



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA  
DE MEXICO

---

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES  
CUAUTITLAN

ANALISIS FISICOQUIMICOS DEL  
LAGO DE GUADALUPE.

**T E S I S**

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:  
INGENIERA QUIMICA  
P R E S E N T A N :  
FABIOLA FUENTES CORANTE  
VERANIA RAMIREZ CRUZ

ASESOR: :Q. MARGARITA ALONSO ESPINOSA

CUAUTITLAN IZCALLI, EDO. DE MEXICO.

2005

m. 340479



Universidad Nacional  
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

**Biblioteca Central**



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

Autorizo a la Dirección General de Bibliotecas de la UNAM a difundir en formato electrónico e impreso el contenido de mi trabajo recepcional.

NOMBRE: FUENTES C. FABIOLA

RAMÍREZ CRUZ VERONICA

FECHA: 27/08/10

FIRMA: 

PEHONHE.m



**FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTITLAN  
UNIDAD DE LA ADMINISTRACION ESCOLAR  
DEPARTAMENTO DE EXAMENES PROFESIONALES**

**ASUNTO: VOTOS APROBATORIOS**

U. N. A. C.  
FACULTAD DE ESTUDIOS  
SUPERIORES CUAUTITLAN



Departamento de  
Exámenes Profesionales

**DR. JUAN ANTONIO MONTARAZ CRESPO**  
DIRECTOR DE LA FES CUAUTITLAN  
**P R E S E N T E**

ATN: Q. Ma. del Carmen García Mijares  
Jefe del Departamento de Exámenes  
Profesionales de la FES Cuautitlán

Con base en el art. 28 del Reglamento General de Exámenes, nos permitimos comunicar a usted que revisamos la TESIS:

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

**"Análisis fisicoquímicos del Lago de Guadalupe".**

\_\_\_\_\_

que presenta la pasante: Fabiola Fuentes Corante

con número de cuenta: 09850955-5 para obtener el título de :

\_\_\_\_\_

Ingeniera Química

Considerando que dicho trabajo reúne los requisitos necesarios para ser discutido en el EXAMEN PROFESIONAL correspondiente, otorgamos nuestro VOTO APROBATORIO

**ATENTAMENTE**  
**"POR MI RAZA HABLARA EL ESPIRITU"**

Cuautitlán Izcalli, Méx. a 27 de Mayo de 2004

PRESIDENTE	<u>IQ. Fernando Orozco Ferreyra</u>	
VOCAL	<u>Dr. Adolfo Obaya Valdivia</u>	
SECRETARIO	<u>IQ. Margarita Alonso Espinosa</u>	
PRIMER SUPLENTE	<u>MC. Ofelia Vega Vázquez</u>	
SEGUNDO SUPLENTE	<u>Q. Sonia Rincón Arce</u>	



FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTITLAN  
 UNIDAD DE LA ADMINISTRACION ESCOLAR  
 DEPARTAMENTO DE EXAMENES PROFESIONALES

ASUNTO: VOTOS APROBATORIOS



DR. JUAN ANTONIO MONTARAZ CRESPO  
 DIRECTOR DE LA FES CUAUTITLAN  
 P R E S E N T E

ATN: Q. Ma. del Carmen García Mijares  
 Jefe del Departamento de Exámenes  
 Profesionales de la FES Cuautitlán

Con base en el art. 28 del Reglamento General de Exámenes, nos permitimos comunicar a usted que revisamos la TESIS:

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

"Análisis fisicoquímicos del Lago de Guadalupe"

\_\_\_\_\_

que presenta 1a pasante: Verania Ramírez Cruz

con número de cuenta: 09950586-6 para obtener el título de:

\_\_\_\_\_

Ingeniera Química

Considerando que dicho trabajo reúne los requisitos necesarios para ser discutido en el EXAMEN PROFESIONAL correspondiente, otorgamos nuestro VOTO APROBATORIO.

ATENTAMENTE

"POR MI RAZA HABLARA EL ESPIRITU"

Cuautitlán Izcalli, Méx. a 27 de Mayo de 2004

PRESIDENTE	<u>IQ. Fernando Orozco Ferreyra</u>	
	<u>Dr. Adolfo Obaya Valdivia</u>	
VOCAL	_____	_____
SECRETARIO	<u>IQ. Margarita Alonso Espinosa</u>	
PRIMER SUPLENTE	<u>MC. Ofelia Vega Vázquez</u>	
SEGUNDO SUPLENTE	<u>Q. Sonia Rincón Arce</u>	

A Dios por esta oportunidad y por ser mi guía

A mis padres por la vida, su tiempo y sus enseñanzas  
que me llevaron a donde estoy.

A mi hermano, Raúl, y Mony, por ser  
un ejemplo de lucha y entrega.

A toda mi familia, amigos y maestros  
por hacer una diferencia en mi vida  
y ayudarme en este proyecto.

A Vera por compartir este gran sueño conmigo

Y sobre todo gracias al Sol que ilumina todos mis días,  
Gracias mi Marisol por ser mi motivo más grande.  
Te amo hija.

FABIOLA

Gracias a Dios por bendecir mi vida a cada momento,  
por que siempre me ha dado la fuerza y la luz  
para alcanzar mis sueños

A mis queridos padres, Norberto Ramírez y Teresa Cruz,  
por su apoyo, sacrificios y entrega,  
gracias por creer siempre en mi.

A mi hermano Roger Ramirez Cruz, por su cariño  
y confianza, se que este logro te servirá  
de estímulo para luchar por tus mestas.

A todos los maestros que contribuyeron  
con sus conocimientos en mi formación,  
y muy en especial a la profesora Margarita Alonso,  
por su tiempo, su apoyo y su consejo  
para hacer posible esta tesis.

VERANIA

# I N D I C E

## RESUMEN

<b>1. INTRODUCCIÓN</b>	1
<b>2. OBJETIVOS</b>	3
<b>3. MARCO TEORICO</b>	4
<b>3.1 LAGOS Y SUS CONTAMINATES</b>	4
3.1.1 PARTES DE UN LAGO	4
3.1.2 TIPOS DE LAGOS	5
• Lagos Eutróficos	
• Lagos Oligotróficos	
• Lagos Distróficos	
3.1.3 CONTAMINACION EN LAGOS	6
• Contaminantes físicos.	
• Contaminantes químicos.	
• Contaminación por materia orgánica	
• Contaminación del agua por microorganismos patógenos.	
• Contaminación por metales.	
<b>3.2 AUTODEPURACIÓN</b>	14
3.2.1 MECANISMOS NATURALES DE AUTODEPURACION	16
<b>3.3 EUTROFICACIÓN</b>	17
3.3.1 FOTOSÍNTESIS Y RESPIRACIÓN	19
• Ciclo del nitrógeno.	
3.3.2 CONTAMINACIÓN POR DETERGENTES	23
• Detergentes de polifosfatos.	
• Aguas con detergentes y algas.	
3.3.3 LA EUTROFICACIÓN Y SU CONTROL	26
3.3.4 ESTRATIFICACIÓN TERMAL	31
• Temperatura y Calor.	
• Efecto de la Temperatura en la Densidad y La estratificación Termal.	
• Patrones de Mezcla y Clasificación de Lagos.	
• Efecto interactivo de la Temperatura y otros factores abióticos sobre componentes bióticos y abióticos.	
• Efecto interactivo Temperatura e Intensidad Lumínica sobre Actividad fotosintética.	
• Efecto de la Temperatura sobre la cantidad de oxígeno disuelto	



<ul style="list-style-type: none"> <li>• Solubilidad del oxígeno en función de la Temperatura y la Salinidad.</li> <li>• Distribución vertical de oxígeno en cuerpos de agua estratificados.</li> </ul>	
<b>3.4 MORTANDAD DE PECES</b>	<b>48</b>
<b>3.5 EL CORTE DE LAS ALGAS INVASORAS</b>	<b>49</b>
<b>3.6 CONTROL QUÍMICO DE ALGAS INVASORAS</b>	<b>50</b>
<b>3.7 CONTROL BIOLÓGICO DE ALGAS INVASORAS</b>	
<b>4. UBICACIÓN DEL LAGO DE GUADALUPE</b>	<b>51</b>
<b>5. PUNTOS DE MUESTREO Y FRECUENCIA DE MUESTREO</b>	<b>54</b>
<b>6. ANÁLISIS Y TÉCNICAS APLICADAS</b>	<b>67</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Color verdadero y Color aparente</li> <li>• Pureza</li> <li>• pH</li> <li>• Conductividad</li> <li>• Temperatura</li> <li>• Alcalinidad</li> <li>• Dureza</li> <li>• Oxígeno disuelto (OD)</li> <li>• Demanda Química de Oxígeno (DQO)</li> <li>• Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO)</li> <li>• Sólidos Totales (ST)</li> <li>• Cloruros y Cloro Residual</li> <li>• Fosfatos</li> <li>• Sílice</li> <li>• Nitrógeno</li> <li>• Aceites y Grasas</li> <li>• Surfactantes</li> </ul>	
<b>7. RESULTADOS</b>	<b>89</b>
<b>8. ANÁLISIS DE RESULTADOS</b>	<b>94</b>
<b>9. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES</b>	<b>113</b>
<b>REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS</b>	<b>115</b>
<b>ANEXO</b>	<b>117</b>

## 1. INTRODUCCIÓN

Los lagos de agua dulce sólo representan el 0.009% del agua total que existe en la tierra, su profundidad varía entre 1 y 2000 m, y su superficie puede abarcar unos cuantos m<sup>2</sup> hasta miles de km<sup>2</sup>. Los lagos pueden formarse debido a procesos geológicos como son la deformación o la fractura de rocas estratificadas; y por la formación de una represa natural en un río debida a la vegetación, un deslizamiento de tierras, y la mayoría de los lagos tienen ríos que los drenan. Muchos lagos se forman por la acción del hombre que limitan los ríos haciendo presas. Muchas de ellas se utilizan para conservar el agua o para obtener energía eléctrica. El agua de un lago procede, por un lado, de la precipitación atmosférica, que lo alimenta directamente y, por otro, de los manantiales, arroyos y ríos.<sup>1</sup>

El lago de Guadalupe es el objeto de estudio en la presente tesis, y es en realidad una presa o bien embalse artificial, ya que se originó por la construcción de un bordo que es alimentado por cuatro ríos. La presa tiene una capacidad máxima de almacenamiento de 66 millones de metros cúbicos y su espejo una extensión que alcanza las 450 hectáreas en época de lluvia.<sup>2</sup>

La Presa Guadalupe se construyó en el período de 1936-1943 con el propósito de servir como vaso regulador y evitar inundaciones aguas abajo, utilizando el cuerpo de agua como fuente de irrigación agrícola. El embalse es alimentado por los ríos San Pedro, San Ildefonso y Xinté y por el arroyo El Muerto. La cuenca del Lago de Guadalupe se ubica en el Estado de México y abarca los municipios de Cuautitlán Izcalli, Nicolás Romero, Atizapán de Zaragoza, Isidro Fabela y Jiitotzingo.<sup>2</sup>

Las condiciones originales del entorno ecológico de la región propiciaron el surgimiento de asentamientos humanos y con ello la afectación directa al embalse y ríos por la aportación de nutrientes, producto de las descargas de aguas residuales sin tratamiento.

En la actualidad el problema de la contaminación de las aguas es muy grave y ésta se produce al incorporar a ese medio elementos extraños, tales como microorganismos, residuos industriales, productos químicos o aguas residuales, entre otros, que deterioran su calidad. En los lagos en los que la evaporación es muy intensa, las sustancias minerales

disueltas en el agua tienden a concentrarse. La salud humana puede quedar seriamente afectada por efecto de la contaminación de las aguas ya que ciertos elementos químicos muy peligrosos para los seres vivos por ingestión, que pueden llegar a la cadena alimenticia al ser absorbido por los vegetales mediante las aguas de riego, o por medio de los acuíferos subterráneos.

Para saber en qué condiciones se encuentra un lago es necesario analizar una serie de parámetros de tipo fisicoquímico, los cuales se desarrollan a lo largo de este trabajo y posteriormente se comparan los resultados obtenidos con los aceptados por las normas oficiales mexicanas que indica los límites permisibles para ser utilizada en este caso para la protección de la vida acuática e irrigación.

## **2. OBJETIVOS**

### **OBJETIVO GENERAL:**

Realizar análisis físicoquímicos de las aguas del Lago de Guadalupe, a fin de comparar los niveles de los principales contaminantes en diferentes puntos de dicho cuerpo receptor con los permisibles para la protección de la vida acuática e irrigación de acuerdo a la norma oficial mexicana NOM-001-ECOL/1996 publicada el 1 de junio de 1997 en el Diario Oficial de la Federación.

### **OBJETIVOS PARTICULARES:**

- a) Medir el contenido de materia orgánica en las aguas del Lago de Guadalupe, a través de la determinación de DQO (Demanda Química de Oxígeno) y DBO (Demanda Biológica de Oxígeno) y comparar los niveles presentes en diferentes puntos de dicho cuerpo receptor con los permisibles para la protección de la vida acuática e irrigación..
- b) Medir el contenido de Nitrógeno, Fósforo y OD (oxígeno Disuelto), en las aguas del Lago de Guadalupe y comparar los niveles presentes en diferentes puntos de dicho cuerpo receptor con los permisibles para la protección de la vida acuática e irrigación.

### 3. MARCO TEORICO

#### 3.1 LAGOS Y SUS CONTAMINANTES

##### 3.1.1 PARTES DE UN LAGO

Los lagos tienen diferentes zonas, de acuerdo al relieve del fondo y la penetración de la luz y se clasifican de la siguiente manera:

La **zona litoral** es la parte más externa, de aguas someras, con buena penetración de luz hasta el fondo; la **zona limnética o fótica** se extiende hasta donde penetra la luz, en ella vive el plancton y el necton.

Más allá del límite de penetración de la luz, se encuentra la **zona profunda**, que se inicia en la zona de compensación de la luz (en ese sitio la respiración equilibra a la fotosíntesis).

La **zona bentónica** es la más profunda y en ella ocurren los principales procesos de descomposición.<sup>3</sup>

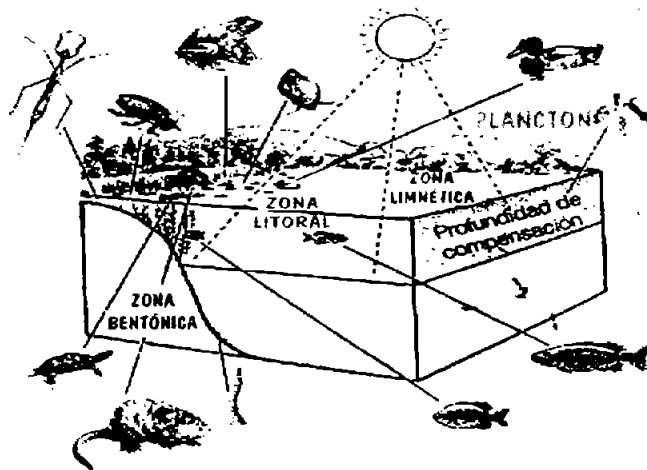


Figura 3.1 Zonas de un lago.<sup>3</sup>

Los lagos siempre están rodeados por ecosistemas terrestres, entre los cuales hay una estrecha vinculación. Los nutrientes fluyen entre los lagos y los ecosistemas circundantes, de una manera dinámica. Las redes y cadenas tróficas contemplan esa interacción.

### **3.1.2 TIPOS DE LAGOS**

Los lagos se clasifican de acuerdo a su grado de contaminación en:

- **Lagos eutróficos**

En lagos cuya superficie es mayor en relación a su profundidad, un aporte significativo de nutrientes supone que muchos organismos fotosintéticos tendrán materia prima para funcionar y proliferar. El incremento de la producción primaria aumenta la regeneración de nutrientes y materia orgánica, incrementando aún más el crecimiento. La proliferación y concentración del fitoplancton en la superficie acapara la luz e impide que esta penetre adecuadamente, produciendo turbidez y oscuridad, restringiendo la productividad en las capas inferiores.

Las plantas que mueren y el aporte de materia orgánica producen mayor cantidad de materia en descomposición, sobre la que actúan las bacterias. Esta actividad consume la cantidad de oxígeno disuelto, modificando las condiciones del medio y restringiendo la vida por debajo de la superficie. El número de especies se reduce considerablemente y la actividad termina por limitarse a la superficie.

En algunos casos, el aporte de sedimentos va llenando el fondo y reduciendo la profundidad del lago, hasta que se transforma en un estanque de aguas someras y, posteriormente en un humedal.<sup>4</sup>

- **Lagos oligotróficos**

En ellos la superficie y la profundidad son equivalentes. Sus aguas son claras y de color azul turquesa. No cuentan con una cantidad de nutrientes suficiente y por ello tienen una baja producción. Aunque el número de organismos que los habitan es limitado, el número de especies diferentes puede ser alto.<sup>4</sup>

- **Los lagos distróficos**

Estos embalses reciben grandes aportes de materia orgánica rica en humus. Sus aguas son turbias y de color café o marrón. En ellos, la productividad en la zona litoral es alta, aunque en las otras regiones del lago sea reducida. Los lagos y lagunas, como otros ecosistemas, han sufrido el impacto de la actividad humana. La sobreexplotación pesquera, la contaminación por desechos industriales, agrícolas y urbanos, y el asentamiento de pueblos, industrias o centros recreativos en sus orillas, han marcado el destino de muchos de estos lugares.<sup>4</sup>

### **3.1.3 CONTAMINACION EN LAGOS**

El proceso de contaminación ocasiona problemas estéticos, mal sabor y olor, y acumulaciones desagradables a la vista, así como un crecimiento denso de las plantas con raíces, el agotamiento del oxígeno en las aguas más profundas y la acumulación de sedimentos en el fondo de los lagos, así como otros cambios químicos tales como la precipitación del carbonato de calcio en las aguas duras.

Cuando un lago se contamina, el color de sus aguas cambia, esto depende principalmente de la materia en suspensión, algunos lagos son verdes por la gran cantidad de algas o por el tipo de sales disueltas en el agua, pero generalmente se oscurece. Hasta no hace mucho se creía que los ambientes acuáticos soportaban la contaminación porque tendían a estabilizarse con el correr del tiempo. Por eso todas las aguas servidas se vertían en ellos.

Las principales fuentes de contaminación acuática pueden clasificarse como urbanas, industriales y agrícolas. La contaminación urbana está formada por las aguas residuales de los hogares y los establecimientos comerciales. Durante muchos años, el principal objetivo de la eliminación de residuos urbanos fue, tan sólo, reducir su contenido en materias que demandan oxígeno, sólidos en suspensión, compuestos inorgánicos disueltos (en especial compuestos de fósforo y nitrógeno) y bacterias dañinas. En los últimos años, por el contrario, se ha hecho más hincapié en mejorar los medios de eliminación de los residuos sólidos producidos por los procesos de depuración.

Los principales métodos de tratamiento de las aguas residuales urbanas tienen tres fases: el tratamiento primario, que incluye la eliminación de arenillas, el molido, sedimentado y filtrado; el tratamiento secundario, que implica la oxidación de la materia orgánica disuelta por medio de lodo biológicamente activo, que seguidamente es filtrado; y el tratamiento terciario, en el caso que no pudieran ser removidos los contaminantes por lo métodos convencionales entonces se emplean métodos biológicos y métodos físicos y químicos, tales como la filtración granular y la adsorción por carbono activado. La manipulación y eliminación de los residuos sólidos representa entre un 25 y un 50% del capital y los costos operativos de una planta depuradora.

El impacto de los vertidos industriales depende no sólo de sus características comunes, como la demanda bioquímica de oxígeno, sino también de su contenido en sustancias orgánicas e inorgánicas específicas. El control puede tener lugar dentro de la planta ya que las aguas pueden tratarse previamente y descargarse en el sistema de depuración urbana; o pueden depurarse por completo en la planta y ser reutilizadas o vertidas sin más en corrientes o masas de agua.

La agricultura, la ganadería comercial y las granjas avícolas, son la fuente de muchos contaminantes orgánicos e inorgánicos de las aguas superficiales y subterráneas. Estos contaminantes incluyen tanto sedimentos procedentes de la erosión de las tierras de cultivo como compuestos de fósforo y nitrógeno que, en parte, proceden de los residuos animales y los fertilizantes comerciales.



Muchos plaguicidas y los metales pesados no desaparecen de los ambientes acuáticos sino que cambian de lugar. Algunos se acumulan en el fondo. También suelen ascender por las cadenas alimenticias, y bajar o subir por el movimiento de las aguas. Los organismos vivos pueden transmitirlos a su descendencia.

Los residuos animales tienen un alto contenido en nitrógeno, fósforo y materia consumidora de oxígeno, y a menudo albergan organismos patógenos. Los residuos de los criaderos industriales se eliminan en tierra por contención, por lo que el principal peligro que representan es el de la filtración a cuerpos subterráneos y escurrimientos a cuerpos superficiales. Las medidas de control pueden incluir el uso de depósitos de sedimentación para líquidos, el tratamiento biológico limitado en lagunas aeróbicas o anaeróbicas, y toda una serie de métodos adicionales.

Los productos químicos como los pesticidas, las sustancias tensoactivas (detergentes), y los minerales inorgánicos y compuestos químicos son también causa de alta contaminación, cuando son arrastrados desde las tierras de cultivo por tormentas. Estos agentes también tienen su origen en explotaciones mineras, carreteras y desechos urbanos.

Una forma de contaminación de menor cantidad pero que debe ser considerado, es el del calor. Se presenta cuando es vertido a los ríos u otros cauces, el agua de refrigeración de las fábricas y centrales energéticas, elevando la temperatura de las aguas y afectando a la vida que se desarrolla en ella.

Finalmente, una de las sustancias más contaminantes por su largo período de actividad, es la de origen radiactivo. Estas sustancias suelen proceder de los residuos que producen la minería y refinado de uranio y torio, centrales nucleares y actividades científicas y médicas.

- **Contaminantes Físicos**

Los contaminantes físicos son aquellas partículas sólidas entre las que se encuentran arenas, arcillas, tierra, cenizas, materia vegetal agrícola, grasas, brea, papel, hule, plásticos,

madera y metales etc. que permanecen suspendidas o sedimentadas, que enturbian el agua y que además son la mayor fuente de contaminación.<sup>5</sup>

- **Contaminantes Químicos**

Incluyen compuestos orgánicos e inorgánicos disueltos o dispersos en el agua. Los contaminantes inorgánicos son diversos productos disueltos o dispersos en el agua que provienen de descargas domésticas, agrícolas e industriales o de la erosión del suelo. Los principales son cloruros, sulfatos, nitratos y carbonatos. También desechos ácidos, alcalinos y gases tóxicos disueltos en el agua como los óxidos de azufre, de nitrógeno, amoníaco, cloro y sulfuro de hidrógeno (ácido sulfhídrico). Los contaminantes orgánicos también son compuestos disueltos o dispersos en el agua que provienen de desechos domésticos, agrícolas, industriales y de la erosión del suelo. Son desechos humanos y animales, de rastros o mataderos, de procesamiento de alimentos para humanos y animales, diversos productos químicos industriales de origen natural como aceites, grasas, breas y tinturas, y diversos productos químicos sintéticos como pinturas, herbicidas, insecticidas, etc. Los contaminantes orgánicos consumen el oxígeno disuelto en el agua y afectan a la vida acuática.<sup>5</sup>

- **Contaminación por Materia Orgánica**

La mayoría de la materia orgánica que contamina el agua procede de desechos de alimentos, de aguas negras domésticas y de fábricas y es descompuesta por bacterias, protozoarios y diversos organismos mayores. Ese proceso de descomposición ocurre tanto en el agua como en la tierra y se lleva a cabo mediante reacciones químicas que requieren oxígeno para transformar sustancias ricas en energía en sustancias pobres en energía. El oxígeno disuelto en el agua puede ser consumido por la fauna acuática a una velocidad mayor a la que es reemplazado desde la atmósfera, lo que ocasiona que los organismos

acuáticos compitan por el oxígeno y en consecuencia se vea afectada la distribución de la vida acuática.<sup>5</sup>

Una medida cuantitativa de la contaminación del agua por materia orgánica (sirve como nutriente y requiere oxígeno para su descomposición) es la determinación de la rapidez con que la materia orgánica nutritiva consume oxígeno por la descomposición bacteriana y se le denomina Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO). La DBO es afectada por la temperatura del medio, por las clases de microorganismos presentes, por la cantidad y tipo de elementos nutritivos presentes. Si estos factores son constantes, la velocidad de oxidación de la materia orgánica se puede expresar en términos del tiempo de vida media (tiempo en que descompone la mitad de la cantidad inicial de materia orgánica) del elemento nutritivo.

La DBO de una muestra de agua expresa la cantidad de miligramos de oxígeno disuelto por cada litro de agua, que se utiliza conforme se consumen los desechos orgánicos por la acción de las bacterias en el agua. La demanda bioquímica de oxígeno se expresa en partes por millón de oxígeno y se determina midiendo el proceso de reducción del oxígeno disuelto en la muestra de agua manteniendo la temperatura a 20 °C en un periodo de 5 días. Una DBO grande indica que se requiere una gran cantidad de oxígeno para descomponer la materia orgánica contenida en el agua.

