nacional del agua. Normas Oficiales Mexicanas. México 2007
- [62] Instituto Nacional de Ecología. Normas Oficiales Mexicanas. México 2006
- [63] Procuraduría Federal de Protección al Ambiente. México 2006-2007
- [64] Secretaria de Medio Ambiente y Recursos Naturales. México 2006
- [65] Secretaria de Salubridad y Asistencia. México 2006
- 
-

---



---

<b>NOM-001-SEMARNAT-2000</b>	Que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales en las aguas y bienes nacionales.
<b>NOM-003-SEMARNAT-1997</b>	Que establece los límites máximos permisibles de contaminantes para las aguas residuales tratadas que se reusen en servicios al público.
<b>NOM-004-SEMARNAT-2002</b>	Protección ambiental.- Lodos y biosólidos.- Especificaciones y límites máximos permisibles de contaminantes para su aprovechamiento y disposición final.
<b>NOM-CCA-003-ECOL-1993</b>	Que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales a cuerpos receptores provenientes de la industria de refinación de petróleo y petroquímica
<b>NMX-AA-003-SCFI-2006</b>	
<b>NMX-AA-005-SCFI-2000</b>	Análisis de agua – Determinación de grasas y aceites recuperables en aguas naturales, residuales y residuales tratadas – Método de prueba.
<b>NMX-AA-012-SCFI-2001</b>	Análisis de agua – Determinación de oxígeno disuelto en aguas naturales, residuales y residuales tratadas – Método de prueba.
<b>NMX-AA-028-SCFI-2001</b>	Análisis de agua – Determinación de la demanda bioquímica de oxígeno en aguas naturales, residuales y residuales tratadas – Método de prueba.
<b>NMX-AA-030-SCFI-2001</b>	Análisis de agua – Determinación de demanda química de oxígeno en aguas naturales, residuales y residuales tratadas – Método de prueba.
<b>NMX-AA-034-SCFI-2001</b>	Análisis de agua – Determinación de sólidos y sales disueltas en aguas naturales, residuales y residuales tratadas – Método de prueba.

---



---

---

---

<b>NMX-AA-036-SCFI-2001</b>	Análisis de agua – Determinación de acidez y alcalinidad en aguas naturales, residuales y residuales tratadas – Método de prueba.
<b>NMX-AA-038-SCFI-2001</b>	Análisis de agua – Determinación de turbiedad en aguas naturales, residuales y residuales tratadas – Método de prueba.
<b>NMX-AA-072-SCFI-2002</b>	Análisis de agua – Determinación de la dureza total en aguas naturales, residuales y residuales tratadas – Método de prueba.
<b>NMX-AA-073-SCFI-2001</b>	Análisis de agua – Determinación de cloruros totales en aguas naturales, residuales y residuales tratadas – Método de prueba.
<b>NMX-AA-074-1981</b>	Análisis de agua – Determinación del ion sulfato.
<b>NMX-AA-102-SCFI-2005</b>	Calidad del agua- Detección y enumeración de organismos coliformes, organismos coliformes termo tolerantes y Escherichia coli presuntiva. Método de filtración en membrana.

---

---



# INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL

CENTRO DE INVESTIGACION EN CIENCIA APLICADA Y  
TECNOLOGÍA AVANZADA, UNIDAD ALTAMIRA

## "MANUAL DE ANÁLISIS QUÍMICOS PARA AGUAS NATURALES, RESIDUALES Y RESIDUALES TRATADAS "

Ing. Lilia Alejandra Alvarado Delfin

Directores :

Dr. Arturo López Marure  
Dr. Abelardo Irineo Flores Vela



Altamira Tamps.

Diciembre 2006

## **INDICE**

<b>Introducción</b>	5
<b>1. Determinación de Dureza Total</b>	6
1.1 Materiales	6
1.2 Equipo	6
1.3 Reactivos	6
1.4 Soluciones	7
1.5 Procedimiento	8
1.6 Cálculos	9
1.7 Tabla de Propiedades Físicas	10
<b>2. Determinación de Cloruros</b>	11
2.1 Materiales	11
2.2 Equipo	11
2.3 Reactivos	11
2.4 Soluciones	12
2.5 Procedimiento	13
2.6 Cálculos	14
2.7 Tabla de Propiedades Físicas	15
<b>3. Determinación de Grasas y Aceites</b>	16
3.1 Materiales	16
3.2 Equipo	16
3.3 Reactivos	16
3.4 Soluciones	17
3.5 Procedimiento	17
3.6 Cálculos	18
3.7 Tabla de Propiedades Físicas	19
<b>4. Determinación de Turbidez</b>	20
4.1 Materiales	20
4.2 Equipo	20
4.3 Reactivos	20
4.4 Soluciones	21

4.5 Procedimiento	22
4.5.1 Análisis de muestras con turbidez menor a 40 NTU	22
4.5.2 Análisis de muestras con turbidez mayor a 40 NTU	22
4.6 Cálculos	23
4.7 Tabla de Propiedades Físicas	24
<b>5. Determinación de Sólidos Suspendidos Totales y Sólidos Totales</b>	
<b>Disueltos</b>	25
5.1 Materiales	25
5.2 Equipo	25
5.3 Reactivos	26
5.4 Soluciones	26
5.5 Procedimiento	26
5.5.1 Preparación de la placa de evaporación	26
5.5.2 Preparación de los Crisoles Gooch	27
5.5.3 Preparación de la Muestra	27
5.5.4 Medición de Sólidos Totales y Sólidos Totales Volátiles	27
5.5.5 Medición de Sólidos Suspendidos Totales y Sólidos Totales	
Disueltos	28
5.6 Cálculos	29
5.7 Tabla de Propiedades Físicas	31
<b>6. Determinación de la Demanda Química de Oxígeno</b>	32
6.1 Materiales	32
6.2 Equipo	32
6.3 Reactivos	32
6.4 Soluciones	32
6.5 Procedimiento	35
6.6 Cálculos	36
6.7 Tabla de Propiedades Físicas	37
	38

<b>7. Determinación de la Demanda Bioquímica de Oxígeno</b>	
7.1 Materiales	38
7.2 Equipo	38
7.3 Reactivos	38
7.4 Soluciones	39
7.5 Procedimiento	42
7.5.1 Preparación del Agua de Dilución	42
7.5.2 Pretratamiento de la Muestra	42
7.5.3 Técnicas de dilución	43
7.6 Cálculos	44
7.7 Tabla de Propiedades Físicas	46
<b>8. Determinación de Oxígeno Disuelto</b>	47
8.1 Materiales	47
8.2 Equipo	47
8.3 Reactivos	47
8.4 Soluciones	47
8.5 Procedimiento	51
8.6 Cálculos	52
8.7 Tabla de Propiedades Físicas	53
<b>9. Determinación de Sulfatos</b>	54
9.1 Materiales	54
9.2 Equipo	54
9.3 Reactivos	54
9.4 Soluciones	54
9.5 Procedimiento	55
9.6 Cálculos	57
9.7 Tabla de Propiedades Físicas	58
<b>10. Determinación de Acidez y Alcalinidad</b>	59
10.1 Materiales	59
10.2 Equipo	59
10.3 Reactivos	59

10.4 Soluciones	59
10.4.1 Valoración de las disoluciones	61
10.5 Procedimiento	63
10.5.1 Determinación de la acidez	63
10.5.2 Determinación de la alcalinidad	64
10.6 Cálculos	65
10.7 Tabla de Propiedades Físicas	66
<b>11. Detección y Enumeración de Organismos Coliformes</b>	<b>67</b>
11.1 Materiales	67
11.2 Equipo	67
11.3 Reactivos	68
11.4 Soluciones	69
11.4.1 Medios de Cultivo	71
11.5 Procedimiento	75
11.6 Cálculos	79
<b>Bibliografía</b>	<b>80</b>

## INTRODUCCIÓN

Los manuales tienen una gran utilidad para facilitar el trabajo en los laboratorios donde se realizan análisis químicos cuantitativos. Varios aspectos se encuentran involucrados al estar realizando dichas determinaciones, el uso de manuales puede ahorrar para el que lo usa: tiempo, dinero y riegos.

Al trabajar con normas suele haber malas interpretaciones en los métodos descritos en ellas, por que en muchas ocasiones son documentos de gran extensión y de difícil entendimiento para las personas que no se encuentran familiarizadas con el uso de ellas.

Por estas razones es necesario crear manuales que nos proporcionen algunas ventajas tales como:

- Disminuir el tiempo de lectura de las normas
- Evitar confusiones que se dan cuando se tiene gran cantidad de información
- Ahorrar tiempo de investigación bibliográfica
- Realizar los análisis en menor tiempo
- Facilitar la búsqueda y las mediciones de los reactivos necesarios

Los métodos de análisis y los procedimientos aquí descritos son los establecidos para el análisis de agua ya sean de orígenes naturales, residuales o agua tratada. Todas estas tácticas se encuentran descritas en las Normas Oficiales Mexicanas.

## 1. DETERMINACIÓN DE DUREZA TOTAL

Originalmente, la dureza del agua se entendió como una medida de su capacidad para precipitar el jabón preferentemente por los iones calcio y magnesio. De ahí que la dureza total se entienda como la suma de las concentraciones de calcio y magnesio.

La dureza es la responsable de la formación de incrustaciones en recipientes y tuberías lo que genera fallas y pérdidas de eficiencia en diferentes procesos industriales como las unidades de transferencia de calor.

Se le llamo dureza por que se decía que el agua estaba “dura” para lavar y se refiere al consumo de jabón para lavado.

### 1.1 MATERIALES

- Bureta de 25 ml ó 50 ml

### 1.2 EQUIPO

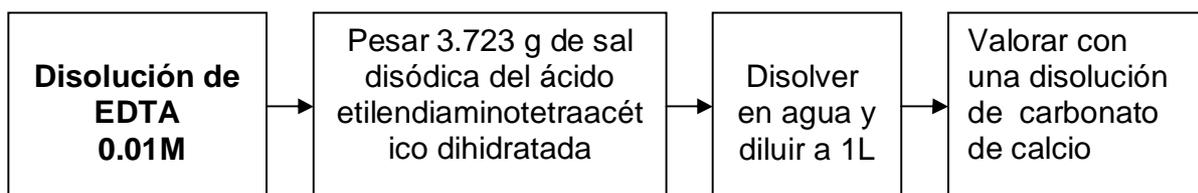
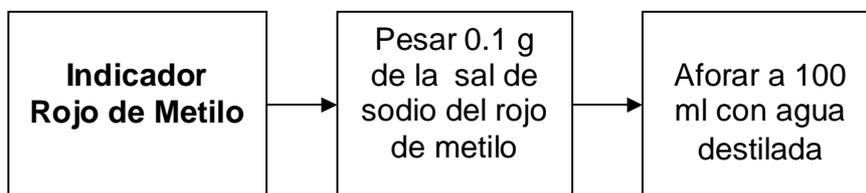
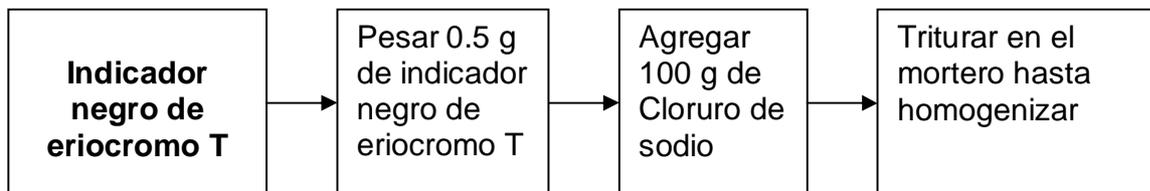
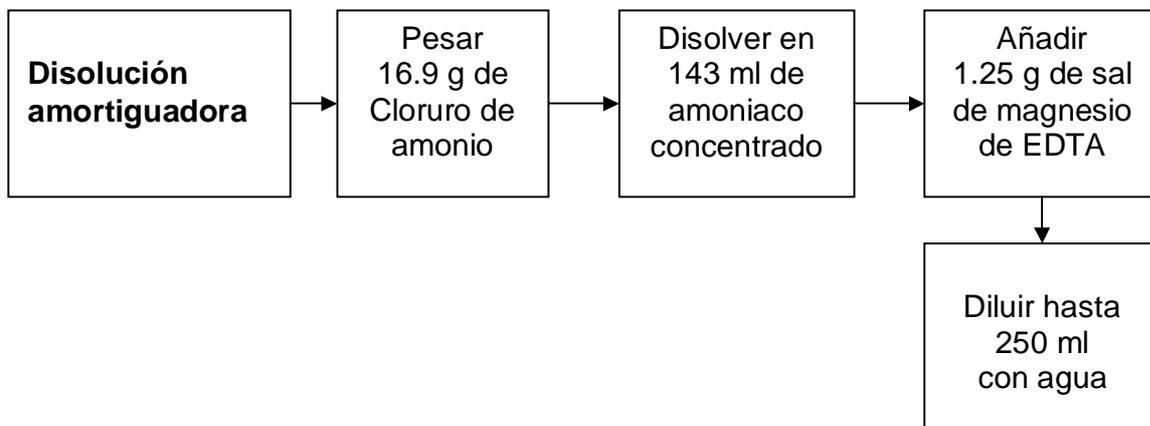
- Balanza analítica con precisión de 0.1 mg.

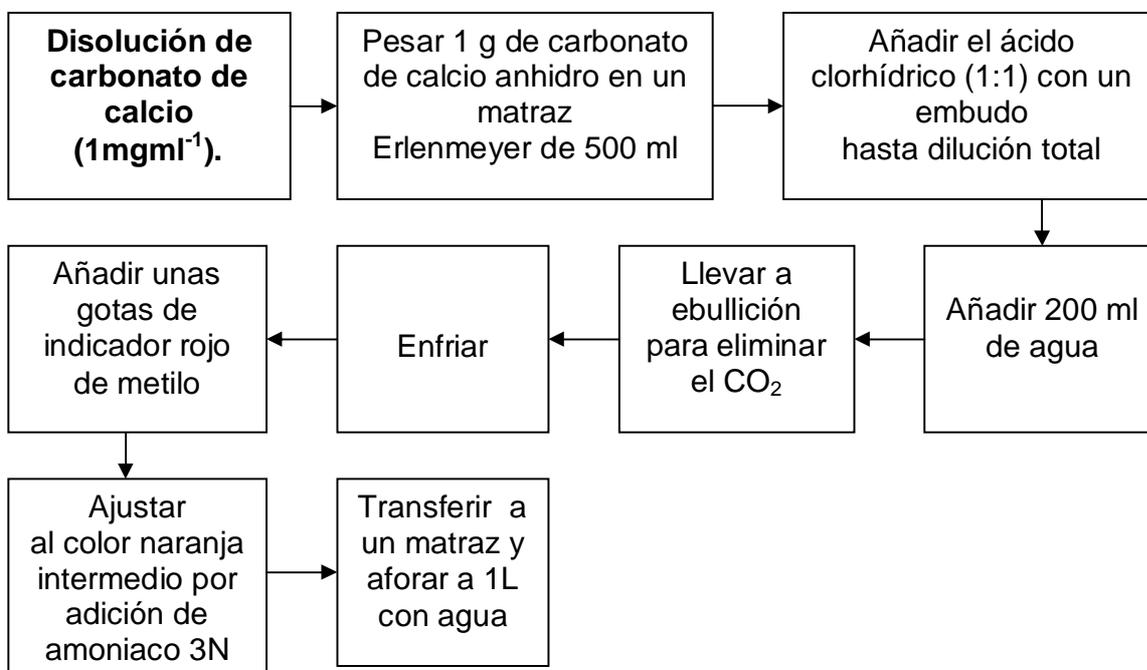
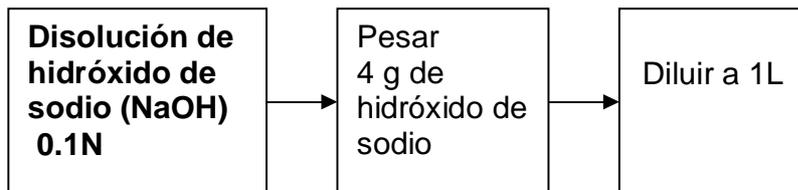
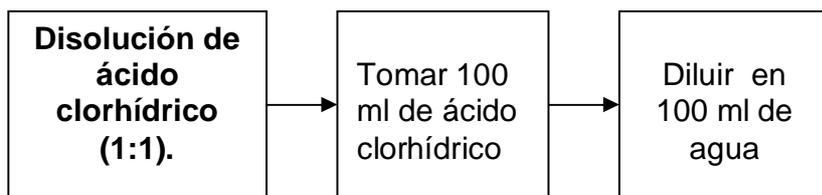
### 1.3 REACTIVOS

- Agua
- Cloruro de amonio ( $\text{NH}_4\text{Cl}$ )
- Cloruro de magnesio hexahidratado ( $\text{MgCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ )
- Amoniaco concentrado ( $\text{NH}_3$ )
- Sal disódica de ácido etilendiaminotetraacético dihidratado (EDTA)
- Sal de Magnesio de EDTA
- Sulfato de magnesio heptahidratado ( $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ )
- Hidróxido de sodio ( $\text{NaOH}$ )
- Indicador de negro de eriocromo T
- 2-Aminoetanol (libre de aluminio y metales pesados).
- Rojo de metilo

- Carbonato de calcio anhidro ( $\text{CaCO}_3$ )
- Ácido clorhídrico concentrado (HCl)
- Cloruro de sodio (NaCl)
- Acido nítrico ( $\text{HNO}_3$ )
- Acido sulfúrico ( $\text{H}_2\text{SO}_4$ )
- Acido perclórico ( $\text{HClO}_4$ )

#### 1.4 SOLUCIONES

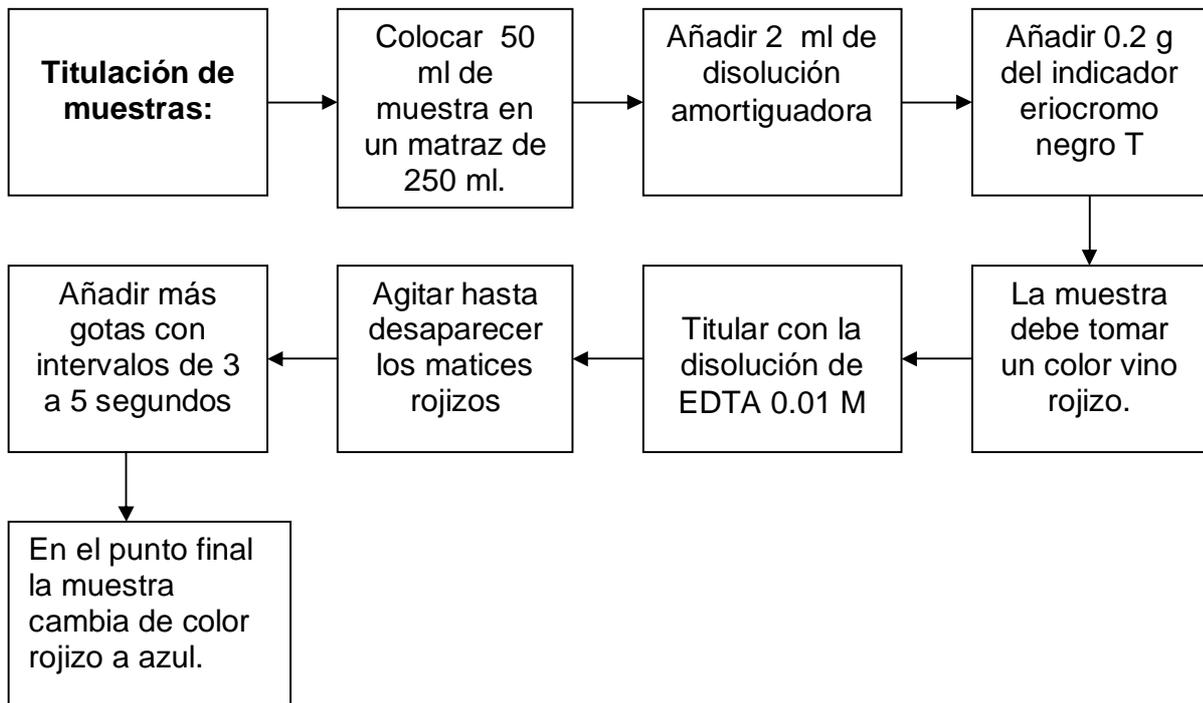




## 1.5 PROCEDIMIENTO

Tratamiento previo de muestras de aguas contaminadas y residuales:

Si la muestra contiene partículas o materia orgánica se recomienda llevar a cabo una digestión con ácido nítrico - ácido sulfúrico y ajustar posteriormente el pH de la disolución a un valor de 9, utilizando disolución de amoníaco.



## 1.6 CALCULOS

Calcular la dureza total como se indica en la siguiente ecuación:

$$\text{Dureza total expresada como CaCO}_3 \text{ (mgL}^{-1}\text{)} = (A-B) * C * V$$

Donde:

A ml de EDTA gastados en la titulación en la muestra

B ml de EDTA gastados en la titulación en el blanco

C mg de CaCO<sub>3</sub> equivalentes a 1 ml de EDTA,

V ml de muestra

## 1.7 TABLA DE PROPIEDADES FISICAS

### DETERMINACIÓN DE DUREZA TABLAS DE PROPIEDADES FISICAS

NOMBRE	FORMULA	PESO MOLECULAR	DENSIDAD	PUNTO DE FUSION	PUNTO DE EBULLICION
Cloruro de Amonio	NH <sub>4</sub> Cl	53.5	1.53	350	520
Cloruro de Magnesio	MgCl <sub>2</sub> •6H <sub>2</sub> O	203.33	1.56	118	xxx
Amoniaco conc.	NH <sub>3</sub>	17.03	0.817	-77.7	-33.4
Sal disodica de Acido EDTA	EDTA.2H <sub>2</sub> O	xxx	xxx	xxx	xxx
Sal de Magnesio de EDTA		xxx	xxx	xxx	xxx
Sulfato de Magnesio	MgSO <sub>4</sub> •7H <sub>2</sub> O	246.49	1.68	70 d.	xxx
Hidroxido de Sodio	NaOH	40	2.13	318.4	1390
Eriocromo Negro T		xxx	xxx	xxx	xxx
2-Aminoetanol		xxx	xxx	xxx	xxx
Rojo de Metilo		xxx	xxx	xxx	xxx
Carbonato de Calcio	CaCo <sub>3</sub>	100.09	2.711	1339	xxx
Acido Clorhidrico conc.	HCL	36.47	1.268	xxx	4300
Cloruro de Sodio	NaCl	58.45	2.163	800.4	1413
Acido Nitrico	HNO <sub>3</sub>	63.02	1.502	-42	86
Acido Sulfurico	H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	63.02	1.502	-42	86
Acido Perclorico	HCl <sub>2</sub> O <sub>7</sub>	xxx	xxx	xxx	xxx
Agua	H <sub>2</sub> O	18.016	1	0	100

## **2. DETERMINACION DE CLORUROS**

Un alto contenido de cloruros puede dañar estructuras metálicas y evitar el crecimiento de plantas. Las altas concentraciones de cloruro en aguas residuales, cuando éstas son utilizadas para el riego en campos agrícolas deteriora, en forma importante la calidad del suelo.

Es entonces importante el poder determinar la concentración de cloruros en aguas naturales, residuales y residuales tratadas en un amplio intervalo de concentraciones.

### **2.1 MATERIAL**

- Frascos para muestreo de polietileno, polipropileno o vidrio de boca ancha de 500 ml de capacidad.
- Bureta con certificado o en su caso debe estar calibrada

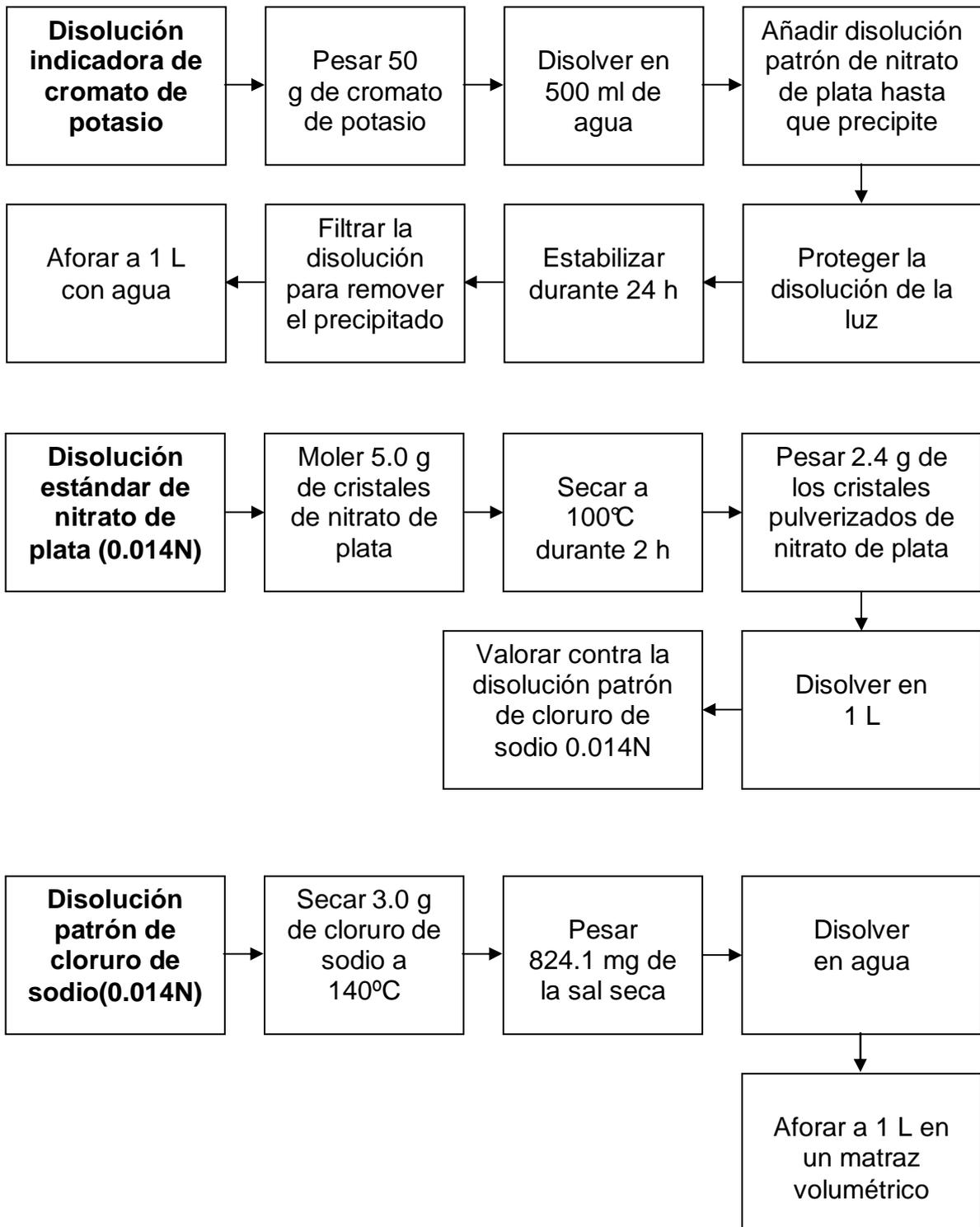
### **2.2 EQUIPO**

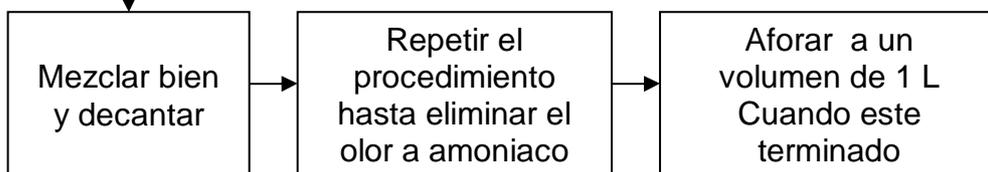
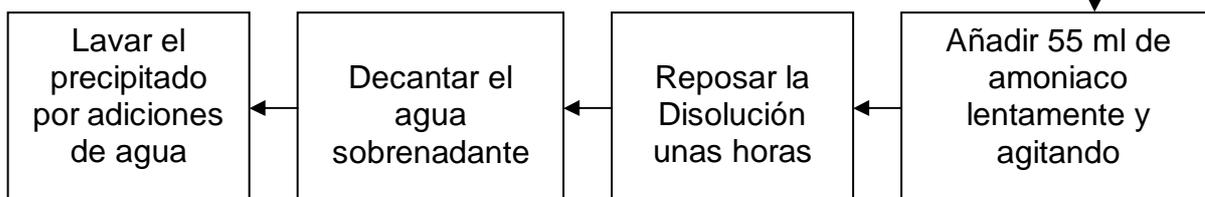
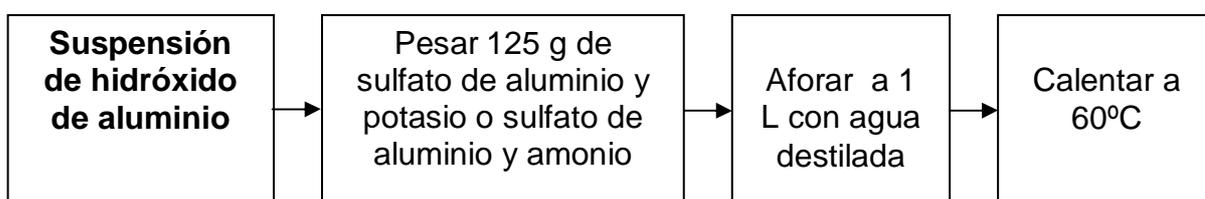
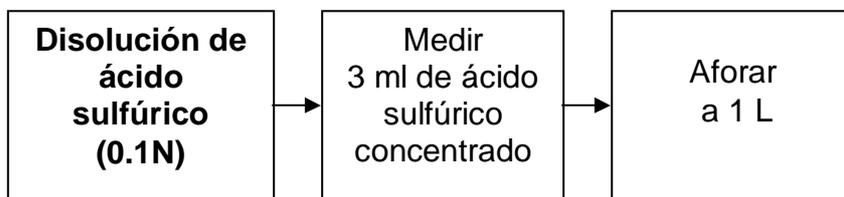
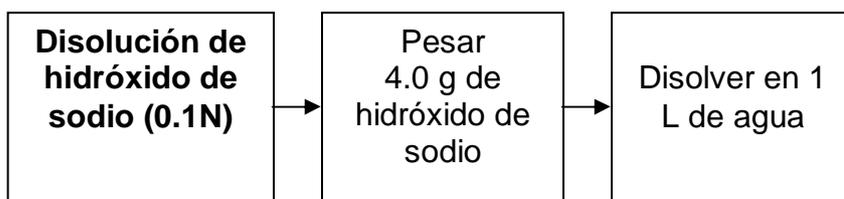
- Balanza analítica con precisión de 0.1 mg
- Potenciómetro para medición de pH

### **2.3 REACTIVOS**

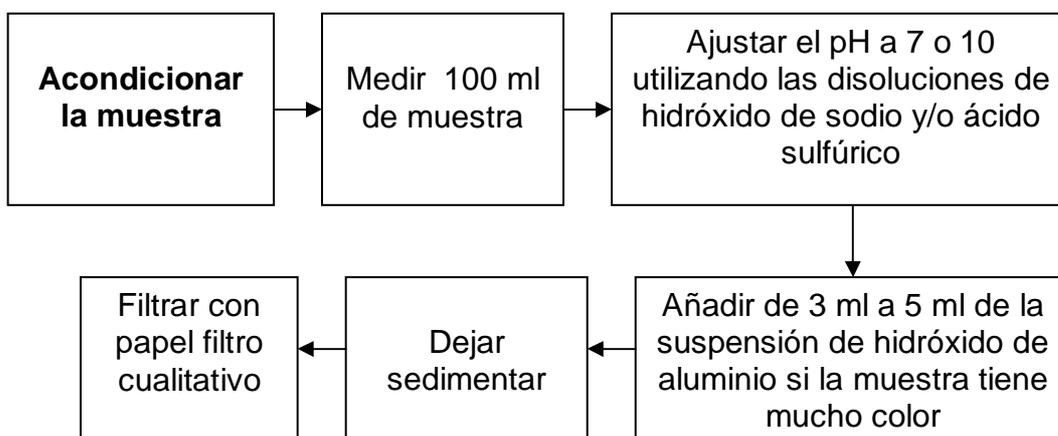
- Agua Destilada
- Nitrato de plata ( $\text{AgNO}_3$ )
- Cloruro de sodio ( $\text{NaCl}$ )
- Cromato de potasio ( $\text{K}_2\text{CrO}_4$ )
- Hidróxido de sodio ( $\text{NaOH}$ )
- Ácido sulfúrico concentrado ( $\text{H}_2\text{SO}_4$ )
- Sulfato de aluminio y potasio dodecahidratado [ $\text{AlK}(\text{SO}_4)_2 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$ ]
- Amoniaco concentrado ( $\text{NH}_3$ )

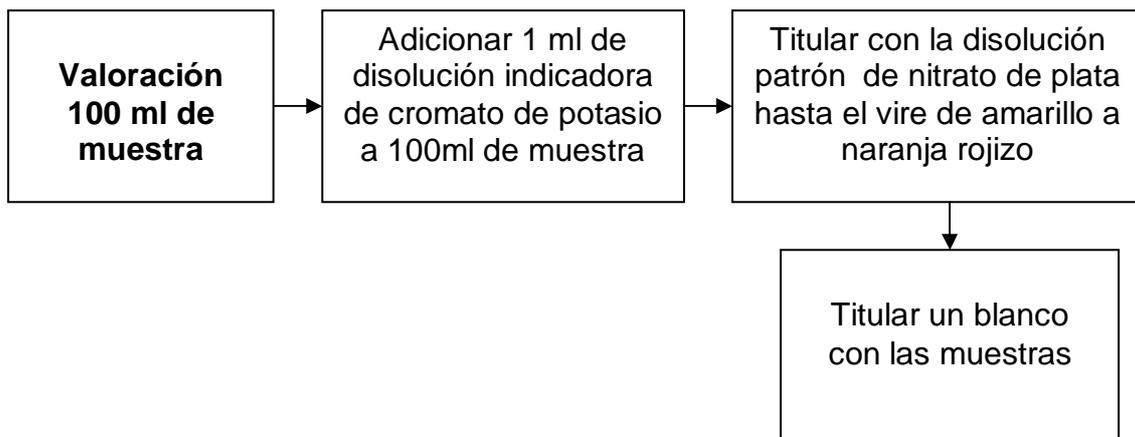
## 2.4 SOLUCIONES





## 2.5 PROCEDIMIENTO





## 2.6 CALCULOS

Calcular la concentración de iones Cloruro en la muestra original, en mg/L como sigue:

$$\text{Cl mgL}^{-1} = [(A - B) \times N \times 35,450] / \text{ml de muestra}$$

Donde:

A ml de disolución de nitrato de plata gastados en la titulación de la muestra

B ml de disolución de nitrato de plata gastados en la titulación del blanco

N normalidad del nitrato de plata.

## 2.7 TABLA DE PROPIEDADES FISICAS

### DETERMINACIÓN DE CLORUROS TABLAS DE PROPIEDADES FISICAS

NOMBRE	FORMULA	PESO MOLECULAR	DENSIDAD	PUNTO FUSION	DE	PUNTO DE EBULLICION
Amoniaco conc.	NH <sub>3</sub>	17.03	0.817	-77.7		-33.4
Hidroxido de Sodio	NaOH	40	2.13	318.4		1390
Cloruro de Sodio	NaCl	58.45	2.163	800.4		1413
Acido Sulfurico	H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	63.02	1.502	-42		86
Agua	H <sub>2</sub> O	18.016	1	0		100
Nitrato de plata	AgNO <sub>3</sub>	169.89	4.352 <sup>19/46</sup>	212		444d.
Cromato de potasio	K <sub>2</sub> CrO <sub>4</sub>	194.2	2.732	975		xxx

### **3. DETERMINACIÓN DE GRASAS Y ACEITES**

En la determinación de aceite y grasa se determinan cuantitativamente grupos de sustancias con características físicas similares sobre la base de su solubilidad común en hexano.

La determinación de grasas y aceites es indicativa del grado de contaminación del agua por usos industriales y humanos.

#### **3.1 MATERIAL**

- Cartuchos de extracción de celulosa para Soxhlet;
- Papel filtro de poro fino;
- Embudo Büchner
- Desecador.

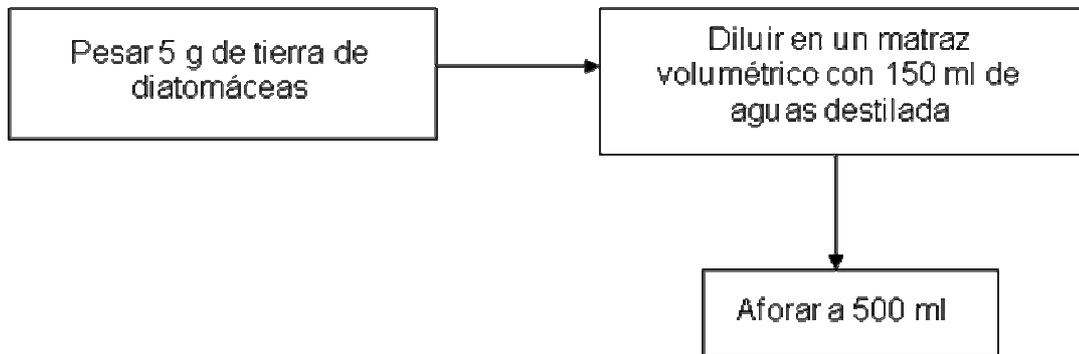
#### **3.2 EQUIPO**

- Equipo de extracción Soxhlet;
- Bomba de vacío u otra fuente de vacío;
- Estufa eléctrica capaz de mantener 103°C;
- Estufa eléctrica de vacío capaz de mantener 80°C;
- Balanza analítica con precisión de 0.1 mg, y
- Equipo de filtración a vacío.

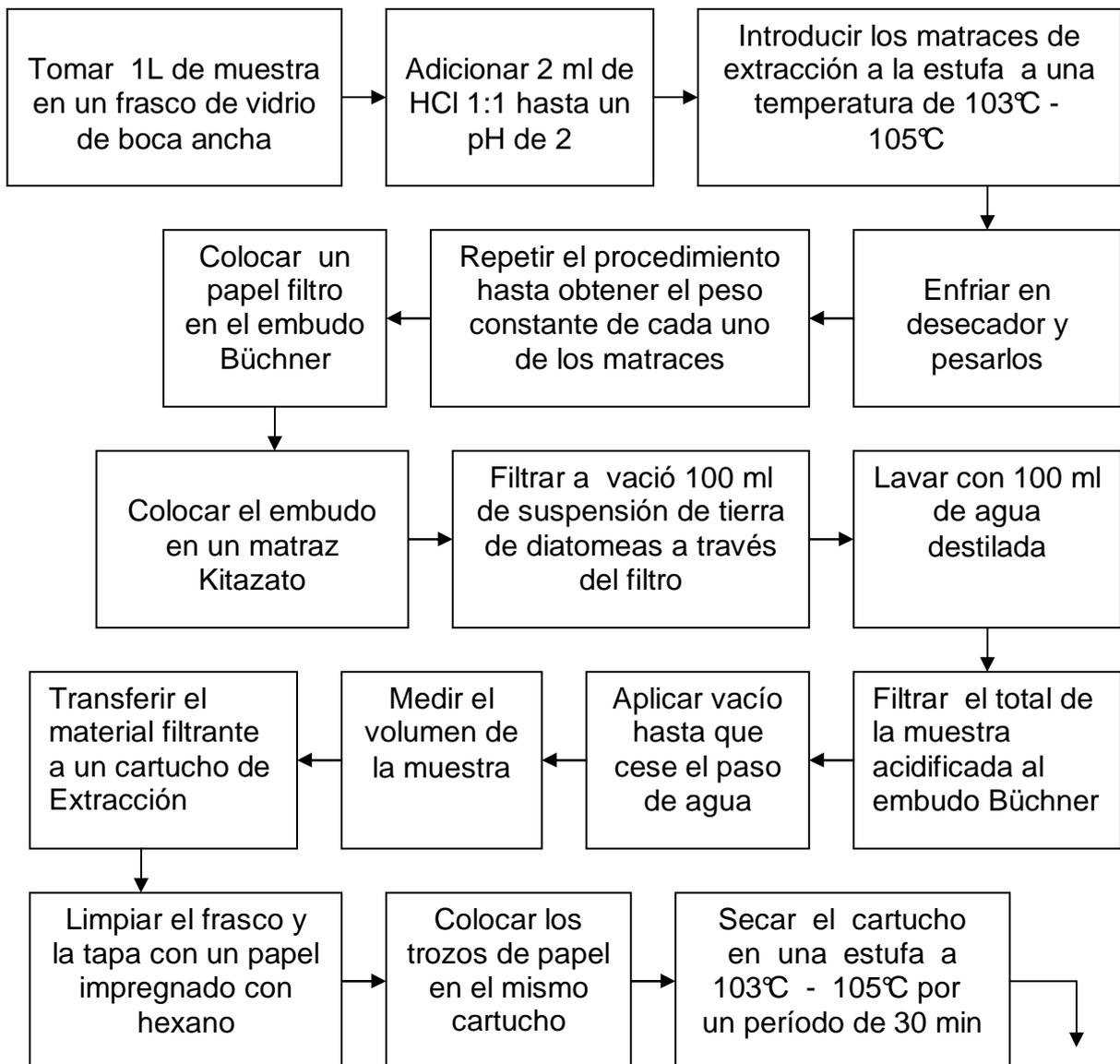
#### **3.3 REACTIVOS**

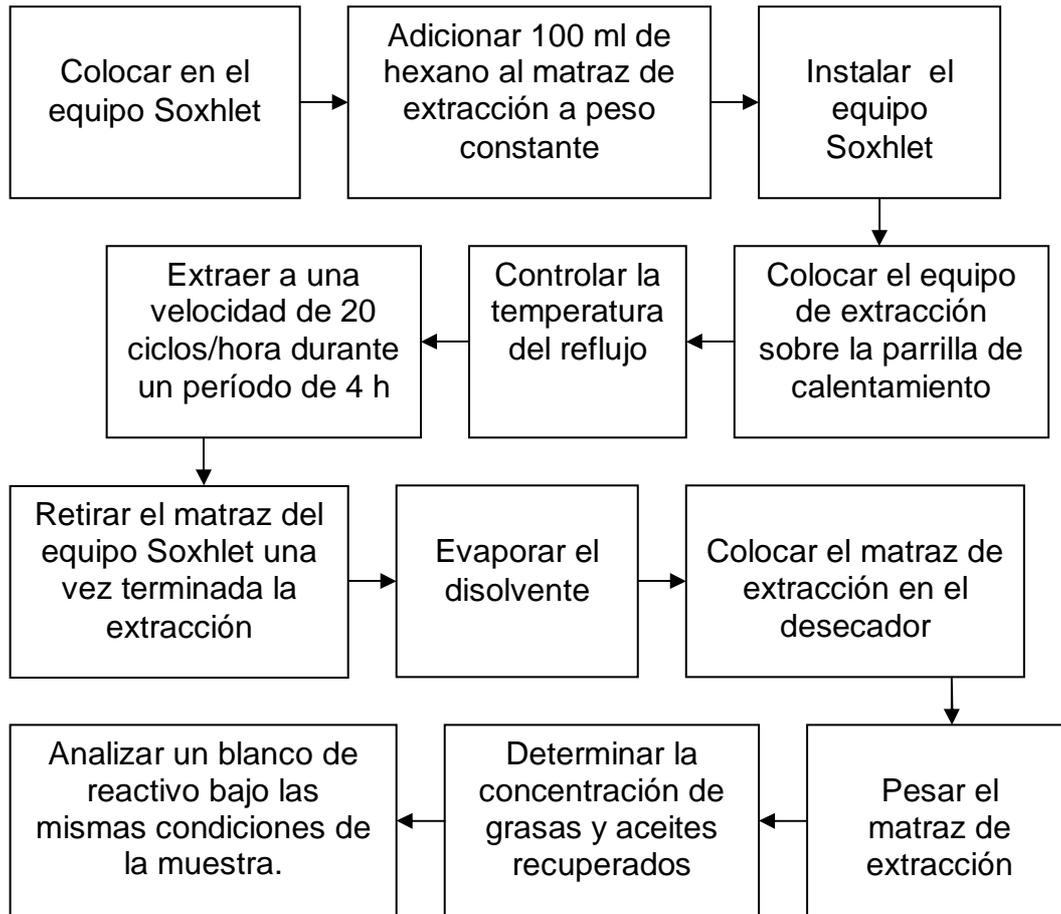
- Ácido Clorhídrico concentrado (HCl);
- Hexano (C<sub>6</sub>H<sub>14</sub>);
- Ácido Sulfúrico concentrado (H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>);

### 3.4 SOLUCIONES



### 3.5 PROCEDIMIENTO





### 3.6 CÁLCULOS

Calcular las grasas y aceites recuperables (G y A) en la muestra usando la siguiente ecuación:

$$G \text{ y } A \text{ (mg/L)} = (A - B) / V$$

Donde:

- A peso final del matraz de extracción (mg);
- B peso inicial del matraz de extracción (mg),
- V volumen de la muestra, en litros.

Restar al resultado obtenido de la muestra el valor del blanco de reactivo.

### 3.7 TABLA DE PROPIEDADES FÍSICAS

#### DETERMINACIÓN DE GRASAS Y ACEITES TABLAS DE PROPIEDADES FÍSICAS

NOMBRE	FORMULA	PESO MOLECULAR	DENSIDAD	PUNTO FUSION	DE PUNTO DE EBULLICION
Acido Clorhidrico conc.	HCL	36.47	1.268	xxx	4300
Hexano	C6H14	86.18	0.659	-95	69
Acido Sulfurico conc.	H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	98.08	1.834	10.49	d. 340
Agua	H <sub>2</sub> O	18.016	1	0	100

## **4. DETERMINACIÓN DE TURBIEDAD**

La turbiedad en agua se debe a la presencia de partículas suspendidas y disueltas, materia en suspensión como arcilla, cieno o materia orgánica e inorgánica finamente dividida, así como compuestos solubles coloridos, plancton y diversos microorganismos.

La determinación de la turbiedad es muy útil como indicador de la calidad del agua, y juega un papel muy importante en el desempeño de las plantas de tratamiento de agua, formando como parte del control de los procesos para conocer cómo y cuándo el agua debe ser tratada.

### **4.1 EQUIPO**

- Turbidímetro.
- Lámpara de tungsteno
- Balanza analítica con precisión de 0.1 mg

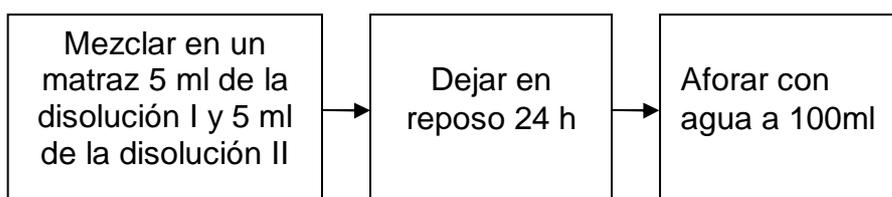
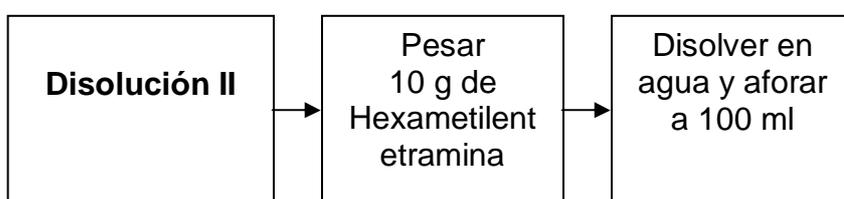
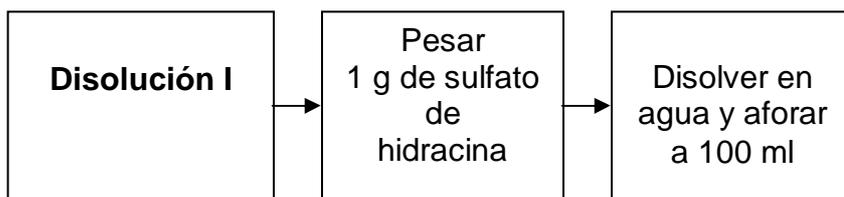
### **4.2 MATERIAL**

- Celdas de vidrio de cristal incoloro y transparente, deben de mantenerse cuidadosamente limpias por dentro y por fuera y evitar que se rayen o estrellen.

### **4.3 REACTIVOS**

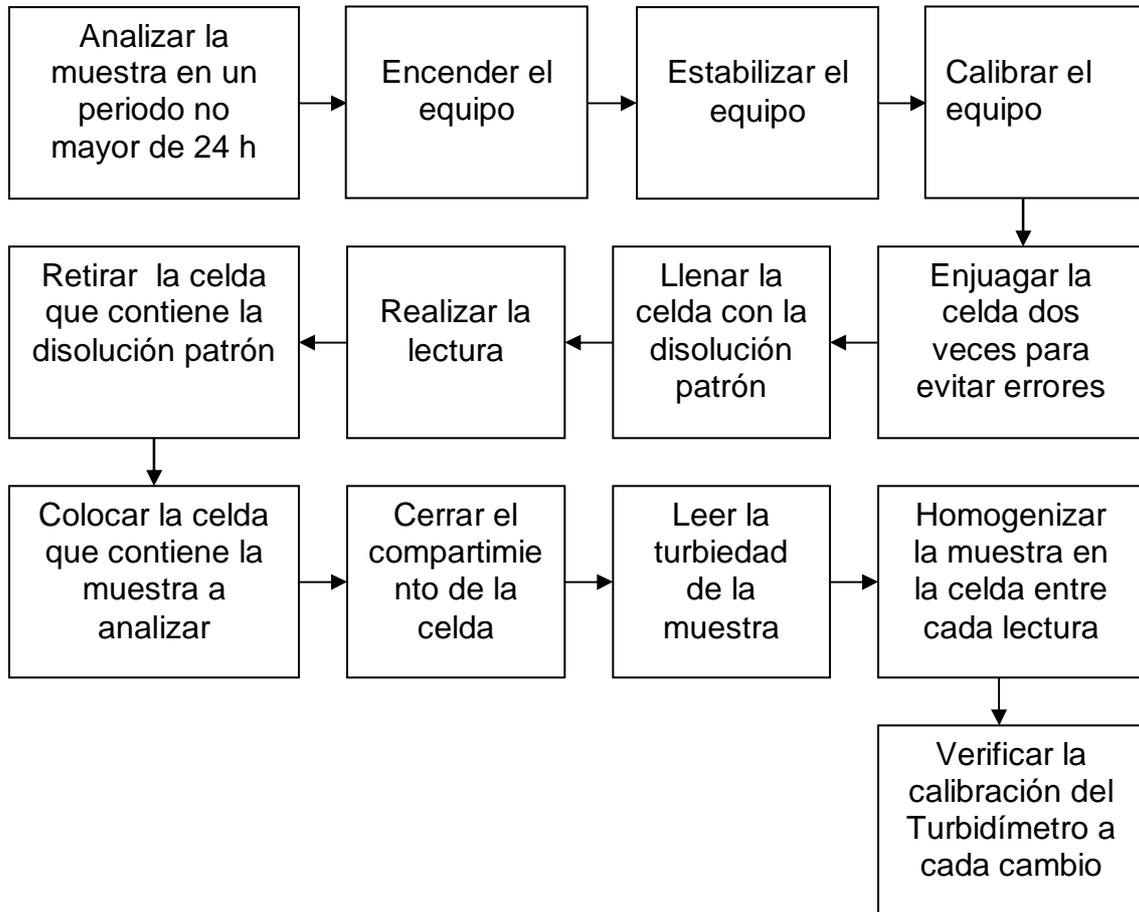
- Agua destilada
- Sulfato de hidracina  $(\text{NH}_2)_2 \text{H}_2\text{SO}_4$
- Hexametilentetramina  $(\text{CH}_2)_6\text{N}_4$
- Suspensión patrón de formacina de 400 UNT.