### • Contaminación del Agua por Microorganismos Patógenos

Por regla general, se considera que el agua es aceptable para beber si: a) contiene menos de 10 bacterias intestinales en cada litro de agua; b) si no presenta mal sabor, olor, color o turbidez; c) si no contiene impurezas químicas en concentraciones que puedan ser peligrosas para la salud del consumidor; d) si no son corrosivas con respecto al sistema de conducción del agua, y e) si no provienen de sistemas acuíferos sujetos a contaminación por aguas negras u otros contaminantes.<sup>5</sup>

Tabla 3.1 Valores típicos de Demanda Bioquímica de Oxígeno para aguas de diferente calidad.<sup>6</sup>

Tipo de agua	DBO mg/L
Agua potable	0.75 a 1.5
Agua poco contaminada	5 a 50
Agua potable negra municipal	100 a 400
Residuos industriales	5 00 a 10 000

El hombre vive en relación íntima con los microorganismos sobre su piel y en su sistema digestivo. En estado de salud, los humanos y los microbios viven juntos para beneficio mutuo. Sin embargo, algunas personas sanas viven en armonía con organismos que pueden resultar patógenos para otros. Por ejemplo, algunas personas están adaptadas a las aguas con bacilos que provocan disentería en otras personas. Por otra parte, resulta muy fácil contaminar el agua con microorganismos como las bacterias intestinales por lo que es muy difícil mantener el agua potable libre de bacterias intestinales y además eliminarlas no es posible, ni benéfico y resulta muy costoso.

Las bacterias coliformes son microorganismos inofensivos para el hombre y residen en su intestino grueso y abundan en la materia fecal. Forman parte de los desechos de las aguas negras y no se desarrollan en el agua, de manera que un recuento de las bacterias coliformes constituye un indicio del grado de contaminación de esas aguas.

Se considera que el número de microorganismos portadores de enfermedad en el agua es proporcional al número total de microorganismos y que una cantidad total baja representa un menor riesgo de contraer una enfermedad. Sin embargo, se han dado casos en que enfermedades virales han sido transmitidas por aguas que cumplen estrictamente con las normas de control de bacterias.

Por consiguiente, la presencia de cualquier impureza típica de las aguas negras, inclusive si no son perjudiciales en sí mismas, implica que el agua en que se encuentran no deja de ser fuente peligrosa de enfermedad.

El agua contaminada puede estar sucia, mal oliente, ser corrosiva, de mal sabor o poco apta para lavar la ropa con ella. Sin embargo, para el hombre el efecto más perjudicial del agua contaminada ha sido la transmisión de enfermedades por microorganismos que pueden habitar en ella. Por ejemplo, la fiebre tifoidea causada por la bacteria *salmonella typhi*, el cólera causada por la bacteria *Vibrio cholerae*, la disentería provocada por parásitos como las amibas *Entamoeba histolítica* y la bacteria *Shigella*, la gastroenteritis causada por virus, bacterias y protozoarios, la hepatitis infecciosa causada por el virus de la hepatitis y la poliomielititis causada por el virus de la poliomielititis.<sup>6</sup>

### • Contaminación por Metales

Las aguas procedentes de las industrias como la minera, la de recubrimientos metálicos, las fundidoras y otras más contaminan el agua con diversos metales.

Las sales solubles en agua de los metales pesados como el plomo, cadmio y mercurio, son muy tóxicas y acumulables por los organismos que los absorben, los cuales a su vez son fuente de contaminación de las cadenas alimenticias al ser ingeridos por alguno de sus eslabones. Al ser ingeridos por el hombre en el agua y alimentos contaminados por los compuestos de mercurio, plomo o cadmio le provocan ceguera, amnesia, raquitismo, miastenia o hasta la muerte.<sup>5</sup>

La contaminación del agua por plomo no se origina directamente por el plomo sino por sus sales solubles en agua que son generadas por las fábricas de pinturas, de acumuladores, por alfarerías con esmaltado, en foto termografía, en pirotecnia, en la coloración a vidrios o por industrias químicas productoras de tetraetil de plomo (se usa como antidetonante en gasolinas) y por algunas actividades mineras, etc.

Desde hace mucho tiempo se sabe que el plomo es venenoso, tiene efectos tóxicos para las plantas, el plancton y demás organismos acuáticos. Los compuestos de plomo en los peces les origina la formación de una película coagulante y les provoca alteraciones hematológicas. En el hombre provoca saturnismo, enfermedad que engloba trastornos nerviosos, digestivos y renales.

El mercurio y algunos compuestos inorgánicos de mercurio pueden ser metilados (formar metilmercurio,  $H_3C-Hg-CH_3$ , es muy venenoso) por bacterias anaerobias en el lodo del fondo de los lagos y también por los peces y los mamíferos. Por lo que, los desechos que contienen mercurio o sus derivados que se han ido acumulando en los fondos fangosos de los lagos constituyen fuentes potenciales de contaminación y por procesos bioquímicos pueden incorporarse a las diversas cadenas alimenticias. Además los compuestos de mercurio son del tipo de sustancias acumulables en los organismos y pueden llegar a alcanzar concentraciones lo suficientemente altas para ser venenosos.<sup>5</sup>

La contaminación del agua por mercurio es producida por industrias químicas que producen cloro, fábricas de funguicidas, de pinturas, de plásticos, por minas de cinabrio (sulfuro de mercurio,  $HgS$ ), en la extracción de oro y de plata por el método de amalgamación y por las refinerías del petróleo. Se considera que la mitad del mercurio extraído es arrojado al medio ambiente, una parte en forma de vapor a la atmósfera y otra en los desechos industriales al suelo y al agua. Por ejemplo, en la electrólisis del cloruro de sodio en solución se utiliza el mercurio como electrodo y cuando en la salmuera (solución concentrada de cloruro de sodio) disminuye su concentración, es desechada a las alcantarillas. Estos desechos contienen mercurio y siguen el curso del agua hasta llegar a los lagos, ríos y hasta el mar, donde pueden incorporarse a las diferentes cadenas alimenticias, reaccionar y transformarse en metilmercurio. Luego el hidróxido de sodio obtenido que está contaminado por mercurio se utiliza como materia prima de otros procesos.

Los compuestos de mercurio son muy tóxicos a ciertas concentraciones, en los peces ocasionan alteraciones en los epitelios branquiales y dérmicos y hasta la muerte. En el hombre los compuestos de mercurio provocan alteraciones en la mucosa intestinal e inhibición de ciertas enzimas; y en las mujeres embarazadas puede provocar trastornos teratogénicos graves, también se considera que puede producir alteraciones genéticas, lesiones renales y del sistema nervioso central y hasta la muerte.

La contaminación del agua por cadmio es provocada por las principales áreas de aplicación que arrojan sus desechos a las alcantarillas, como son el acabado de metales, la

electrónica, la manufactura de pigmentos (pinturas y agentes colorantes), de baterías (cadmio níquel), de estabilizadores plásticos, de plaguicidas (fungicidas), la electro deposición o la aleaciones de fierro, en la producción de fierro y zinc, y en el uso de reactores nucleares.

### 3.2 AUTODEPURACIÓN

La Contaminación del Agua puede darse al caer ésta en forma de lluvia por enfriamiento de las nubes, arrastrando impurezas del aire; o bien al circular por la superficie o a nivel de capas profundas, al añadirsele contaminantes químicos, físicos o biológicos. Puede contener productos derivados de la disolución de los terrenos, como calizas, calizas dolomíticas, yeso, anhidrita, sal, cloruro potásico, silicatos, oligoelementos, nitratos, hierro, potasio, cloruros, fluoruros, así como materias orgánicas.<sup>7</sup>

Hay pues una contaminación natural, pero al mismo tiempo puede existir otra muy notable de procedencia humana, por actividades agrícolas, ganaderas o industriales, que hace sobrepasar la capacidad de autodepuración de la naturaleza.

La calidad natural de las aguas superficiales y subterráneas se ve influenciada por sustancias que le son aportadas ininterrumpidamente y por la continua variación de los parámetros. El ingreso natural e inducido (por acción antropológica) de sustancias se neutraliza gracias a la capacidad de autodepuración de los cuerpos de agua; ésta se basa en la descomposición de tales sustancias por parte de organismos que se reproducen masivamente en el agua. Sin embargo, este proceso solamente se cumple hasta un cierto límite de contaminación que depende de cada sistema específico; una vez superado este límite, las características del agua pueden cambiar radicalmente.<sup>7</sup>

El agua es un recurso renovable indispensable para la vida que se renueva indefinidamente en el ciclo hidrológico proporcionando un abastecimiento continuo. Sin embargo, corre el riesgo de no poder ser utilizada si se sobrepasa su capacidad de autodepuración, debido al vertido indiscriminado de contaminantes.

El problema con las aguas residuales radica en que los habitantes de las ciudades generan cantidades de residuos orgánicos que exceden la capacidad de autodepuración de los ríos o lagos donde son vertidos, convirtiéndolos en fuentes nauseabundas portadoras de agentes nocivos para la salud. Por ello, es esencial someter las aguas residuales a tratamientos de depuración de alta tecnología.

En la mayoría de las ocasiones, los productos vertidos no son biodegradables y permanecen largo tiempo en el ambiente. Otras veces los vertidos llevan componentes tóxicos y químicos, con potencialidad cancerígena y mutágena. Los compuestos tensoactivos (cadenas hidrocarbonadas) recubren las aguas superficiales, con alteración del intercambio de gases y vapor de agua.

En ocasiones, también los elementos vivos de esta agua, ingieren estos microorganismos o compuestos químicos o radiactivos y les llevan en las cadenas tróficas alimenticias de nuevo al ser humano, generando nuevos efectos negativos para la salud humana, aparte del daño ecológico que generan.

Una autodepuración total puede lograrse dependiendo de:

- la cantidad de contaminantes,
- la naturaleza de los contaminantes,
- el vertido esporádico o permanente de efluentes,
- la temperatura,
- la cantidad de oxígeno disuelto en el agua,
- la masa acuática receptora y su capacidad de diluir los distintos materiales que afectan el ambiente acuático,
- etc.

### **3.2.1 MECANISMOS NATURALES DE AUTODEPURACION**



El conjunto de fenómenos físicos, químicos y biológicos, que tienen lugar en el curso del agua de modo natural y que provocan la destrucción de materias extrañas incorporadas a un río, se denomina autodepuración.<sup>8</sup>

En los mecanismos naturales de autodepuración de un río se pueden distinguir cuatro tramos o zonas bien definidas y fáciles de determinar:

**- Zona de degradación:**

En esta zona las formas superiores de vida son sustituidas por otras formas inferiores más tolerantes. Se inicia la descomposición de la materia orgánica bajo la actividad bacteriana.<sup>8</sup> Las aguas en esta zona tienen aspecto sucio disminuyendo rápidamente el contenido en oxígeno dado que la DBO\* es alta (ver figura 3.2).

**- Zona de descomposición activa:**

Se produce desprendimiento de gases, pudiendo llegar a ausencia de oxígeno disuelto y a condiciones sépticas (de putrefacción). Las aguas tienen un aspecto parduzco o negro, apareciendo los flotantes y los olores desagradables debidos al sulfuro de hidrógeno. La descomposición como consecuencia de la ausencia de oxígeno es anaerobia.<sup>8</sup>

**- Zona de recuperación:**

La actividad es inversa a la zona de degradación: el agua va adquiriendo gradualmente sus condiciones normales gracias a la oxidación de los materiales producida a costa del oxígeno del aire y por el liberado por la acción fotosintética de los vegetales. Las aguas se van volviendo más claras reapareciendo los vegetales verdes que desaparecen en la zona de degradación. La DBO va disminuyendo y se va elevando progresivamente el contenido de oxígeno hasta alcanzar su nivel normal.<sup>8</sup>

**- Zona de aguas limpias:**

Las características de estas aguas son casi las mismas a las de las aguas limpias naturales, existiendo en su seno la vida animal y vegetal que son normales en las corrientes que presentan sólo la contaminación natural o geoquímica.<sup>8</sup>

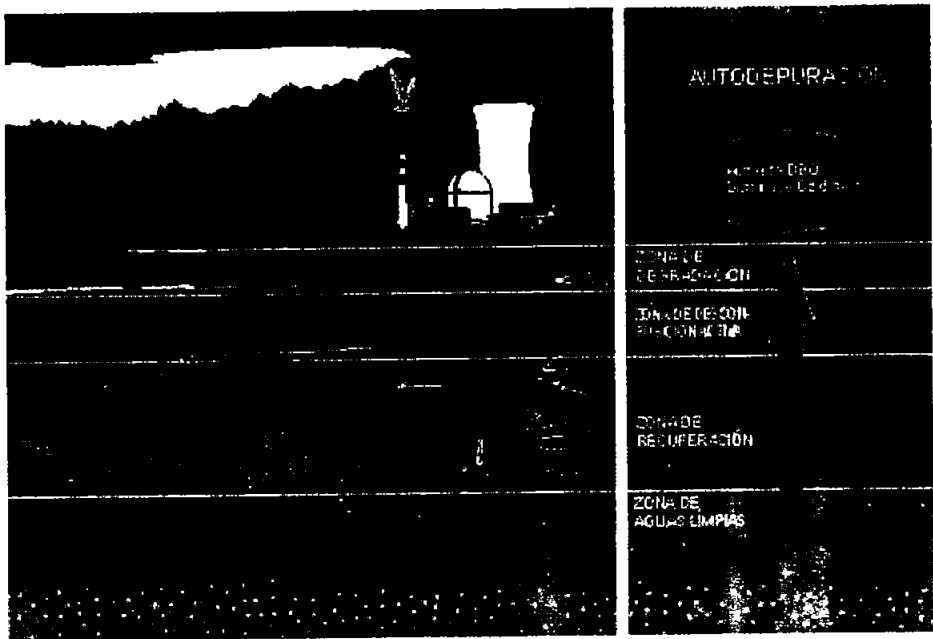


Figura 3.2 Zonas de un lago para la autodepuración.<sup>3</sup>

### 3.3 EUTROFICACIÓN

La eutroficación o eutrofización (del griego eú, bien, y trophé, alimentación) es un proceso natural de envejecimiento de agua estancada o de corriente lenta con exceso de nutrientes y que acumula en el fondo materia vegetal en descomposición. Las plantas se apoderan del lago hasta convertirlo en pantano y luego se seca. Los problemas se inician cuando el hombre contamina lagos y ríos con exceso de nutrientes que generan la

aceleración del proceso de eutroficación, que ocasiona el crecimiento acelerado de algas, la muerte de peces y demás flora y fauna acuática, generando condiciones anaeróbicas.

La eutroficación es un proceso natural que ocurre en todos los cuerpos de agua. La acumulación gradual de nutrientes y biomasa orgánica acompañada por el aumento en la fotosíntesis y un descenso en la profundidad promedio de la columna de agua (causado por la acumulación de sedimento) constituye el proceso de **eutroficación natural**.<sup>9</sup>

La **eutroficación cultural** es la aceleración del proceso de eutroficación natural por causas antropogénicas. Esta aceleración antropogénica es usualmente causada por descargas de desperdicios orgánicos y/o nutrientes.

Los contaminantes de origen antropogénico más importantes de lagos y lagunas son de dos tipos: a) aguas residuales domésticas que contienen gran cantidad de materia orgánica y detergentes que descargan directamente en estos cuerpos de agua; b) entrada de fertilizantes, principalmente en base a N y P, provenientes de faenas agrícolas y que pasan a los cuerpos a través de escurrimientos superficiales o filtraciones subterráneas. Los detergentes contienen, entre otros aditivos, tripolifosfato sódico ( $\text{Na}_2\text{P}_3\text{O}_{10}$ ) cuya hidrólisis origina fosfato, que es un nutriente vital. La entrada de materia orgánica a través de las aguas residuales no sólo aumenta la naturalmente existente, sino que también su descomposición regenera los nutrientes en base a P y N. A su vez el aumento de estos nutrientes incrementa la fotosíntesis. Este proceso de aumento desproporcionado de nutrientes se denomina **eutroficación**.<sup>9</sup>

Las aguas naturales adquieren otras características químicas por dilución y reacción química con sólidos, líquidos y gases con los cuales se tiene un contacto que dura en varias partes del ciclo hidrológico. En algunas instancias de las actividades biológicas, las aguas naturales también juegan un papel importante.

El medio ambiente acuático es más complicado por la interacción de la biósfera.

Hay una constante producción, descomposición y sedimentación de biomasa, como se ilustra en la figura 3.3.

### 3.3.1 FOTOSÍNTESIS Y RESPIRACIÓN

La energía se produce como resultado de la fotosíntesis, cambiando así el equilibrio termodinámico. Las bacterias y otros organismos respiran mediante proceso de catálisis redox que tiende a restaurar el equilibrio químico.

En un camino simplificado se puede considerar un estado estacionario entre la producción fotosintética P (porcentaje de producción de materia orgánica) y la respiración heterotrófica R (porcentaje de destrucción de material orgánico) y caracterizar químicamente este estado estable con esta simple ecuación estequiométrica.<sup>10</sup>



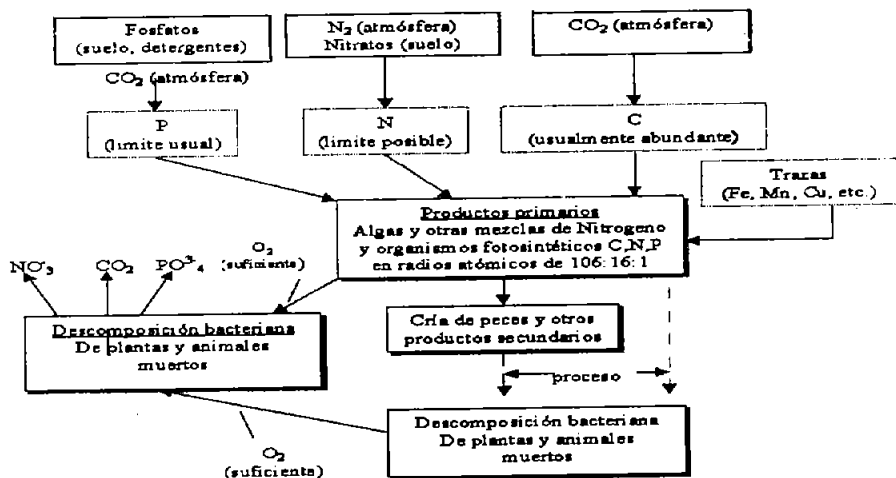
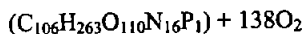
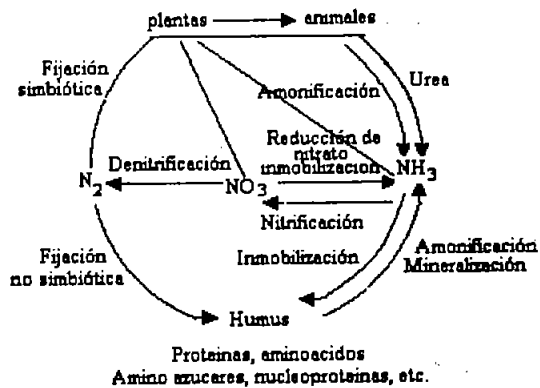
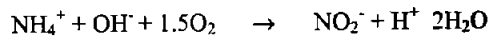
$$P \downarrow R \uparrow$$


Figura 3.3 Factores que afectan la producción, descomposición, y sedimentación acuática.<sup>9</sup>

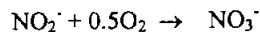
Figura 3.4 Ciclo de Nitrógeno.<sup>9</sup>

El protoplasma algal también es conveniente expresarlo como  $(\text{CH}_2\text{O})_{106}(\text{NH}_3)_{16}(\text{H}_3\text{PO}_4)$ . La formulación estequiométrica de la ecuación refleja, que el desarrollo de la planta depende del nutriente que necesita en menor cantidad, al cual se le llama nutriente limitante, que en este caso es el fósforo.<sup>9</sup>

En la figura 3.4 se muestra el ciclo de nitrógeno. Las nitratobacterias se desarrollan para reducir el nitrógeno como una fuente combustible en el proceso llamado nitrificación. Algunos de estos organismos llamados nitrosomonas oxidan el amonio a nitrito como se muestra a continuación:



Algunas otras nitrobacterias oxidan el nitrito a nitrato



El ciclo del nitrógeno es completado por la desnitrificación bacteriana en el proceso de nitrificación convirtiendo el nitrato y regresándolo a  $\text{N}_2$ .

#### • Ciclo del nitrógeno.

El nitrógeno, al igual que el carbono, es un elemento básico de la vida y está presente en determinadas reacciones químicas e intercambios entre la atmósfera, suelos y

seres vivos, que se realizan en la naturaleza de forma cíclica (*ciclo biogeoquímico del carbono*). Intervienen fundamentalmente en este ciclo los vegetales y las bacterias fijadoras del nitrógeno. En ese proceso, el nitrógeno se incorpora al suelo, que será absorbido por los organismos vivos antes de regresar de nuevo a la atmósfera.<sup>10</sup>

Los organismos vivos no pueden utilizar directamente el nitrógeno que se encuentra en la atmósfera en forma gaseosa, y que supone el 71% del total del aire; para ello, debe ser transformado previamente en nitrógeno orgánico (nitratos o amoníaco). Esto se consigue, fundamentalmente, mediante la fijación biológica, aunque también las radiaciones cósmicas y la energía que producen los rayos en la atmósfera intervienen en este proceso en menor medida combinando nitrógeno y oxígeno que una vez transformado es enviado a la superficie terrestre por las precipitaciones.

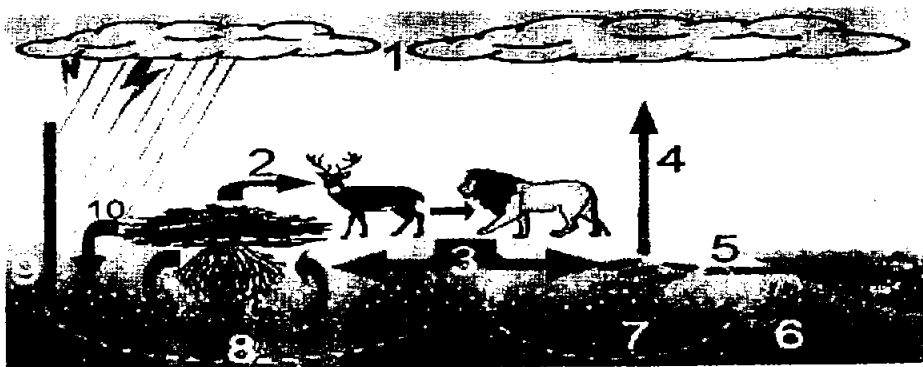


Figura 3.5 Ciclo biológico del nitrógeno.<sup>10</sup>

De la figura 3.5: 1-Nitrógeno atmosférico, 2-Entrada en la cadena alimentaria, 3-Descomposición de las materias animales (amonificación), 4-Devolución a la atmósfera por desnitrificación, 5-Ingreso en el medio acuático por lixiviación, 6-Humus, 7-Nitrificación. 8-Fijación del nitrógeno en las raíces por las bacterias simbióticas, 9-Absorción del nitrógeno producido por la actividad eléctrica de la atmósfera, 10-Descomposición de las materias vegetales (amonificación).

En la fijación biológica intervienen bacterias simbióticas que viven en las raíces de las plantas, sobre todo leguminosas como el guisante, trébol o la alfalfa, pero también determinadas algas, líquenes, etc. Las bacterias se alimentan de estas plantas, pero a cambio

le entregan abundantes compuestos nitrogenados. Es muy común en agricultura cultivar leguminosas en determinados terrenos pobres en nitrógeno, o que han quedado agotados por otras cosechas, para permitir rotar los sembrados en el mismo lugar.

Cuando el nitrógeno ha quedado fijado en las raíces de las plantas, ya puede ser absorbido por éstas e incorporarlo a los tejidos en forma de proteínas vegetales. Desde aquí, el nitrógeno ya entra en la cadena alimenticia mediante los animales herbívoros y carnívoros. Cuando las plantas y animales mueren, mediante la descomposición se produce una transformación química de los compuestos nitrogenados, convirtiéndose en nitrógeno amoniacal (actividad denominada *amonificación*), última etapa de la mineralización del nitrógeno que está contenido en la materia orgánica del suelo.<sup>10</sup>

Este amoníaco vuelve a ser en parte recuperado por las plantas, pero el resto alcanza el medio acuático o simplemente permanece en el suelo, donde será convertido en nitrógeno nítrico por los microorganismos, en un proceso que se denomina *nitrificación* y que es aprovechado de nuevo por las plantas. Los nitratos pueden volver a la atmósfera mediante la *desnitrificación*, o ser eliminado del suelo por *lixiviación* (disolución en el agua) y posterior arrastrado a los ríos y lagos.<sup>11</sup>

Los humanos influyen en el ciclo del nitrógeno y pueden sobrecargarlo. Esto puede ser observado en los cultivos intensivos (que obligan a añadir fertilizantes nitrogenados para fertilizar las tierras) y la tala de árboles, que hacen descender el contenido de nitrógeno de los suelos.

El contrapunto a esta carestía de nitrógeno por exceso de cultivo, se encuentra en las tierras que han sido demasiado fertilizadas; la lixiviación del nitrógeno de estas tierras añaden un extra indeseable a los ecosistemas acuáticos cuando es arrastrado por las aguas fluviales. Este exceso de nitrógeno se agrava con la emisión a la atmósfera del dióxido de nitrógeno de las centrales térmicas y los automóviles; una vez descompuesto en la atmósfera es capaz de reaccionar con otros productos contaminantes, generando el

conocido *smog* fotoquímico, que puede observarse sobre el cielo de muchas grandes ciudades con problemas de contaminación ambiental.<sup>11</sup>

### 3.3.2 CONTAMINACIÓN POR DETERGENTES

Los detergentes son semejantes a los jabones porque tienen en su molécula un extremo iónico soluble en agua y otro extremo no polar que desplaza a los aceites. Los detergentes tienen la ventaja, sobre los jabones, de formar sulfatos de calcio y de magnesio solubles en agua, por lo que no forman coágulos al usarlos con aguas duras. Además como el ácido correspondiente de los sulfatos ácidos de alquilo es fuerte, sus sales (detergentes) son neutras en agua.<sup>12</sup>

Los detergentes son productos que se usan para la limpieza y están formados básicamente por un agente tensoactivo que actúa modificando la tensión superficial disminuyendo la fuerza de adhesión de las partículas (mugre) a una superficie; por fosfatos que tienen un efecto ablandador del agua y flocculan y emulsionan a las partículas de mugre, y algún otro componente que actúe como solubilizante, blanqueador, bactericida, perfumes, abrillantadores ópticos (tinturas que dan a la ropa el aspecto de limpieza), etc.

Los detergentes sintéticos contienen sustancias surfactantes que ayudan en la penetración, remojo, emulsificación, dispersión, solubilización y formación de espuma. Todo esto ocurre en las interfases sólido-líquido y líquido-líquido.<sup>12</sup>

La mayoría de los detergentes sintéticos son contaminantes persistentes debido a que no son descompuestos fácilmente por la acción bacteriana. A los detergentes que no son biodegradables se les llama detergentes duros y a los degradables, detergentes blandos.

El principal agente tensoactivo que se usa en los detergentes es un derivado del alquilbencensulfonato como, por ejemplo, el dodecilbencensulfonato de sodio ( $C_{12}H_{25}-C_6H_4-SO_3Na$ ) el cual puede hacer al detergente duro (no biodegradable, contaminante persistente) o blando (biodegradable, contaminante biodegradable), dependiendo del tipo de ramificaciones que tenga.



Una gran cantidad de detergentes son arilalquilsulfonatos de sodio que tienen como fórmula general,  $R-C_6H_4-SO_3Na$ , es decir, son sales de ácidos sulfónicos aromáticos con una cadena alquílica larga. Si la cadena es ramificada no pueden ser degradados por los microorganismos, por lo que se dice que son persistentes, y causan grandes problemas de contaminación del agua de lagos, ríos y depósitos subterráneos. Los arilalquilsulfonatos que tienen cadenas lineales son biodegradables.

El uso de los compuestos tensoactivos en el agua, al ser arrojados a los lagos y ríos provocan la disminución de la solubilidad del oxígeno disuelto en el agua con lo cual se dificulta la vida acuática y además, como les quitan la grasa de las plumas a las aves acuáticas les provoca que se escape el aire aislante de entre las plumas y que se mojen, lo cual puede ocasionarles la muerte por frío o porque se ahogan, de manera semejante como les ocurre con los derrames de petróleo en el mar.<sup>12</sup>

Los detergentes son productos químicos sintéticos que se utilizan en grandes cantidades para la limpieza doméstica e industrial y que actúan como contaminantes del agua al ser arrojados en las aguas residuales.

El poder contaminante de los detergentes se manifiesta en los vegetales acuáticos inhibiendo el proceso de la fotosíntesis originando la muerte de la flora y la fauna acuáticas. A los peces les produce lesiones en las branquias, dificultándoles la respiración y provocándoles la muerte.

- **Detergentes de polifosfatos.**

Un componente de los detergentes sólidos es el metafosfato llamado tripolifosfato de sodio,  $Na_5P_3O_{10}$ , que contiene al ion  $(O_3P-O-PO_2-O-PO_3)^{5-}$ . El ion trifosfato es de gran utilidad porque forma complejos solubles con los iones calcio, fierro, magnesio y manganeso, quitando las manchas que estos ocasionan en la ropa y ayudan a mantener en suspensión a las partículas de mugre de manera que pueden ser eliminadas fácilmente por el lavado.

A los aditivos de fosfato en los detergentes como el tripolifosfato de sodio se les llama formadores de fosfato y tienen tres funciones, primero actúan como bases haciendo que el agua del lavado sea alcalina (pH alto), lo cual es necesario para la acción detergente; segundo los fosfatos reaccionan con los iones calcio y magnesio del agua dura de manera que no actúan con el detergente y tercero ayudan a mantener las grasas y el polvo en suspensión, lo que facilita que sean eliminados. En los detergentes líquidos se utiliza el pirofosfato de sodio ( $\text{Na}_4\text{P}_2\text{O}_7$ ) o de potasio porque se hidroliza en el ion fosfato ( $\text{PO}_4^{3-}$ ) a menor rapidez que el tripolifosfato de sodio.<sup>13</sup>

Los detergentes hechos a base de fosfatos provocan un efecto destructor en el medio ambiente porque aceleran el proceso de eutrofización o eutrofización de las aguas de lagos y ríos. Como el uso de detergentes fosfatados ha generado problemas muy graves en el agua, algunos países han prohibido el uso de detergentes de este tipo.

- **Aguas con detergentes y algas.**

Los detergentes después de ser utilizados en la limpieza doméstica e industrial son arrojados a las alcantarillas de las aguas residuales y se convierten en fuente de contaminación del agua.

Las algas son plantas acuáticas que se pueden percibir como un limo verde azul sobre la superficie de las aguas estancadas. Las algas, al igual que las demás plantas, almacenan energía mediante el proceso de fotosíntesis por lo que requieren de la luz solar para consumir el bióxido de carbono y liberar el oxígeno. Al igual que otras plantas, las algas necesitan también de otros elementos químicos nutritivos inorgánicos como potasio, fósforo, azufre y fierro.<sup>13</sup>

La cantidad de algas que una cierta extensión de agua, como un lago, puede soportar depende de los elementos nutritivos inorgánicos que puede proporcionar y la acumulación de estos elementos depende de la cantidad de sales que arrastren las diferentes corrientes de agua al lago. Las algas crecen rápidamente cuando la cantidad de elementos nutritivos es abundante y pueden llegar a cubrir la superficie del agua con gruesas capas, y a medida que algunas algas mueren se convierten en alimento de las bacterias.

Como las bacterias consumen oxígeno para descomponer a las algas, provocan que la disminución de oxígeno llegue a un nivel que es incapaz de soportar otras formas de vida, que es indispensable para que no desaparezca el ecosistema. Por ejemplo, donde hay peces como la lobina y la perca que son útiles para el hombre, disminuyen o desaparecen, dejan el lugar a otras formas de vida menos útiles al hombre como el siluro, sanguijuelas y gusanos que se alimentan de basura.<sup>13</sup>

### **3.3.3 EUTROFICACIÓN Y SU CONTROL**

En aguas relativamente tranquilas, como lagos y lagunas, los vegetales acuáticos proliferan debido a la presencia de elementos nutritivos como nitratos y fosfatos que actúan como fertilizantes. Las principales fuentes de nutrientes son las aguas negras y los escurrimientos agrícolas que originan el crecimiento masivo de algas y lirios, que genera grandes cantidades de masas vegetales sobre las aguas y su posterior acumulación sobre las riberas. Cuando las plantas mueren, para su descomposición consume el oxígeno disuelto en el agua provocando condiciones anaeróbicas.

El proceso de eutroficación resulta de la utilización de fosfatos y nitratos como fertilizantes en los cultivos agrícolas, de la materia orgánica de la basura, de los detergentes hechos a base de fosfatos, que son arrastrados o arrojados a los ríos y lagos son un problema muy grave para las aguas estancadas cerca de los centros urbanos o agrícolas. Durante las épocas cálidas la sobrecarga de estos productos químicos, que sirven de nutrientes, generan el crecimiento acelerado de vegetales como algas, cianobacterias, lirios acuáticos y lenteja de agua, las cuales al morir y ser descompuestas por las bacterias aeróbicas provocan el agotamiento del oxígeno disuelto en la capa superficial de agua y causan la muerte de los diferentes tipos de organismos acuáticos que consumen oxígeno, en las aguas de los lagos y ríos. Lago eutrófico es aquel de poca profundidad y poco contenido de oxígeno disuelto pero rico en materias nutritivas y materia orgánica.<sup>14</sup>

Tabla 3.2 Cambios que ocurren con la eutroficación.<sup>14</sup>

<b>Cambios biológicos</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Aumenta considerablemente el fitoplancton. Las algas verdeazules se desarrollan espectacularmente mientras que las de otros tipos desaparecen.</li> <li>• Aumenta la actividad bacteriana.</li> <li>• Los animales acuáticos enferman y mueren.</li> </ul>
<b>Cambios físicos</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Los restos de plantas y animales muertos se acumulan en los fondos, frenando la circulación del agua.</li> <li>• El agua se torna parda y maloliente. Cambia de color: rojo, verde, amarillo o pardo.</li> </ul>
<b>Cambios químicos</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• El oxígeno disuelto baja de alrededor de 9 mg/L a 4 mg/L lo cual afecta negativamente y de inmediato a los organismos. Cuando el nivel baja a 2 mg/l todos los animales han muerto. Hay una significativa elevación de la DBO.</li> <li>• La concentración de compuestos nitrogenados, fosfatados se incrementa, así como la de otros elementos químicos.</li> </ul>

Si el exceso de nutrientes sigue fluyendo a los lagos, las bacterias anaerobias predominan en ellos y quedan putrefactos debido a la producción del ácido sulfhídrico (H<sub>2</sub>S) y metano (CH<sub>4</sub>) durante la descomposición de la materia orgánica.

El uso excesivo de los fertilizantes químicos en los campos agrícolas son fuente de contaminación de las corrientes freáticas y del agua de ríos y lagos, al ser arrastrados por el agua de riego y de lluvia.

La solución al proceso de eutroficación provocada a los lagos y aguas estancadas por el exceso de nutrientes es, a) el uso de métodos de prevención de la contaminación por fosfatos y nitratos o por exceso de nutrientes y b) métodos de control para limpiar las aguas lacustres con proceso de eutroficación.

El incremento de nutrientes producirá una aceleración del crecimiento del fitoplancton, principalmente algas y plantas verdes, con la consiguiente disminución de la transparencia del agua, alcance de la luz hacia el interior y, como consecuencia del aumento de dicha flora, la degradación de ésta. Esta flora degradada consume oxígeno, que al escasear o agotarse disminuye la capacidad autodepuradora del medio acuoso, rompiéndose el equilibrio ecológico.

Una laguna se monitorea con análisis fisicoquímicos periódicos de sus aguas. Uno por estación es lo habitual (otoño, invierno, primavera, verano), llegando a un análisis mensual al seguir ambientes en algún período delicado.<sup>14</sup>

Una laguna funciona correctamente cuando al introducir el brazo hasta el codo es posible verse la mano. Cuando las aguas de una laguna son muy turbias y de color marrón por lo general se encuentra frente a un problema avanzado de erosión y de falta de capacidad del ambiente para fijar sedimentos. Sea esta u otra la causa, lo importante es que estos ambientes se encuentran en una situación crítica y muy inestable.

Normalmente se tiende a pensar que, como es habitual este tipo de aguas en los ríos de llanura, no es problemático que ocurra algo similar en una laguna. Esto es un error.

Este tipo de lagunas o estanques son equivalentes a un desierto, en donde la vida está limitada por la falta de luz.

Como los materiales en suspensión en una laguna sufren la acción del viento, las olas, las corrientes, la estratificación térmica y la de otros sucesos físicos y biológicos propios de un lago, la solución de estos problemas requiere de cierta complejidad.

Por lo general es necesario dar un tratamiento diferente a los sedimentos inorgánicos grandes en suspensión, los sedimentos chicos y la materia orgánica, ya que cada uno de estos elementos requiere de técnicas de manejo diferentes.

Cuando el agua de una laguna toma color verde intenso es necesario intervenir en el ambiente por los peligros que implica esta situación ya que se puede estar frente a una

posible anoxia (falta de oxígeno generalizada) que termine con toda la vida animal del lago o la laguna.<sup>15</sup>

Las causas pueden ser varias y en algunos casos complejas. Incluso en algunas oportunidades es una reacción del lago frente a un caso de contaminación orgánica.

De acuerdo a las causas que provocan esta situación y las características del estanque dependen las medidas de mitigación o restauración que se deban tomar.

Por su origen, algunas lagunas insertas en ciudades o áreas recreativas son potencialmente peligrosas para su posterior uso recreativo. Este es el caso de las lagunas construidas con dragas.

Cuando una laguna es excavada por medio de palas mecánicas y camiones, el resultado es una laguna "limpia", cuando el mismo trabajo se realiza con una draga, el resultado es una laguna "sucia".

Al dragar una fracción de terreno de 8, 10 o 20 hectáreas todos los objetos que no pueden ser tomados por la draga son arrojados a la costa o al fondo de la laguna.

Cuando se realiza la limpieza de este tipo de ambientes por lo general se extraen volúmenes importantes de postes, troncos, restos de alambrados, barriles, restos de cañerías, contenedores plásticos, fierros, latas y alambres.

Los troncos y postes, por ejemplo, son particularmente peligrosos ya que al trabajar la draga son removidos y quedan a la deriva hasta ser arrojados a una de las costas en donde embancan. En aguas no del todo transparentes son muy peligrosos para los bañistas y algunos deportistas al igual que las latas y los vidrios.<sup>15</sup>

La limpieza en estas áreas es efectiva para objetos medios y grandes, los pequeños se pueden extraer parcialmente. El problema de estos trabajos no es tanto el de sacar los objetos, sino mas bien el de localizarlos (al estar sumergidos).

Cuando una laguna con algunos años comienza a acumular sedimentos en descomposición en el fondo, por lo general se piensa en secar el ambiente para su restauración. Si esta operación no se hace correctamente, el resultado probable es un ambiente que al año está invadido casi en su totalidad por vegetación acuática arraigada.

Estos fondos, aunque sean removidos y extraídos los sedimentos en descomposición, deben ser tratados antes de llenar el estanque o la laguna.

Si la extracción se hace con pala excavadora y sin secar el lago se deben atender varios problemas potenciales como la asfixia de peces, el enturbiamiento y sobre todo la contaminación orgánica de la columna de agua.

La extracción menos traumática de estos sedimentos – sin sacar el agua - se realiza empleando mini dragas y tratando el agua con precipitantes para mitigar la remoción.

Algunos de los problemas que puede causar la eutroficación cultural son<sup>14</sup>:

1. Presencia de especies no deseadas como las cianobacterias o algas verde azules en el agua. Las cianobacterias se asocian a una pobre calidad de agua .
2. Mareas rojas - florecimiento de algas como los dinoflagelados que causan decoloración en el agua. Algunos de éstos pueden producir neurotoxinas o ser tóxicos de por sí por la gran abundancia y la gran demanda de oxígeno (DBO) que representan para el sistema .Al disminuir los niveles de oxígeno se incrementa la mortalidad de los organismos acuáticos que a su vez aumentan la DBO.

También se debe seguir la salud de los peces, de las poblaciones, y del ambiente en general y su cuenca.

Todo este trabajo de seguimiento se hace porque en los espacios acuáticos siempre es mucho mas barato prevenir dificultades. En algunos casos la restauración del lago puede ser incluso inviable económicamente.

Una laguna tiene problemas graves cuando:

- se mueren los peces,
- las algas o las plantas acuáticas la invaden
- las aguas son muy turbias, visibilidad menor a 10 centímetros
- el agua toma un color verde extremo, aparece espuma verde tipo pintura en la superficie
- el fondo ha acumulado sedimentos de color negro que al removerse desprenden mal olor o burbujas

Para saber si una laguna está eutroficada deben sugerirse las recomendaciones internacionales y se deben hacer por lo menos análisis de concentración de nitrógeno y fósforo, y con esos valores se realiza una comparación con los valores estandarizados y se puede llegar a un diagnóstico claro.

El valor límite del fósforo es de 35 microgramos por litro y el del nitrógeno es de 50 a 100 o 20 a 100 microgramos por litro, dependiendo de ello el clima, templado o tropical, porque en los ambientes tropicales suele haber menos nitrógeno entonces están limitados de nitrógeno, en cambio en los ambientes fríos suele haber más nitrógeno.

### 3.3.4 ESTRATIFICACION TERMAL

#### • Temperatura y Calor

La temperatura es un factor abiótico que regula procesos vitales para los organismos vivos, así como también afecta las propiedades químicas y físicas de otros factores abióticos en un ecosistema. Antes de discutir la naturaleza de dichas interacciones, es necesario iniciar con una distinción entre los conceptos de temperatura y calor. La distinción entre estos dos conceptos es a menudo confusa, llevando a intercambiarlos erróneamente. El término **calor** implica energía transferida desde un cuerpo o sistema hacia su ambiente inmediato o viceversa. El flujo de energía procede siempre de un área de



mayor concentración a un área de menor concentración, de conformidad con la segunda ley de termodinámica. Del otro lado, la **temperatura** es un parámetro que revela que existe un contraste o gradiente de energía que provoca la transferencia de calor.

En términos fisiológicos, la temperatura es considerada un parámetro de mayor significado que el contenido de calor de un cuerpo o sistema. Un protozooario que nada libremente en un cuerpo de agua con una temperatura promedio de 10°C, es apenas afectado por la energía total contenida en su hábitat (sin importar que su hábitat sea una pequeña charca o sea un gran lago). El factor de intensidad, la temperatura (10°C), es el mismo para ambos cuerpos de agua, controlando de igual forma el metabolismo del protozooario. Asumiendo claro está, que las únicas diferencias entre los dos ambientes son el tamaño de sus respectivas cuencas hidrológicas y el contenido de calor asociado a éstas.<sup>16</sup>

Se tiene conocimiento de que la temperatura afecta la energía cinética de los reactivos, así como la estabilidad y actividad de las enzimas que participan en reacciones bioquímicas. En consecuencia, la temperatura ejerce una marcada influencia sobre la reproducción, crecimiento y el status fisiológico de todas las entidades vivas. Los microorganismos como grupo (particularmente el grupo de las bacterias) demuestran una capacidad extraordinaria para vivir y reproducirse a lo largo de un amplio intervalo de temperaturas (desde temperaturas bajo 0°C, hasta temperaturas que alcanzan los 113°C).

Los microorganismos se han agrupado en cuatro categorías, a base de su intervalo de temperatura óptimo para el crecimiento. Las categorías son: psicrófilicos, mesófilicos, termófilicos e hipertermófilicos. El rango de temperatura óptimo y el límite mínimo y máximo de temperatura que distinguen a cada grupo no se deben tomar como valores absolutos que establecen la frontera entre una y otra categoría y sí como un reflejo del hábitat natural donde se desarrolla cada grupo. De hecho, el intervalo de temperatura que define a cada categoría varía de un grupo de microorganismos a otro.<sup>16</sup> Al presente, el límite máximo de temperatura que define a los diferentes grupos de microorganismos termófilicos se muestra en la tabla 3.3.

Tabla 3.3 Límites máximos de temperatura.<sup>16</sup>

• protozoarios termofilicos	56°C
• algas termofilicas	55 - 60°C
• hongos termofilicos	60 - 62°C
• cianobacterias termofilicas	70 - 74°C
• bacterias fototróficas termofilicas	60 - 62°C
• eubacterias organotróficas termofilicas	90°C
• arqueobacterias (hipertermofilicas)	113°C

Por otro lado, la temperatura desempeña un rol fundamental en el funcionamiento de ecosistemas al regular o afectar otros factores abióticos del ecosistema como son: la solubilidad de nutrientes, solubilidad de gases, el estado físico de nutrientes, el grado de toxicidad de xenobióticos y propiedades fisicoquímicas del medio acuoso como: pH, potencial redox, solubilidad de gases, densidad, el estado físico y la viscosidad del sustrato.

De hecho, la viscosidad del agua desempeña un rol importante en determinar la forma de peces y larvas. Todas estas interacciones afectan a su vez la distribución, composición (diversidad) y el grado de actividad metabólica de los seres vivos que integran un ecosistema.

### • Efecto de la Temperatura en la Densidad y la Estratificación Termal.

Uno de los efectos del calor que acompaña a la radiación solar sobre las propiedades fisicoquímicas del sustrato (agua), es la estratificación vertical de cuerpos de agua, por diferencias en densidad y temperatura. La luz solar calienta las aguas cercanas a la superficie, generando una capa de agua tibia y menos densa sobre una capa de agua más fría y densa. Según la radiación solar penetra en un cuerpo de agua, su absorción es casi exponencial (Figura 3.6), razón por la cual sería de esperar que la distribución de calor a lo largo de la columna exhibiera un patrón similar.

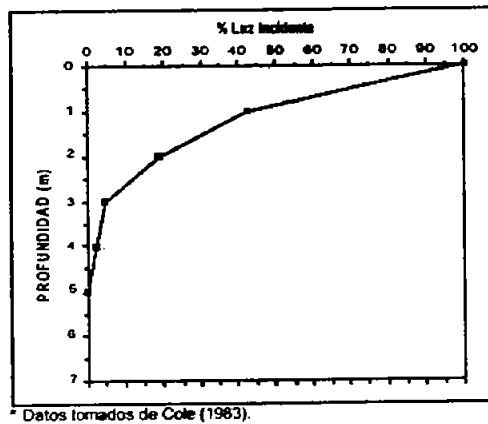


Figura 3.6 Perfil de absorción de luz incidente en función de la profundidad.<sup>17</sup>

Sin embargo, la agitación de las aguas en la superficie por un efecto de convección (provocado por evaporación nocturna y enfriamiento de la superficie del cuerpo de agua) y la acción del viento, generan un perfil vertical de temperaturas diferente al de la penetración de la luz (Figura 3.7). En consecuencia, el cuerpo de agua se estratifica en tres zonas o capas de agua: el epilimnio, la capa de agua más superficial, la de menor densidad y mayor temperatura; el hipolimnio, la zona más profunda, más densa y la de menor temperatura y finalmente el metalimnio, zona intermedia entre el epilimnio y el hipolimnio, con una densidad también intermedia. Los límites o fronteras de estas zonas son en muchas ocasiones difíciles de detectar. Las zonas son dinámicas presentándose variaciones en su tamaño (grosor), que obedecen a fluctuaciones estacionales o a cambios atmosféricos marcados (lluvias torrenciales, tormentas).

En adición a las tres zonas mencionadas, se ha identificado otra zona importante dentro de cuerpos de agua estratificados termalmente. Dicha zona se conoce con el nombre de **termoclino** (Figura 3.8). Los termoclinos se definen como regiones que presentan la inflexión mayor en la gráfica de temperatura versus profundidad. En otras palabras, el termoclino es la región donde la temperatura presenta cambios rápidos en función de la profundidad. Se han identificado dos tipos de termoclinos: **termoclino temporero o diario** y **termoclino estacional o parental**. El termoclino parental es el más profundo y siempre se localiza dentro del metalimnio. Esto ha llevado a que en muchas ocasiones ambos términos se intercambien, ya que ambas zonas se localizan en una misma región en cuerpos de agua estratificados. Los termoclinos temporeros se ubican más cerca de la superficie y pueden localizarse en el metalimnio o en el epilimnio. Este tipo de termoclino se origina por cambios diurnos en la radiación solar.<sup>17</sup>

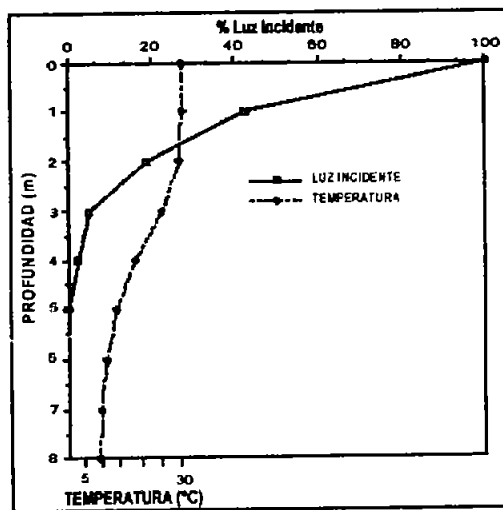


Figura 3.7 Patrón de absorción de luz incidente y perfil vertical de temperatura.<sup>17</sup>

En cuerpos de agua dulce lénticos, ubicados en la zona tropical, se puede producir una estratificación termal estable (duradera) aún en ambientes que presentan una diferencia en temperatura de 1 y 3°C, entre la superficie del agua y el fondo. Aún cuando los efectos

de la radiación solar en las corrientes y estuarios (cuerpos lóaticos) son similares a los que se observan en lagos, pozos, charcas (cuerpos lénticos), los primeros no presentan una estratificación termal significativa.