#### 4.4 SOLUCIONES

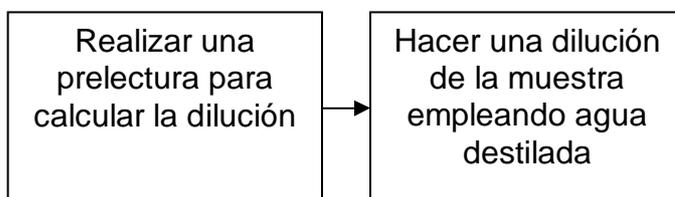


## 4.5 PROCEDIMIENTO.

### 4.5.1 ANÁLISIS DE MUESTRAS CON TURBIEDAD MENOR A 40 NTU



### 4.5.2 ANÁLISIS DE MUESTRAS CON TURBIEDAD MAYOR A 40 NTU



#### 4.6 CÁLCULOS.

$$NTU = (A \cdot B) / C$$

Donde:

- A NTU encontradas en la muestra;
- B volumen final ml de la dilución realizada
- C volumen ml de muestra tomada para la dilución.

Reportar los resultados de la manera siguiente con la precisión correspondiente

Margen de turbiedad UNT	Informe de cifra UNT más próxima
0 - 1	0.05
1 - 10	0.1
10 -40	1
40 - 100	5
100 - 400	10
400 - 1 000	50
> 1 000	100

#### 4.7 TABLA DE PROPIEDADES FÍSICAS

##### DETERMINACIÓN DE TURBIDEZ TABLAS DE PROPIEDADES FÍSICAS

NOMBRE	FORMULA	PESO MOLECULAR	DENSIDAD	PUNTO FUSION	DE PUNTO DE EBULLICION
Sulfato de hidracina	$(\text{NH}_2)_2 \text{H}_2\text{SO}_4$	130.12	1.378	254	
Agua	$\text{H}_2\text{O}$	18.016	1	0	100

## **5. DETERMINACION DE SÓLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES (SST) Y SÓLIDOS TOTALES DISUELTOS (STD)**

Las aguas naturales o residuales que contengan altos contenidos de sólidos suspendidos o sales no se pueden utilizar de manera directa por las industrias y plantas potabilizadoras. Para las aguas potables es deseable un límite de 500 mgL<sup>-1</sup> de sólidos disueltos. Los análisis de sólidos son importantes en el control de procesos de tratamiento biológico y físico de las aguas residuales, y para evaluar el cumplimiento de las limitaciones que regulan su vertido.

### **5.1 EQUIPO**

- Horno de mufla para operar a 550 ± 50 °C.
- Baño de vapor.
- Horno de secado para operaciones de 103-105 °C.
- Balanza de análisis, capacidad de pesa hasta 0.1 mg.
- Bomba de vacío.

### **5.2 MATERIAL**

- Placas de evaporación: Placas de 100 ml. de capacidad fabricadas con porcelana, platino (recomendable) o vaso de sílice.
- Desecador provisto de un desecante que contiene un indicador calorimétrico de concentración de humedad.
- Crisol Gooch de poro fino con adaptador de hule para el equipo de filtración
- Matraz Kitazato de 1 L de capacidad
- Filtro de fibra de vidrio de tamaño adecuado al crisol Gooch utilizado con una porosidad de 2 mm o menor
- Pinzas para crisol
- Guantes para protección al calor
- Careta para protección al calor

### 5.3 REACTIVOS

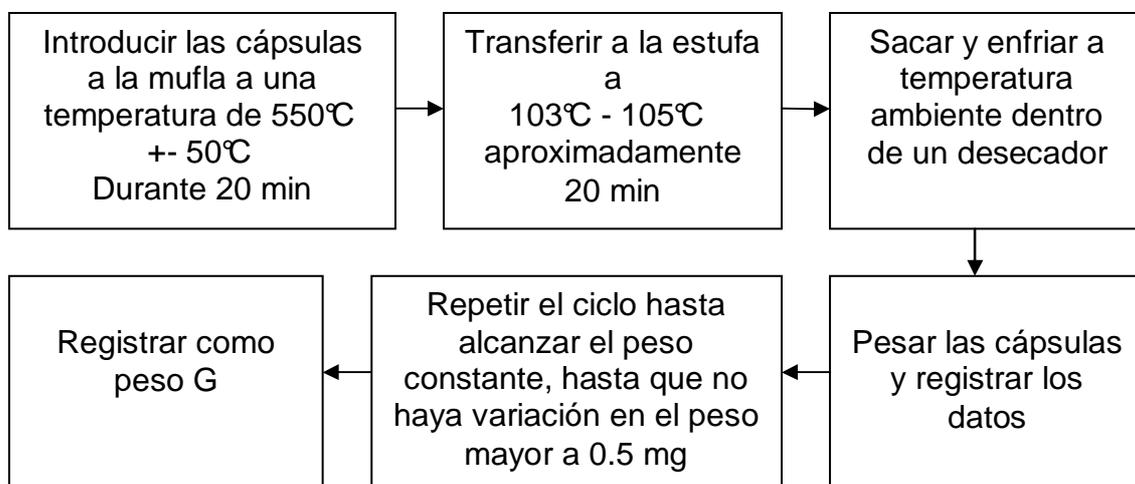
- Agua destilada
- Cloruro de sodio (NaCl)
- Carbonato de calcio (CaCO<sub>3</sub>)
- Almidón en polvo

### 5.4 SOLUCIONES

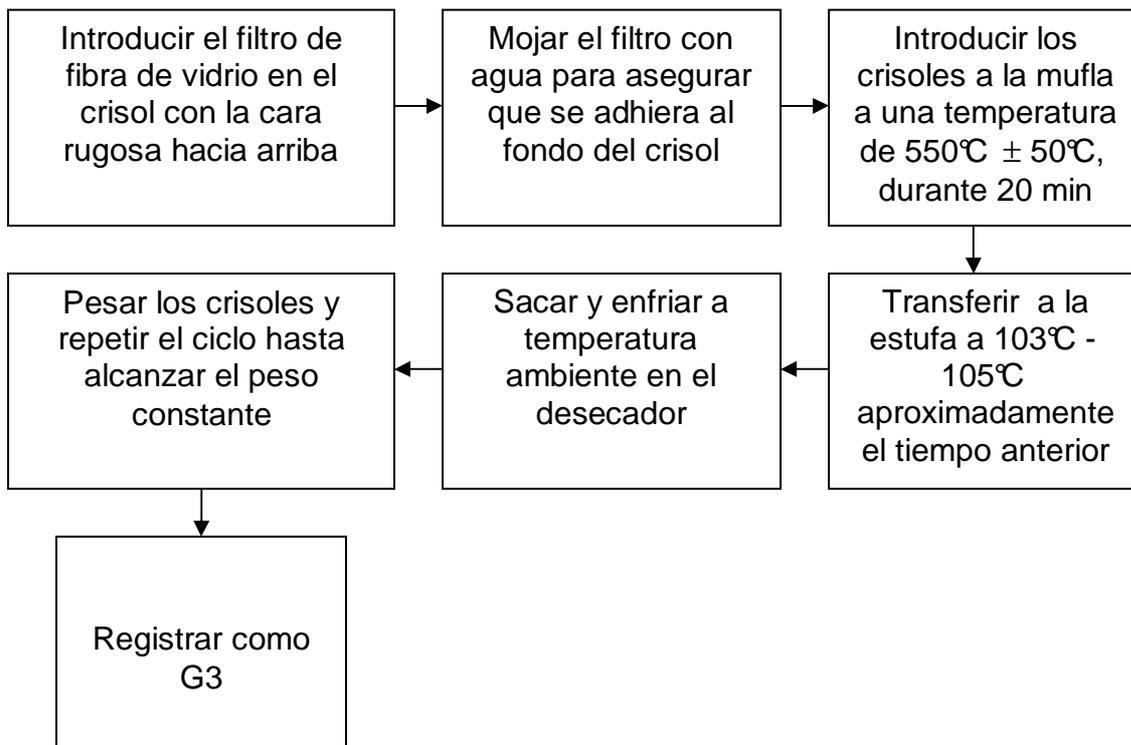
Disolución estándar para muestras de control. Agregar la cantidad necesaria de almidón, Cloruro de Sodio y Carbonato de Calcio de acuerdo con la concentración deseada de sólidos en las muestras de control y diluir a 1 L. Este patrón debe prepararse cada vez que se realice el método.

### 5.5 PROCEDIMIENTO

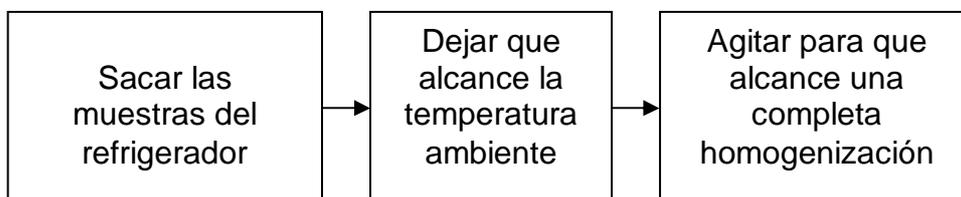
#### 5.5.1 PREPARACIÓN DE LA PLACA DE EVAPORACIÓN



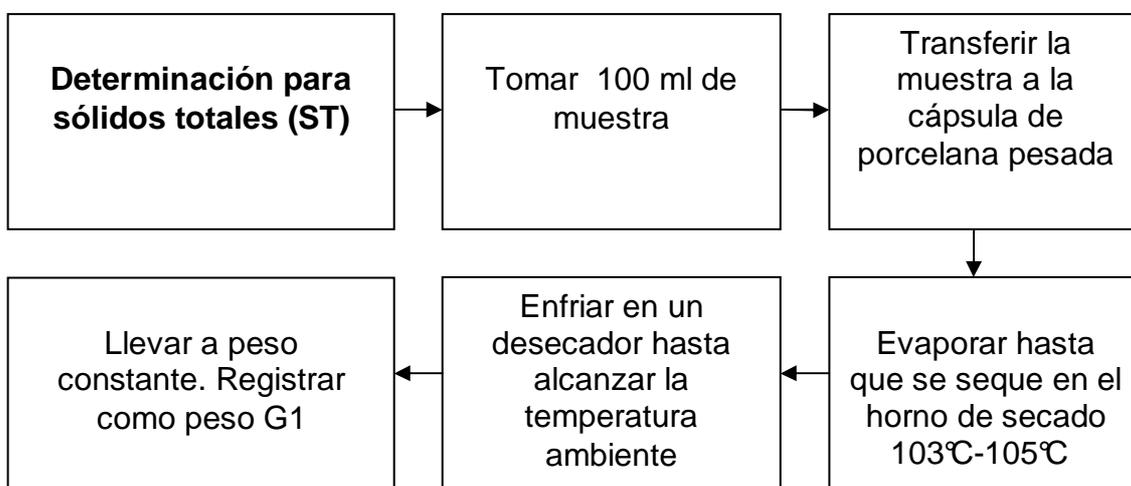
### 5.5.2 PREPARACIÓN DE CRISOLES GOOCH

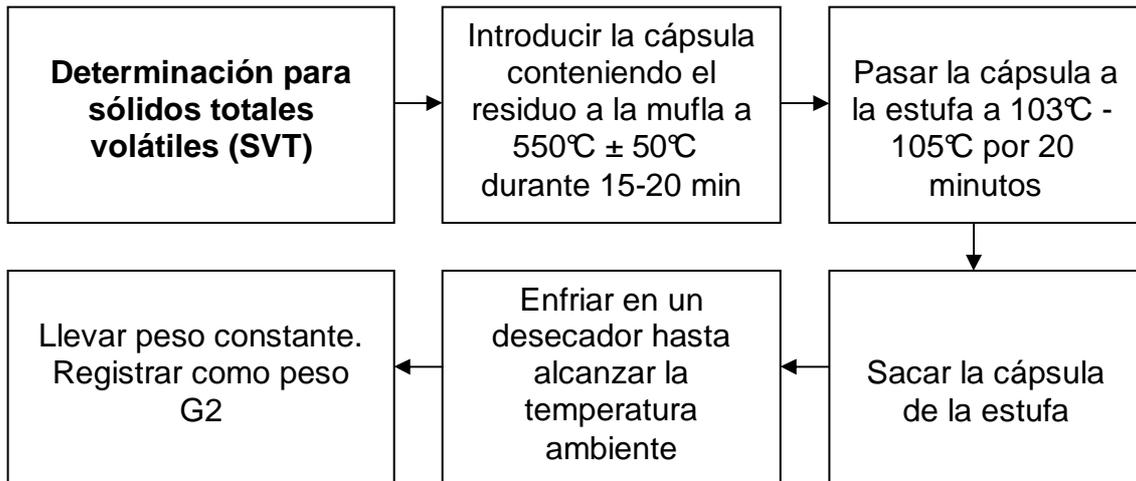


### 5.5.3 PREPARACIÓN DE LA MUESTRA

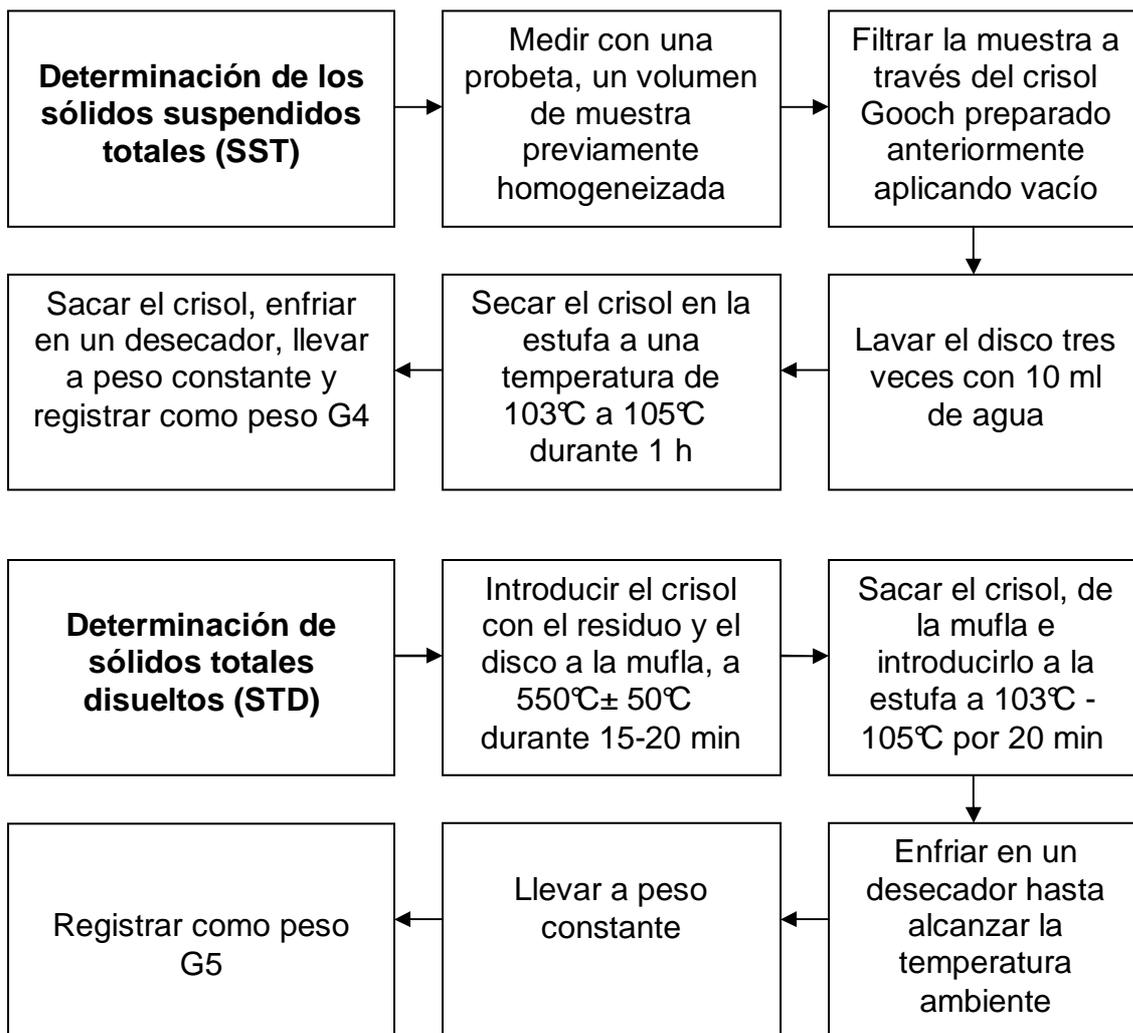


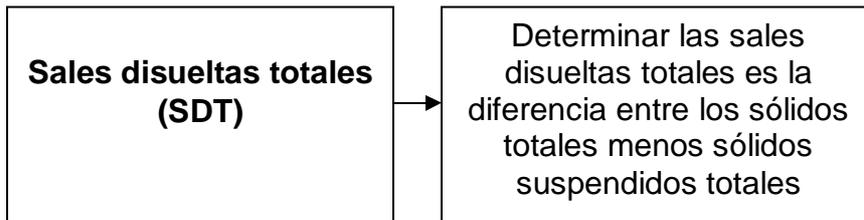
### 5.5.4 MEDICIÓN PARA SÓLIDOS TOTALES (ST) Y SÓLIDOS TOTALES VOLÁTILES (SVT)





### 5.5.5 MEDICIÓN PARA SÓLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES Y LOS SÓLIDOS TOTALES DISUELTOS (STD)





## 5.6 CÁLCULOS

a) Calcular el contenido de sólidos totales de las muestras como sigue:

$$ST = (G1 - G) * 1\ 000 / V$$

Donde:

ST sólidos totales, en  $\text{mgL}^{-1}$

G1 peso de la cápsula después de la evaporación, en mg

G peso de la cápsula vacía, en mg a peso constante

V volumen de muestra, en ml.

b) Calcular el contenido de sólidos totales volátiles de las muestras como sigue:

$$SVT = (G1 - G2) * 1\ 000 / V$$

Donde:

SVT materia orgánica total, en  $\text{mgL}^{-1}$

G2 peso de la cápsula después de la calcinación, en mg

V volumen de muestra, en ml.

c) Calcular el contenido de sólidos suspendidos totales de las muestras como sigue:

$$SST = (G4 - G3) * 1\ 000 / V$$

Donde:

SST sólidos suspendidos totales, en  $\text{mgL}^{-1}$

G3 peso del crisol con el disco a peso constante, en mg

- G4            peso del crisol con el disco y el residuo seco, en mg,  
V            volumen de muestra, en ml.

d) Calcular el contenido de sólidos totales disueltos de las muestras como sigue:

$$STD = (G4 - G5) * 1\ 000 / V$$

Donde:

- SST        sólidos suspendidos totales, en  $\text{mgL}^{-1}$ ;  
G5        peso del crisol con el residuo, después de la calcinación, en mg;  
V        volumen de muestra, en ml.

e) Calcular el contenido de sales disueltas totales de las muestras como sigue:

$$SDT = ST - SST$$

Donde:

- SDT        sales disueltas totales, en  $\text{mgL}^{-1}$   
ST        sólidos totales, en  $\text{mgL}^{-1}$   
SST        sólidos suspendidos totales, en  $\text{mgL}^{-1}$

## 5.7 TABLA DE PROPIEDADES FÍSICAS

### DETERMINACIÓN DE SÓLIDOS Y SALES DISUELTAS TABLAS DE PROPIEDADES FÍSICAS

NOMBRE	FORMULA	PESO MOLECULAR	DENSIDAD	PUNTO FUSION	DE	PUNTO DE EBULLICION
Cloruro de Sodio	NaCl	58.45	2.163	800.4		1413
Carbonato de Calcio (calcita)	CaCO <sub>3</sub>	100.09	2.711	1339		xxx
Agua	H <sub>2</sub> O	18.016	1	0		100

## 6. DETERMINACION DE LA DEMANDA QUIMICA DE OXIGENO (DQO)

### 6.1 MATERIAL

- Bureta

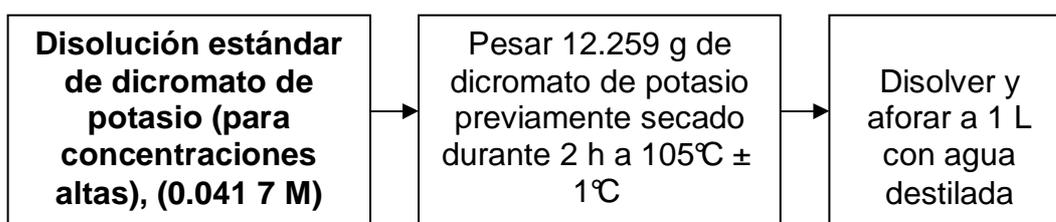
### 6.2 EQUIPO

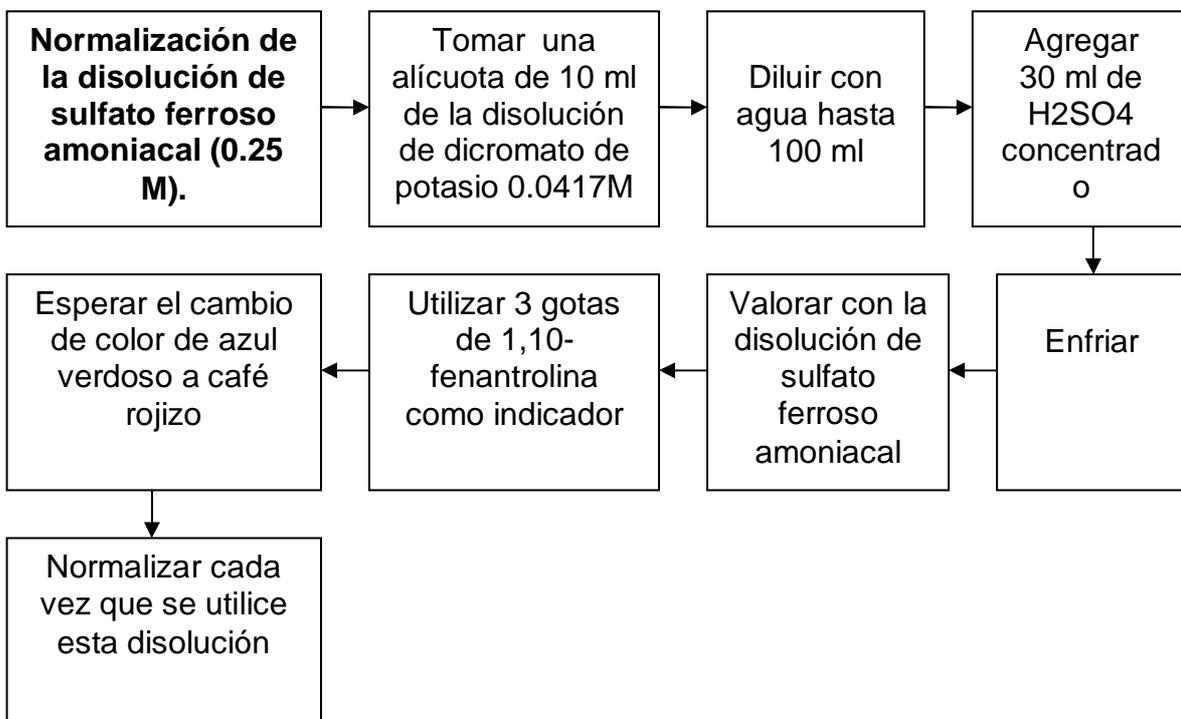
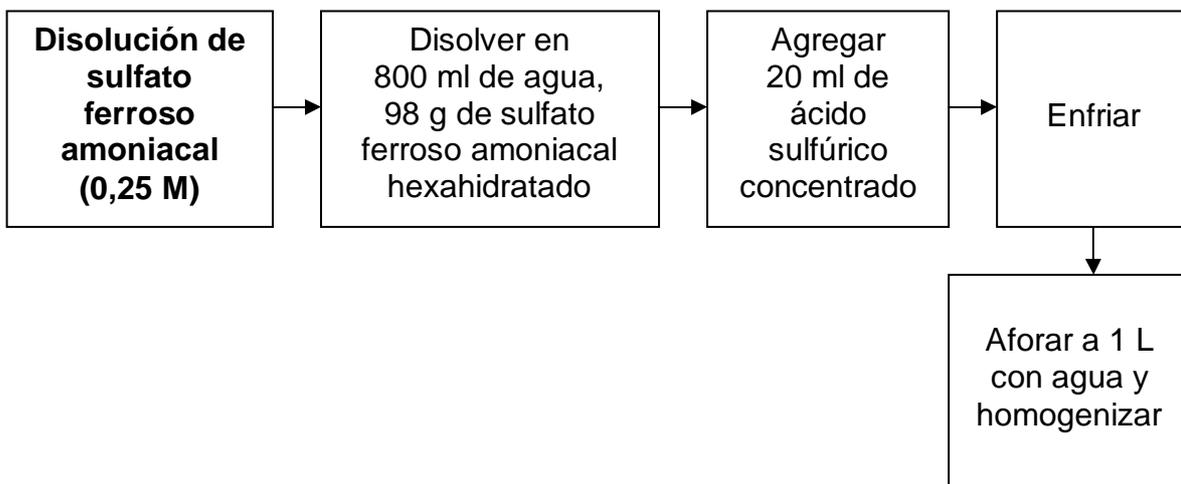
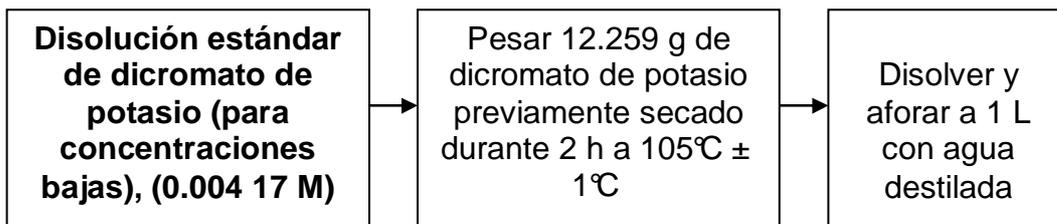
- Equipo de destilación con parrilla de calentamiento que asegure la ebullición del contenido del matraz de reflujo y condensadores tipo Friedrich, con mangueras.