La estructura de la columna de agua con base a diferencias en temperatura es un reflejo de las diferencias en densidad del agua. La capa de agua más cálida, y de menor densidad flota en la superficie (epilimnio); las aguas de menor temperatura se asientan en el fondo (hipolimnio) y hay una zona de cambios rápidos en densidad que se localiza en la columna (metalimnio).<sup>17</sup>

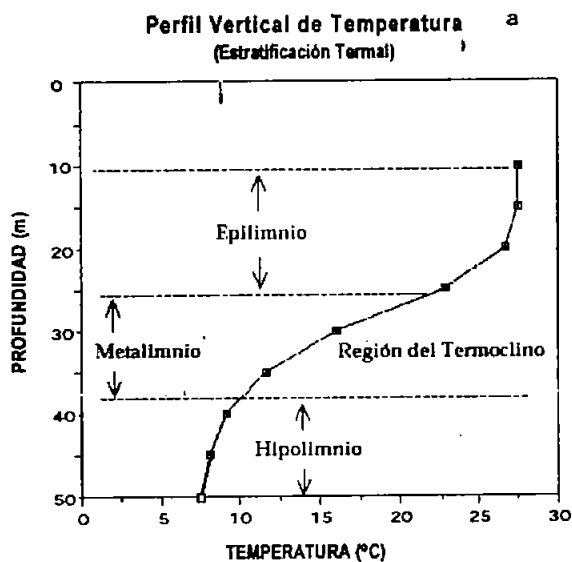


Figura 3.8 Patrón de estratificación termal de cuerpos de agua dulce.<sup>17</sup>

### • Patrones de Mezcla y Clasificación de Lagos.

En ambientes templados se observan diferentes patrones de mezcla de los cuerpos de agua estratificados. La identificación de estos patrones de mezcla ha permitido, a su vez, generar un sistema de clasificación de lagos:<sup>17</sup>

**Lagos amícticos**, lagos donde el agua nunca circula. Estos son lagos cubiertos permanentemente por el hielo, estando así protegidos de los efectos de agitación del viento y de otros fenómenos meteorológicos.

**Lagos monomícticos**, lagos que nunca están cubiertos completamente de hielo. Estos presentan un solo período regular de circulación o mezcla.

**Lagos dimícticos**, lagos que presentan una cubierta de hielo durante el invierno y que se mezclan dos veces al año; en otoño, antes de que el hielo forme una cubierta y en primavera, luego del deshielo.

**Lagos polimícticos**, lagos que presentan muchos períodos de mezcla o una circulación continúa durante todo el año. Los períodos de mezcla son promovidos mayormente por fluctuaciones diurnas en temperatura, y no necesariamente por cambios estacionales.

**Lagos meromícticos**, lagos que circulan de tiempo en tiempo, pero de forma incompleta. La estrata del fondo (hipolimnio) permanece sin movimiento y anóxica.

En ambientes tropicales lénticos, donde no se observan cambios climáticos marcados, la temperatura permanece más o menos constante durante el año, desarrollándose una estratificación estable. Los períodos de circulación en estos lagos son poco frecuentes y de corta duración. Estos se conocen como *lagos oligomícticos*.

Los períodos de mezcla o circulación del cuerpo de agua alteran el perfil de temperatura, densidad, oxigenación, potencial redox, pH, la solubilidad y disponibilidad de nutrientes en la columna de agua, así como también afectan la distribución y actividad metabólica de los organismos que habitan en las diferentes estratas de agua.<sup>18</sup>

**• Efecto interactivo de la Temperatura y otros factores abióticos sobre componentes bióticos y abióticos.**

Los cambios en temperatura afectan varias propiedades del agua incluyendo: la densidad, la viscosidad, la capacidad del agua para retener gases en solución, la tensión superficial, el pH y la solubilidad de moléculas orgánicas e inorgánicas que se generan en el ambiente acuático o que acceden a este desde la eco esfera o la litosfera. Los cambios que se generan en todos estos factores como resultado de cambios en temperatura generan a su vez cambios en el metabolismo, nutrición, razón de crecimiento, y en el tamaño y forma de los organismos que habitan en ambientes acuáticos.<sup>18</sup>

La diferencia en densidad entre aguas cálidas y frías es la causa principal para la resistencia a la mezcla de masas de agua en ambientes acuáticos naturales, dando paso a la estratificación vertical de la columna de agua. La razón de cambio en la densidad de agua no varía en forma constante con cambios en la temperatura; la densidad disminuye más rápidamente por grado de temperatura a altas temperaturas que a temperaturas bajas (Figura 3.9). Por ejemplo, para un cambio en temperatura de 10 a 20 °C se registra un cambio en densidad de 0.0013 g/cm., mientras que un cambio en temperatura de igual magnitud de 25 a 35°C, genera un cambio en densidad del agua de aproximadamente 0.0031 g/cm. (casi 2.5 veces más que el cambio anterior). Esto explica por qué una diferencia en temperatura de pocos grados genera termoclinos estables en las zonas tropicales, pero no en las zonas templadas. La estratificación de la columna de agua en masas o zonas con diferente densidad y temperatura afectará la distribución de gases (Ej. oxígeno) y esto a su vez afectará la distribución de organismos heterotróficos a base de diferencias en las estrategia catabólica que empleen (respiración aerobia, respiración anaerobia o fermentación).<sup>18</sup>

A una presión parcial (p) constante, la solubilidad de un gas disminuye según aumenta la temperatura y viceversa. Dicha relación inversa permite generalizar que las aguas frías tienden a contener una mayor concentración de gases en solución que aguas cálidas (en el caso de oxígeno y bióxido de carbono esa tendencia puede ser afectada por la

actividad fotosintética y por el proceso de respiración aeróbica). La Figura 3.10 presenta la solubilidad de varios gases presentes en agua en función de la temperatura.

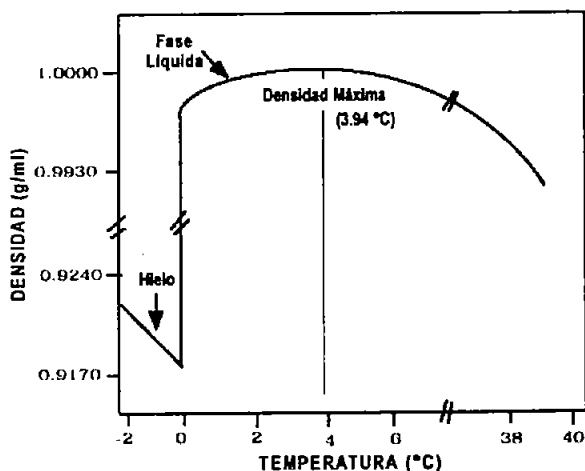
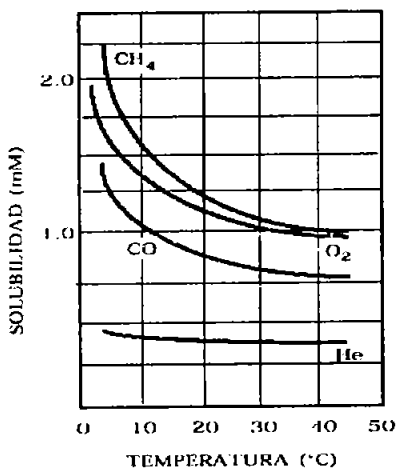


Figura 3.9 Efecto de la temperatura en la densidad de agua pura.<sup>18</sup>

**Efecto de temperatura en la solubilidad de varios gases comunes en agua.**



La solubilidad de los gases está expresada en unidades de mili moles por litro a una presión constante de 1 atmósfera.<sup>19</sup>

Figura 3.10 Efecto de la temperatura en la solubilidad de varios gases comunes en agua



La reducción en la solubilidad de oxígeno, conforme aumenta la temperatura, es uno de los resultados de la contaminación térmica de cuerpos de agua naturales. Dicho efecto es más conspicuo en lagos profundos. Dada la diferencia en densidad entre aguas cálidas y aguas frías, la masa de agua caliente se localiza sobre las masas de aguas "frías" (menos calientes) impidiendo así la difusión del oxígeno a las capas profundas.<sup>19</sup>

Esta situación afecta el metabolismo de las especies aeróbicas en el cuerpo de agua.

Tabla 3.4 Efecto de la temperatura en la viscosidad del agua.<sup>18, 19</sup>

Temperatura (C°)	Viscosidad (Kg/m·s) x 10 <sup>-3</sup>
0	1.79
5	1.52
10	1.31
15	1.14
20	1.00
25	0.89
30	0.80
35	0.72
40	0.65
60	0.47
80	0.36

En la tabla 3.4 la viscosidad disminuye conforme aumenta la temperatura. El aumento en temperatura genera, a su vez, un incremento en la energía cinética promedio de las moléculas de agua, lo cual permite a las moléculas superar con facilidad las fuerzas de atracción que operan entre ellas.

La viscosidad, una medida de la resistencia de un líquido a fluir, reduce la razón de sedimentación del plancton y de microorganismos adheridos a un sustrato ("periphyton"). Al mismo tiempo, la viscosidad aumenta la resistencia al desplazamiento de organismos móviles a través del medio acuoso. La viscosidad del agua es mayor a temperaturas bajas (Tabla 3.4), razón por la cual, plantas y animales que flotan en aguas templadas tienen aparentemente una menor necesidad de desarrollar extensiones anatómicas que les ayuden a flotar, en comparación con los organismos que flotan en aguas cálidas.<sup>19</sup>

Aparentemente la alta viscosidad de las aguas templadas beneficia a los organismos que flotan reduciendo la cantidad de energía que necesitan invertir para mantenerse a flote.

Este argumento está respaldado por las siguientes observaciones:

- Los organismos que flotan en aguas templadas tienden a presentar un tamaño mayor que sus contrapartes en aguas cálidas.
- Las poblaciones de los trópicos tienden a su vez a presentar una mayor diversidad, un menor tamaño y un ornamento o plumaje desarrollado. Dicho ornamento está ausente en las especies de aguas templadas.

La reducción en tamaño y el ornamento altamente desarrollado estarían ayudando a los especies de aguas cálidas (zonas tropicales) a aumentar su relación de área superficial a masa corporal o volumen. Un ejemplo gráfico del efecto de las diferencias en temperatura y viscosidad en el tamaño y desarrollo de ornamento lo proveen copépedos.<sup>19</sup>

La viscosidad del agua también es afectada por la concentración de sales en el medio acuoso

La tensión superficial se define como la cantidad de energía necesaria para aumentar el área superficial de un líquido. En otras palabras, es una medida de la dificultad para penetrar la superficie de un líquido. El agua presenta una tensión superficial relativamente alta, debido a la fortaleza combinada de sus puentes de hidrógeno. La tensión superficial del agua disminuye según aumenta la temperatura (Tabla 3.5). Dicha relación puede afectar la habilidad de varios organismos, para utilizar la superficie de ambientes acuáticos como hábitat. Algunos insectos, entre ellos uno cuyo nombre común es *zapatero* ("water strider"), pueden caminar sobre la superficie de aguas en reposo, aún cuando su densidad es mayor a la del agua. Estos insectos logran caminar sobre el agua utilizando unos apéndices o pelos finos en la parte inferior de sus patas. Dichos apéndices le permiten al insecto distribuir su

peso sobre un área superficial más extensa, logrando así que su cuerpo sea sostenido por la tensión superficial del agua. Por otro lado, la zona superficial de ambientes acuáticos resulta ser un hábitat muy importante para microorganismos, en la medida en que los niveles de nutrientes pueden ser más altos en ese micro ambiente, que en el resto de la columna de agua. El desarrollo de biopelículas ("biofilms") extensas (agregados de micro colonias) en la superficie del agua, pudiera ser afectado por una disminución marcada en la tensión superficial del agua.<sup>19</sup>

Material particulado que flota en la superficie podría sumergirse, perdiéndose así un sustrato para la adhesión de microorganismos o podría representar la pérdida de una fuente directa de nutrientes.

La temperatura también afecta el pH del agua, al afectar la razón de disociación de moléculas que se comportan como ácidos o bases.

Por último, la temperatura afecta también la solubilidad de sustratos que se generan en el ambiente acuático y de sustratos de origen exógeno. En este último grupo se incluyen moléculas que vía precipitación son arrastradas al cuerpo de agua, así como escorrentías y descargas de origen antropológico. Dentro de los sustratos exógenos se encuentran: fertilizantes, materia fecal y una amplia gama de xenobióticos (Ej. combustibles fósiles y sus derivados refinados, pesticidas, herbicidas, preservativos de madera, tintes, ácidos inorgánicos y otros). La entrada de estos sustratos a un cuerpo de agua puede alterar dramáticamente el equilibrio preexistente entre componentes bióticos y abióticos.

El impacto de dichas moléculas sobre un ambiente acuático está determinado por factores tales como el carácter tóxico del contaminante, tiempo de residencia, susceptibilidad al ataque microbiano, concentración, velocidad del flujo de entrada y su solubilidad en agua.

Tabla 3.5 Efecto de la temperatura en la tensión superficial del agua.<sup>19</sup>**Efecto de la temperatura en la tensión superficial del agua.**

Temperatura (°C)	Tensión Superficial (g) (J/m <sup>2</sup> )
20	7.29 x 10 <sup>-2</sup>
40	6.99 x 10 <sup>-2</sup>
60	6.70 x 10 <sup>-2</sup>
80	6.40 x 10 <sup>-2</sup>

\* Datos tomados de Brown y LeMay (1987).

**• Efecto interactivo Temperatura e Intensidad Lumínica sobre Actividad fotosintética.**

La velocidad de la actividad fotosintética aumenta conforme aumenta la intensidad lumínica, hasta alcanzar una intensidad de saturación. A partir de intensidad de saturación, la actividad fotosintética se mantendrá constante (si la temperatura se mantiene constante), aún cuando la intensidad lumínica aumente (Figura 3.12). No obstante, a altas intensidades de luz, un aumento en temperatura provoca una reducción en la actividad fotosintética (Figura 3.13). Las temperaturas altas afectan las reacciones químicas del proceso fotosintético que no dependen de la luz (reacciones de oscuridad).

El incremento en temperatura afectará específicamente la estabilidad y actividad de enzimas que intervienen en dicha fase del proceso fotosintético. Este efecto interactivo de la temperatura y la intensidad de luz, junto con la composición de pigmentos que exhibe cada fotótrofo, la capacidad para vivir en presencia de oxígeno y la distribución espectral de la luz en el hábitat acuático, son factores que determinan la ubicación de los fotótrofos en la columna de agua

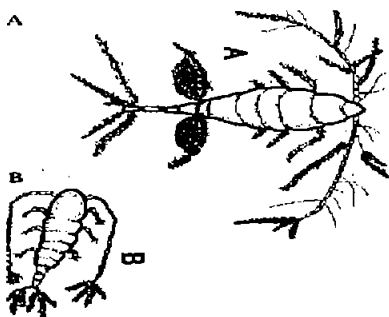


Figura 3.11 (A) Copépodo típico de aguas calidas: género *Oithona*, (B) Copépodo típico de aguas templadas: género *Calanus*.<sup>18</sup>

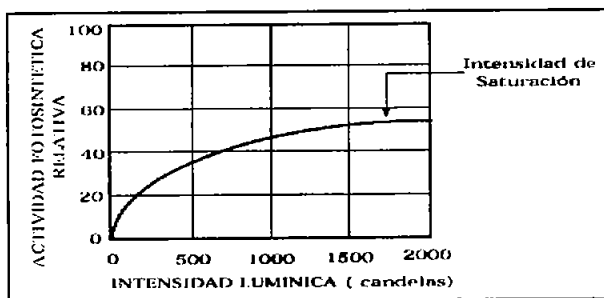


Figura 3.12 Efecto de la intensidad lumínica en la actividad fotosintética.<sup>20</sup>

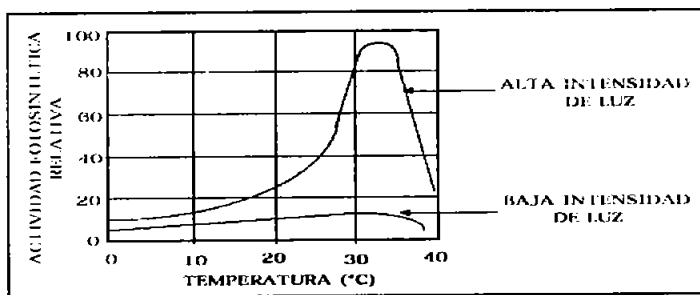


Figura 3.13 Efecto de la temperatura sobre actividad fotosintética a diferentes intensidades de luz.<sup>20</sup>

- Efecto de la Temperatura sobre la cantidad de oxígeno disuelto.

La cantidad de oxígeno presente en el agua es afectada por la temperatura, la salinidad y la presión atmosférica. La concentración de oxígeno en agua es inversamente proporcional a la temperatura (Figura 3.14). Si se eleva la temperatura del agua a su punto de ebullición se genera una solución libre de oxígeno. Se puede generalizar que a cualquier presión atmosférica, aguas frías saturadas con oxígeno contienen una mayor cantidad de oxígeno disuelto que aguas tibias o calientes. No obstante, la relación inversa entre temperatura y la concentración de oxígeno disuelto puede verse alterada en ambientes naturales por efecto de los procesos de fotosíntesis y respiración.<sup>18</sup>

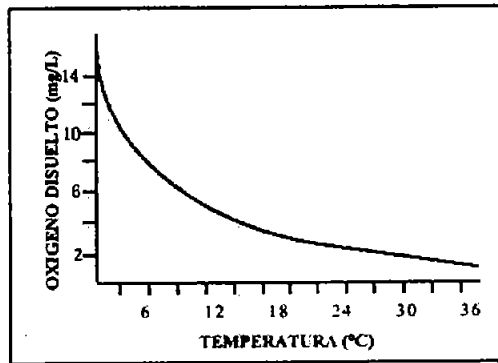


Figura 3.14 Efecto de la temperatura sobre las concentraciones de oxígeno disuelto en agua.<sup>18</sup>  
Los valores indicados son representativos de agua pura a una presión de 760mm Hg.

Los cambios estacionales generan alteraciones significativas en la temperatura de los cuerpos de agua. Dichas alteraciones en temperatura tendrán, a su vez, un efecto sobre los niveles de oxígeno disuelto. Aumentos en la temperatura del agua traen como consecuencia una disminución en los niveles de oxígeno disuelto. Algunos incidentes de mortandad masiva de peces en cuerpos de agua interiores, durante la época de verano, se pueden relacionar con una reducción en los niveles de oxígeno. De forma inversa, en cuerpos de agua no-contaminados se registran aumentos en los niveles de oxígeno disuelto durante el periodo de invierno.

### • Solubilidad del oxígeno en función de la Temperatura y la Salinidad.

La presencia de algunos minerales en una solución, reducen la solubilidad de los gases. Las sales disueltas en agua reducen los espacios intermoleculares disponibles para la disolución del oxígeno. La Tabla 3.6 ilustra el efecto combinado de la temperatura y la salinidad sobre el oxígeno disuelto. El efecto de la exclusión de oxígeno en función de la concentración de sales disueltas es mínimo excepto en ambientes hipersalinos, tales como los salitrales.<sup>21</sup>

La solubilidad de un gas está determinada por su presión parcial (p) [Ley de Henry]. A su vez, la presión parcial de un gas es afectada por cambios en altitud (cambios en presión atmosférica). Se observa que en cuerpos de agua no contaminados la concentración de oxígeno disminuye con la altitud. Es conveniente aclarar que dicha relación puede ser alterada por los procesos de fotosíntesis y respiración.

Tabla 3.6 Efecto de la temperatura y la salinidad sobre el oxígeno disuelto.<sup>21</sup>

Temperatura t <sub>a</sub> °C	Solubilidad De Oxígeno (mg/L)					
	Salinidad (‰)					
	0.030	9.055	18.030	27.105	36.130	45.155
0.0	14.621	13.728	12.888	12.097	11.355	10.657
5.0	12.770	12.024	11.320	10.656	10.031	9.441
10.0	11.288	10.656	10.058	9.493	8.959	8.454
15.0	10.084	9.541	9.027	8.540	8.079	7.642
20.0	9.092	8.621	8.174	7.749	7.346	6.964
25.0	8.263	7.850	7.457	7.083	6.728	6.390
30.0	7.559	7.194	6.845	6.513	6.100	5.806
35.0	6.950	6.624	6.314	6.017	5.734	5.464
40.0	6.412	6.121	5.842	5.576	5.321	5.078
45.0	5.927	5.665	5.414	5.174	4.944	4.724
50.0	5.477	5.242	5.016	4.799	4.591	4.392

\* Datos tomados del Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater (APHA, 1992); la salinidad promedio del agua de mar es de 35‰.

### • Distribución vertical de oxígeno en cuerpos de agua estratificados.

Se reconocen cuatro patrones de distribución de oxígeno en cuerpos de agua que presentan una estratificación termal (Figura 3.15). En cuerpos de agua oligotróficos (presentan una baja actividad fotosintética y por ende, una baja productividad), la distribución del oxígeno a lo largo de la columna de agua varía en función de la temperatura. Este patrón se conoce como distribución ortogrado (Figura 3.15 (2a)). No se observan cambios apreciables en la concentración de oxígeno disuelto a lo largo del perfil de profundidad.<sup>18</sup>

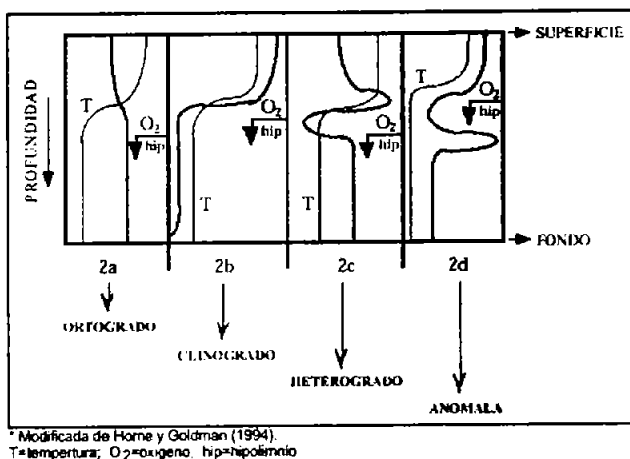


Figura 3.15 Distribución de oxígeno en cuerpos de agua.<sup>18</sup>

La curva (Figura 3.15 (2b)) se caracteriza por un contenido relativamente mayor de oxígeno cerca de la superficie, donde se desarrolla la actividad fotosintética. Este patrón de distribución vertical de oxígeno se observa en cuerpos de agua estratificados, con una alta productividad. Se produce una reducción significativa de oxígeno en el hipolimnio, como resultado de la descomposición aeróbica de la materia orgánica generada por los fototrofos.

La curva **heterogrado** (Figura 3.15 (2c)) exhibe una pendiente irregular a lo largo del perfil de profundidad. Se puede producir una distribución heterogrado negativa



(disminución  $O_2$  disuelto) como resultado de la acumulación de organismos heterotróficos que lleve a que la respiración domine sobre la actividad fotosintética. De igual forma se podría producir una distribución heterogrado positiva como resultado de la acumulación de organismos fototróficos.<sup>18</sup>

Se pueden producir patrones anómalos en la distribución vertical del oxígeno disuelto como resultado del asentamiento de aguas superficiales frías, ricas en oxígeno (Figura 3.15 (2d)). El mismo fenómeno puede también producirse por la estratificación a profundidades intermedias de afluentes que tienen una concentración de oxígeno diferente.

En ausencia de períodos de mezcla estacionales de la columna de agua y de perturbaciones atmosféricas que generen vientos fuertes o una precipitación intensa, los cuerpos de agua lénticos en ambientes tropicales tienden a mantener su estratificación termal. Bajo esas condiciones, dichos cuerpos de agua presentan un déficit de oxígeno hipolimnético perenne. En consecuencia, en el hipolimnio prevalecen condiciones anóxicas y altas concentraciones de metano ( $CH_4$ ) o sulfuro de hidrógeno ( $H_2S$ ).

### 3.4 MORTANDAD DE PECES

Cuando la mortandad de peces en una laguna se produce en períodos cálidos por lo general se relaciona con efectos indirectos derivados de la contaminación orgánica del agua. Esta situación es particularmente delicada ya que de confirmarse niveles de contaminación orgánica en períodos estivales, existe la posibilidad de que se esté produciendo o se vaya a producir un pico elevado de acción bacteriana. Puede ocurrir que parte de estas bacterias sean peligrosas para aguas de uso recreativo (coliformes) por las enfermedades que producen.

Los peces muertos que quedan en el agua (solo una parte flota o es arrojado a la costa) al descomponerse agravan la situación. Estas aguas deben tratarse en forma inmediata, y su evolución debe seguirse con análisis químicos periódicos cada 30 o 60 días según se observe la evolución.<sup>22</sup>

Si la mortandad de peces se produce en invierno, y los peces son autóctonos, una de las primeras causas a estudiar es la de contaminación directa o indirecta con químicos.

Las situaciones de estrés ambiental (contaminantes, golpes térmicos, anoxia, etc.) pueden resultar en la aparición de enfermedades oportunistas (hongos, bacterias, parásitos) que luego son las que terminan matando a los peces.

### 3.5 EL CORTE DE LAS ALGAS INVASORAS

El corte es la única forma correcta de remover mecánicamente la vegetación acuática. Arrancar las plantas a mano o por medio de rastras, cadenas y otros aparejos es un método primitivo que se ha dejado de usar hace muchos años en la gestión de los lagos y las lagunas por sus nefastos efectos sobre el medio ambiente.

La remoción del fondo, el enturbiamiento y la destrucción de comunidades indispensables para el correcto funcionamiento de los lagos, las lagunas y los estanques, son algunas de las consecuencias de estas prácticas. El corte se realiza en nuestro país con dos tipos de maquinarias, cortadoras portátiles o embarcaciones de corte. Ambas funcionan con cuchillas móviles que trabajan sumergidas. Las embarcaciones de corte son utilizadas para el control de espejos de agua medianos a grandes, su uso se justifica cuando se deben controlar bosques de algas con una superficie de 6 a 8 hectáreas.<sup>3</sup>

Las cortadoras portátiles se montan en botes de pequeño calado, son ideales para el control de bosque de algas o algas en manchones dispersos. Por lo general se las usa en bosques de algas de hasta 8 hectáreas. Pueden cortar desde 0.10 a 2 metros de profundidad y la operación de armado y de desmonte del equipo puede demorar unos 20 minutos.

La eficiencia de los equipos está muy condicionada por el tipo de laguna y de algas, su densidad y la dispersión de los bosques de algas, además de la facilidad o dificultad para retirar el material cortado, entre otras situaciones particulares.

### **3.6 CONTROL QUÍMICO DE ALGAS INVASORAS**

El control químico de las algas y las plantas invasoras es muy delicado y se acepta que debe ser usado esporádicamente y solo por especialistas con experiencia real en la materia.<sup>3</sup>

Algunos de los inconvenientes que plantea son los siguientes:

- al matar a las plantas en el agua y no retirarlas se provoca un choque ambiental por la materia orgánica en descomposición que entre otros efectos nocivos comienza a consumir oxígeno para ser degradada
- muchos herbicidas matan también al fitoplancton y a otras plantas beneficiosas desbaratando la cadena alimenticia.
- se incorporan residuos y contaminantes químicos al agua de permanencia prolongada
- la siega química de las plantas acuáticas tiene un efecto temporal en muchos casos
- la falta de equipos apropiados y experiencia para las aplicaciones suele generar desperdicios y fracaso.

#### 4 UBICACIÓN DEL LAGO DE GUADALUPE

La Cuenca del Lago de Guadalupe se ubica en el Estado de México y abarca los municipios de Cuautitlán Izcalli, Nicolás Romero, Atizapán de Zaragoza, Isidro Fabela y Jilotzingo. La Presa Guadalupe se construyó con el propósito de servir como vaso regulador y evitar inundaciones aguas abajo, utilizando el cuerpo de agua como fuente de irrigación agrícola. El embalse es alimentado por los ríos San Pedro, San Ildefonso y Xinté y por el arroyo El Muerto.<sup>2</sup>

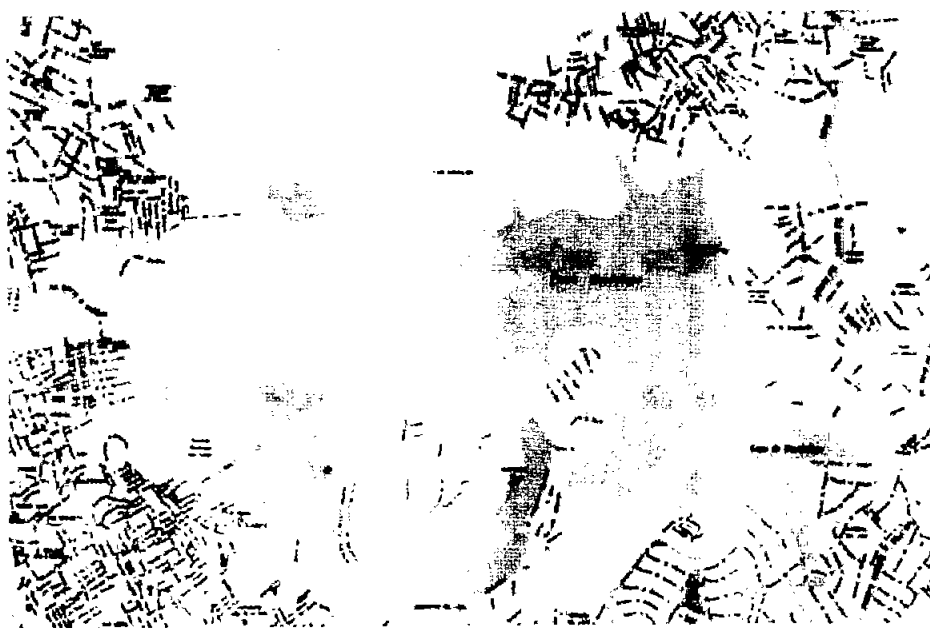


Figura 4.1 Ubicación del Lago de Guadalupe.<sup>23</sup>

Es un ecosistema natural y el principal sistema hidrológico de la zona, cuenta con una extensión de 5,000 hectáreas aproximadamente donde arriban patos del sur de Estados Unidos, y donde se pueden encontrar patos canadienses, garzas, gallaretas, entre otras

especies y es considerado como una reserva ecológica, cuenta con servicios para días de campo, una amplia área verde.<sup>2</sup>

La profundidad máxima del Lago de Guadalupe, varía entre 30 y 40 metros, siendo el espejo de agua alrededor de 450 hectáreas y la rivera de aproximadamente 50 hectáreas, con una capacidad de almacenamiento de 57 M m<sup>3</sup>.<sup>28</sup>

Debido al aporte de nutrientes, producto de las descargas de aguas residuales sin tratamiento, se originó la infestación de la presa con lirio acuático.

Ante la situación que presentaba el embalse en diciembre de 1996, el Gobierno del Estado de México; a través de la Secretaría de Ecología, implementó el Programa para el Control de Malezas Acuáticas en el Lago de Guadalupe.

Las actividades de saneamiento iniciaron en invierno de 1996 ya que el embalse presentaba las condiciones ideales para combatir el crecimiento de las malezas acuáticas, tales como:

- Maleza marchita.
- Temperatura ambiente promedio de 14 °C.
- Baja superficie de fotosíntesis.
- Baja producción de lirio.
- Vientos dominantes en dirección hacia la cortina de la presa.

De diciembre de 1996 a octubre de 1997, se limpió de malezas acuáticas el 100% de la superficie del lago, aproximadamente 450 hectáreas, como resultado de las siguientes acciones:

Limpieza manual de 55 hectáreas de lirio en lugares de difícil acceso para la maquinaria. Se aprovechó la disminución del nivel de agua durante el periodo de estiaje.

Extracción mecánica de 40 mil toneladas de malezas acuáticas, lodo y basura, evitando la acumulación de material de azolve, la aportación de nutrientes y disminuyendo el riesgo de reproducción de lirio acuático.



Figura 4.2 Extracción mecánica de maleza acuática, lodo y basura.<sup>2</sup>

Limpieza mecánica de 52 hectáreas de lirio y basura de la ribera sur del embalse utilizando trascabos y tractores. Transporte de 6,300 metros cúbicos de malezas y desechos a un sitio de disposición final.

En octubre de 1997 se realizó la transferencia del programa de mantenimiento del embalse al ayuntamiento de Cuautitlán Izcalli, con la finalidad de que se realicen actividades de vigilancia y limpieza permanente para evitar la presencia y reinfestación con lirio acuático. Actualmente el embalse se encuentra 100% libre de malezas acuáticas y se continúan realizando trabajos de mantenimiento en el embalse.

## 5. PUNTOS DE MUESTREO Y FRECUENCIA DE MUESTREO

Con el fin de realizar el análisis fisicoquímico de las aguas de un cuerpo de receptor deben de tomarse muestras las cuales pueden ser de dos tipos; las que a continuación se mencionan:

- **Muestra simple:** La que se tome en uno o varios puntos, de manera continua, en día normal de operación que refleje cuantitativa y cualitativamente el o los procesos más representativos de las actividades que generan la descarga, durante el tiempo necesario para completar cuando menos un volumen suficiente para que se lleven a cabo los análisis necesarios para conocer su composición, aforando el caudal descargado en el sitio y en el momento del muestreo.<sup>24</sup>
- **Muestra compuesta:** La que resulta de mezclar el número de muestras simples. Para formar la muestra compuesta, el volumen de cada una de las muestras simples deberá ser igual.<sup>24</sup>

Los parámetros físicos, químicos y microbiológicos se suelen determinar mensualmente. Para tomar las muestras y hacer las determinaciones analíticas conviene seguir las indicaciones del *Standard Methods for Examination of Water and Wastewater*. En estas recomendaciones se dice que hay que hacer la recolección de muestras después de haber lavado el envase varias veces. Los recipientes para las muestras deben ser de materiales inertes al contenido de las aguas residuales. Se recomiendan los recipientes de polietileno o vidrio. Las tapas deben proporcionar un cierre hermético en los recipientes y se recomienda que sean de material afín al del recipiente. Se recomienda que los recipientes tengan una capacidad mínima de 2 dm<sup>3</sup> (litros).

Hay que trasladarlas rápidamente (8 horas en la situación más desfavorable) al laboratorio en el que se vayan a analizar. Se deben tomar las precauciones necesarias para que en cualquier momento sea posible identificar las muestras. Se deben emplear etiquetas

pegadas o colgadas, o numerar los frascos anotándose la información en una hoja de registro. Estas etiquetas deben contener como mínimo la siguiente información: Identificación de la descarga, Número de muestra, Fecha y hora de muestreo, Punto de muestreo, Temperatura de la muestra, Profundidad de muestreo.

Para fines de los análisis de la presente tesis fueron tomadas 5 muestras simples que corresponden a 4 puntos distintos del lago de Guadalupe y una descarga de tipo residual (Arroyo El Muerto), durante tres periodos de muestreo como se señala en la figura 5.1 y en la Tabla 5.1.

Tabla 5.1 Periodos de muestreo.

PUNTO	FRECUENCIA	MUESTREO
1	Mensual	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Marzo</li> <li>• Abril</li> <li>• Mayo *</li> <li>• Junio</li> </ul>
2	Mensual	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Marzo</li> <li>• Abril</li> <li>• Mayo *</li> <li>• Junio</li> </ul>
3	Mensual	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Marzo</li> <li>• Abril</li> <li>• Mayo *</li> <li>• Junio</li> </ul>
4	Mensual	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Abril</li> <li>• Mayo *</li> <li>• Junio</li> </ul>
5	Mensual	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Junio</li> </ul>

\* Periodo de muestreo sólo realizado para DOQ y DBO.





Figura 5.1 Localización de los puntos de muestreo.<sup>23</sup>



Fig. 5.2 Punto de muestreo 1.



Figura 5.3 Punto de muestreo 1.

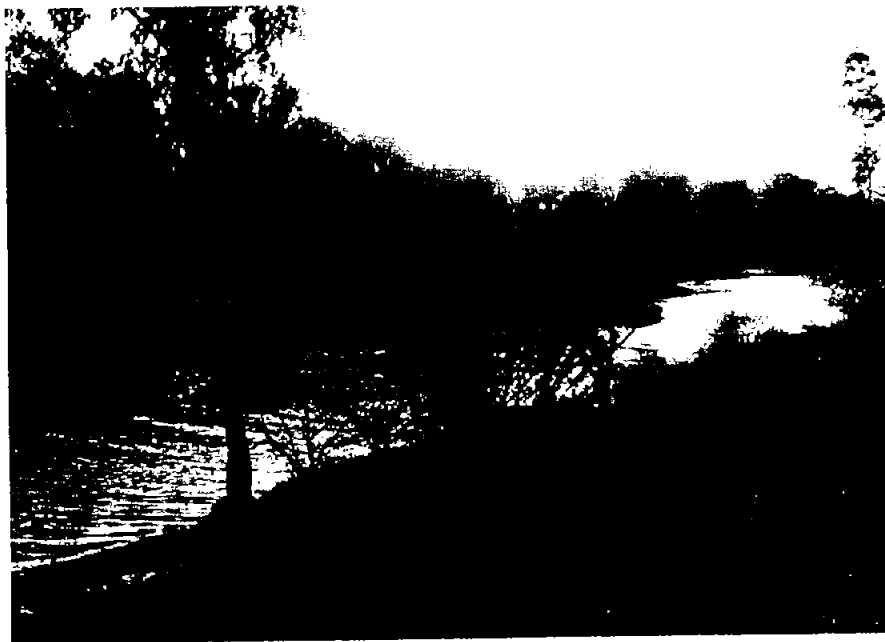


Figura 5.4 Punto de muestreo 1.



Figura 5.5 Punto de muestreo 1.



Figura 5.6 Punto de muestreo 1.



Figura 5.7 Punto de muestreo 2.



Figura 5.8 Punto de muestreo 2

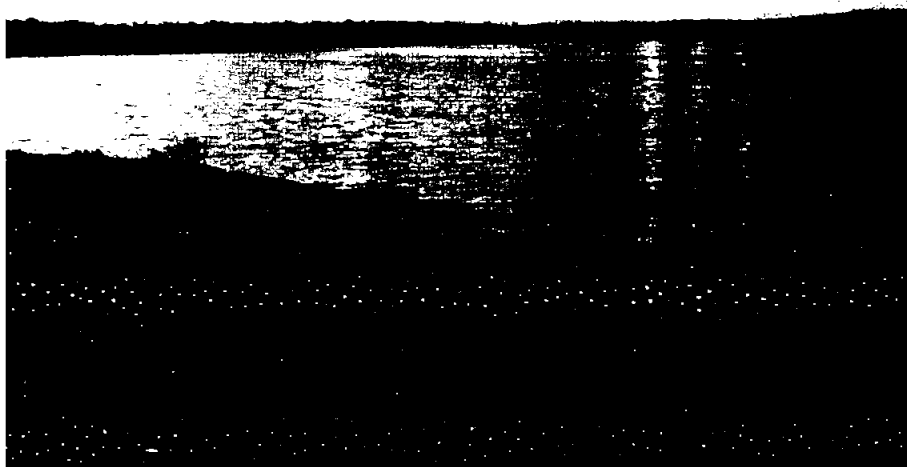


Figura 5.9 Punto de muestreo 2.



Figura 5.10 Punto de muestreo 2.

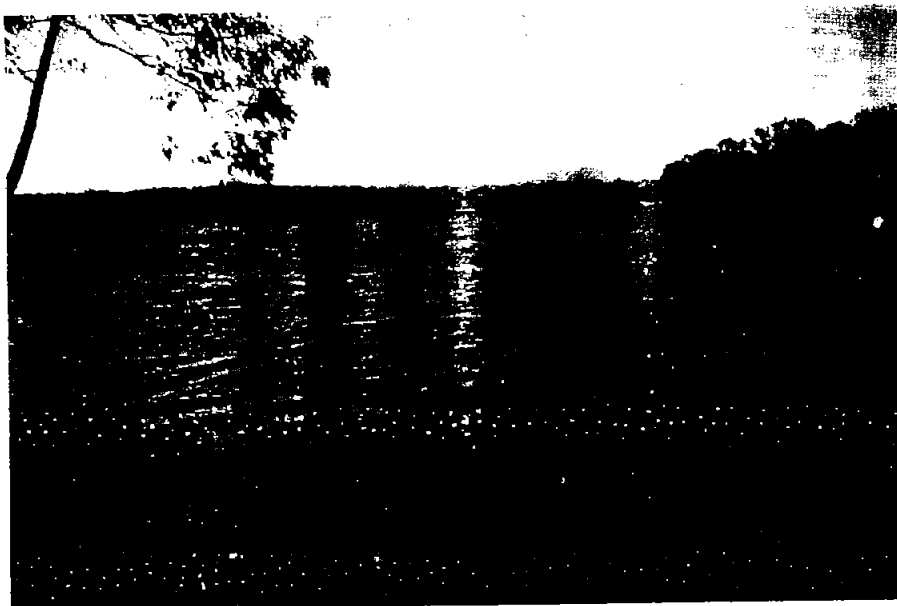


Figura 5.11 Punto de muestreo 2.



Figura 5.12 Punto de muestreo 2.



Figura 5.13 Punto de muestreo 3.



Figura 5.14 Punto de muestreo 3.



Figura 5.15 Punto de muestreo 3.



Figura 5.16 Punto de muestreo 3.



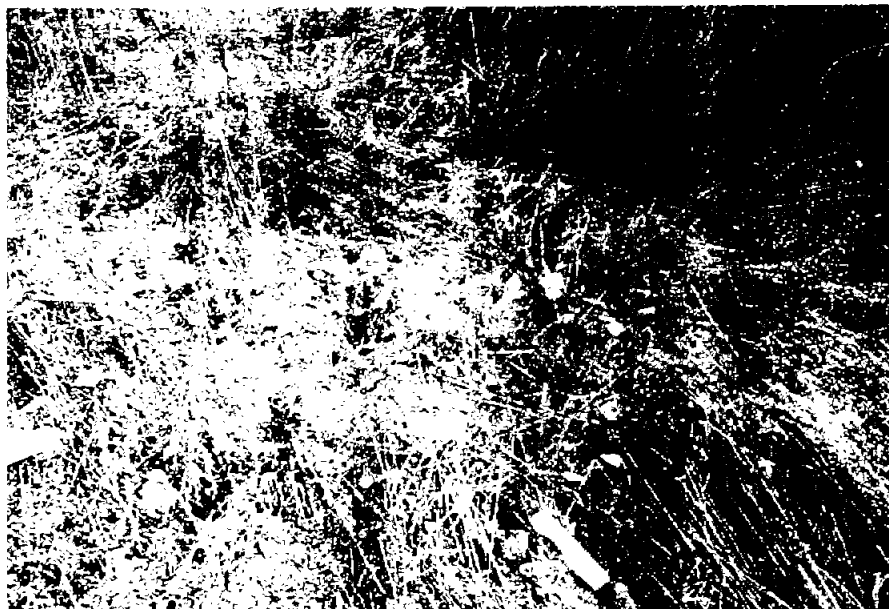


Figura 5.17 Punto de muestreo 3.



Figura 5.18 Punto de muestreo 4.

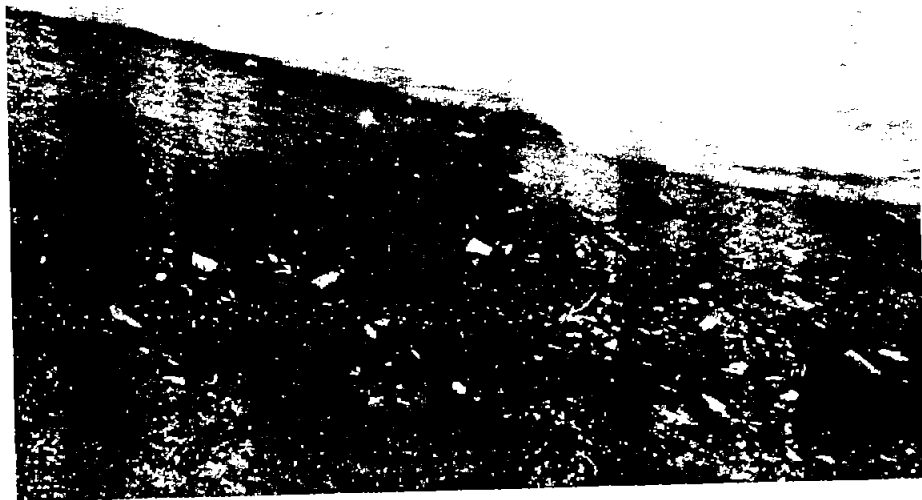


Figura 5.19 Punto de muestreo 4.

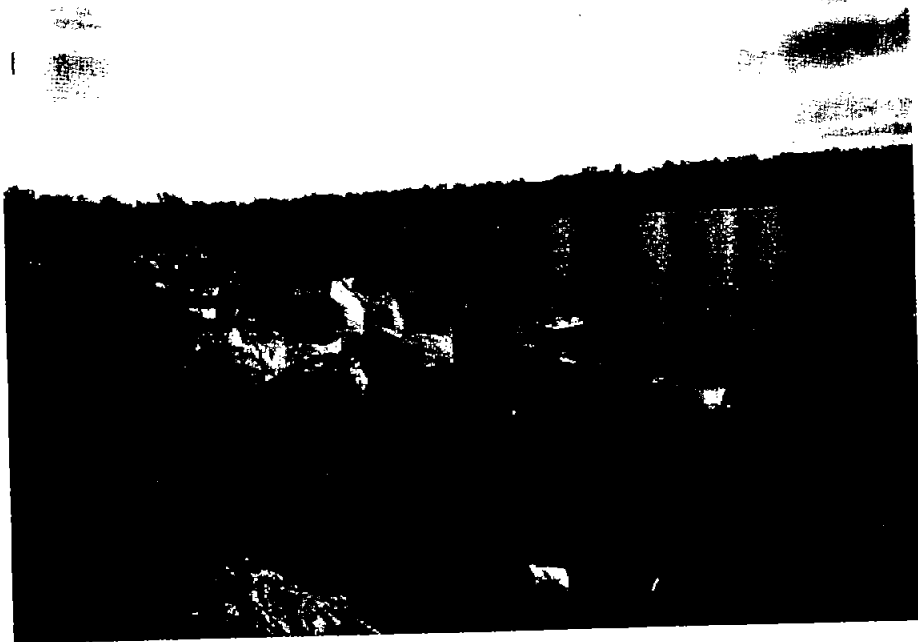


Figura 5.20 Punto de muestreo 4.



Figura 5.21 Punto de muestreo 4.

Las tomas de las muestras se realizaron en su mayor parte en meses de sequía, ya que durante este período es cuando se observa una mayor concentración de contaminantes la cual resulta representativa a diferencia del período de lluvias que es cuando tienen a diluirse, de ahí que se eligiera la época de sequía para la evaluación de la concentración de sus contaminantes. Cabe señalar que con el fin de tener datos más contundentes en los análisis de DQO \* y DBO \*, ya que estos son de vital importancia en el estudio del agua, se tomó un período más de muestreo correspondiente al mes de Mayo. La toma de muestras sólo fue posible realizarla en el extremo este del lago porque es del lado que se tiene más accesibilidad a pie y transporte, por lo contrario en el extremo oeste del lago se tienen 3 inconvenientes principales el primero es que una gran parte del lago se encuentra en su mayoría enmallado, segunda una parte pertenece a una importante zona residencial por lo que el acceso fue negado, y la tercera la cual es importante además de evidente en la figura 5.1 es que no existen medios para llegar vía transporte o a pie. Sólo fue posible tomar dos muestras del punto céntrico este del lago (Punto de muestreo 4) ya que fue necesario que las autoridades correspondientes del lago nos prestaran una lancha para la toma de las mismas.

## 6. ANALISIS Y TÉCNICAS APLICADAS.

### • COLOR VERDADERO Y COLOR APARENTE

El término color aparente engloba no sólo el color debido a las sustancias disueltas, sino también a las materias en suspensión. El color verdadero es el asociado al concepto de color puro, en el que la turbidez no ha sido eliminada, se dice que los procedimientos de filtrado pueden eliminar parte del color real.

El color del agua puede estar relacionado con la presencia de iones metálicos naturales como hierro y manganeso, así como con el humus y tubas, con el plancton, con restos vegetales y residuos industriales. Tal coloración se elimina para adaptar un agua a usos generales e industriales. Las aguas residuales industriales coloreadas suelen requerir la supresión de color antes de su desagüe.<sup>21</sup>

#### ➤ Determinación de color verdadero con el método espectrofotométrico

El color de una muestra se expresa en términos que describen la sensación percibida al observarla. La tonalidad (rojo, verde, amarillo, etc.) se designa como la longitud de onda dominante, el grado de brillantez como luminancias y la saturación (pálido, pastel, etc.) como pureza. Mediante la espectrofotometría, a partir de las características de transmisión de la luz de una muestra, se detectan los valores con los que se determinan el color verdadero.

Se determinan los valores de % de Transmitancia para cada cifra de longitud de onda visible de acuerdo con la Tabla A.1, con un blanco de agua destilada. Ver anexo A

#### ➤ Determinación de color aparente Hellige

El color aparente se valora visualmente mediante la comparación de tonalidad e intensidad de color de la muestra a analizar con un blanco de agua destilada y el disco platino cobalto del aparato Hellige. Visualizar el color de la muestra con el disco de Hellige, si ningún color de dicho disco coincide con el de la muestra entonces se deberá realizar una dilución de la muestra. Las unidades de color aparente son dadas directamente

por el aparato Hellige en unidades de color cuando un color del disco coincide con la de la muestra. Es importante tomar en cuenta las diluciones que se realicen.<sup>21</sup> Ver Anexo B

- **PUREZA**

La pureza del agua es muy importante pues contaminada puede ser un vector de enfermedades. El agua pura es incolora, inodora e insípida. No obstante, en el medio natural el agua dista mucho de ser pura y presenta unas propiedades específicas que afectan a los sentidos. Estas propiedades se denominan propiedades organolépticas y afectan al gusto, al olor, al aspecto y al tacto, distinguiéndose: temperatura, sabor, olor, color y turbidez.<sup>21</sup>

Los parámetros más comúnmente utilizados para establecer la calidad de las aguas son los siguientes: Oxígeno disuelto, pH, Sólidos en suspensión, DBO, Fósforo, Nitritos, Amonio, Amoniaco, Compuestos fenólicos, Hidrocarburos derivados del petróleo, Cloro residual, Zinc total, Cobre soluble.<sup>21</sup>

- **Determinación de pureza**

Se determina la pureza para cada una de las muestras con la obtención del color verdadero al entrar a la gráfica A.1 con los valores de X y Y como se muestra y se explica en el anexo B.