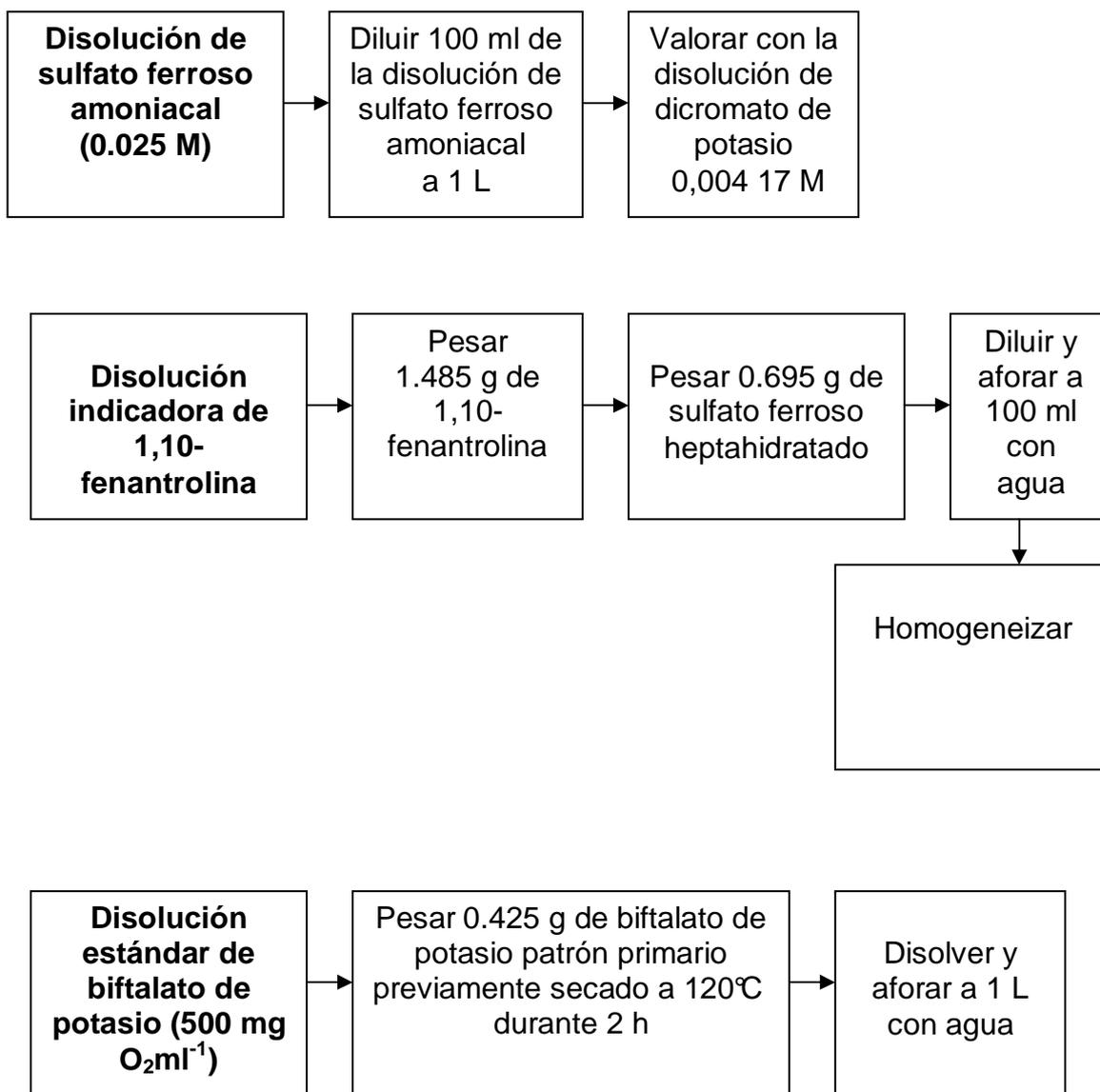
### 6.3 REACTIVOS

- Agua destilada
- Dicromato de potasio ( $K_2Cr_2O_7$ )
- Sulfato ferroso amoniacal hexahidratado ( $Fe (NH_4)_2 (SO_4)_2 \cdot 6H_2O$ )
- Ácido sulfúrico concentrado ( $H_2SO_4$ )
- Sulfato de plata ( $Ag_2SO_4$ )
- 1,10 fenantrolina ( $C_{12}H_8N_2$ )
- Sulfato mercurico ( $HgSO_4$ )
- Biftalato de potasio patrón primario ( $HOOC C_6H_4 COOK$ )
- Sulfato ferroso heptahidratado ( $FeSO_4 \cdot 7 H_2O$ )

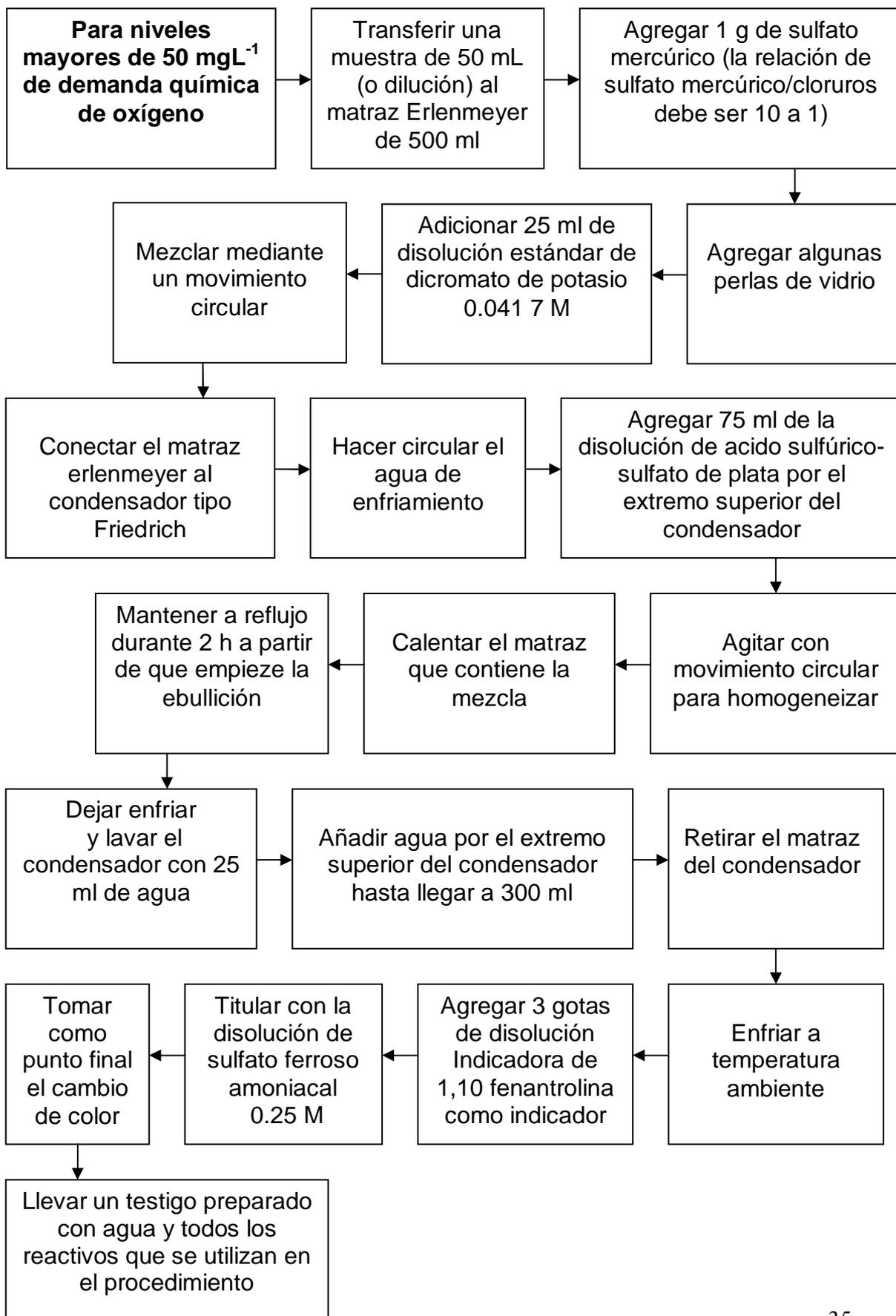
### 6.4 SOLUCIONES







## 6.5 PROCEDIMIENTO



## 6.6 CALCULOS

La demanda química de oxígeno, expresada en  $\text{mg O}_2 \text{ L}^{-1}$ , se calcula con la siguiente ecuación:

$$\text{DQO} = \frac{V1 - V2 \times M \times 8\,000}{V3}$$

Donde:

V1 volumen en ml de la disolución de sulfato ferroso amoniacal requerido para la valoración del testigo

V2 volumen en ml de la disolución de sulfato ferroso amoniacal requerido para la valoración de la muestra;

V3 volumen en ml de la muestra

M molaridad de la disolución de sulfato ferroso amoniacal utilizada en la determinación.

## 6.7 TABLA DE PROPIEDADES FISICAS

### DETERMINACIÓN DE LA DEMANDA QUIMICA DE OXIGENO TABLAS DE PROPIEDADES FISICAS

NOMBRE	FORMULA	PESO MOLECULAR	DENSIDAD	PUNTO FUSION	PUNTO DE EBULLICION
Acido Sulfurico	H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	63.02	1.502	-42	86
Dicromato de Potasio	K <sub>2</sub> Cr <sub>2</sub> O <sub>7</sub>	294.21	2.69	398	d.
Acido Sulfurico conc.	H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	98.08	1.834	10.49	d. 340
Agua	H <sub>2</sub> O	18.016	1	0	100
Sulfato de plata	Ag <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	xxx	xxx	xxx	xxx
Sulfato mercurico	Hg <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	497.28	7.56	d.	
Biftalato de potasio	HOCC <sub>6</sub> H <sub>4</sub> COOK	xxx	xxx	xxx	xxx
Sulfato heptahidratado	FeSO <sub>4</sub> *7H <sub>2</sub> O	278.02	1.899 <sup>14.8</sup>	64	(-7H <sub>2</sub> O),300

## 7. DETERMINACIÓN DE LA DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXIGENO

Demanda bioquímica de oxígeno ( $DBO_5$ ): Es una estimación de la cantidad de oxígeno que requiere una población microbiana heterogénea para oxidar la materia orgánica de una muestra de agua en un periodo de 5 días. El método se basa en medir el oxígeno consumido por una población microbiana en condiciones en las que se ha inhibido los procesos fotosintéticos de producción de oxígeno en condiciones que favorecen el desarrollo de los microorganismos.

### 7.1 MATERIAL

- Botellas Winkler de vidrio para incubación con capacidad de 300 ml de aforo total y con boca estrecha, reborde y tapón de vidrio esmerilado, de forma cónica.
- Contratapa de politetrafluoroetileno u otro material plástico para botella Winkler
- Bureta

### 7.2 EQUIPO

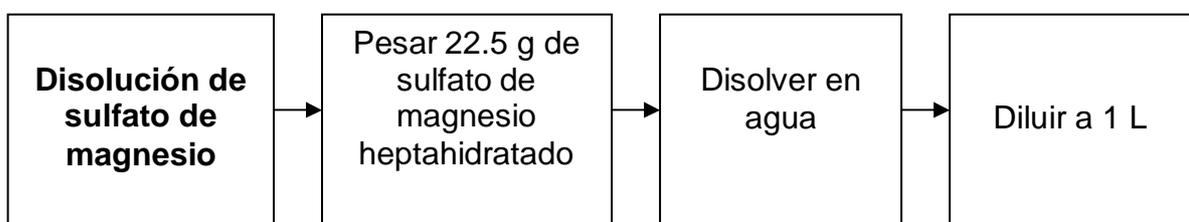
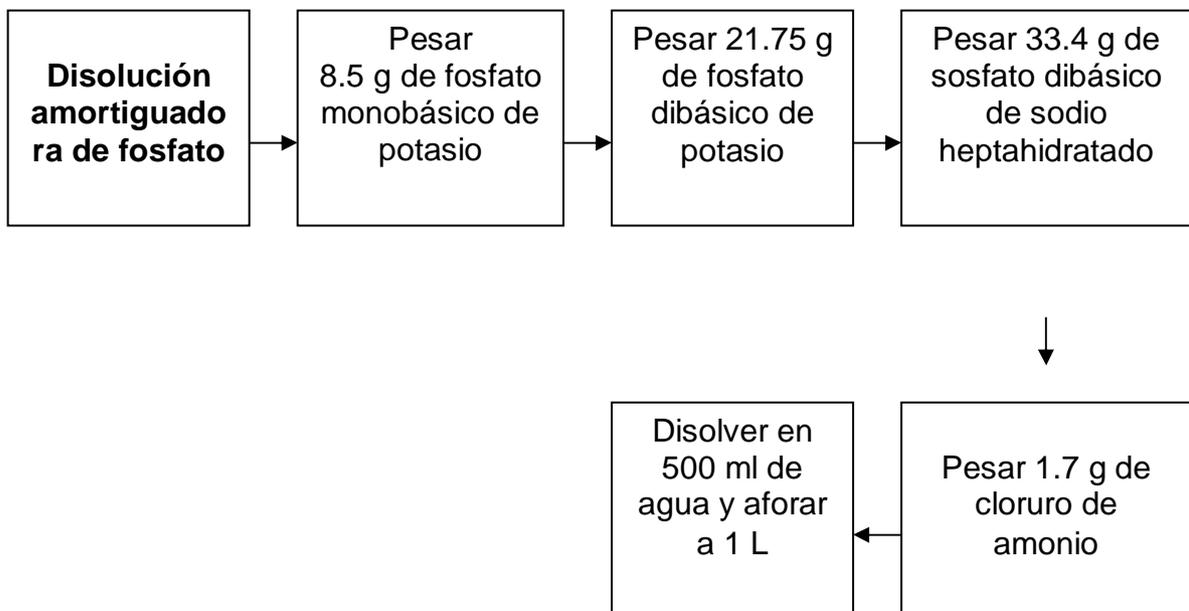
- Equipo de aireación con difusor
- Incubador: Controlado por termostato a  $20^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$ . Eliminar toda la luz para evitar la posibilidad de producción fotosintética de oxígeno disuelto.
- Balanza analítica con precisión de 0.1 mg
- Medidor de oxígeno disuelto

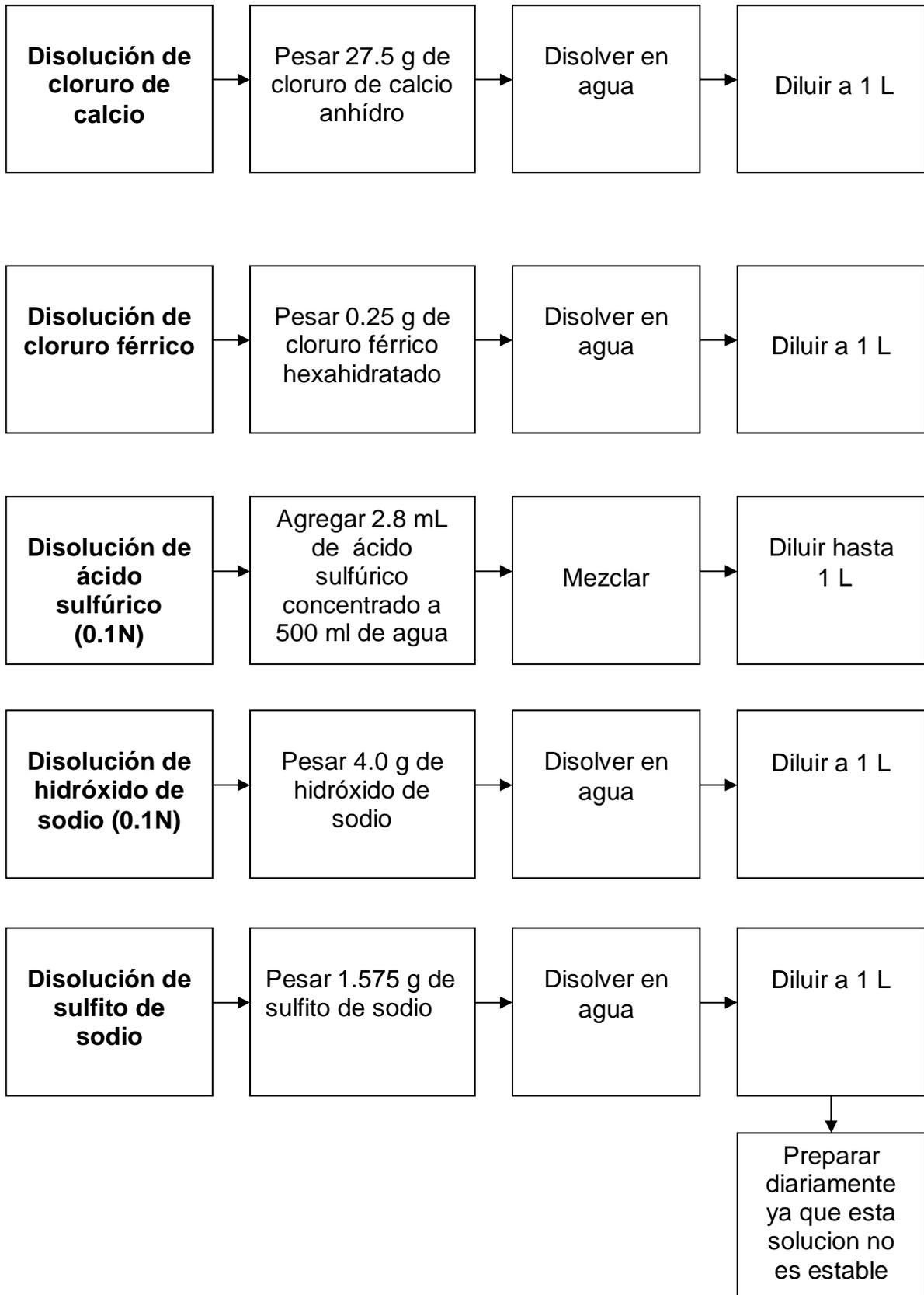
### 7.3 REACTIVOS

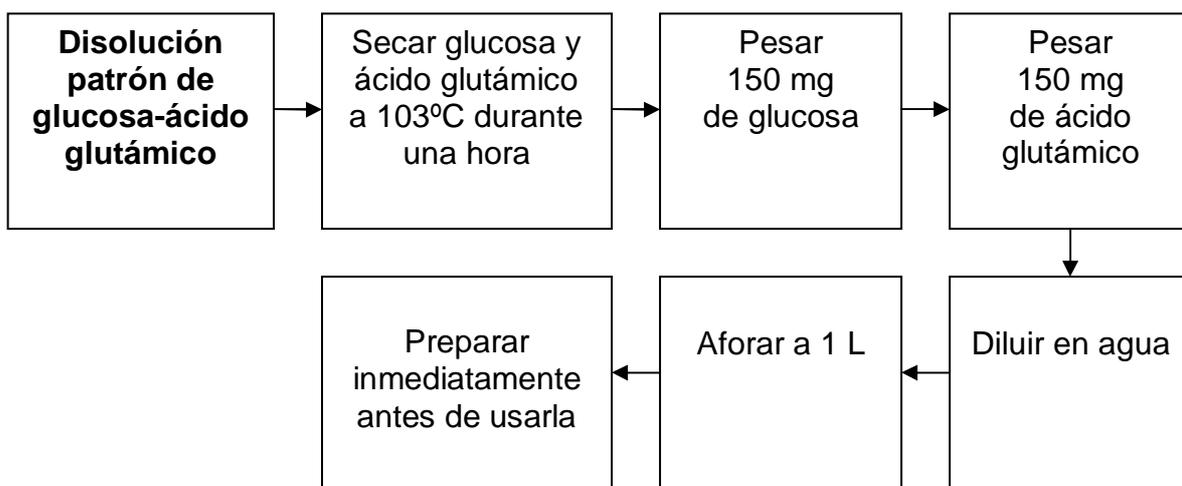
- Agua destilada
- Fosfato monobásico de potasio ( $\text{KH}_2\text{PO}_4$ )
- Fosfato dibásico de potasio ( $\text{K}_2\text{HPO}_4$ )
- Fosfato dibásico de sodio heptahidratado ( $\text{Na}_2\text{HPO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ )
- Cloruro de amonio ( $\text{NH}_4\text{Cl}$ )
- Sulfato de magnesio heptahidratado ( $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ )
- Cloruro de calcio anhidro ( $\text{CaCl}_2$ )

- Cloruro férrico hexahidratado ( $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ )
- Ácido sulfúrico concentrado ( $\text{H}_2\text{SO}_4$ )
- Hidróxido de sodio ( $\text{NaOH}$ )
- Sulfito de sodio ( $\text{Na}_2\text{SO}_3$ )
- 2-cloro-6 (triclorometil) piridina
- Glucosa grado patrón primario ( $\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$ )
- Ácido glutámico grado patrón primario ( $\text{C}_5\text{H}_9\text{NO}_4$ )
- Ácido clorhídrico ( $\text{HCl}$ )
- Acido nítrico ( $\text{HNO}_3$ )

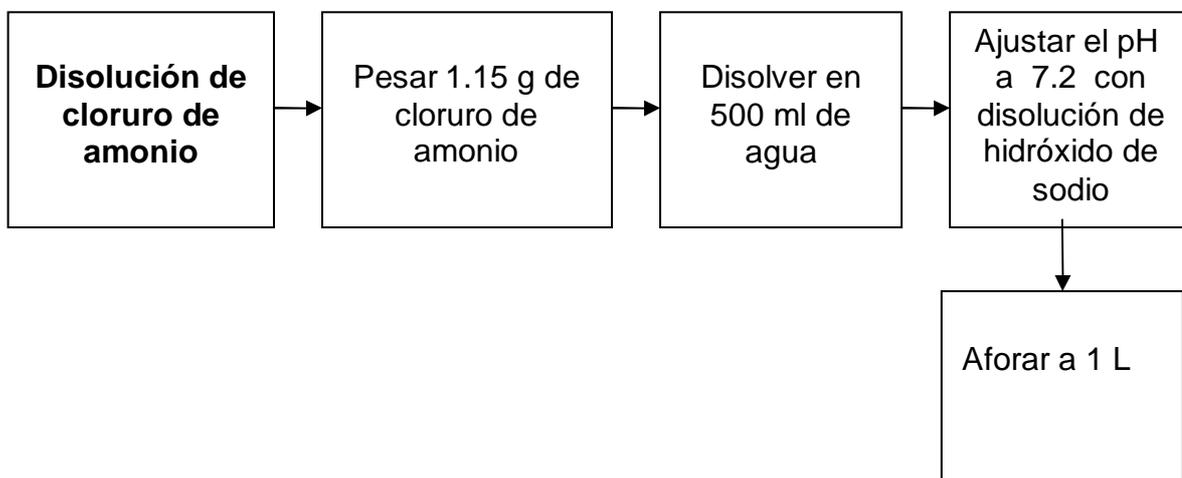
#### 7.4 SOLUCIONES





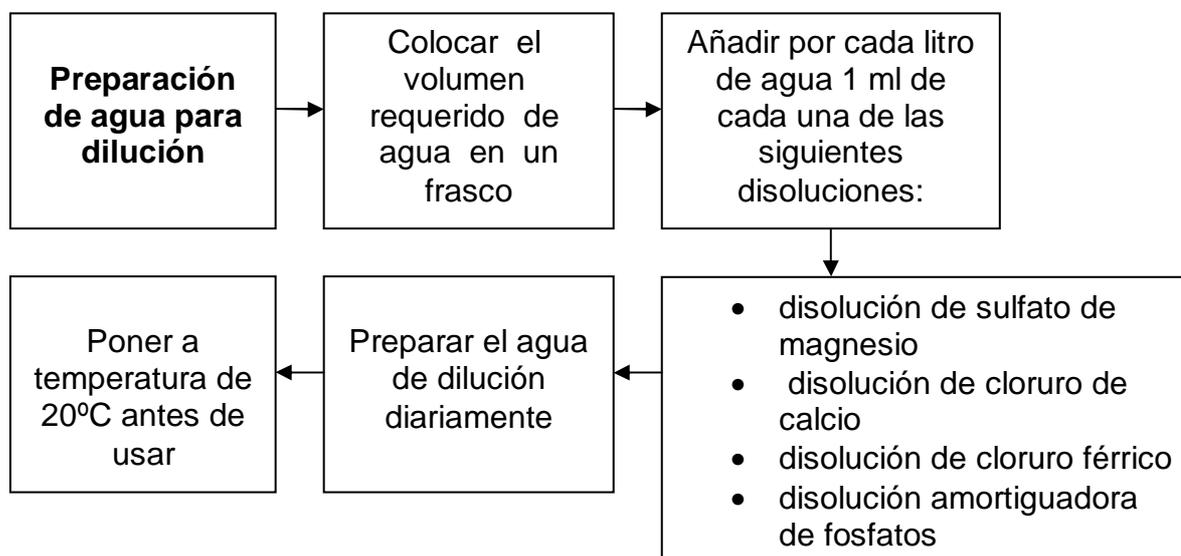


**NOTA:** Esta disolución tiene una  $DBO_5$  de  $198 \text{ mgL}^{-1}$ .



## 7.5 PROCEDIMIENTO

### 7.5.1 PREPARACIÓN DE AGUA PARA DILUCIÓN



### 7.5.2 PRETRATAMIENTO DE LA MUESTRA

#### a) Muestras con pH ácidos o básicos

Neutralizar las muestras a un pH entre 6,5 y 7,5 con ácido sulfúrico o hidróxido de sodio de concentración tal que la cantidad de reactivo no diluya la muestra en más del 0,5 %. El pH del agua de dilución sembrada no debe verse afectado por la dilución de la muestra.

#### b) Muestras que contienen cloro residual

Tomar las muestras antes del proceso de cloración. Si la muestra ha sido clorada pero no hay residuo detectable de cloro, sembrar el agua de dilución. Si hay cloro residual, eliminar el cloro de la muestra y sembrar con inóculo. En algunas muestras, el cloro desaparece en el lapso de 1 h a 2 h después de su exposición a la luz. Esto suele ocurrir durante el transporte o la manipulación de la muestra. Para las muestras en las que el residuo de cloro no se disipe en un tiempo razonablemente corto, eliminar el cloro residual añadiendo disolución de sulfito de sodio.