- **pH**

La medida del pH es una de las pruebas más importantes y frecuentes utilizadas en el análisis químico del agua. Prácticamente todas las fases del tratamiento del agua para suministro y residual, como la neutralización ácido – base, suavizado, precipitación, coagulación, desinfección y control de la corrosión, dependen del pH. El pH se utiliza en las determinaciones de alcalinidad y dióxido de carbono y en muchos otros equilibrios ácido – base. A una temperatura determinada. la intensidad del carácter ácido o básico de una solución viene dada por la actividad del ion hidrógeno o pH.<sup>21</sup>

Para expresar una amplia gama de actividades iónicas es conveniente una escala logarítmica. La ecuación anterior en forma logarítmica y corregida para reflejar la actividad es:

$$(-\log_{10} a_H) + (-\log_{10} a_{OH}) = 14$$

o

$$pH + pOH = pK_w$$

donde :

$$pH = -\log_{10} a_H$$

$$pOH = -\log_{10} a_{OH}$$

Según la ecuación anterior, al aumentar el pH disminuye el pOH en la misma proporción y viceversa, porque  $pK_w$  es constante para una temperatura determinada. A 25°C, un pH = 7.0 es neutro, las actividades de los iones hidrógeno e hidroxilo son iguales y cada una corresponde a una actividad aproximada de  $10^{-7}$  moles / l. El punto neutro depende de la temperatura y es pH = 7.5 a 0°C y pH = 6.5 a 60°C.

#### ➤ Determinación de pH

Con el aparato multifuncional ver anexo C.

### • CONDUCTIVIDAD

La conductividad es una expresión numérica de la capacidad de una solución para transportar una corriente eléctrica. Esta capacidad depende de la presencia de iones y de su concentración total, de su movilidad, valencia y concentraciones relativas, así como de la temperatura de la medición. Las soluciones de la mayoría de los ácidos, bases y sales presentan coeficientes de conductividad relativamente adecuados. A la inversa, las moléculas de los compuestos orgánicos que no se disocian en soluciones acuosas tienen una conductividad muy escasa o nula.<sup>21</sup>

La medición física practicada en una determinación de laboratorio suele ser de resistencia, medida en ohmios o megaohmios. La resistencia de un conductor es inversamente proporcional a su área de sección transversal y directamente proporcional a su longitud. La magnitud de la resistencia medida en una solución acuosa depende, por tanto, de las características de la célula de conductividad utilizada, y sólo tiene sentido si se conocen esas características. La resistencia específica es la resistencia de un cubo de 1 cm de lado. En soluciones acuosas, esta medida es rara, debido a las dificultades de fabricación del electrodo. Los electrodos prácticos miden una fracción dada de la resistencia específica, siendo esta fracción la constante celular C:

$$C = \frac{\text{Resistencia medida } R_m}{\text{Resistencia específica } R_s}$$

El recíproco de la resistencia es la conductancia, que mide la capacidad para conducir una corriente y se expresa en ohmios recíprocos o mhos. En los análisis de agua es más conveniente la unidad micromhos. Cuando se conoce y se aplica la constante celular, la conductancia medida se convierte en conductancia específica o conductividad  $K_s$ , recíproco de la resistencia específica:

$$K_s = \frac{I}{R_s} = \frac{C}{R_m}$$

Las mediciones de conductividad en laboratorios se utilizan para:

- Establecer el grado de mineralización para determinar el efecto de la concentración total de iones sobre equilibrios químicos, efectos fisiológicos en plantas y animales, tasas de corrosión, etc.
- Determinar el grado de mineralización del agua destilada y desionizada.
- Evaluar las variaciones de la concentración de minerales disueltos en aguas naturales y residuales. La variación estacional mínima que se encuentra en las aguas embalsadas contrasta notablemente con las fluctuaciones diarias de algunas aguas de río contaminadas. Las

aguas residuales que contienen cantidades significativas de desechos industriales muestran también una variación diaria considerable.

- Valorar el tamaño de la muestra que se vaya a utilizar para determinaciones químicas comunes y para investigar los resultados de un análisis químico.
- Determinar la cantidad de reactivo iónico necesario en algunas reacciones de precipitación y neutralización, señalándose el punto final por un cambio en la inclinación de la curva como consecuencia del punto de la conductividad sobre las lecturas de bureta.
- Calcular los sólidos totales disueltos en una muestra multiplicando la conductividad por un factor empírico; éste puede variar de 0.55 a 0.9 dependiendo de los componentes solubles de agua y de la temperatura de medición.

#### ➤ **Determinación de conductividad**

Con el aparato multifuncional ver anexo C.

### • **TEMPERATURA**

La lectura de cifras de temperatura se utiliza en el cálculo de diversas formas de alcalinidad, en estudios de saturación y estabilidad respecto al carbonato de calcio, en el cálculo de la salinidad y en las operaciones generales de laboratorio. En los estudios limnológicos, con frecuencia se requieren temperaturas de agua en función de la profundidad. Las temperaturas elevadas, consecuencia de descargas de agua calentada, pueden tener un impacto ecológico significativo. A menudo, la identificación de la fuente de aporte hídrico, como en los manantiales profundos, sólo es posible efectuando medidas de temperatura. Las plantas industriales suelen pedir datos de temperatura del agua para uso sistemático o cálculos de transmisión de calor.<sup>21</sup>



➤ **Determinación de Temperatura**

Con el aparato multifuncional ver anexo C.

• **ALCALINIDAD**

La alcalinidad de un agua es su capacidad para neutralizar ácidos y constituye la suma de todas las bases titulables. El valor medio puede variar significativamente con el pH de punto final utilizado. La alcalinidad es la medida de una propiedad agregada del agua, y solamente puede interpretarse en términos de sustancias específicas cuando se conoce la composición química de la muestra.

La alcalinidad es importante en muchos usos y tratamiento de aguas naturales y residuales. La alcalinidad de muchas aguas de superficie depende primordialmente de su contenido en carbonatos, bicarbonatos e hidróxidos, por lo que suele tomarse como una indicación de la concentración de estos componentes. Los valores determinados pueden incluir también la contribución de boratos, fosfatos, silicatos y otras bases, cuando se hallen presentes. La alcalinidad por exceso de concentración de metales alcalinotérreos tiene importancia para la determinación de la aceptabilidad de un agua para irrigación. Las determinaciones de alcalinidad se utilizan en la interpretación y el control de los procesos de tratamiento de aguas limpias y residuales. Las aguas residuales domésticas tienen una alcalinidad menor (o sólo ligeramente mayor) que la del suministro. Los digestores anaerobios que actúan adecuadamente presentan alcalinidades sobrenadantes típicas con cifras de 2,000 a 4,000 mg de carbonato de calcio / L.<sup>21</sup>

➤ **Determinación de la alcalinidad por titulación**

Los iones hidróxido presentes en una muestra como resultado de la disociación o hidrólisis de los solutos reaccionan con las adiciones de ácido estándar. Por tanto, la alcalinidad depende del pH del punto final utilizado.

Cuando la alcalinidad se debe enteramente al contenido de carbonato o bicarbonato, el pH en el punto de equivalencia de la titulación se determina en función de la concentración

de dióxido de carbono en esta fase. Esta concentración depende a su vez, del tipo de carbonato total nativo existente y de cualquier pérdida que pueda haberse producido durante la titulación.

Para consultar la técnica empleada ver el anexo D.

### • DUREZA

La dureza se debe a la suma de las concentraciones de calcio y magnesio, ambos expresados como carbonato cálcico, en miligramos por litro.

La dureza de agua se puede clasificar principalmente en dos tipos: dureza de carbonato y dureza no carbonatada.<sup>21</sup>

Cuando la dureza es numéricamente mayor que la suma de alcalinidades de carbonato y bicarbonato, esta cantidad de dureza equivalente a la alcalinidad total se denomina "dureza de carbonato", la cantidad de dureza que excede a ésta se llama "dureza no carbonatada".

En lo que se refiere a dureza del agua, es una medida de su capacidad para precipitar el jabón por la presencia de los iones calcio y magnesio. Es importante señalar que la dureza excesiva de un agua también puede provocar resequedad en la piel, o partirla, de ahí que sea necesario controlar dicha propiedad en el agua potable que llegan a las casas.

El grado de dureza es:

Blanda	0 – 55 mg / l (ppm).
Ligeramente dura	56-100 mg / l
Moderadamente dura	101 – 200 mg / l.
Muy dura	201 – 500 mg / l.

El ácido etilendiaminotetraacético y sus sales de sodio (EDTA) forman un complejo de quelato soluble al añadirse a las soluciones de algunos cationes metálicos. Si a una solución acuosa que contenga iones calcio y magnesio a un pH de 10 se añade una pequeña

cantidad de colorante como negro de eriocromo T o calmagita, la solución toma un color rojo vino. Si se añade EDTA como reactivo de titulación, los iones calcio y magnesio formarán un complejo, y cuando todos estos iones estén incluidos en dicho complejo, la solución cambiará del rojo vino al azul, señalando el punto final de la titulación. Para obtener un punto final satisfactorio han de estar presentes los iones magnesio. Para asegurar esta presencia, se añade al tampón una pequeña cantidad de sal magnésica de EDTA, neutra desde el punto de vista complexométrico; de este modo se introduce automáticamente una cantidad suficiente de magnesio y evita la necesidad de una corrección de blanco.

La nitidez del punto final aumenta con los incrementos de pH. Sin embargo, el pH no puede aumentar indefinidamente debido al peligro de precipitación de carbonato cálcico o hidróxido magnésico, y porque la tinción cambia de color a pH alto. El valor de pH especificado de 10 constituye una solución satisfactoria. Se fija un límite de cinco minutos de duración para la titulación, a fin de reducir al mínimo la tendencia a la precipitación de  $\text{CaCO}_3$ .<sup>21</sup>

➤ **Determinación de la dureza por titulación.**

Para consultar la técnica aplicada ver el anexo E.

• **OXÍGENO DISUELTO (OD)**

El oxígeno disuelto es necesario para la respiración de los microorganismos aerobios así como para otras formas de vida aerobia. No obstante, el oxígeno es sólo ligeramente soluble en agua, la cantidad real de oxígeno está determinada por a) la solubilidad de gas, b) la presión parcial de gas en la atmósfera, c) la temperatura y d) la pureza de agua (salinidad, sólidos suspendidos etc.).<sup>21</sup>

A medida que transcurre el tiempo se degrada la materia orgánica y consume el OD del líquido, si se agota, el líquido entra en estado séptico, que es una descomposición con fuertes olores; en cambio, si el líquido es reciente hay poco olor.

El análisis de oxígeno disuelto en el agua es una prueba clave para determinar la contaminación del agua y así proponer un control del proceso de tratamiento de aguas residuales.

Las concentraciones de OD en aguas naturales dependen de las características fisicoquímicas y la actividad bioquímica de los organismos en los cuerpos de agua. El análisis del OD es clave en el control de la contaminación en las aguas naturales y en los procesos de tratamiento de las aguas residuales industriales o domésticas.

➤ **Determinación de oxígeno disuelto**

Con el aparato multifuncional ver el anexo F.

• **DEMANDA QUÍMICA DE OXÍGENO (DQO)**

El requerimiento de oxígeno químico se utiliza como una medida del equivalente de oxígeno del contenido de materia orgánica de una muestra susceptible de oxidación por un oxidante químico fuerte. Para las muestras de una fuente específica, la DQO puede relacionarse empíricamente con el DBO, el carbono orgánico, o la materia orgánica. Una vez establecida dicha relación la prueba es útil para monitorear y controlar la contaminación del agua.<sup>21</sup>

➤ **Determinación de DQO por el método Hach**

Esta es una técnica de digestión, en la cual se utiliza una micro muestra para la determinación de DQO. Se hace una medición automática por espectrofotometría de cromo (III) después de la digestión de la muestra. La longitud de onda adecuada es de 600 nm para mediciones entre los valores de 3-900 mg/L

La oxidación de desechos orgánicos e inorgánicos en un agua residual agota la cantidad de oxígeno disuelto, que puede tener un efecto nocivo en la vida acuática.

Para reducir sustancialmente el tiempo requerido para estimar la demanda del oxígeno de un agua contaminada, se desarrolló la prueba de la demanda de oxígeno producido por reacción química.

La adición de sulfato de plata y sulfato de mercurio a la solución de digestión de dicromato ácido aumenta la confiabilidad de la determinación de la DQO. Sin embargo desde entonces la oxidación química no es diferenciable entre desechos biológicos estables e inestables, una correlación entre los valores DQO y DBO debe desarrollarse para cada tipo de muestra.<sup>25</sup>

Para conocer el procedimiento de la determinación y curva de calibración de la DQO ver el anexo G.

### • DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXÍGENO (DBO)

La DBO es la demanda bioquímica de oxígeno. Se refiere a la cantidad de oxígeno disuelto en el agua necesario para oxidar la materia orgánica que se incorpora al medio. La prueba de DBO se utiliza para determinar los requisitos relativos de oxígeno de las aguas residuales, efluentes y aguas contaminadas. La prueba mide la utilización de oxígeno molecular ( $O_2$ ) para la degradación bioquímica del material orgánico y el  $O_2$  utilizado para oxidar material inorgánico como los sulfuros y el ión ferroso ( $Fe^{++}$ ) durante un tiempo específico de incubación.

Se basa en que, con el tiempo, cierta cantidad de oxígeno disuelto es consumida en la oxidación de compuestos orgánicos de manera bioquímica. Así, al determinar el OD al inicio y después de haber cultivado, se encuentra el oxígeno demandado para este proceso, en el tiempo de incubación.<sup>21</sup>

Las descargas domésticas e industriales de aguas residuales, usadas o aguas negras llevan material orgánico y nutrientes inorgánicos como los nitratos y fosfatos (fertilizantes).

Estos fomentan la proliferación de algas y las consecuencias son la eutroficación en el sistema. A su vez las poblaciones de algas mueren, se descomponen y generan una gran DBO. El uso excesivo de fertilizantes agrícolas conlleva a consecuencias similares.

Su importancia radica en que permite determinar la calidad del agua para uso doméstico y para el crecimiento de fauna acuática; además, de manera indirecta indica la cantidad de microorganismos presentes en ella que son capaces de oxidar varios compuestos orgánicos.

➤ **Determinación de DBO por el método de los 5 días.**

El método consiste en llenar con muestra un frasco hermético del tamaño especificado, hasta rebosar, e incubarlo a la temperatura establecida durante 5 días. El oxígeno disuelto se mide antes y después de la incubación, y la DBO se calcula mediante la diferencia de OD inicial y el OD final. Debido a que el OD se determina inmediatamente de hacer la dilución, toda la captación de oxígeno incluida, ocurre durante los primeros 25 minutos.<sup>21</sup>

Se elige según la cantidad de OD inicial de la muestra. Si es pequeña, se diluye a 1, 2, 3 y 4 %, para garantizar que el oxígeno sea suficiente; si es grande, se diluye a 10, 20, 30 o 40 % en volumen.

Para ver el procedimiento de la determinación de la DBO consultar el anexo H.

- **SÓLIDOS TOTALES (ST)**

Los sólidos pueden afectar negativamente la calidad del agua o a su suministro. Las aguas con abundantes sólidos disueltos suelen ser de inferior potabilidad y pueden inducir una reacción fisiológica desfavorable en el consumidor ocasional. Las aguas altamente mineralizadas tampoco son adecuadas para aplicaciones industriales.

Los análisis de sólidos son importantes en el control de procesos de tratamiento biológico y físico de aguas residuales, y para evaluar el cumplimiento de las limitaciones que regulan su vertido.<sup>21</sup>

➤ **Determinación de sólidos por gravimetría.**

Este método se basa en diferencias de pesos. Para consultar el procedimiento ver el anexo I.

• **CLORO Y CLORO RESIDUAL**

El cloro combinado formado en la cloración de las aguas con amoníaco o aminas afecta de forma adversa a algunas variedades de vida acuática. El cloro aplicado al agua en su forma molecular o de hipoclorito sufre una hidrólisis inicial para producir cloro libre consistente en cloro molecular acuoso, ácido hipocloroso e ion hipocloroso. La proporción relativa de estas formas de cloro libre dependen del pH y la temperatura.

El cloro libre reacciona fácilmente con el amoníaco y ciertos compuestos de nitrógeno, formando cloro combinado. La reacción del amoníaco con el cloro produce cloroaminas, monocloroamina, dicloroamina y tricloruro de nitrógeno. La presencia y concentraciones de estas formas dependen principalmente del pH, temperatura y proporción inicial cloro-nitrógeno, demanda absoluta de cloro y tiempo de reacción. Tanto el cloro libre como el combinado pueden estar presentes simultáneamente. El cloro puede combinarse con otras sustancias al tratar las aguas naturales que contienen amoníaco o por adición de amoníaco o sales de amonio. Históricamente, el principal problema analítico se ha planteado en la distinción entre el cloro libre y el combinado. El cloruro en forma de ion (Cl<sup>-</sup>), es uno de los aniones inorgánicos principales en el agua natural y residual. En el agua potable, el sabor salado producido por el cloruro, es variable y depende la composición química del agua.<sup>21</sup>

La concentración de cloruro es mayor en las aguas residuales que en las naturales, debido a que el cloruro de sodio (NaCl) es común en la dieta y pasa inalterado a través del aparato digestivo.

Un contenido elevado de cloruro puede dañar las conducciones y estructuras metálicas y perjudicar el crecimiento vegetal.

➤ **Determinación de cloruros y cloro residual por el método argentométrico**

El cloro liberará yodo a partir de las soluciones de yoduro de potasio (KI) a pH de 8 o inferior. El Yodo libre se valorará con una solución patrón de  $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$  con almidón como indicador. Hágase la valoración a pH 3-4 ya que la reacción no es estequiométrica a pH neutro debido a la oxidación del tiosulfato a sulfato.

Interfieren las formas oxidadas de manganeso y otros agentes oxidantes. Aunque la titulación neutra reduce al mínimo el efecto interferente de los iones férrico y nítrico, es preferible la ácida porque algunas formas de cloro combinado no reaccionan a pH 7. Utilícese solamente ácido acético para la titulación ácida ya que el ácido sulfúrico ( $\text{H}_2\text{SO}_4$ ) aumentaría las interferencias. Para consultar la técnica ver el anexo J.

• **FOSFATOS**

El fósforo se encuentra en las aguas naturales y residuales casi exclusivamente en forma de fosfatos, clasificados en ortofosfatos, fosfatos condensados piro, meta y otros polifosfatos, y los ligados orgánicamente. Se presentan en solución, partículas o detritus, o en cuerpos de organismos acuáticos.

Estas formas de fosfato surgen de una diversidad de fuentes. Cantidades pequeñas de algunos fosfatos condensados se añaden a algunos suministros de agua durante el tratamiento, y se pueden añadir cantidades mayores de los mismos compuestos cuando el agua se utiliza para lavar ropa u otras limpiezas.



Los fosfatos se utilizan ampliamente en el tratamiento de agua para calderas. Los ortofosfatos aplicados como fertilizantes a la tierra agrícola cultivada o residencial son arrastrados a aguas superficiales con las lluvias. Los fosfatos orgánicos se forman principalmente en los procesos biológicos. Son aportados a las alcantarillas, por los residuos corporales, alimentos, y también se pueden formar a partir de los ortofosfatos durante los procesos de tratamiento biológico.

El fósforo es esencial para el crecimiento de los organismos y puede ser el nutriente limitador de la productividad primaria de un cuerpo en el agua. En los casos en que constituye el nutriente limitador del crecimiento, la descarga de aguas residuales brutas o tratadas, drenados agrícolas o ciertos residuos industriales a esa agua puede estimular el crecimiento de micro y macroorganismos acuáticos fotosintéticos.

Los fosfatos pueden aparecer también en los sedimentos de fondos y en cienos biológicos, tanto en formas inorgánicas precipitadas como incorporados a compuestos orgánicos.<sup>21</sup>

➤ **Determinación de fosfatos por el método del cloruro estagnoso.**

Se forma el ácido molibdofosfórico que se reduce con cloruro estagnoso a azul de molibdeno. Este método posibilita la determinación hasta de 7 µgP/L (Microgramos de fosfato por litro) utilizando un recorrido de luz más largo. Por debajo de 100 µgP/L, se puede aumentar la confiabilidad y reducir las interferencias con un proceso de extracción.

La sílice y el arseniato interfieren positivamente sólo cuando se calienta la muestra. Arseniato, fluoruro, torio, bismuto, sulfuro, tiosulfato, tiocianato, o exceso de molibdato producen interferencias negativas. El hierro ferroso produce un color azul, pero no afecta los resultados si su concentración es inferior a 100 mg/L. La interferencia de sulfuro se puede eliminar por oxidación con agua de bromo. Los siguientes iones no interfieren en concentraciones de hasta 1.000 mg/L:  $Al^{3+}$ ,  $Fe^{3+}$ ,  $Mg^{2+}$ ,  $Ca^{2+}$ ,  $Ba^{2+}$ ,  $Sr^{2+}$ ,  $Li^+$ ,  $Na^+$ ,  $K^+$ ,  $NH_4^+$ ,  $Cd^{2+}$ ,  $Mn^{2+}$ ,  $Pb^{2+}$ ,  $Hg^+$ ,  $Hg^{2+}$ ,  $Sn^{2+}$ ,  $Cu^{2+}$ ,  $Ni^{2+}$ ,  $Ag^+$ ,  $U^{4+}$ ,  $Zr^{4+}$ ,  $AsO_3^{3-}$ ,  $Br^-$ ,

$\text{CO}_3^{2-}$ ,  $\text{CN}^-$ ,  $\text{IO}_3^-$ ,  $\text{SiO}_4^{4-}$ ,  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{NO}_2^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{SO}_3^{2-}$ , pirofosfato, molibdato, tetraborato, selenato, benzoato, citrato, oxalato, lactano, tartrato, formato y salicilato. Si se usa  $\text{HNO}_3$  en la prueba,  $\text{Cl}^-$  interfiere a 75 ml/L.<sup>21</sup>

Para ver el procedimiento y curva de calibración consultar el anexo K.

## • SÍLICE

El silicio después del oxígeno, es el elemento más abundante en la corteza terrestre. Aparece como óxido de sílice en el cuarzo y la arena y se combina con los metales en forma de variados silicatos minerales complejos, especialmente en las rocas ígneas. La degradación de las rocas que contienen sílice explica su presencia en las aguas naturales como partículas en suspensión, en estado coloidal o polimérico, y como ácidos silícicos o iones silicato.

La presencia de sílice en el agua supone un problema industrial debido a la formación de placas de sílice y silicatos en el equipo, difíciles de eliminar, especialmente en las paletas de las turbinas de vapor con presión elevada. La acción más frecuente consiste en eliminar la sílice con resinas intercambiadoras de aniones fuertemente básicas, en el proceso de desionización, por destilación o por ósmosis inversa. Algunas plantas utilizan la precipitación con óxido de magnesio en el proceso de suavizado de cal frío o caliente.<sup>21</sup>

### ➤ Determinación de Sílice por el método de molibdosilicato

A pH aproximado de 1.2 el molibdato amónico reacciona con sílice y cualquier fosfato presente para producir heteropoliácidos. El ácido oxálico se adiciona para destruir el ácido molibdofosfórico, pero no el molibdosilícico. Incluso cuando se sepa que no hay fosfato presente, es muy deseable la adición de ácido oxálico, que es un paso obligado en este método. La intensidad del color amarillo es proporcional a la concentración de sílice. Al menos en una de sus formas, la sílice no reacciona con molibdato, aun cuando es capaz de atravesar el papel del filtro y no se aprecie su turbidez. No se sabe el alcance de la

presencia de sílice no reactiva en el agua. Se han utilizado términos como coloidal, cristaloides e iónica para distinguir entre varias formas de sílice, pero esa terminología no tiene mucho fundamento. La sílice molibdato no reactiva se puede transformar en molibdato reactiva por calentamiento o fusión de álcali. Molibdato reactiva o no reactiva, no supone reactividad o falta de ella frente a otros reactivos o procesos.

Dado que el material de vidrio puede aportar sílice, evítese su uso lo más posible. Utilícense reactivos y agua destilada o desionizada baja en sílice. Realícese una determinación en blanco para corregir la sílice introducida por los reactivos y el aparato.

Para ver la técnica empleada y la curva de calibración ver el anexo L.

## • NITRÓGENO

Las formas de nitrógeno de mayor interés en las aguas naturales y residuales son, por orden decreciente de su estado de oxidación, nitrato, nitrito, amoníaco y nitrógeno orgánico. Todas esas formas del nitrógeno, lo mismo que el nitrógeno gaseoso, son interconvertibles bioquímicamente y forman parte del ciclo del nitrógeno. Su interés se debe a varias razones.

El nitrógeno orgánico se define funcionalmente como nitrógeno ligado orgánicamente en el estado de oxidación trinegativo. No incluye a todos los compuestos orgánicos del nitrógeno. Analíticamente, el nitrógeno orgánico y el amoníaco se pueden determinar juntos y se han denominado nitrógeno kjeldahl, un término que refleja la técnica utilizada en su determinación. El nitrógeno orgánico incluye productos naturales, como las proteínas y péptidos, ácidos nucleicos y urea, y numerosos materiales orgánicos sintéticos. La concentración típica del nitrógeno orgánico varía desde unos cientos de microgramos por litro en algunos lagos hasta más de 2 mg / L en aguas residuales brutas.

El nitrógeno oxidado total es la suma del nitrógeno de nitrito y nitrato. En nitrato se presenta generalmente como trazas en el agua de superficie, pero puede alcanzar niveles elevados en las subterráneas. En cantidades excesivas, contribuye a una enfermedad infantil denominada metahemoglobinemia. Para evitarlo, se ha establecido un límite de 10 mg de nitrato como N / L para el agua de bebida. El nitrato se encuentra sólo en pequeñas cantidades en las aguas residuales domésticas recientes, pero en el diluyente de las plantas de tratamiento biológico nitrificante, el nitrato puede encontrarse en concentraciones de hasta 30 mg de nitrato como nitrógeno por litro. Es un nutriente esencial para muchos autótrofos fotosintéticos, y en algunos casos ha sido identificado como el determinante del crecimiento.<sup>21</sup>

El nitrito es un estado intermedio de la oxidación del nitrógeno, tanto en la oxidación del amoníaco a nitrato como en la reducción del nitrato. Esa oxidación y reducción pueden ocurrir en las plantas de tratamiento de aguas residuales, sistemas de distribución del agua y aguas naturales. El nitrito puede pasar al sistema de suministro de agua debido a su uso como inhibidor de la corrosión en el agua para procesos industriales. El nitrito es el agente causal real de la metahemoglobinemia. El ácido nitroso, formado a partir del nitrito en soluciones ácidas, puede reaccionar con aminas secundarias, dando lugar a nitrosaminas, muchas de las cuales son agentes carcinógenos reconocidos. La significación toxicológica de las reacciones de nitrosación in vivo y en el entorno natural es un tema de gran preocupación e investigación actualmente.

El amoníaco se encuentra de forma natural en las aguas superficiales y residuales. Su concentración suele ser baja en las aguas subterráneas debido a que es adsorbido en las partículas y arcillas del suelo y no se extrae fácilmente por lixiviación.

En la cloración de diluyentes de aguas residuales con contenido amoniacal, no se obtiene prácticamente cloro residual libre hasta que el amoníaco se ha oxidado. En cambio, el cloro reacciona con amoníaco para formar mono y dicloroaminas. Las concentraciones de amoníaco halladas en el agua varían desde menos de 10 microgramos de nitrógeno amoniacal por litro en algunas aguas naturales superficiales y profundas, hasta más de 30 miligramos en otras aguas residuales.

➤ **Determinación de nitrógeno amoniacal por el método de la nesslerización.**

La nesslerización directa se utiliza únicamente para aguas potables purificadas, agua natural o diluyentes residuales muy depurados, todos con poco color y concentraciones de  $\text{NH}_3\text{-N}$  superiores a  $20 \mu\text{g/L}$ . Se aplica la nesslerización a aguas residuales domésticas, sólo cuando sean aceptables errores de 1 a 2 mg/L.

El tratamiento preliminar antes de la nesslerización directa con sulfato de zinc y álcali precipita el calcio, hierro, magnesio y sulfuro, que producen turbidez cuando se tratan con reactivo nessler. El floculo elimina también materia en suspensión y a veces la coloreada. La Adición de EDTA o solución de Rochelle inhibe la precipitación de los iones residuales calcio y magnesio, en presencia del reactivo Nessler alcalino. Sin embargo el uso de EDTA requiere una cantidad adicional de reactivo Nessler para asegurar que existe en exceso suficiente del reactivo para que reaccione con el amoníaco.

La coloración gradual de amarillo a pardo, producida por la reacción amoníaco-Nessler, adquiere gran absorbancia en una amplia gama de longitudes de onda. El color amarillo característico de la concentración baja de nitrógeno amoniacal ( $0.4$  a  $5 \text{ mg/L}$ ) se puede medir con sensibilidad aceptable en la zona de longitud de onda de  $400$  a  $425 \text{ nm}$ , cuando se dispone de un recorrido de luz de  $1 \text{ cm}$ . Si se tuviera  $5 \text{ cm}$ , se ampliaría la medida a concentraciones de nitrógeno de  $5$  a  $60 \mu\text{g/L}$ . El matiz de pardo rojizo típico de niveles de nitrógeno amoniacal próximos a  $10 \text{ mg/L}$  se puede medir en la zona de  $450$  a  $500 \text{ nm}$  de longitud de onda.

La glicina, la urea, ácido glutámico, cianatos y acetamida hidrolizan muy lentamente la solución en reposo, pero sólo la urea y los cianatos producirán la hidrólisis en la destilación a pH de  $9.5$ . La hidrólisis se supone alrededor del  $7\%$  a ese pH para la urea, y alrededor del  $5\%$  para los cianatos. Glicina, Hidracina y algunas aminas reaccionan con el reactivo nessler produciendo un color amarillo característico en el tiempo requerido

por la prueba. Algunos compuestos orgánicos, como las cetonas pueden producir un color amarillento o verdoso o turbidez en la nesslerización que sigue a la destilación.

Para ver el procedimiento y la curva de calibración consultar el anexo M.

## • ACEITES Y GRASAS

Aceite y grasa es cualquier material recuperado como una sustancia soluble en triclorotrifluoroetano. Incluye otros materiales extraídos por el disolvente de una muestra acidificada (tales como los compuestos de azufre, ciertos tintes orgánicos y la clorofila) y no volatilizados durante la prueba.

Un aceite conocido se define como una muestra de aceite y/o grasa que representa el único material de este tipo utilizado o fabricado en los procesos representados por un agua residual. Un aceite desconocido se define como aquel aceite o grasa del que no se dispone de una muestra representativa para preparar un patrón.<sup>21</sup>

Ciertos componentes medidos por análisis de aceites y grasas pueden influir en los sistemas de tratamientos de las aguas residuales. Si se presentan en cantidades excesivas, pueden interferir en los procesos biológicos aeróbicos y anaeróbicos y llevan a reducir la eficiencia del tratamiento de las aguas residuales.

Cuando son arrojados a las aguas residuales o efluentes tratados, pueden crear películas de superficie y depósitos de borde de playa que llevan a la degradación del ambiente.

Es útil conocer la cantidad de aceite y grasa presente, para el diseño y el funcionamiento adecuado de sistemas de tratamiento de aguas residuales y puede también llamar la atención de ciertas dificultades en el tratamiento.

➤ **Determinación de aceites y grasas por el método de partición-gravimetría.**

En la determinación de un aceite o grasa no se mide una cantidad absoluta de una sustancia específica. Se determinan cuantitativamente grupos de sustancias con características físicas similares sobre la base de su solubilidad común.

El aceite o grasa disuelta o emulsionada es extraída del agua por íntimo contacto con el cloroformo. Algunas grasas y ácidos grasos especialmente no saturados, extraíbles se oxidan con rapidez en consecuencia, se incluyen precauciones especiales con respecto a la temperatura y desplazamiento de vapor del disolvente para reducir este efecto.

El cloroformo tiene la capacidad de disolver no sólo aceites y grasas sino también otras sustancias orgánicas. Ningún disolvente conocido disolverá de forma selectiva sólo aceite y grasa. La eliminación del disolvente tiene como resultado la pérdida de los hidrocarburos de cadena corta y aromáticos sencillos por volatilización.

En este proceso se pierden cantidades significativas de destilados del petróleo desde la gasolina hasta el aceite combustible no. 2. Además, los residuos más pesados del petróleo pueden contener una porción significativa de los materiales que no son extraíbles con el disolvente.

Para ver el procedimiento de la técnica ver el anexo N.

• **SURFACTANTES.**

Los jabones son sustancias que alteran la tensión superficial (disminuyen la atracción de las moléculas de agua entre sí en la superficie) de los líquidos, especialmente el agua. Este tipo de sustancias se denominan tensoactivas.

Los jabones presentan la desventaja de que si se usan en agua dura, tienden a formar sales con los cationes de los metales formando "natas" que neutralizan su acción.

La mayoría de los detergentes son compuestos de sodio del sulfonato de benceno substituido, denominados sulfatos lineales de alquilos (las), hay otros que son los alquilbencen sulfatos de cadena ramificada (abs) que se degradan mas lentamente que los las. El extremo sulfato es soluble en agua y el extremo del hidrocarburo es soluble en aceite, cumpliendo con esto las características de los jabones antes mencionadas. La ventaja de los detergentes es que no forman natas con el agua dura. Por su amplia utilidad los detergentes se usan tanto en la industria como en los hogares, sin embargo, puesto que se emplean en grandes cantidades constituyen una fuente de contaminación del agua. En cuanto a la biodegradabilidad, tanto los detergentes como los jabones son biodegradables, pero la biodegradabilidad se ve limitada si estos compuestos se encuentran en exceso en un cuerpo de agua.<sup>21</sup>

Uno de los principales problemas que causa el uso de detergentes, es que los de tipo comercial deben contener ciertos aditivos que se pueden convertir en graves contaminantes del agua. Entre los principales aditivos están pequeñas cantidades de perfumes, blanqueadores, abrillantadores ópticos, estos últimos son tinturas que le dan a la ropa un aspecto de limpieza y los agentes espumantes; es importante recalcar que la producción de espuma de un detergente está determinada por el tipo de surfactante que éste contenga, así de este modo, los surfactantes aniónicos producen abundante espuma, los surfactantes catiónicos producen una cantidad muy limitada de espuma y los surfactantes no iónicos casi no producen espuma, además de que la formación de espuma es ayudada por ciertos aditivos espumantes que se agregan a la fórmula, ya que la gente tiende a relacionar la capacidad de producción de espuma con la capacidad limpiadora, aunque la producción de espuma no tiene nada que ver con la eficacia del detergente.

#### ► **Determinación de surfactantes como SAAM**

Las sustancias activas para el azul de metileno SAAM llevan a cabo la transferencia del azul de metileno, un tinte catiónico, de una solución acuosa a un líquido orgánico inmiscible, hasta el equilibrio. Esto ocurre a través de la formación de un par iónico entre SAAM y el catión del azul de metileno. La intensidad del color azul resultante en la fase orgánica es una medida de la SAAM. Los surfactantes aniónicos se encuentran



entre las más destacadas de muchas sustancias, naturales y sintéticas, que muestran actividad al azul de metileno. El método SAAM es útil para valorar el contenido de surfactante aniónico de las aguas limpias y residuales. Comprende tres extracciones sucesivas en cloroformo a partir de un medio acuoso ácido que contenga azul de metileno en exceso, seguidas por un lavado a contracorriente con agua y la determinación del color azul en el cloroformo se realiza por espectrofotometría a 652 nm.

Los jabones no responden al método SAAM. Los utilizados en, o como, detergentes con sales básicas de ácidos grasos de  $C_{10-20}[RCO_2]Na^+$ , y aunque de naturaleza aniónica se ionizan tan débilmente que no se forma un par aniónico extraíble bajo las condiciones de prueba. Los surfactante aniónicos no jabones utilizados habitualmente en las formulaciones de detergentes responden con gran fuerza. Incluyen sobre todo surfactantes de tipo sulfonato  $[RSO_3]Na^+$ , del tipo éster de sulfonato  $[ROSO_3]Na^+$ , y no iónicos sulfatados  $[REnOSO_3]Na^+$ . Son recuperados casi por completo por una extracción simple en cloroformo.

Se producen interferencias positivas por todas las demás especies de SAAM presentes, si se busca una determinación directa de cualquier especie individual de SAAM, tal como SAL, todos los demás interfieren. Sustancias tales como sulfonatos, sulfatos, carboxilatos, fenoles orgánicos, tiocianatos, cianatos, nitratos y cloruros inorgánicos pueden también transferir mayor o menor cantidad de azul de metileno a la fase cloroformo.

Interferencias negativas pueden ser consecuencia de la presencia de surfactantes catiónicos y otros materiales catiónicos, tales como las aminas, porque compiten con el azul de metileno en la formación de los pares aniónicos. La materia en partículas puede producir interferencias negativas por la adsorción de SAAM. Aunque alguna SAAM adsorbida puede desadsorberse y emparejarse durante las extracciones de cloroformo la recuperación puede ser incompleta y variable. Para ver la técnica y curva de calibración consulte el anexo Ñ.

## 7. RESULTADOS

## PUNTO DE MUESTREO 1

Tabla 7.1 Datos obtenidos del punto de muestreo 1.

Parámetro	muestra 1.1 10 de Julio 2003	muestra 1.2 10 de Julio 2003	muestra 1.3 10 de Julio 2003
Color verdadero	Amarillo	Amarillo verdoso	Verde
Color aparente (UC)	50	50	60
Pureza (%)	10	12	10
Longitud de onda pred. (nm)	580	575	510
pH	7	6.83	9.27
Conductividad ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ )	391 @21.3°C	256 @20.7°C	257@18.7
Alcalinidad total ( $\text{CaCO}_3/\text{L}$ )	40.48	25.3	5.06
Dureza de calcio ( $\text{mgCa}/\text{L}$ )	-	24.11	18.08
Dureza de magnesio ( $\text{mgMg}/\text{L}$ )	-	0	3.64193
Dureza total ( $\text{CaCO}_3/\text{L}$ )	-	60.20	60.15
OD ( $\text{mg}/\text{L}$ )	3.5 @20.7 °C	2.0 @17.8°C	3.0 @20.1°C
DQO ( $\text{mg}/\text{L}$ )	23.57	97.18	36.48
DBO ( $\text{mg}/\text{L}$ )	14.5	59.96	13.93
ST ( $\text{mg}/\text{L}$ )	480	160	280
SFT ( $\text{mg}/\text{L}$ )	200	120	120
SVT ( $\text{mg}/\text{L}$ )	280	40	160
SST ( $\text{mg}/\text{L}$ )	160	80	80
SSF ( $\text{mg}/\text{L}$ )	80	40	40
SSV ( $\text{mg}/\text{L}$ )	80	40	40
SDT ( $\text{mg}/\text{L}$ )	320	80	200
SDV ( $\text{mg}/\text{L}$ )	200	0	120
SDF ( $\text{mg}/\text{L}$ )	120	80	80
SS ( $\text{ml}/\text{L}$ )	3.57	0.5	0.02
Cloruros ( $\text{mgCl}/\text{L}$ )	4.5	9.02	69.81
Cloro residual ( $\text{mgCl}/\text{L}$ )	0	0	0
Fosfatos ( $\text{mgP}/\text{L}$ )	2.79	0.61	6.474
Silice ( $\text{mgSi}/\text{L}$ )	177.79	199.67	552.04
Nitrógeno total ( $\text{mg}/\text{L}$ )	11.36	1.77	-
Nitrógeno amoniacal ( $\text{mgN-NH}_3/\text{L}$ )	-	0.10	8.25
Aceltes y grasas ( $\text{mg}/\text{L}$ )	152	390	156
Detergentes ( $\text{mg}/\text{L}$ )	0	0.059	0.046

## PUNTO DE MUESTREO 2

Tabla 7.2 Datos obtenidos del punto de muestreo 2.

Parámetro	muestra 2-1 12 de marzo 2003	muestra 2-2 8 de abril 2003	muestra 2-3 10 de junio 2003
Color verdadero	Amarillo	Amarillo verdoso	Verde
Color aparente (UC)	55	55	60
Pureza (%)	11	10	10
Longitud de onda pred. (nm)	580	570	520
pH	6.97	6.65	8.6
Conductividad ( $\mu\text{S/cm}$ )	231 @ 21.1°C	245 @ 20.4°C	249 @ 18.6°C
Alcalinidad total ( $\text{CaCO}_3/\text{L}$ )	25.3	60.72	35.42
Dureza de calcio ( $\text{mgCa/L}$ )	15.07	18.08	24.11
Dureza de magnesio ( $\text{mgMg/L}$ )	3.65	0	1.82
Dureza total ( $\text{CaCO}_3/\text{L}$ )	52.68	45.1559	67.73
OD ( $\text{mg/L}$ )	2.5 @ 20.7°C	2.4 @ 17.4°C	6.5 @ 19.4°C
DQO ( $\text{mg L}$ )	51.98	58.01	18.21
DBO ( $\text{mg L}$ )	21.83	12.66	5.8
ST ( $\text{mg/L}$ )	80	160	240
SFT ( $\text{mg L}$ )	0	120	120
SVT ( $\text{mg L}$ )	80	40	120
SST ( $\text{mg L}$ )	40	40	40
SSF ( $\text{mg L}$ )	0	0	40
SSV ( $\text{mg L}$ )	40	40	0
SDT ( $\text{mg L}$ )	40	120	200
SDV ( $\text{mg L}$ )	40	0	120
SDF ( $\text{mg L}$ )	0	120	80
SS ( $\text{ml/L}$ )	4.28	0.062	0.025
Cloruros ( $\text{mgCl/L}$ )	5.22	6.17	63.81
Cloro residual ( $\text{mgCl/L}$ )	0	0	0
Fosfatos ( $\text{mgP/L}$ )	0.057	1.21	13.36
Sílice ( $\text{mgSi/L}$ )	134.04	155.92	303.01
Nitrógeno total ( $\text{mg/L}$ )	5.44	6.65	-
Nitrógeno amoniacal ( $\text{mgN-NH}_3/\text{L}$ )	-	0.47	8.529
Aceites y grasas ( $\text{mg/L}$ )	372	374	68
Detergentes ( $\text{mg/L}$ )	0.013	0.010	0.027

## PUNTO DE MUESTREO 3

Tabla 7.3 Datos obtenidos del punto de muestreo 3.

Parámetro	muestra 3.1 12 de marzo 2003	muestra 3.2 8 de abril 2003	muestra 3.3 10 de junio 2003
Color verdadero	Amarillo verdoso	Amarillo	Amarillo verdoso
Color aparente (UC)	60	55	65
Pureza (%)	15	12	12
Longitud de onda pred. (nm)	570	580	560
pH	6.92	6.94	7.6
Conductividad ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ )	345 @ 21.1°C	620 @ 20.6°C	263 @ 18.9°C
Alcalinidad total ( $\text{CaCO}_3/\text{L}$ )	30.36	70.84	45.54
Dureza de calcio ( $\text{mgCa}/\text{L}$ )	45.21	36.16	30.14
Dureza de magnesio ( $\text{mgMg}/\text{L}$ )	0	7.3655	0
Dureza total ( $\text{CaCO}_3/\text{L}$ )	112.88	120.63	75.25
OD ( $\text{mg}/\text{L}$ )	2.5 @ 20.7°C	2.4 @ 17.4°C	6.5 @ 19.4°C
DQO ( $\text{mg}/\text{L}$ )	55.99	70.47	12.94
DBO ( $\text{mg}/\text{L}$ )	38.24	43.27	5.43
ST ( $\text{mg}/\text{L}$ )	320	400	200
SFT ( $\text{mg}/\text{L}$ )	0	280	160
SVT ( $\text{mg}/\text{L}$ )	320	120	40
SST ( $\text{mg}/\text{L}$ )	120	80	40
SSF ( $\text{mg}/\text{L}$ )	0	0	40
SSV ( $\text{mg}/\text{L}$ )	80	80	0
SDT ( $\text{mg}/\text{L}$ )	200	320	160
SDV ( $\text{mg}/\text{L}$ )	200	40	40
SDF ( $\text{mg}/\text{L}$ )	0	280	120
SS ( $\text{ml}/\text{L}$ )	50	0	0.05
Cloruros ( $\text{mgCl}/\text{L}$ )	11.4	21.37	63.81
Cloro residual ( $\text{mgCl}/\text{L}$ )	0	0	0
Fosfatos ( $\text{mgP}/\text{L}$ )	1.55	9.27	13.28
Sílice ( $\text{mgSi}/\text{L}$ )	164.67	299.50	376.69
Nitrógeno total ( $\text{mg}/\text{L}$ )	-	-	-
Nitrógeno amoniacal ( $\text{mgN-NH}_3/\text{L}$ )	-	34.49	9.00
Acetres y grasas ( $\text{mg}/\text{L}$ )	252	418	66
Detergentes ( $\text{mg}/\text{L}$ )	0.056	0.093	0.061

## PUNTO DE MUESTREO 4

Tabla 7.4 Datos obtenidos del punto de muestreo 4.

Parámetro	muestra 4.2 8 de abril 2003	muestra 4.3 11 de junio 2003
Color verdadero	Amarillo Verdoso	Amarillo Verdoso
Color aparente (UC)	50	55
Pureza (%)	11	11
Longitud de onda pred. (nm)	570	570
pH	7.05	9.55
Conductividad ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ )	249 @ 20.3°C	247 @ 18.9°C
Penetración de la luz (cm)	18.5	32
Alcalinidad total ( $\text{mgCaCO}_3/\text{L}$ )	35.42	10.12
Dureza de calcio ( $\text{mgCa}/\text{L}$ )	24.11	30.14
Dureza de magnesio ( $\text{mgMg}/\text{L}$ )	0	0
Dureza total ( $\text{mgCaCO}_3/\text{L}$ )	60.20	75.25
OD ( $\text{mg}/\text{L}$ )	4.0 @ 18.2°C	5 @ 19.2°C
DQO ( $\text{mg}/\text{L}$ )	40.28	6.06
DBO ( $\text{mg}/\text{L}$ )	19.12	3.03
ST ( $\text{mg}/\text{L}$ )	120	200
SFT ( $\text{mg}/\text{L}$ )	80	120
SVT ( $\text{mg}/\text{L}$ )	40	80
SST ( $\text{mg}/\text{L}$ )	120	80
SSF ( $\text{mg}/\text{L}$ )	80	80
SSV ( $\text{mg}/\text{L}$ )	40	0
SDT ( $\text{mg}/\text{L}$ )	0	120
SDV ( $\text{mg}/\text{L}$ )	0	80
SDF ( $\text{mg}/\text{L}$ )	0	40
SS ( $\text{ml}/\text{L}$ )	0	0.1
Cloruros ( $\text{mgCl}/\text{L}$ )	6.65	56.72
Cloro residual ( $\text{mgCl}/\text{L}$ )	0	0
Fosfatos ( $\text{mgP}/\text{L}$ )	1.69	11.50
Sílice ( $\text{mgSi}/\text{L}$ )	155.92	446.04
Nitrógeno total ( $\text{mg}/\text{L}$ )	-	-
Nitrógeno amoniacal ( $\text{mgN-NH}_3/\text{L}$ )	18.07	7.51
Aceites y grasas ( $\text{mg}/\text{L}$ )	390	66
Detergentes ( $\text{mg}/\text{L}$ )	0.15	0.061

## PUNTO DE MUESTREO 5

Tabla 7.5 Datos obtenidos del punto de muestreo 5.

Parámetro	muestra Su. 05/10/2003
Color verdadero	Amarillo verdoso
Color aparente (UC)	50 UDC
Pureza (%)	11
Longitud de onda pred. (nm)	570
pH	7.11
Conductividad ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ )	467 $\mu\text{S}/\text{cm}$ @20.3°C
Alcalinidad total ( $\text{CaCO}_3/\text{L}$ )	100 mg/L
Dureza de calcio ( $\text{mgCa}/\text{L}$ )	42.19 mg/l
Dureza de magnesio ( $\text{mgMg}/\text{L}$ )	14.62mg/l
Dureza total ( $\text{CaCO}_3/\text{L}$ )	165.59 mg/l
OD (mg/L)	0.5 mg/l
DQO (mg/L)	286.36mg/l
DBO (mg/L)	69.90 mg/l
ST (mg/L)	400 mg/l
SFT (mg/L)	320 mg/l
SVT (mg/L)	80 mg/l
SST (mg/L)	160 mg/l
SSF (mg/L)	120 mg/l
SSV (mg/L)	40 mg/l
SDT (mg/L)	240 mg/l
SDV (mg/L)	40 mg/l
SDF (mg/L)	200 mg/l
SS (ml/L)	0.2 ml/l
Cloruros ( $\text{mgCl}/\text{L}$ )	15.67 mg/l
Cloro residual ( $\text{mgCl}/\text{L}$ )	0 mg/l
Fosfatos ( $\text{mgP}/\text{L}$ )	25.37 mg/l
Silíce ( $\text{mgSi}/\text{L}$ )	49.05 mg/l
Nitrógeno total (mg/L)	-
Nitrógeno amoniacal ( $\text{mgN-NH}_3/\text{L}$ )	9.93mg/l
Aceites y grasas (mg/L)	486 mg/l
Detergentes (mg/L)	0.24

## 8. ANÁLISIS DE RESULTADOS

## pH

Tabla 8.1 Resultados en la determinación de pH en el Lago de Guadalupe.