#### c) Muestras sobresaturadas con OD

En aguas frías o en aguas donde se produce la fotosíntesis es posible encontrar muestras que contienen más de  $9,0 \text{ mg ODL}^{-1}$  a  $20^\circ\text{C}$ . Para evitar la pérdida de oxígeno durante la incubación de tales muestras, reducir el OD por saturación, calentando la muestra aproximadamente a  $20^\circ\text{C}$  en frascos parcialmente llenos mientras se agitan con fuerza o se airean con aire limpio, filtrado y comprimido.

Ajustar la temperatura de la muestra a  $20^\circ\text{C}$  antes de hacer diluciones.

#### d) Inhibición de la nitrificación

Si se requiere inhibir la nitrificación adicionar  $3,0 \text{ mg}$  de 2-cloro-6 (triclorometil) piridina a cada uno de los frascos antes de recolectar o bien adicionar la cantidad suficiente de agua para tener una concentración de  $10 \text{ mgL}^{-1}$  aproximadamente.

Entre las muestras que requieren inhibición de la nitrificación se incluyen, los efluentes tratados biológicamente, las muestras sembradas con efluentes tratados biológicamente y las aguas superficiales entre otras. Debe hacerse la observación del uso de inhibición del nitrógeno cuando se presente el informe de los resultados.

### 7.5.3 TÉCNICAS DE DILUCIÓN

Las diluciones que dan lugar a un OD residual mayor de  $1 \text{ mgL}^{-1}$  y una captación de OD de al menos  $2 \text{ mgL}$  después de 5 días de incubación, producen los resultados más confiables. Hacer varias diluciones (al menos 3) por duplicado de la muestra preparada para obtener una captación de OD en dicho intervalo. La experimentación con una muestra concreta permite el uso de un número menor de diluciones. Un análisis más rápido tal como la DQO, presenta una correlación aproximada con la  $\text{DBO}_5$  y sirve como una guía para seleccionar las diluciones. En ausencia de datos previos, utilizar las siguientes diluciones:

0 % a 1 %	residuos industriales fuertes
1 % a 5 %	aguas residuales sedimentadas y crudas
5 % al 25 %	efluente tratado biológicamente
25 % al 100 %	aguas superficiales contaminadas

Diluciones preparadas directamente en frascos tipo Winkler:

Añadir el volumen de muestra deseado con una pipeta a frascos Winkler individuales de 300 ml y Añadir cantidades adecuadas del material de siembra a los frascos tipo Winkler o al agua de dilución.

Llenar los frascos con suficiente agua de dilución, sembrada si es necesario, de forma que la inserción del tapón desplace todo el aire, sin dejar burbujas. No realizar diluciones mayores de 1:300 (1 ml de la muestra en un frasco).

Determinar el OD inicial en uno de los frascos de cada una de las diferentes diluciones. En los frascos de los duplicados de cada una de las diluciones, Ajustar herméticamente el tapón, poner un sello hidráulico y la contratapa e incubar durante 5 días a 20°C.

## 7.6 CÁLCULOS

Cuando no se utilice inóculo ni diluciones:

$$DBO_5 \text{ (mg/l)} = ODi \text{ mg/l} - OD_5 \text{ mg/L}$$

Donde:

$ODi \text{ mgL}^{-1}$  es el oxígeno disuelto inicial, y

$OD_5 \text{ mgL}^{-1}$  es el oxígeno disuelto al quinto día.

Cuando se emplea una dilución:

$$\text{DBO}_5 \text{ (mgL}^{-1}\text{)} = (\text{OD}_i \text{ mgL}^{-1} - \text{OD}_5 \text{ mgL}^{-1}) / \% \text{ de dilución}$$

Cuando se utiliza inóculo:

Sin dilución:

$$\text{DBO}_5 \text{ (mgL}^{-1}\text{)} = (\text{OD}_i \text{ mgL}^{-1} - \text{OD}_5 \text{ mgL}^{-1}) - \frac{C_1 (B_1 - B_2) (V_t)}{C_2 (V_m)}$$

Con dilución:

$$\text{DBO}_5 \text{ (mgL}^{-1}\text{)} = [(\text{OD}_i \text{ mgL}^{-1} - \text{OD}_5 \text{ mgL}^{-1}) - \frac{C_1 (B_1 - B_2) (V_t)}{C_2 (V_m)}]$$

Donde:

$B_1$  es el OD del inóculo antes de la incubación, en  $\text{mgL}^{-1}$

$B_2$  es el OD del inóculo después de la incubación, en  $\text{mgL}^{-1}$

$C_1$  es el volumen de inóculo en la muestra;

$C_2$  es el volumen de inóculo en el inóculo control;

$V_t$  es el volumen total del frasco Winkler, y

$V_m$  es el volumen de muestra sembrada.

Expresar los resultados como  $\text{CDBO}_5$  si se inhibe la nitrificación.

Reportar los resultados en  $\text{mgL}^{-1}$  de  $\text{DBO}_5$  con dos cifras significativas con la precisión (media, desviación estándar) correspondientes.

## 7.7 TABLA DE PROPIEDADES FÍSICAS

### DETERMINACIÓN DE LA DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXÍGENO TABLAS DE PROPIEDADES FÍSICAS

NOMBRE	FORMULA	PESO MOLECULAR	DENSIDAD	PUNTO FUSION	DE	PUNTO DE EBULLICION
Fosfato Monobásico de Potasio	$\text{KH}_2\text{PO}_4$	56.1	2.044	380		1320
Fosfato Dibásico de Potasio	$\text{K}_2\text{HPO}_4$	174.18	xxx	d.		xxx
Fosfato Dibásico de Sodio	$\text{Na}_2\text{HPO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$	268.09	1.679	d.		xxx
Cloruro de Amonio	$\text{NH}_4\text{Cl}$	53.5	1.53	d. 350		subl. 520
Sulfato de Magnesio	$\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$	246.49	1.68	70 d.		xxx
Cloruro de Calcio Anhidro	$\text{CaCl}_2$	110.99	2.152	772		1600
Cloruro Hexahidratado	$\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$	270.32	xxx	37		280
Acido Sulfúrico conc.	$\text{H}_2\text{SO}_4$	98.08	1.834	10.49		d. 340
Hidróxido de Sodio	$\text{NaOH}$	40	2.13	318.4		1390
Sulfito de Sodio	$\text{Na}_2\text{SO}_3$	126.04	2.633	d.		xxx
Piridina	2-cloro-6 (triclorometil)	79.1	xxx	-42		115-6
Glucosa	$\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$	198.17	xxx	150		xxx
Acido Glutámico	$\text{C}_5\text{H}_9\text{NO}_4$	147.13	xxx	199.d		xxx
Acido Clorhídrico	$\text{HCl}$	36.47	1.268	xxx		4300
Acido Nítrico	$\text{HNO}_3$	63.02	1.502	-42		86
Agua	$\text{H}_2\text{O}$	18.016	1	0		100

## 8. DETERMINACION DE OXIGENO DISUELTO (METODO YODOMETRICO)

### 8.1 MATERIAL

- Matraces volumétricos de 500 ml y 1 000 ml
- Matraces Erlenmeyer de 250 ml y 1 000 ml.
- Bureta de 25 ml con soporte.

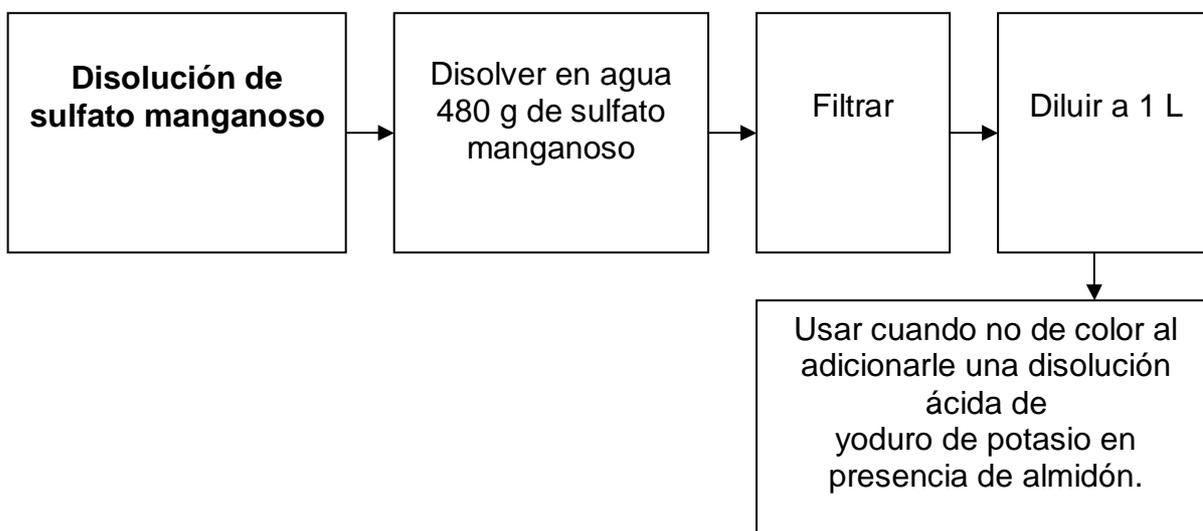
### 8.2 EQUIPO

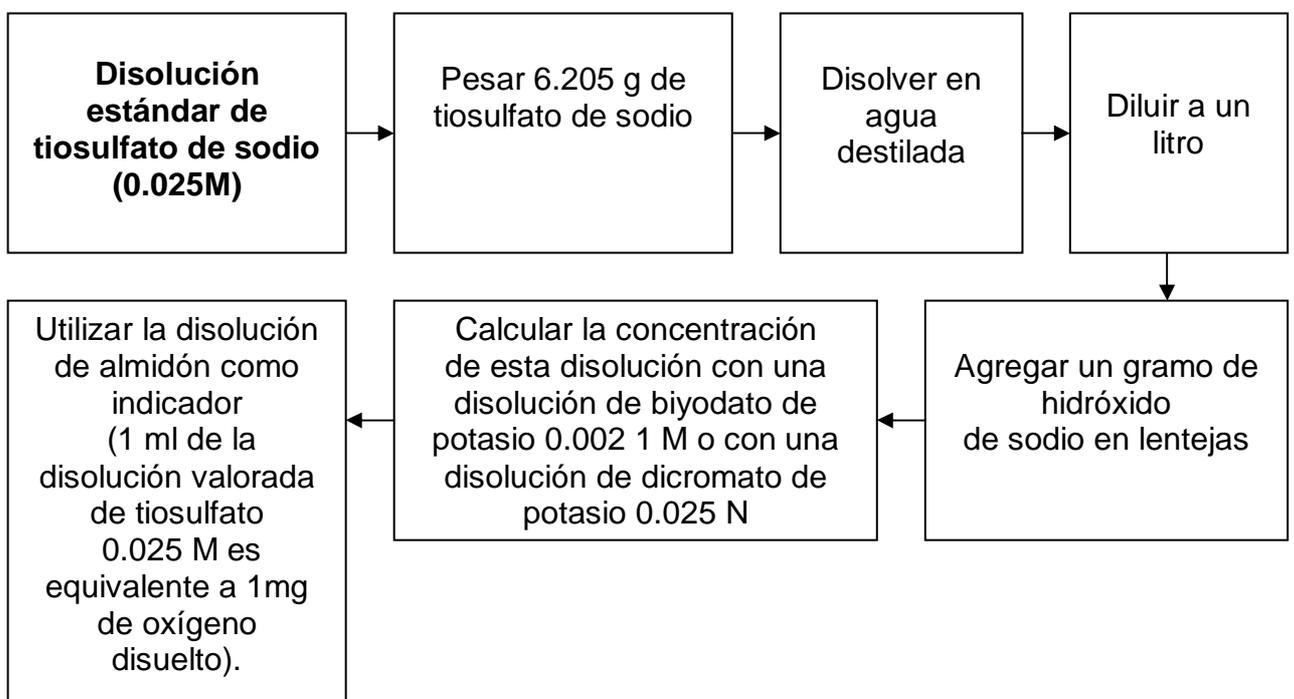
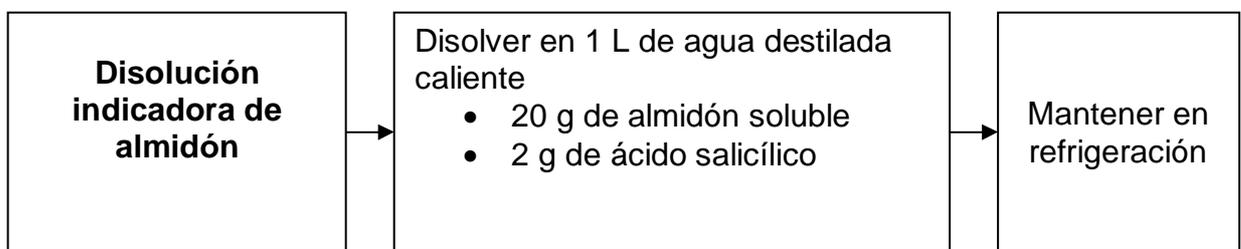
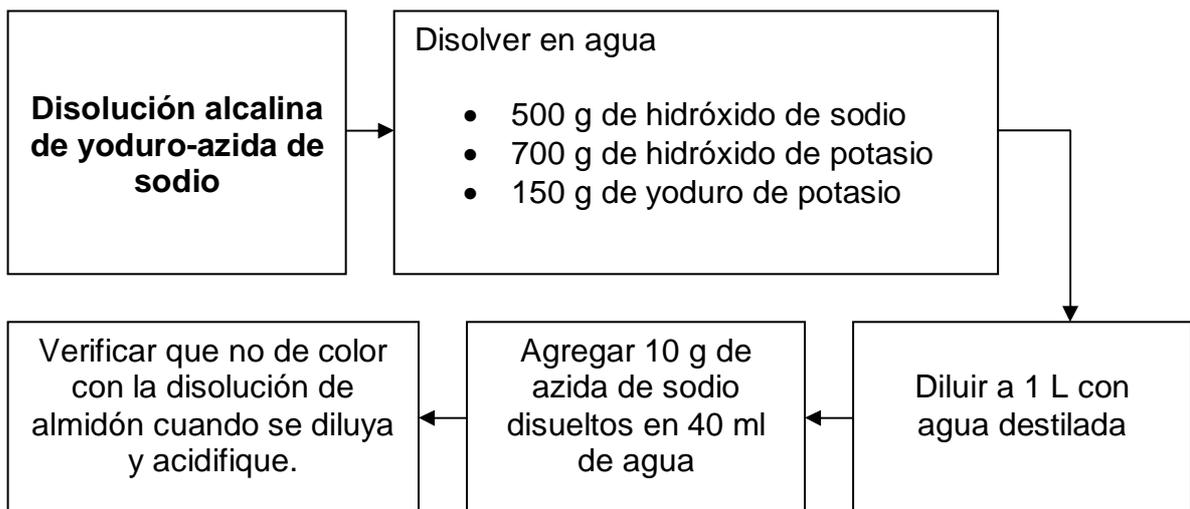
- Balanza analítica con precisión de 0,1 mg.

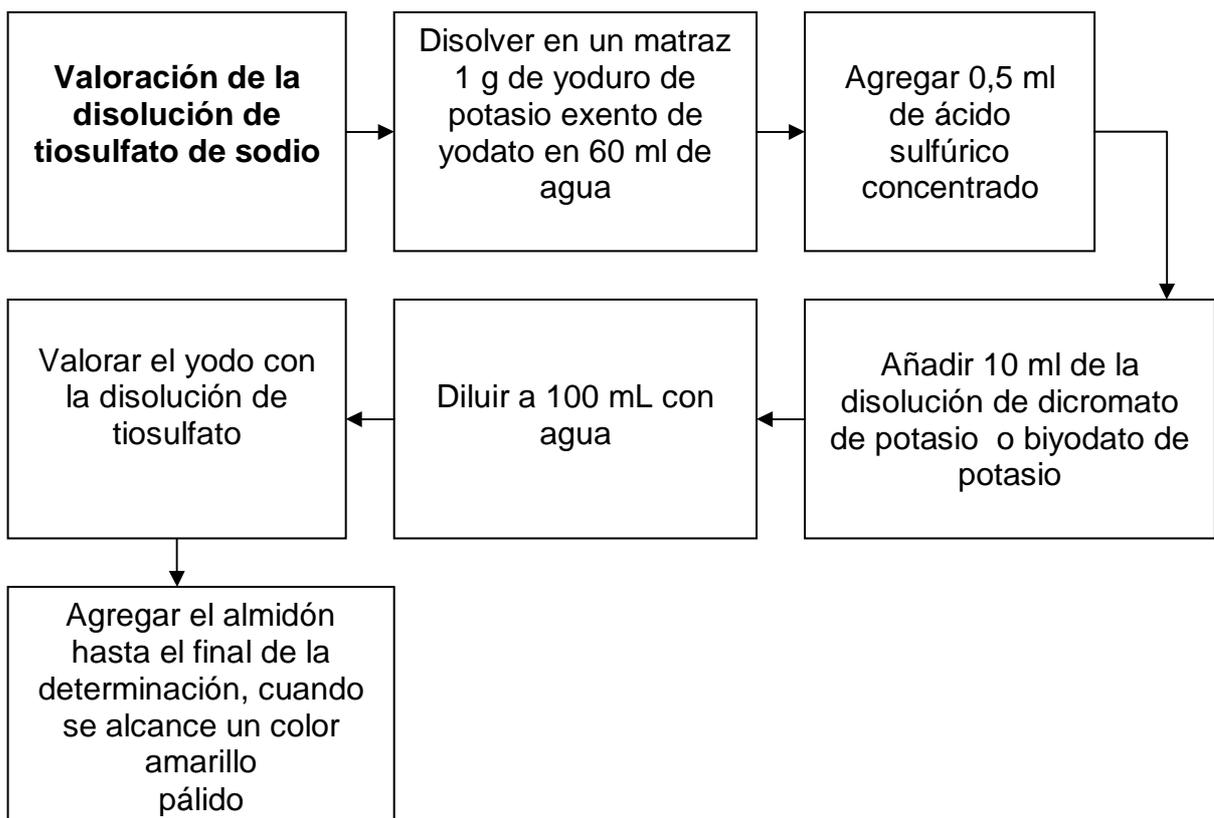
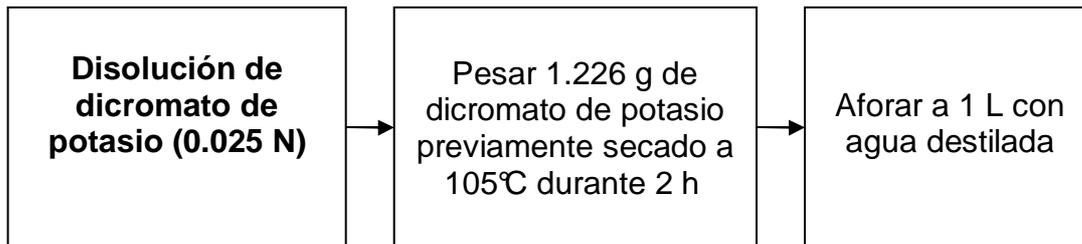
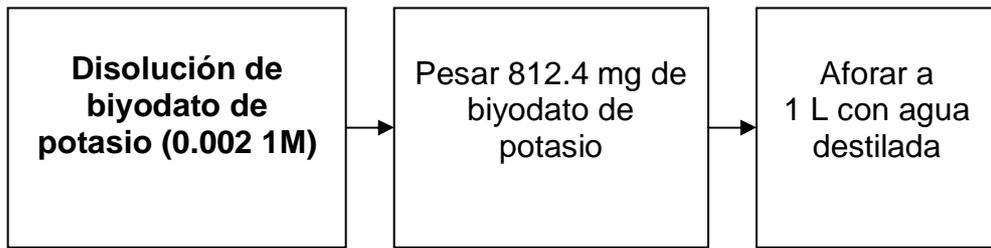
### 8.3 REACTIVOS

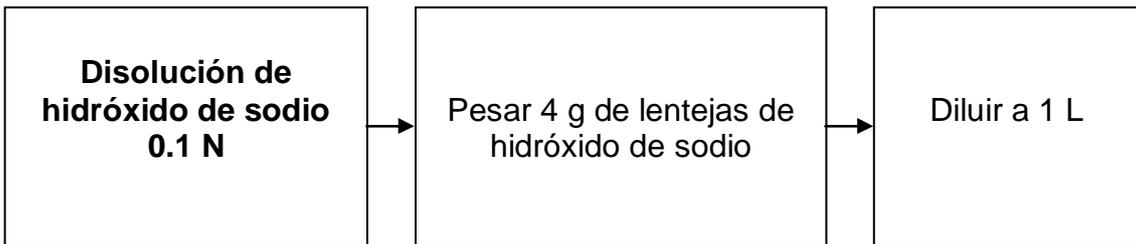
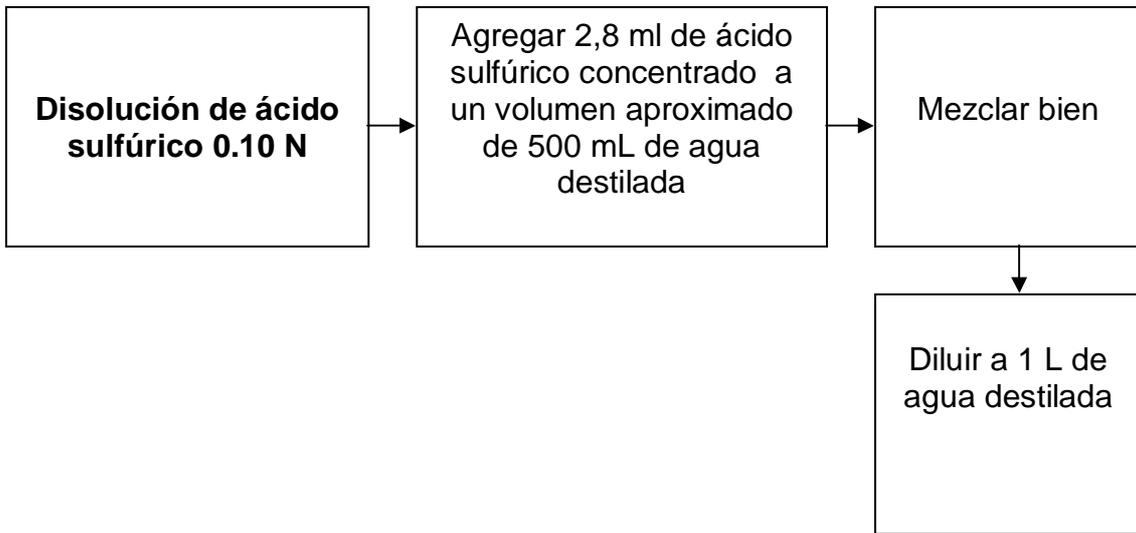
- Sulfato manganoso ( $\text{MnSO}_4 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$  o  $\text{MnSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$  o  $\text{MnSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$ )
- Hidróxido de potasio (KOH)
- Yoduro de potasio (KI) o yoduro de sodio (NaI)
- Azida de sodio ( $\text{NaN}_3$ )
- Almidón soluble
- Tiosulfato de sodio pentahidratado ( $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ )
- Ácido sulfúrico concentrado ( $\text{H}_2\text{SO}_4$ )
- Dicromato de potasio ( $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ )
- Biyodato de potasio ( $\text{KH}(\text{IO}_3)_2$ )
- Hidróxido de sodio (NaOH) o hidróxido de potasio (KOH)
- Ácido salicílico ( $\text{C}_6\text{H}_4(\text{OH})\text{COOH}$ )

### 8.4 SOLUCIONES

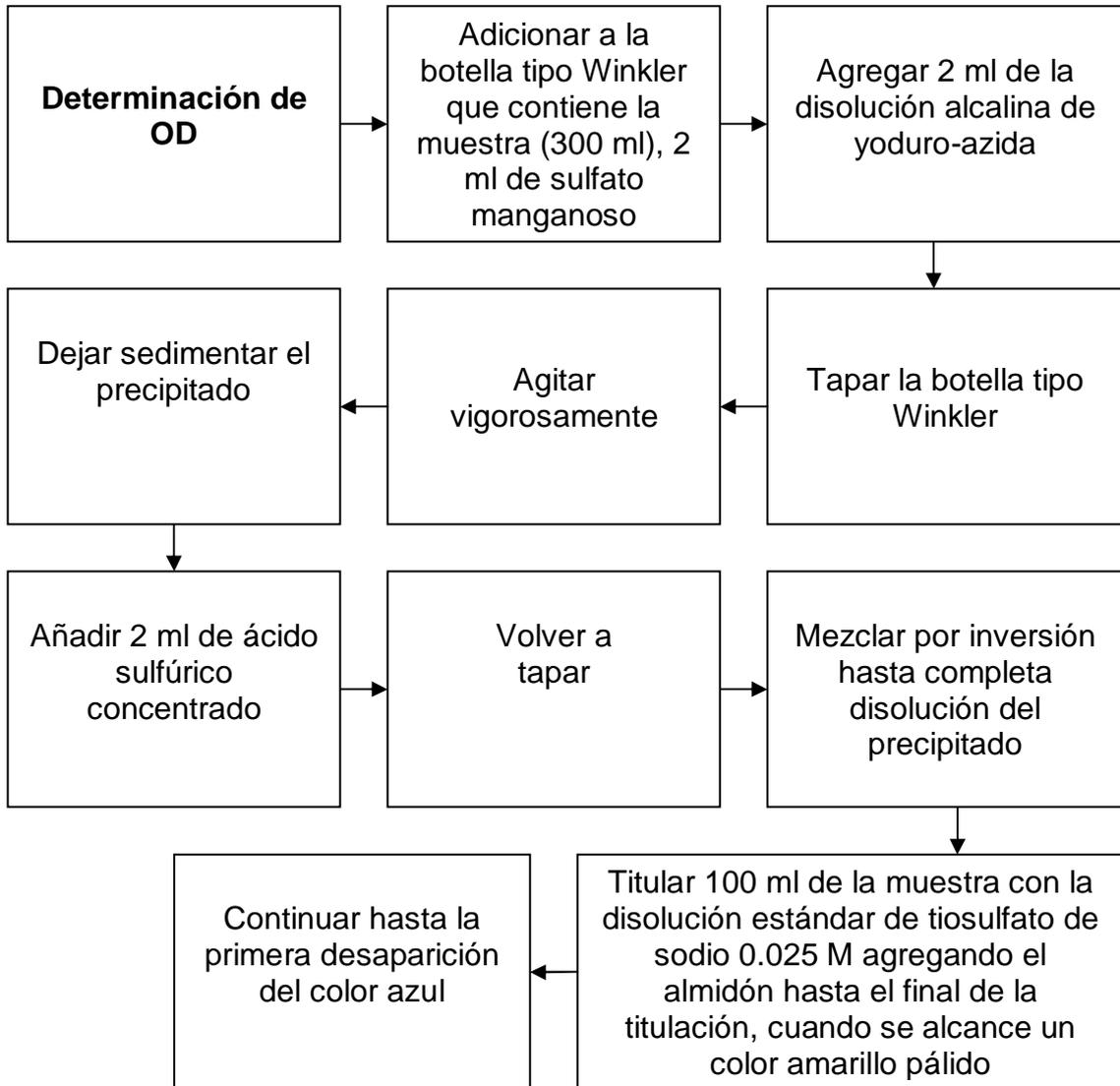








## 8.5 PROCEDIMIENTO



## 8.6 CALCULOS

### VALORACIÓN DE LA DISOLUCIÓN DE TIOSULFATO DE SODIO

$$N \text{ de tiosulfato} = V(\text{KH}(\text{IO}_3)_2) \times N(\text{KH}(\text{IO}_3)_2) / \text{ml gastados de tiosulfato}$$

Donde:

N es la normalidad

V es el volumen

$$\text{OD mgL}^{-1} = (M \times \text{ml de Tiosulfato} \times 8 \times 1\,000) / 98.7$$

Donde:

M molaridad de tiosulfato

8 gramos/ equivalente de oxígeno

98.7 factor volumen corregido por el desplazamiento de los reactivos agregados a la botella tipo Winkler

## 8.7 PROPIEDADES FISICAS

### DETERMINACIÓN DEL OXIGENO DISUELTO TABLAS DE PROPIEDADES FISICAS

NOMBRE	FORMULA	PESO MOLECULAR	DENSIDAD	PUNTO FUSION	DE	PUNTO DE EBULLICION
Cloruro de Cobalto	CoCl <sub>2</sub>	129.85	3.356	subl.		1049
Sulfito de Sodio	Na <sub>2</sub> SO <sub>3</sub>	126.04	2.633	d.		xxx
Sulfato Manganoso	MnSO <sub>4</sub> .4H <sub>2</sub> O	223.05	2.107	estable de 18 a 30		
Hidroxido de Potasio	KOH	56.1	2.044	380		1320
Yoduro de Potasio	KI	166.02	3.13	723		1330
Azida de Sodio	NaN <sub>3</sub>	xxx	xxx	xxx		xxx
Tiosulfato de Sodio	Na <sub>2</sub> S <sub>2</sub> O <sub>3</sub> .5H <sub>2</sub> O	248.19	1.685	d. 48,0		xxx
Acido Sulfurico conc.	H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	98.08	1.834	10.49		d. 340
Dicromato de Potasio	K <sub>2</sub> Cr <sub>2</sub> O <sub>7</sub>	294.21	2.69	398		d.
Byyodato de Potasio	KH(IO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub>	xxx	xxx	xxx		xxx
Hidroxido de Sodio	NaOH	40	2.13	318.4		1390
Acido Salicilico	C <sub>6</sub> H <sub>4</sub> (OH)COOH		138.12	159		211 <sup>20</sup>
Agua	H <sub>2</sub> O	18.016	1	0		100

## 9. DETERMINACION DE SULFATOS (METODO GRAVIMETRICO)

### 9.1 MATERIAL

- Baño de vapor.
- Desecador.
- Balanza analítica con sensibilidad de 0.1 mg.
- Cápsula de platino.
- Papel filtro de poro fino con contenido de cenizas conocido

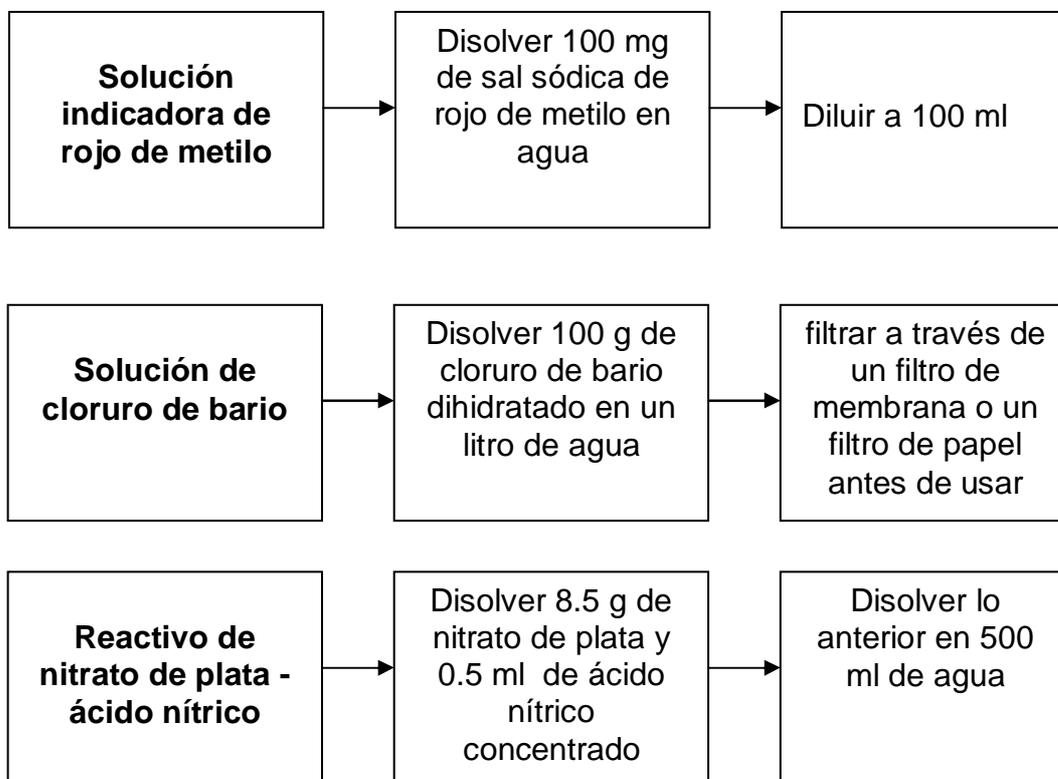
### 9.2 EQUIPO

- Horno de secado, equipado con control de temperatura.
- Mufla con indicador de temperatura.

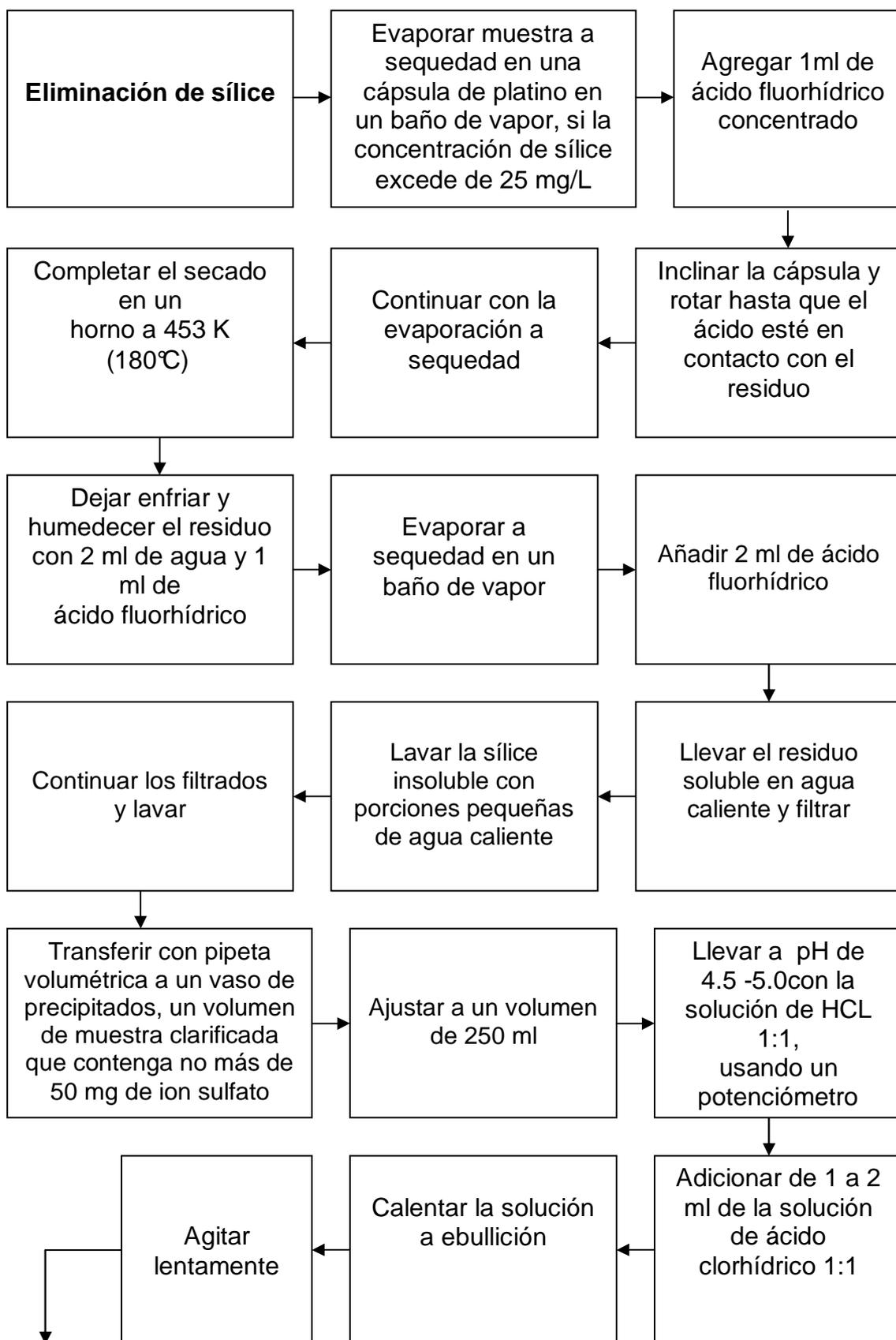
### 9.3 REACTIVOS

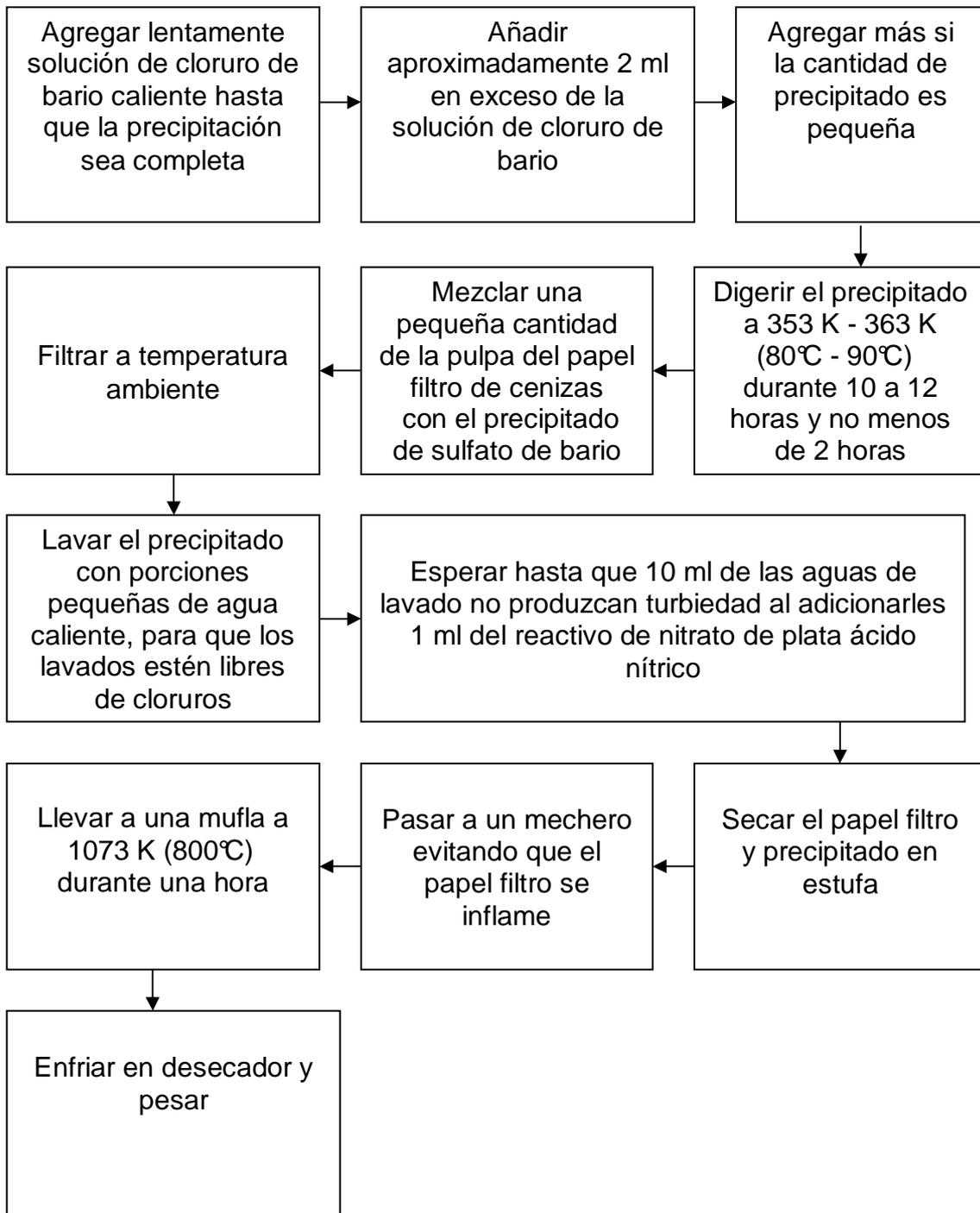
- Acido fluorhídrico concentrado.

### 9.4 SOLUCIONES



## 9.5 PROCEDIMIENTO





## 9.6 CALCULOS

El contenido del ion sulfato en  $\text{mgL}^{-1}$  se conoce aplicando la fórmula siguiente:

$$1 \text{ mg de BaSO}_4 = 0.4115 \text{ mg de SO}_4^{2-}$$

$$\text{mg de SO}_4^{2-}/\text{L} = \frac{A \times 0.4115 \times 1000}{B}$$

En donde:

- A Peso del sulfato de bario, en mg
- B Volumen de la muestra original en ml

## 9.7 TABLA DE PROPIEDADES FISICAS

### DETERMINACIÓN DE SULFATOS TABLAS DE PROPIEDADES FISICAS

NOMBRE	FORMULA	PESO MOLECULAR	DENSIDAD	PUNTO FUSION	DE	PUNTO DE EBULLICION
Acido Nitrico	HNO <sub>3</sub>	63.02	1.502	-42		86
Acido Clorhidrico conc.	HCl	36.47	1.268	xxx		4300
Cloruro de Sodio	NaCl	58.45	2.163	800.4		1413
Acido Sulfurico	H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	63.02	1.502	-42		86
Agua	H <sub>2</sub> O	18.016	1	0		100
Acido fluorhidrico	HF	20.01	0.988 <sup>13.6</sup>	-83		-19.4
Cloruro de bario	BaCl	208.27	xxx	962		1.56
Cloruro de bario dihidratado	BaCl*2H <sub>2</sub> O	244.31	3.097 <sup>24/4</sup>	(-2H <sub>2</sub> =), 100		xxx
Glicerol	CH <sub>2</sub> OH*CHOH*CH <sub>2</sub> OH	92.09	xxx	17.9		290

## 10 DETERMINACION DE ACIDEZ Y ALCALINIDAD

### 10.1 MATERIAL

- Bureta con certificado o en su caso debe estar calibrada

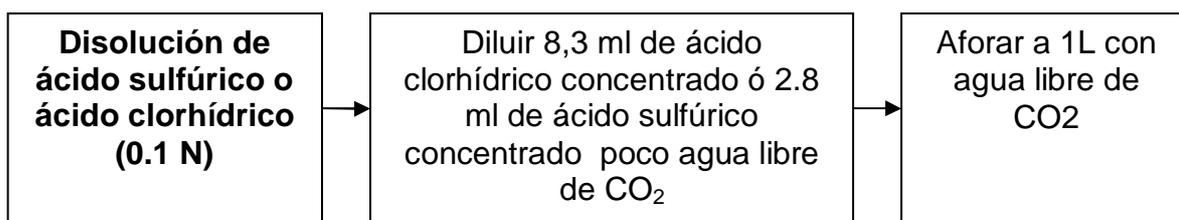
### 10.2 EQUIPO

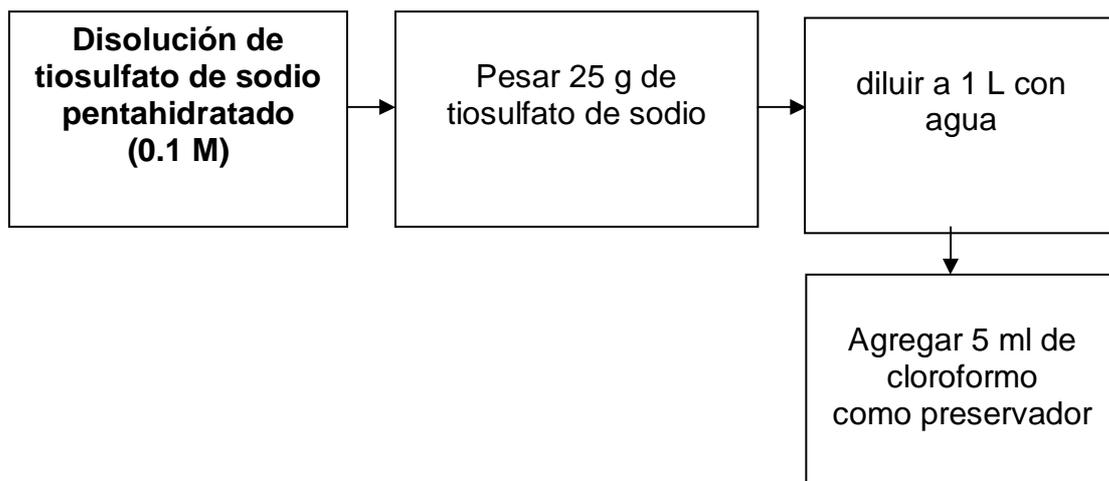
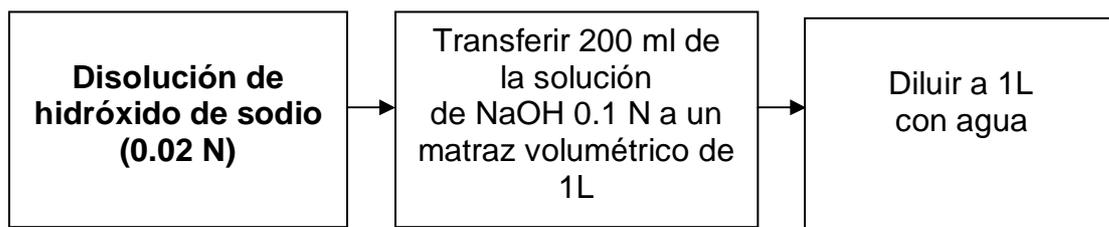
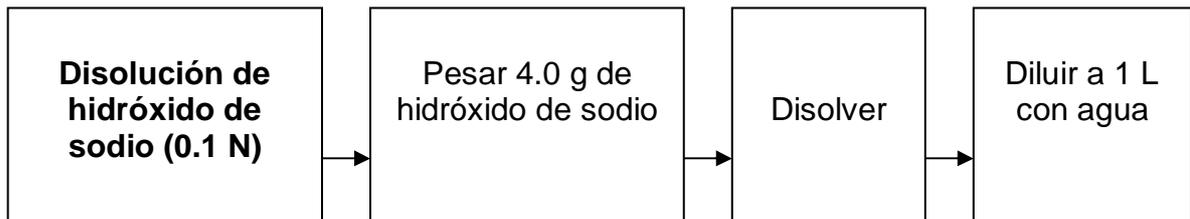
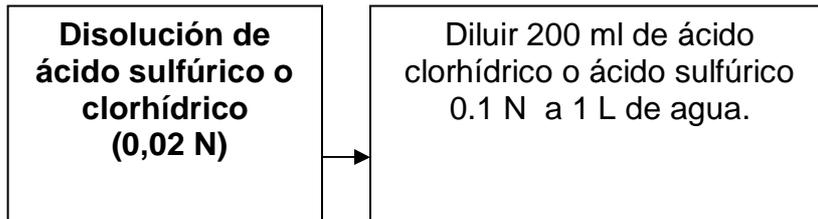
- Balanza analítica con precisión de 0,1 mg
- Estufa

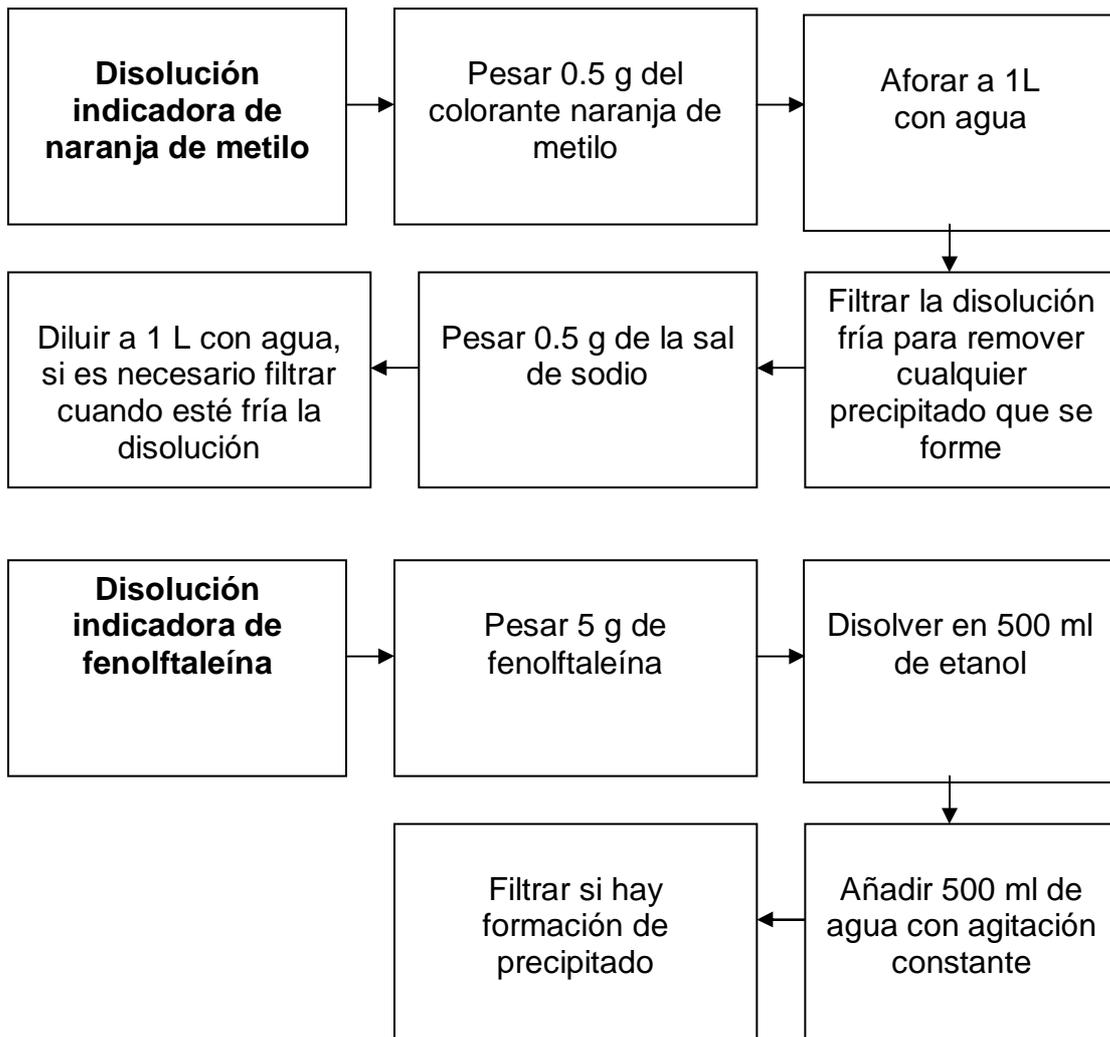
### 10.3 REACTIVOS

- Agua destilada
- Agua libre de CO<sub>2</sub>
- Biftalato de potasio (KHC<sub>8</sub>H<sub>4</sub>O<sub>4</sub>)
- Carbonato de sodio anhidro (Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>) patrón primario
- Ácido sulfúrico concentrado (H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>)
- Acido clorhídrico concentrado (HCl)
- Naranja de metilo
- Fenolftaleína
- Hidróxido de sodio (NaOH)
- Peróxido de hidrógeno al 30 % v/v (H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>)
- Tiosulfato de sodio pentahidratado (Na<sub>2</sub>S<sub>2</sub>O<sub>3</sub>•5H<sub>2</sub>O)
- Etanol
- Cloroformo

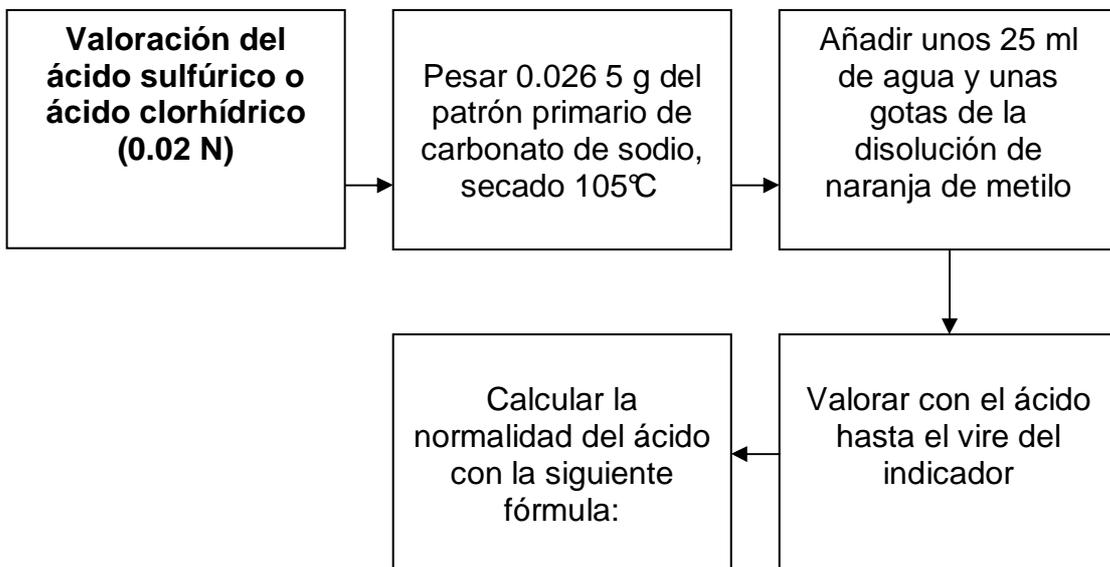
### 10.4 SOLUCIONES







#### 10.4.1 VALORACIÓN DE LAS DISOLUCIONES



$$N = \frac{A}{B \times 53} \times 1\,000$$

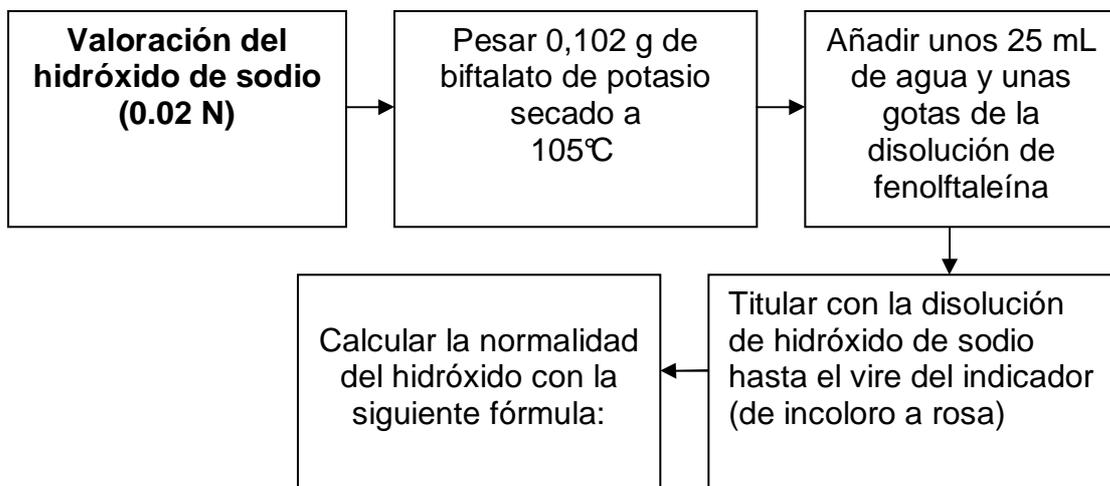
Donde:

N normalidad del ácido usado, equivalentesL<sup>-1</sup>

A gramos de carbonato de sodio;

B volumen de ácido utilizado en ml

53 gramos por equivalente de carbonato de sodio



$$N = \frac{A}{B \times 204,2} \times 1\,000$$

Donde:

N normalidad del hidróxido de sodio, equivalentesL<sup>-1</sup>

A gramos de biftalato de potasio;

B volumen de hidróxido de sodio utilizado en ml

204.2 gramos por equivalente de biftalato de potasio.

## 10.5 PROCEDIMIENTO

### 10.5.1 DETERMINACION DE ACIDEZ

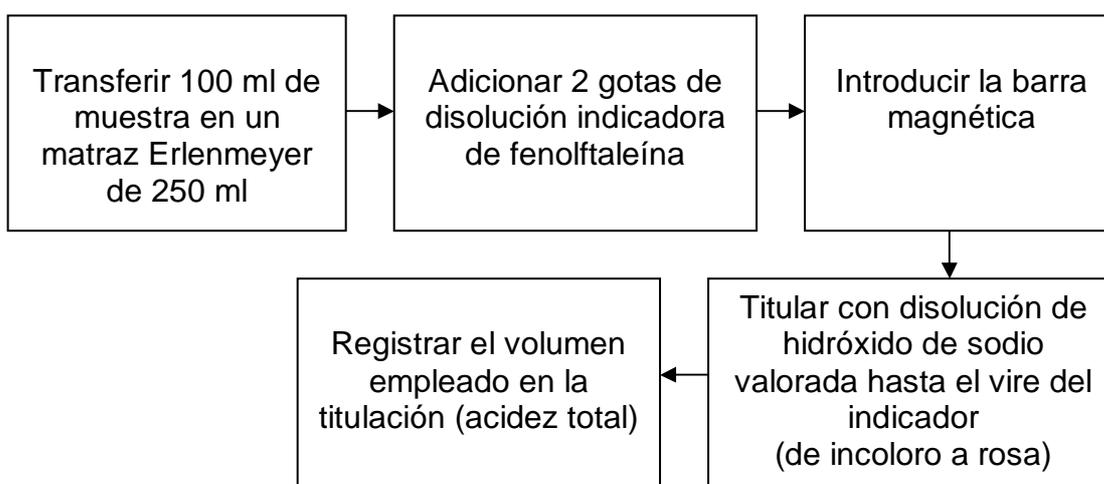
#### Pretratamiento de la muestra

- En caso de detectarse cloro residual, añadir 0.1 ml de la disolución de tiosulfato de sodio 0.1 M.
- Las muestras de que contengan concentraciones mayores a  $1 \text{ mgL}^{-1}$  de iones metálicos, tratar con peróxido de hidrógeno caliente:

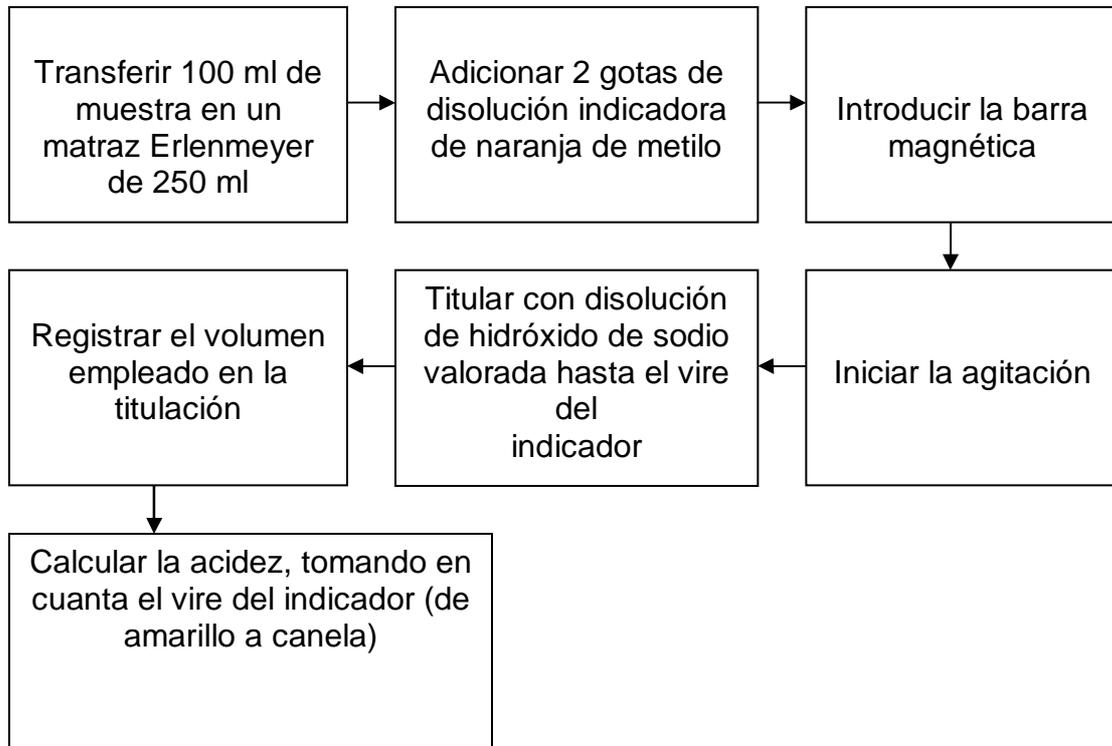
Este tratamiento con peróxido caliente consiste en pasar 100 ml de muestra a un matraz Erlenmeyer de 250 ml. Medir el pH, si el pH está alrededor de 4 adicionar alícuotas de 5 ml de ácido sulfúrico (0.02 N) valorada hasta reducir el pH a menos de 4.

Adicionar 5 gotas de peróxido de hidrógeno al 30 % y hervir la muestra de 2 min a 5 min. Registrar el volumen total de ácido sulfúrico (0,02 N) agregado. Enfriar a temperatura ambiente y titular.

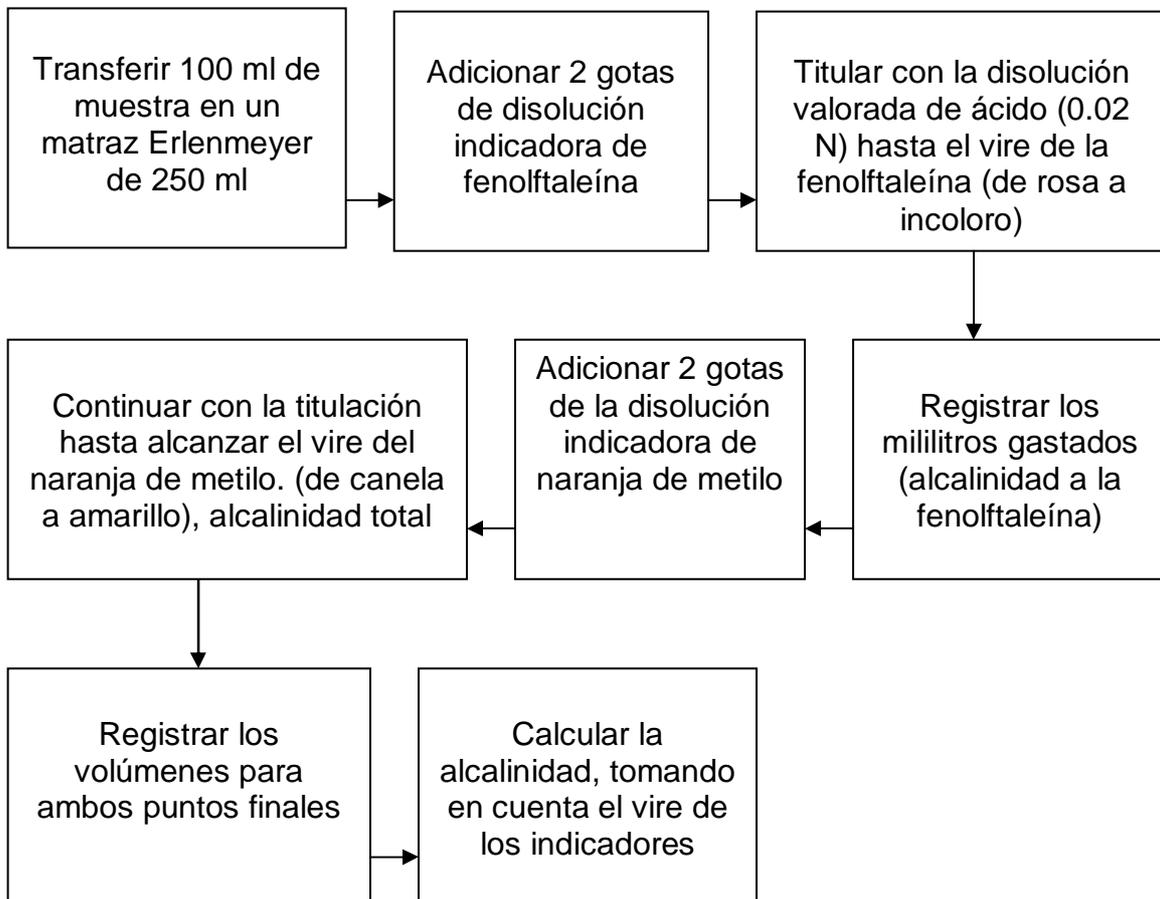
#### Procedimiento



## Acidez al naranja de metilo



## 10.5.2 DETERMINACION DE ALCALINIDAD



## 10.6 CALCULOS

Calcular la acidez total como CaCO<sub>3</sub> en mg /L mediante la siguiente fórmula:

$$\text{Acidez total como CaCO}_3 \text{ en mg /L} = \frac{[(A \times B) - (C \times D)] (50) (1\ 000)}{100}$$

Donde:

- 100 volumen de la muestra en ml
- A volumen de NaOH utilizado al vire de la fenolftaleína
- B normalidad de la disolución de NaOH
- C volumen de H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> utilizados en el tratamiento con peróxido en ml
- D normalidad del H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> utilizado
- 50 factor para convertir eqL<sup>-1</sup> a mg CaCO<sub>3</sub>L<sup>-1</sup>
- 1 000 factor para convertir ml a L

Calcular la alcalinidad total como CaCO<sub>3</sub> en mg /L, mediante la siguiente fórmula:

$$\text{Alcalinidad total como CaCO}_3 \text{ en mg /L} = \frac{AXN (50)(1\ 000)}{100}$$

Donde:

- A volumen total gastado de ácido en la titulación al vire del anaranjado de metilo en ml
- N normalidad de la disolución de ácido
- 100 volumen de la muestra en ml
- 50 factor para convertir eqL<sup>-1</sup> a mg CaCO<sub>3</sub>L<sup>-1</sup>
- 1 000 factor para convertir ml a L

## 10.7 TABLA DE PROPIEDADES FISICAS

### DETERMINACIÓN DE ALCALINIDAD Y ACIDEZ TABLAS DE PROPIEDADES FISICAS

NOMBRE	FORMULA	PESO MOLECULAR	DENSIDAD	PUNTO FUSION	PUNTO DE EBULLICION
Acido Sulfurico conc.	H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	98.08	1.834	10.49	d. 340
Acido Clorhidrico conc.	HCL	36.47	1.268	xxx	4300
Hidroxido de Sodio	NaOH	40	2.13	318.4	1390
Tiosulfato de Sodio	Na <sub>2</sub> S <sub>2</sub> O <sub>3</sub> .5H <sub>2</sub> O	248.19	1.685	d. 48,0	xxx
Cloroformo	CHCl <sub>3</sub>	119.39	xxx	-63.5	61.2
Biftalato de potasio	KHC <sub>8</sub> H <sub>4</sub> O <sub>4</sub>	204.22	1.63	d.	xxx
Carbonato de sodio	Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>	106	2.533	851	d.
Peroxido de hidrogeno	H <sub>2</sub> O <sub>2</sub>	34.02	lq.inc,1.333	-0.89	151.4 <sup>760</sup> mm

## **11 DETECCIÓN Y ENUMERACION DE ORGANISMOS COLIFORMES**

El análisis de muestras de agua para determinar la presencia de miembros del grupo coliforme, que habitan normalmente en el intestino del hombre y otros animales de sangre caliente, da una indicación sensible de la contaminación fecal. Dado que la capacidad de algunos miembros del grupo coliforme para sobrevivir en agua es limitada, sus números pueden emplearse también para estimar el grado de contaminación fecal.

### **11.1 MATERIAL**

- Membranas filtrantes estériles de aproximadamente 47 mm de diámetro, con características de filtración equivalentes a un tamaño de diámetro nominal de poro de 0.45  $\mu\text{m}$
- Pinzas de bordes lisos, para manejar las membranas.
- Frascos muestreadores , de vidrio resistente o cristal refractario de 125 mL ó 250 mL., con tapón de cristal esmerilado o tapa de rosca de baquelita, frascos de plástico desechables con tapón de rosca estériles ó, o bolsa de recolección de plástico estériles.
- Material común de laboratorio
- Tubos de fermentación (tipo Duham)
- Asas de inoculación

### **11.2 EQUIPO**

Aparte de los equipos que se suministran estériles, el material de vidrio y el resto del equipo deben esterilizarse.

- Horno de aire caliente para esterilización con calor seco.
- Autoclave
- Incubador o baño de agua, controlado termostáticamente a 35 – 37°C

- Incubador o baño de agua, controlado termostáticamente a  $44 \pm 0.1$  °C.
- Medidor de pH.
- Campana de Flujo Laminar (Opcional)
- Equipo para filtración con membrana.
- Bomba o sistema de vacío

### 11. 3 REACTIVOS

- Agua destilada
- Reactivo de Kovacs para indol.
- Paradimetilaminobenzaldehído
- $((\text{CH}_3)_2\text{NC}_6\text{H}_4\text{CHO})$  5.0 g
- Alcohol amílico ( $\text{CH}_3(\text{CH}_2)_4\text{OH}$ )
- (Libre de bases orgánicas) 75 ml
  
- Ácido clorhídrico (HCl) ( $d = 1.18$  g / ml) 25 ml
- Ácido clorhídrico (HCl) ( $d = 1.18$  g / ml) 25 ml
- Disolver el aldehído en el alcohol. Añadir con cuidado el ácido concentrado. Proteger de la luz y almacenar a 4°C.

#### Nota:

1) El reactivo debe tener un color de amarillo claro a café claro; algunas muestras de alcohol amílico no son satisfactorias y dan un color oscuro con el aldehído.

2) También se puede utilizar reactivo de Erlich comercial para la determinación de Indol

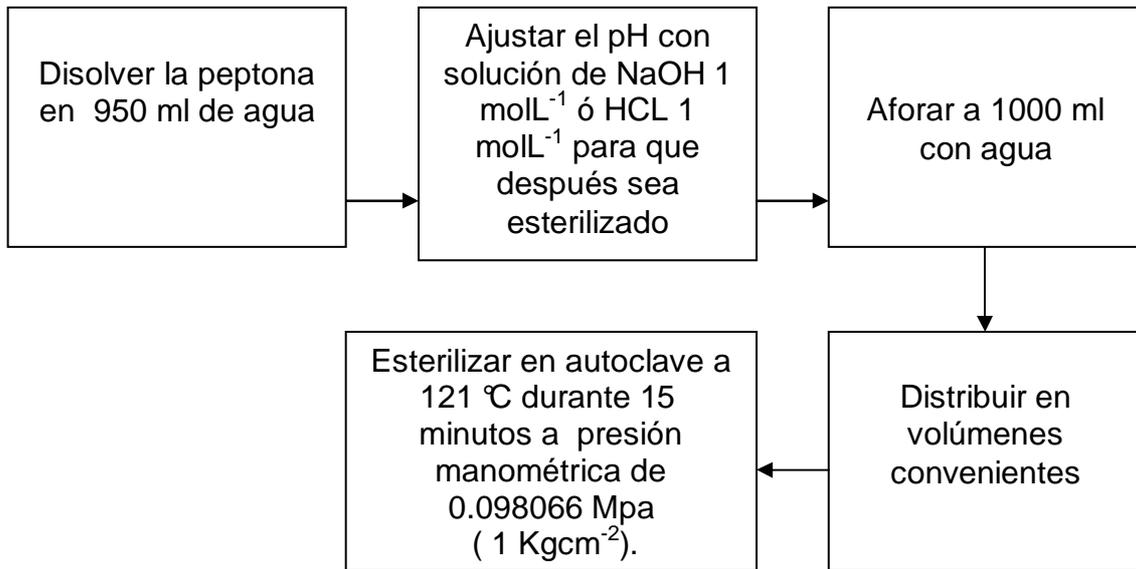
- Reactivo de oxidasa para la prueba de oxidasa.
- Clorhidratado de tetrametil-p-fenilendiamina 0.1 g
- Agua para llevar a 1000 ml
- Este reactivo no es estable y por consiguiente debe prepararse para utilizarlo en pequeñas cantidades cada vez que se necesite.

## 11.4 SOLUCIONES

### Diluyente de peptona (0.1%):

Peptona 1.0 g

Agua para aforar a 1000 ml

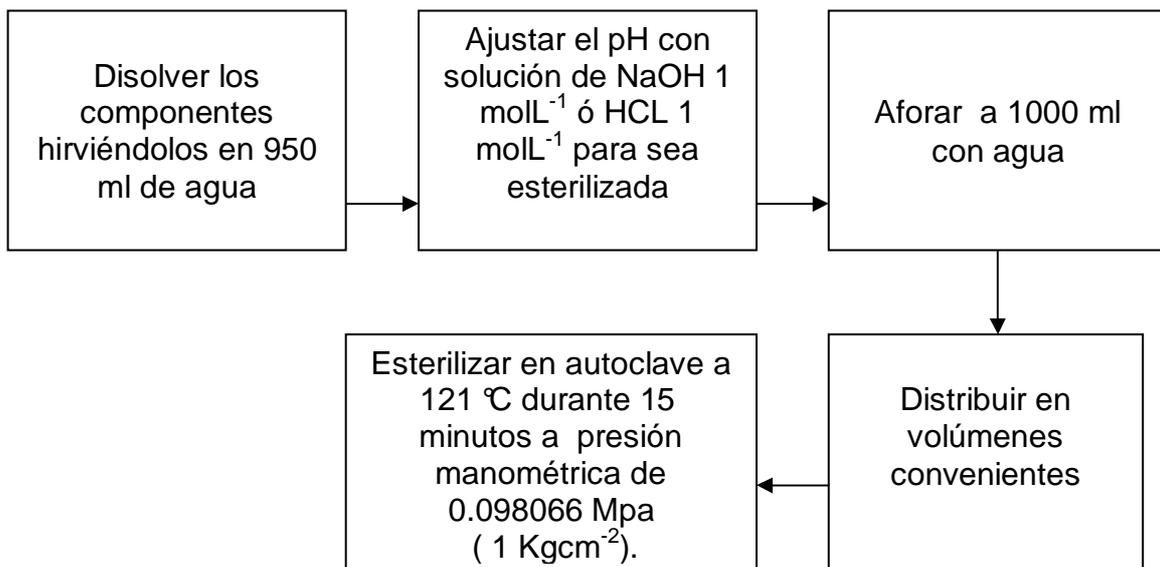


### Solución salina de peptona:

Peptona 1.0 g

Cloruro de sodio (NaCl) 8.5 g

Agua para aforar a 1000 ml



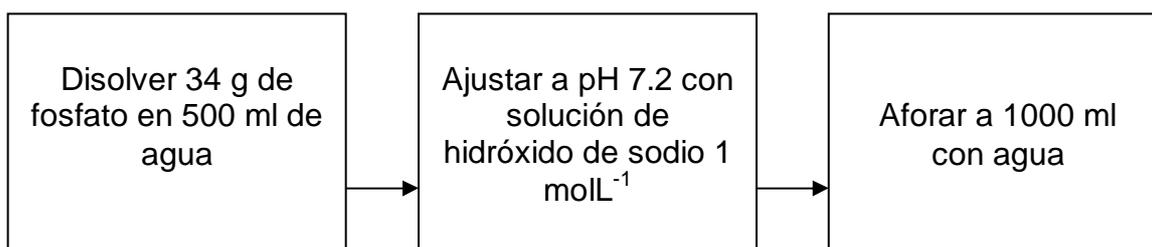
### Solución amortiguadora de fosfato:

Fosfato monobásico de potasio ( $\text{KH}_2\text{PO}_4$ ) 42.5 mg

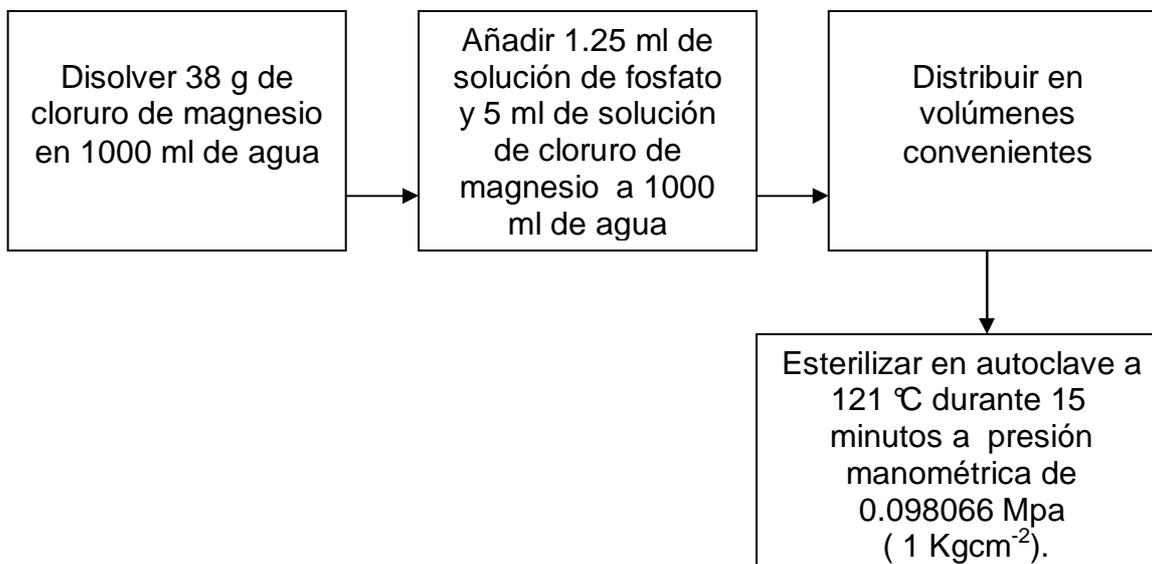
Cloruro de magnesio ( $\text{MgCl}_2$ ) 190.0 mg

Agua para aforar a 1000 ml

### Solución de fosfato:



### Solución de cloruro de magnesio:



### 11.4.1 MEDIOS DE CULTIVO

Utilizar uno o más de los siguientes medios de cultivo ya sea en forma sólida como agar o bien como caldo para saturar cojinetes absorbentes:

#### Medio Endo para membrana.

Triptosa 10 g

Tiopeptona 5 g

Tripticasa (casitona) 5 g

Extracto de levadura 1.5 g

Lactosa 12.5 g

Cloruro de sodio (NaCl) 5.0 g

Fosfato dibásico de potasio ( $K(OH)_2PO_4$ ) 4.375 g

Fosfato monobásico de potasio ( $K_2OHPO_4$ ) 1.375 g

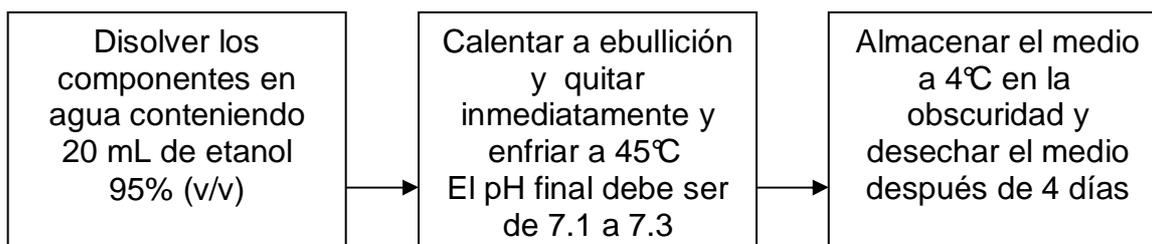
Lauril sulfato de sodio ( $NaC_{12}H_{25}SO_4$ ) 0.05 g

Desoxicolato de sodio 0.1 g

Sulfito de sodio ( $Na_2SO_3$ ) 2.1 g

Fucsina básica 1.05 g

Agua para aforar a 1000 ml



**Nota:** Este medio puede solidificarse adicionando de 1.2 a 1.5% (m/m) de agar antes de hervirlo.

#### Agar LES Endo.

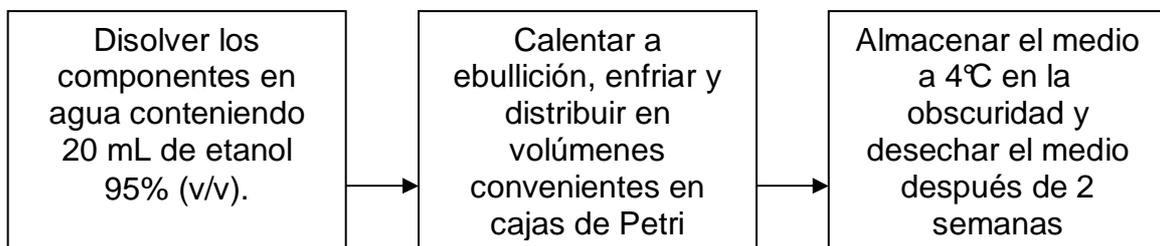
Extracto de levadura 1.2 g

Tripticasa (casitona) 3.7 g

Tiopeptona 3.7 g

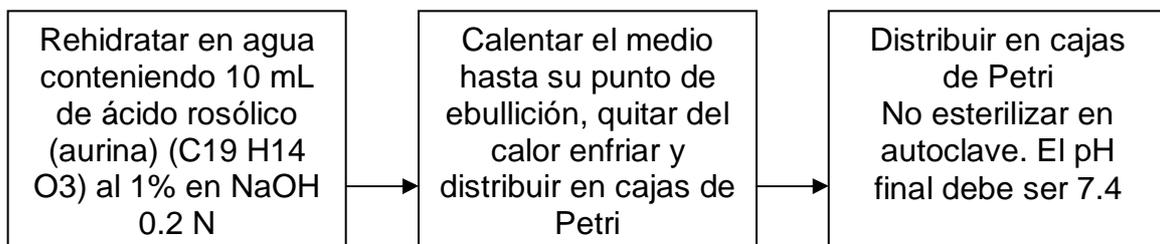
Triptosa 7.5 g

Lactosa 9.4 g  
 Fosfato dibásico de potasio ( $K(OH)_2PO_4$ ) 3.3 g  
 Fosfato monobásico de potasio ( $K_2OHPO_4$ ) 1.0 g  
 Cloruro de sodio (NaCl) 3.7 g  
 Desoxicolato de sodio 0.1 g  
 Lauril sulfato de sodio ( $NaC_{12}H_{25}SO_4$ ) 0.05 g  
 Fucsina básica 0.8 g  
 Agar 15.0 g  
 Agua para aforar a 1000 ml



**Medio MFC.**

Triptosa 10.0 g  
 Peptona proteosa No. 3 o polipeptona 5.0 g  
 Extracto de levadura 3.0 g  
 Cloruro de sodio (NaCl) 5.0 g  
 Lactosa 12.5 g  
 Sales biliares No. 3 ó mezcla de sales biliares 1.5 g  
 Azul anilina 0.1 g  
 Agua para llevar a 1000 mL



El medio debe almacenarse entre 2 y 10°C y cualquier porción no utilizada debe desecharse después de 96 h.

### Notas:

1. Este medio puede solidificarse mediante la adición de 1.2 al 5% de agar (m/m) antes de la ebullición.
2. El reactivo de ácido rosólico ( $C_{19} H_{14} O_3$ ) se descompondrá si se esteriliza en autoclave. La solución patrón debe almacenarse en la oscuridad entre 2 y 10°C y debe desecharse después de 2 semanas, o antes si su color cambia de rojo oscuro o café oscuro.

### Medios confirmativos.

Utilizar uno o más de los siguientes:

### Medio para la producción de gas.

Agua de lactosa peptona.

Peptona 10.0 g

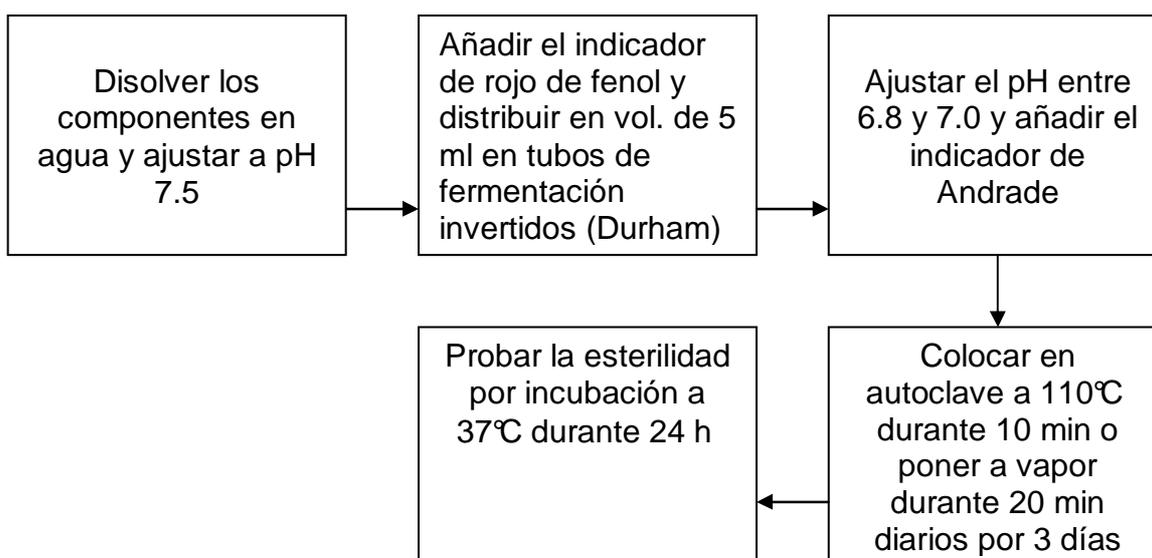
Cloruro de sodio (NaCl) 5.0 g

Lactosa 10.0 g

Rojo de fenol (0.4% m/m en solución acuosa) 2.5 ml

(o indicador de Andrade) (10 ml)

Agua para llevar a 1000 ml



### **Medio para la producción de indol.**

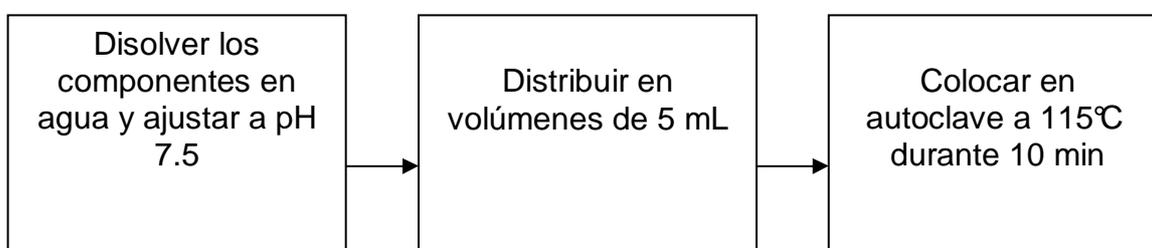
Agua de triptona.

Algunas peptonas que dan resultados satisfactorios a 37° no son satisfactorias para la prueba de indol a 44°C. Se ha encontrado que la triptona es satisfactoria y por lo tanto se recomienda.

Triptona 20.0 g

Cloruro de sodio (NaCl) 5.0 g

Agua para llevar a 1000 ml



### **Medio del tubo único tanto para la producción de gas como de indol.**

Caldo lauril triptosa manitol con triptofano.

Triptosa 20.0 g

Manitol 5.0 g

Cloruro de sodio (NaCl) 5.0 g

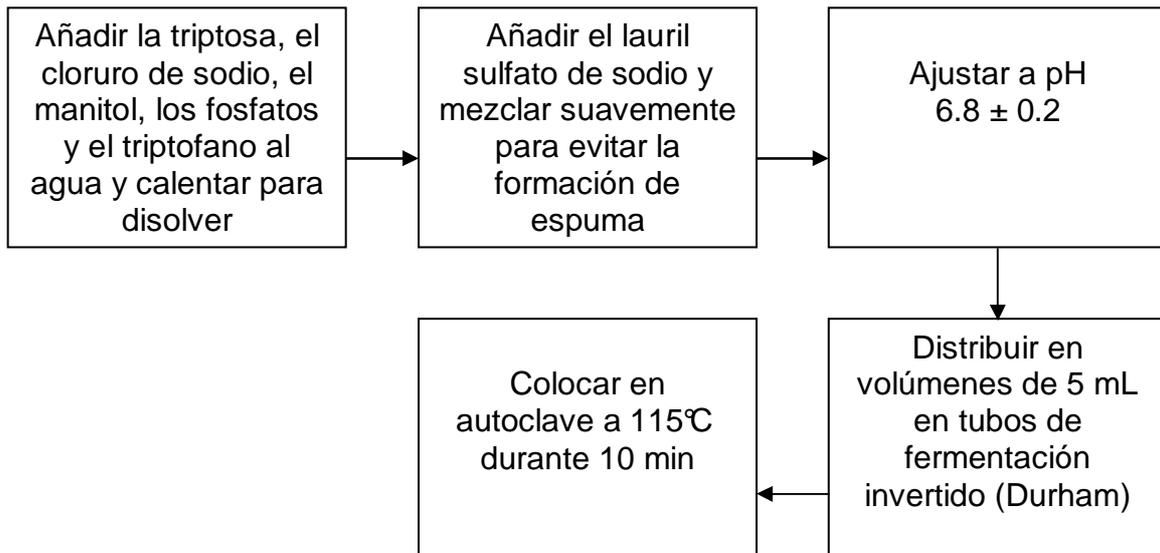
Fosfato dibásico de potasio (K(OH)<sub>2</sub>PO<sub>4</sub>) 2.75 g

Fosfato monobásico de potasio (K<sub>2</sub>OHPO<sub>4</sub>) 2.75 g

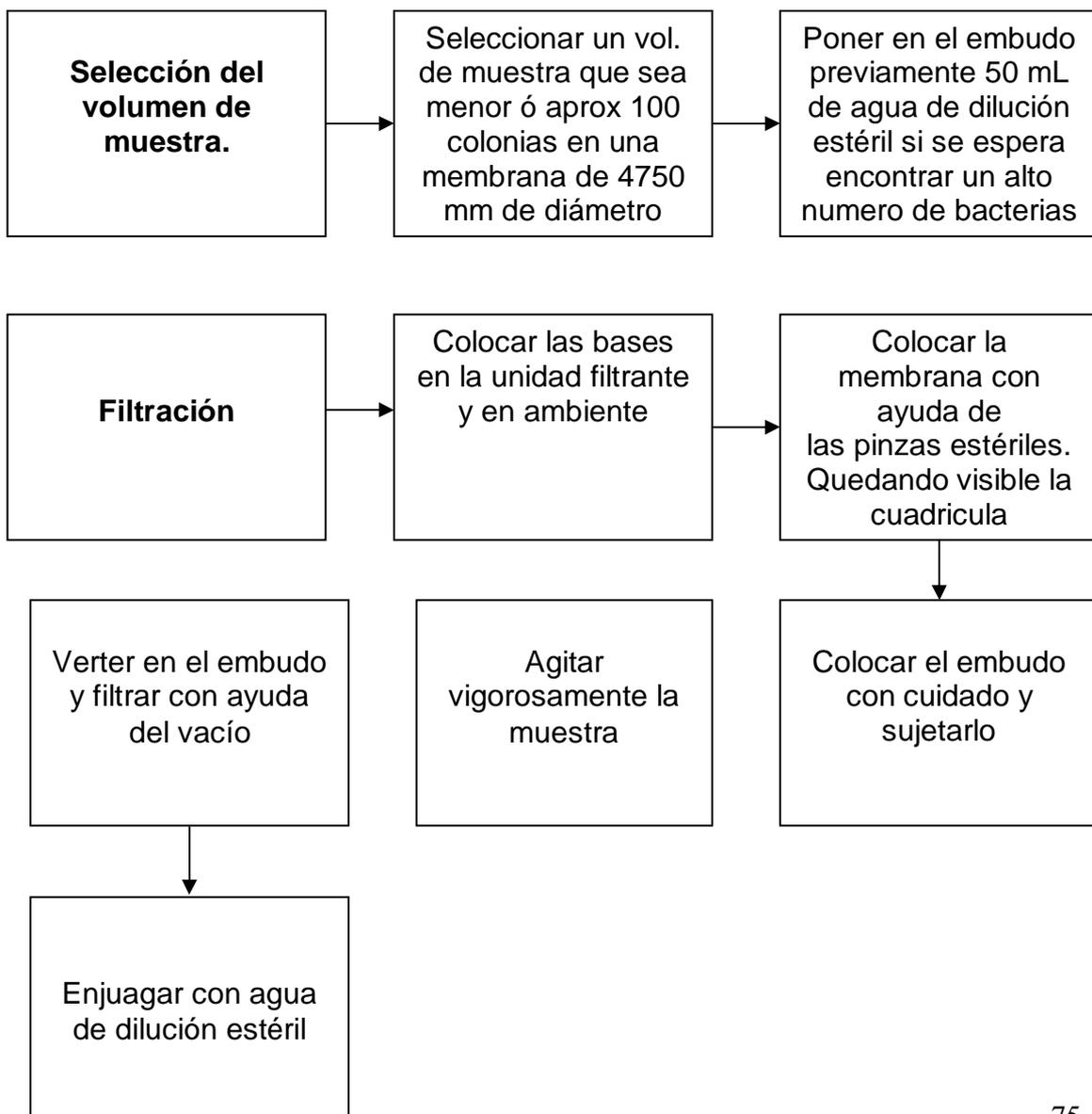
Lauril sulfato de sodio (NaC<sub>12</sub> H<sub>25</sub> SO<sub>4</sub>) 0.1 g

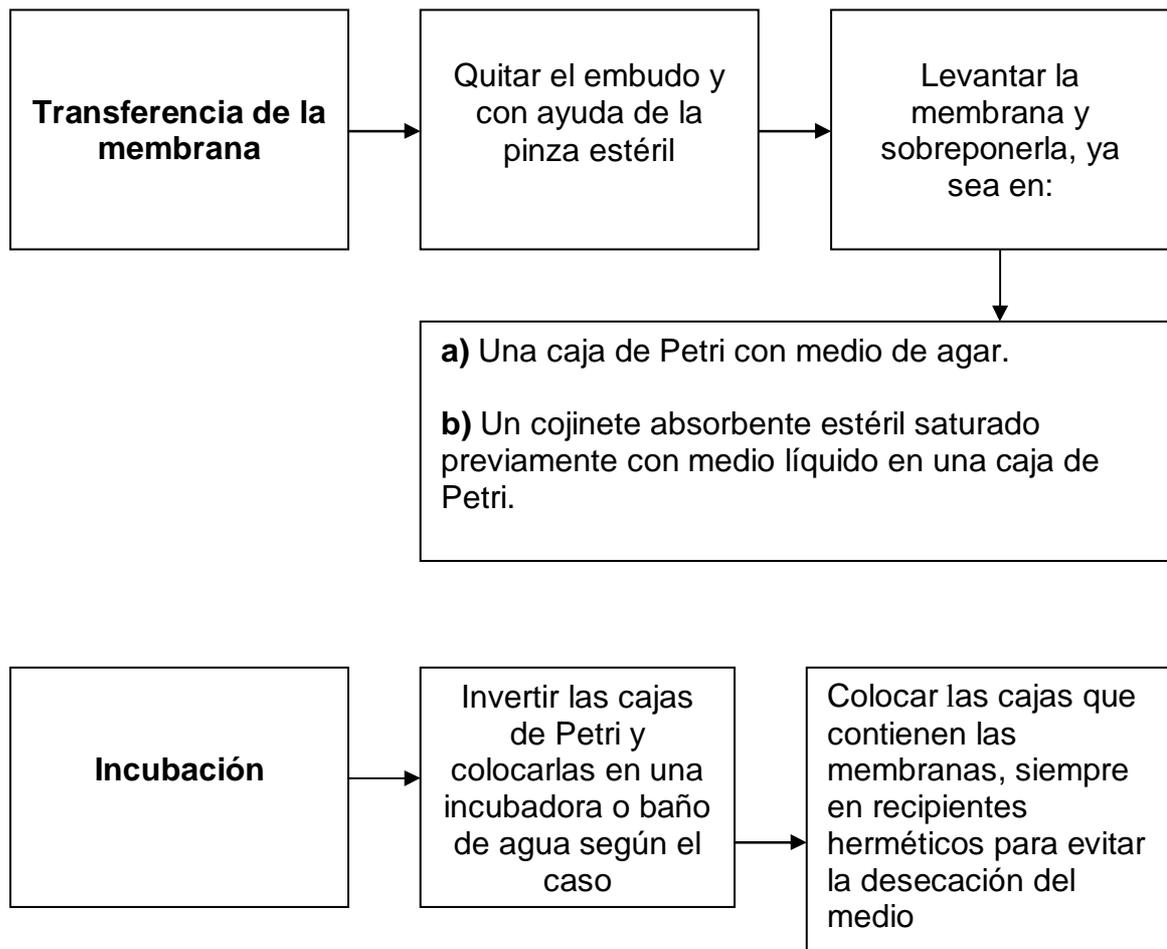
L (-) triptofano 0.2 g

Agua 1000 ml



### 11.5 PROCEDIMIENTO





### Examen de las membranas.

Después de la incubación, las cajas o membranas deben examinarse inmediatamente. Si esto no es posible, almacenarse entre 4 y 5°C durante períodos cortos, siempre y cuando esto no afecte la apariencia de las colonias.

### Organismos coliformes.

Examinar las membranas y contar como organismos coliformes presuntivos todas las

colonias, independientemente del tamaño que muestren, que tengan las siguientes características después de su incubación a 35 ó 37°C:

- En caldo o agar Endo: Un color rojo oscuro con brillo metálico verde - dorado.

- En agar LES Endo: Un color rojo oscuro con brillo metálico verde - dorado.

Considerar como organismos coliformes termotolerantes presuntivos todas las colonias que muestren, después de incubación a 44°C, las mismas características coloniales que se describen anteriormente. Si se usa medio MFC, las colonias serán de color azul.

Es importante hacer notar que las cuentas de colonias en membranas a 36°C y a 44°C son solamente resultados de coliformes presuntivos. Dado que no se detecta la producción de gas, hay también un supuesto adicional de que los organismos que forman las colonias pueden producir gas. Para el análisis de agua cruda o parcialmente tratada, esto puede ser suficiente, pero para agua potable es importante llevar a cabo las pruebas confirmativas.

### **Resembrado, incubación y examen.**

Para confirmar los resultados de la membrana, resembrar cada colonia o un número representativo de ellas (una por tubo de fermentación) en agua lactosa Peptona e incubar a 36°C durante 48 h: la producción de gas durante este período confirma la presencia de organismos coliformes.

Para organismos coliformes termotolerantes y *E. coli* presuntiva en membranas, ya sea que hayan sido incubadas a 44°C ó 36°C, resembrar cada colonia o un número representativo de ellas (una por tubo), en agua lactosa peptona y agua tristonada e incubarlos a 44°C durante 24 h. La producción de gas en agua lactosa peptona confirma la presencia de organismos coliformes termotolerantes y el desarrollo de un color rojo en la superficie del cultivo en agua de triptonada después de la adición de 0.2 a 0.3 mL de reactivo de Kovacs confirma la presencia de *E. coli* presuntiva.

### **Notas:**

1. El uso de caldo de lauril triptosa manitol con triptofano permite analizar tanto la producción de gas como de indol en un solo tubo.
2. La detección de *E. coli* presuntiva se considera una evidencia satisfactoria de contaminación fecal. Sin embargo, pueden llevarse a cabo mayores pruebas para la confirmación de *E. coli* si se considera necesario.

3.- El uso de caldo EC (con tubo de fermentación) se puede utilizar como prueba confirmativa para E. Coli

### **Prueba de oxidasa.**

Las bacterias encontradas en el agua pueden cumplir con algunas características bioquímicas de organismos coliformes en muchos aspectos, pero pueden producir gas a partir de lactosa solamente a temperaturas inferiores a 37°C. Por consiguiente, dar resultados negativos en las pruebas confirmativas estándar para organismos coliformes y su presencia en agua usualmente no se considera significativa. Las especies de Aeromonas, que se encuentran naturalmente en el agua, tienen una temperatura óptima de crecimiento en el rango de 30 a 35°C pero a pesar de ello pueden producir ácido y gas a partir de lactosa a 37°C. Tienen poco significado como indicadores de contaminación fecal y se distinguen del grupo coliforme por una reacción de oxidasa positiva. Llevar a cabo la prueba de oxidasa con subcultivos puros de organismos fermentadores de lactosa, crecidos en medio nutriente de agar, como sigue:

- Colocar de 2 a 3 gotas de reactivo de oxidasa (6.4.2), recientemente preparado, en un papel filtro en una caja de Petri. (o en su caso utilizar reactivo comercial)
- Con una varilla de vidrio o una asa de inoculación de platino (no de nicromel), transferir un poco del crecimiento al papel filtro preparado.
- Considerar la aparición de un color azul oscuro purpúreo dentro de un período de 10 seg como una reacción positiva.

Nota: En cada ocasión en la que se utilice el reactivo de oxidasa, llevar a cabo pruebas de control con cultivos de organismos que se sepa dan una reacción positiva (*Pseudomona aeruginosa*) y uno que dé una reacción negativa (*E. coli*).

## 11.6 CALCULOS

A partir del número de colonias características contadas en las membranas y tomando en cuenta los resultados de las pruebas confirmativas, calcular el número de organismos coliformes, organismos coliformes termotolerantes y *Escherichia coli* presuntiva presentes en 1100 mL de la muestra, expresando el resultado como unidades formadoras de colonias en un volumen de referencia especificado en la muestra (generalmente 100 mL ó 1 mL) de acuerdo con la siguiente fórmula:

$$\frac{\text{Coliformes totales}}{\text{Volumen de referencia}} = \frac{\text{Colonias coliformes contadas por vol. de referencia}}{\text{Volumen filtrado de muestra}}$$

## BIBLIOGRAFIA

Kemmer Frank N. Manual del agua, su naturaleza, tratamiento y aplicaciones. Nalco Chemical Company. Tomo II y III. 1989

Perry Robert H., Green Don W. Manual del Ingeniero Químico. Tomo I y IV. España 2003

Rigola Lapeña Miguel. Tratamiento de Aguas Industriales, de Proceso y Residuales. México 1999.

Romero Rojas Jairo A. Calidad del Agua. Escuela Colombiana de Ingeniería Colombia 2000

NMX-AA-003-SCFI-2006	Aguas residuales – Muestreo
NMX-AA-005-SCFI-2000	Análisis de agua – Determinación de grasas y aceites recuperables en aguas naturales, residuales y residuales tratadas – Método de prueba.
NMX-AA-012-SCFI-2001	Análisis de agua – Determinación de oxígeno disuelto en aguas naturales, residuales y residuales tratadas – Método de prueba.
NMX-AA-028-SCFI-2001	Análisis de agua – Determinación de la demanda bioquímica de oxígeno en aguas naturales, residuales y residuales tratadas – Método de prueba.
NMX-AA-030-SCFI-2001	Análisis de agua – Determinación de demanda química de oxígeno en aguas naturales, residuales y residuales tratadas – Método de prueba.
NMX-AA-034-SCFI-2001	Análisis de agua – Determinación de sólidos y sales disueltas en aguas naturales, residuales y residuales tratadas – Método de prueba.
NMX-AA-036-SCFI-2001	Análisis de agua – Determinación de acidez y alcalinidad en aguas naturales, residuales y residuales tratadas – Método de prueba.

NMX-AA-038-SCFI-2001	Análisis de agua – Determinación de turbiedad en aguas naturales, residuales y residuales tratadas – Método de prueba.
NMX-AA-072-SCFI-2002	Análisis de agua – Determinación de la dureza total en aguas naturales, residuales y residuales tratadas – Método de prueba.
NMX-AA-073-SCFI-2001	Análisis de agua – Determinación de cloruros totales en aguas naturales, residuales y residuales tratadas – Método de prueba.
NMX-AA-074-1981	Análisis de agua – Determinación del ion sulfato.
NMX-AA-102-SCFI-2005	Calidad del agua- Detección y enumeración de organismos coliformes, organismos coliformes termo tolerantes y Escherichia coli presuntiva. Método de filtración en membrana.