Mes	pH punto de muestreo 1	pH punto de muestreo 2	pH punto de muestreo 3	pH punto de muestreo 4	pH punto de muestreo 5
marzo	7	6.97	6.92	-	-
abril	6.83	6.65	6.94	7.05	-
junio	9.27	8.6	7.6	9.55	-
agosto	-	-	-	-	7.11

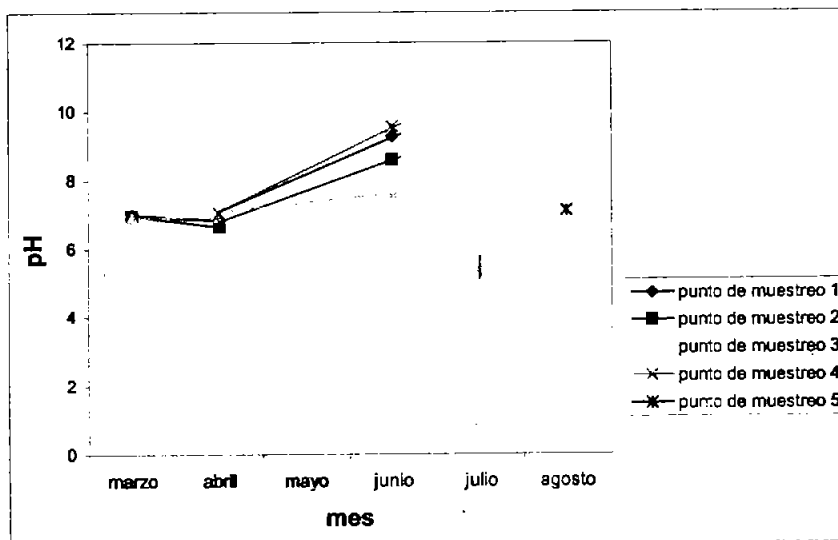


Figura 8.1 Gráfica del comportamiento del pH en el Lago de Guadalupe.

Si se observan los valores de pH, es demasiado evidente que hay un incremento considerable en el mes de junio que es cuando se presentaron las primeras lluvias, esto es debido a que con las lluvias se presentaron deslaves del suelo en las orillas del lago. En los meses anteriores el pH permanece en valores estables y favorables para la conservación de la vida acuática  $pH = 6-8$ , la variación de pH en el Lago de Guadalupe está en función del tipo y cantidad de sales que se encuentran disueltas en sus aguas así como las que se incorporaron al Lago con los deslaves en las orillas.

## CONDUCTIVIDAD

Tabla 8.2 Resultados en la determinación de Conductividad en el Lago de Guadalupe.

més	Conductividad $\mu\text{S/L}$ punto de muestreo 1	conductividad $\mu\text{S/L}$ punto de muestreo 2	conductividad $\mu\text{S/L}$ punto de muestreo 3	conductividad $\mu\text{S/L}$ punto de muestreo 4	Conductividad $\mu\text{S/L}$ punto de muestreo 5
marzo	391	231	345	-	-
abril	256	245	620	249	-
junio	275	249	263	247	-
agosto	-	-	-	-	467

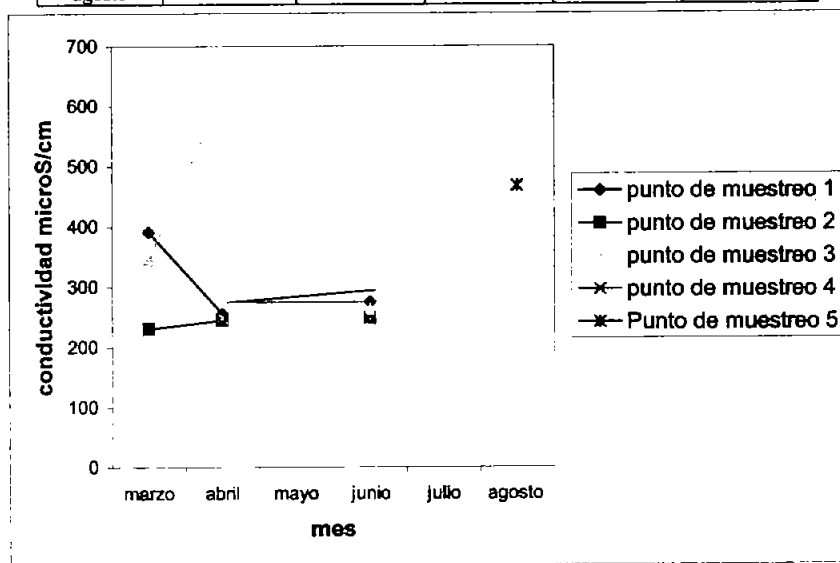


Figura 8.2 Grafica del comportamiento de la conductividad en el Lago de Guadalupe.

Los índices de conductividad se ven incrementados en el punto de muestreo 3 en el mes de abril que fue cuando se presentó más calor, ya que las sales se concentraron por la evaporación del agua, cabe mencionar que en el punto de muestreo 3 se tiene una descarga doméstica, por este motivo la presencia de sales es más grande con respecto a los otros puntos de muestreo. Cuando empiezan las lluvias, en el punto 3 es más notoria la disminución de conductividad debida a la dilución de las sales por la presencia de una mayor cantidad de agua en el lago. En este punto de muestreo es más notorio el cambio de concentración de las sales debido a que en este lugar el agua permanece un poco estancada, a pesar de que tiene una descarga, a diferencia de los otros puntos de muestreo que debido a las corrientes de lago se encuentran constantemente mezclados.



## PENETRACIÓN DE LA LUZ

### Punto de muestreo 4

Tabla 8.3 Penetración de la luz en el Lago de Guadalupe.

mes	Penetración de luz cm
abril	18.5
junio	32

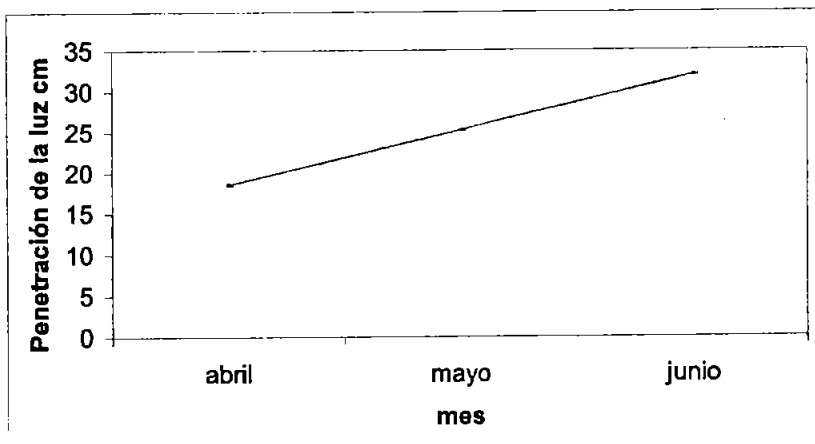


Figura 8.3 Gráfica penetración de la luz en el Lago de Guadalupe.

Se puede notar que la penetración de la luz es muy baja, y que durante el mes de junio esta se incremento debido a la dilución de las impurezas que ocasionan la turbidez del agua. El lago de Guadalupe presenta mucha turbidez por presencia de sólidos, aceites, grasas y materia orgánica.

Para medir la penetración de la luz, únicamente se tomaron dos muestras, durante época de lluvia y durante época de sequía.

## ALCALINIDAD

Tabla 8.4 Resultados de la determinación de Alcalinidad en el Lago de Guadalupe.

més	Alcalinidad mg CaCO <sub>3</sub> /L punto de muestreo 1 mg/L	Alcalinidad mg CaCO <sub>3</sub> /L punto de muestreo 2 mg/L	Alcalinidad mg CaCO <sub>3</sub> /L punto de muestreo 3 mg/L	Alcalinidad mg CaCO <sub>3</sub> /L punto de muestreo 4 mg/L	Alcalinidad mg CaCO <sub>3</sub> /L punto de muestreo 5 mg/L
marzo	40.48	25.3	30.36	-	-
abril	25.3	60.72	70.84	35.42	-
junio	5.06	35.42	45.54	10.12	-
agosto	-	-	-	-	100

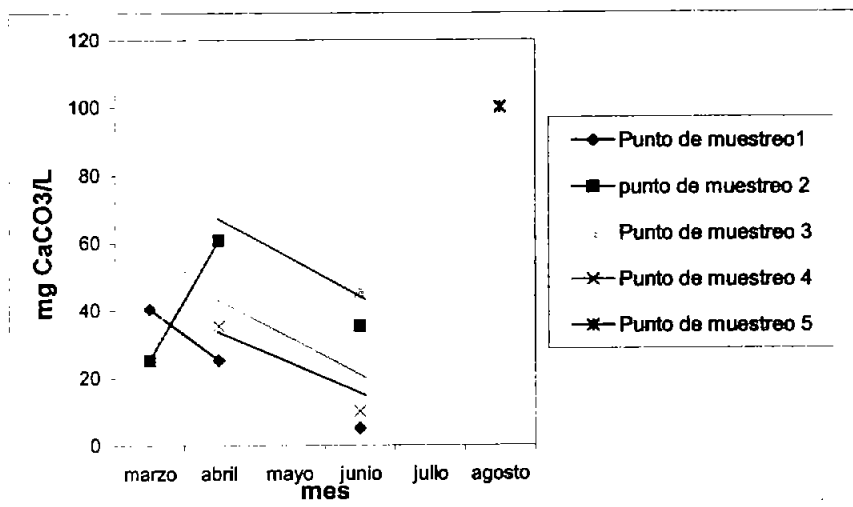


Figura 8.4 Gráfica del comportamiento de la alcalinidad en el Lago de Guadalupe.

Con respecto a alcalinidad en el mes de abril es cuando se detectó un incremento debido al periodo de calores tan intenso que se presentó, hubo mucha evaporación en las aguas del lago lo que originó un aumento en la concentración de carbonato de calcio. Cuando empezaron las lluvias se aprecia una disminución importante en la concentración de la alcalinidad en el lago debida a la dilución de la misma.

Se puede notar que en todos los puntos de muestreo, excepto en el primero, existe una tendencia similar, empezando con aumento durante la época de calor y posteriormente disminución con la presencia de lluvias; el primer punto no se presenta esta tendencia debido a que durante el mes de marzo el muestreo se realizó justo en la orilla donde la concentración debida a la evaporación era alta y una vez que comenzó la época de calor el agua de este punto se evaporó totalmente obligando a muestrear un poco más alejados de la orilla de ahí la variación.

A más alcalinidad, más estabilidad del pH. A menos alcalinidad, menos estabilidad del pH. La alcalinidad tiene diferentes valores: Valores medianos de 100-200 mg / L de  $\text{CaCO}_3$  en sistemas abiertos y cerrados, y hay valores de 20-40 mg / L como mínimo en sistemas abiertos; por lo que el Lago de Guadalupe puede decirse que se encuentra dentro de los rangos normales de alcalinidad. El  $\text{CO}_2$  es 200 veces más soluble que el oxígeno en el agua.

El pH varía muy poco y está comprendido entre 7 y 8. Dentro de estos límites la variación es mínima lo que influye en el desenvolvimiento de la vida planctónica. En la zona de la fotosíntesis, y sobre todo en momento de la gran multiplicación primaveral de las algas del plancton y al ser utilizado el bióxido de carbono disuelto, se provoca una elevación en la alcalinidad, que es lo que ocurrió en el Lago de Guadalupe principalmente en el mes de Abril.

## DUREZA TOTAL

Tabla 8.5 Resultados en la determinación de Dureza Total en el Lago de Guadalupe.

mes	Dureza total mg $\text{CaCO}_3$ / L punto de muestreo 1 mg/L	Dureza total mg $\text{CaCO}_3$ / L punto de muestreo 2 mg/L	Dureza total mg $\text{CaCO}_3$ / L punto de muestreo 3 mg/L	Dureza total mg $\text{CaCO}_3$ / L punto de muestreo 4 mg/L	Dureza total mg $\text{CaCO}_3$ / L punto de muestreo 5 mg/L
marzo	-	25.30	112.88	-	-
abril	60.20	45.15	120.63	60.20	-
junio	60.15	67.73	75.25	75.25	-
agosto	-	-	-	-	165.59

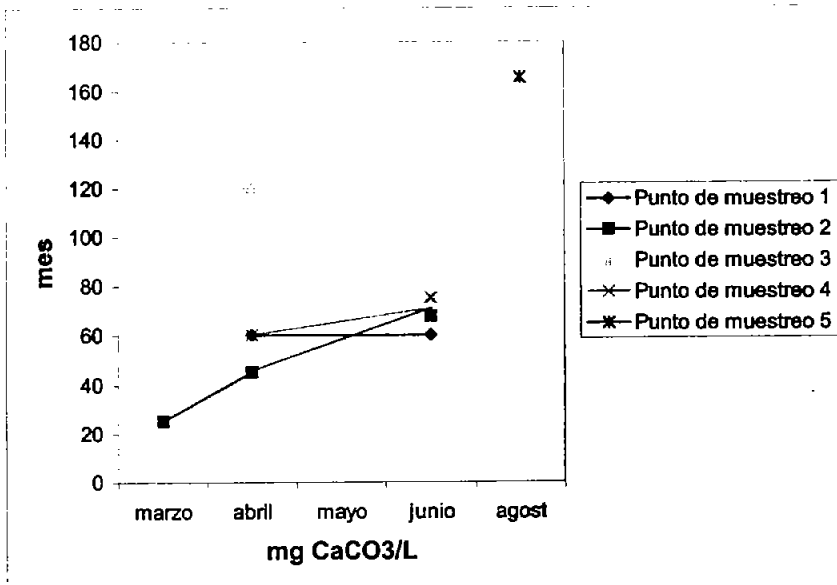


Figura 8.5 Gráfica del comportamiento de la dureza total en el Lago de Guadalupe.

Como se puede observar evidentemente el punto de muestreo 3 es el que presenta una mayor cantidad de dureza ya que como se mencionó anteriormente en este lugar se tiene una descarga residual doméstica por lo que en este punto existe una concentración más alta de sales en comparación de los otros puntos de muestreo. De forma semejante a la alcalinidad, hay una disminución de la dureza en el mes de junio originada por el comienzo de las lluvias.

La dureza total como  $\text{CaCO}_3$  en un análisis típico de aguas superficiales presenta valores de alrededor de 123 mg/L lo que significa que en el lago de Guadalupe la dureza total es menor a la que se esperaba encontrar. Los valores de calcio y dureza óptimos están entre 20 y 200 mg ( $\text{CaCO}_3 / \text{L}$ ). El agua del lago de Guadalupe puede clasificarse por los valores obtenidos en la experimentación entre ligeramente dura y moderadamente dura.

## OXÍGENO DISUELTO (OD)

Tabla 8.6 Resultados en la determinación de Oxígeno Disuelto en el Lago de Guadalupe.

mes	OD punto de muestreo 1 mg/L	OD punto de muestreo 2 mg/L	OD punto de muestreo 3 mg/L	OD punto de muestreo 4 mg/L	OD punto de muestreo 5 mg/L
marzo	3.5	2.5	2.5	-	-
abril	2.0	2.4	2.0	4.0	-
junio	3.0	6.5	4.3	5.0	-
agosto	-	-	-	-	0.5

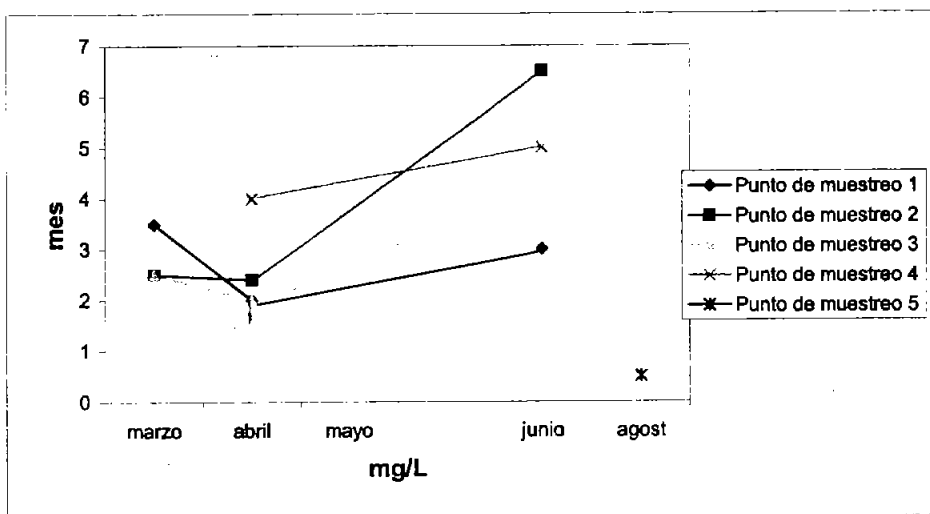


Figura 8.6 Gráfica del comportamiento del oxígeno disuelto en el Lago de Guadalupe.

En lo que respecta al oxígeno disuelto se encontró que al inicio de los períodos de muestreo, la cantidad de OD en el lago era baja, estos niveles de oxígeno, sólo en el primer punto de muestreo, eran aceptables aunque en el límite para la preservación de la vida acuática, en los otros puntos el valor es inferior a lo aceptado, ya que para la preservación de la vida acuática los niveles de oxígeno deben de estar entre 3 y 5mg/L y para que el agua pueda ser utilizada con fines de irrigación este valor debe de ser mayor de 2 mg/L como se puede observar los punto de muestreo 2 y 3 si pueden ser utilizados para riego. En el mes de abril, tal como se esperaba, los valores de OD disminuyeron debido a que la solubilidad del oxígeno en el agua se reduce al incrementarse la temperatura; en cambio

cuando empezó el período de lluvias se incrementaron los valores de oxígeno disuelto debido a que la temperatura disminuyó y hubo agitación de las aguas del lago lo que favoreció la dilución de oxígeno en las aguas, entonces todos los valores de OD fueron favorables para la vida acuática.

Entonces como se pudo observar a lo largo de los períodos de muestreo, la solubilidad del oxígeno en el lago de Guadalupe varió con respecto a dos factores importantes como son la temperatura y la salinidad:

- Temperatura → a mayor temperatura, menor concentración de oxígeno. Parámetro más importante.
- Salinidad → a mayor salinidad, menor concentración de oxígeno.

Los animales suelen estar adaptados entre 5-6 mg/L; esto depende del hábitat donde vive el animal, sin embargo entre 3 y 5 mg/L es un margen limitado.

## DEMANDA QUÍMICA DE OXIGENO (DQO)

Tabla 8.7 Resultados en la determinación Demanda Química de Oxígeno en el Lago de Guadalupe.

mes	DQO punto de muestreo 1 mg/L	DQO punto de muestreo 2 mg/L	DQO punto de muestreo 3 mg/L	DQO punto de muestreo 4 mg/L	DQO punto de muestreo 5 mg/L
marzo	23.57	51.98	55.99	-	-
abril	97.18	58.01	70.47	40.28	-
mayo	100	65	80	50	-
junio	36.48	18.21	12.94	6.06	-
agosto	-	-	-	-	25.38

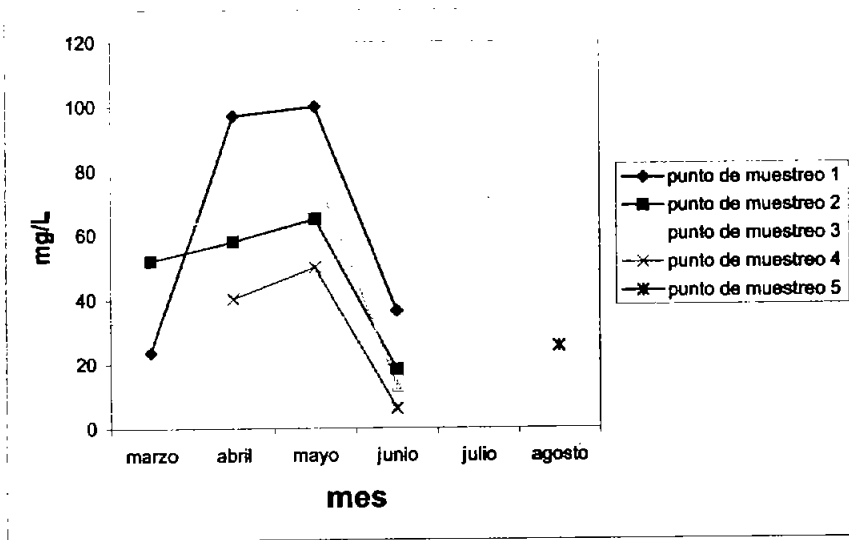


Figura 8.7 Gráfica de Demanda Química de Oxígeno en el Lago de Guadalupe.

La demanda química de oxígeno determinada al inicio de los períodos de muestreo tiende a incrementar como se observa en los meses de abril y mayo que es cuando la temperatura ambiental se incrementa, esta elevación en los valores de DQO se debe simplemente a que la descomposición de las sustancias orgánicas e inorgánicas se ve favorecida con los aumentos de temperatura. Por otra parte es el período de muestreo que corresponde a Junio la DQO disminuye considerablemente por la dilución de las aguas del lago con las de lluvia y la disminución de temperatura ambiental.

Pese a que la DQO es un parámetro importante para la evaluación de la calidad de las aguas, las normas oficiales mexicanas no consideran este parámetro dentro de los límites permisibles de contaminantes básicos para embalses naturales y artificiales.

## DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXIGENO (DBO)

Tabla 8.8 Resultados en la Determinación de Demanda Biológica de Oxígeno en el Lago de Guadalupe.

mes	DBO punto de muestreo 1 mg/L	DBO punto de muestreo 2 mg/L	DBO punto de muestreo 3 mg/L	DBO punto de muestreo 4 mg/L	DBO punto de muestreo 5 mg/L
marzo	14.5	21.83	38.24	-	-
abril	59.96	12.66	43.27	19.12	-
mayo	65	20	55	25	-
junio	13.93	5.8	5.4	3.033	-
agosto	-	-	-	-	10.50

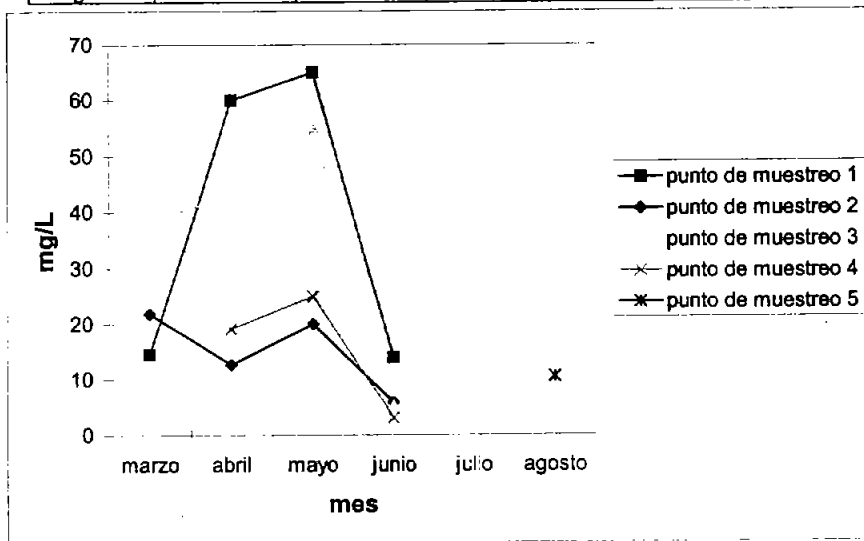


Figura 8.8 Gráfica de Demanda Biológica de Oxígeno en el Lago de Guadalupe.

La DBO aumenta en los meses de abril y mayo paralelamente a como ocurre con la DQO ya que de igual forma la DBO tiende a aumentar al ascender la temperatura y generarse condiciones más favorables de crecimiento de microorganismos los cuales degradan la materia inorgánica. La lluvia en el mes de Junio ocasionó una disminución considerable en la DBO debido a que las aguas del lago se diluyeron y la temperatura disminuyó. Para las condiciones de vida acuática en Europa los valores de DBO deben ser menores a 5 mg/L y de 30 mg/L para embalses naturales y artificiales de acuerdo a la NOM-001-ECOL-1996 como límites máximos permisibles para la protección de vida acuática. Internacionalmente no se cumple con un valor menor a 5 mg/L y de acuerdo a lo



estipulado nacionalmente, como se observa en la gráfica, los valores fueron superados principalmente en los meses de mayo y junio.

El agua del lago de Guadalupe según la NOM-001-ECOL-1996, es propicia para riego ya que los valores obtenidos no rebasan el límite permisible para este uso el cual es de 75 mg/L.

## SÓLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES (SST)

Tabla 8.9 Resultados en la determinación de Sólidos Suspendedos Totales en el Lago de Guadalupe.

Mes	Punto de muestreo 1	Punto de muestreo 2	Punto de muestreo 3	Punto de muestreo 4	Punto de muestreo 5
marzo	160	40	120	-	-
abril	80	40	80	120	-
junio	80	40	40	80	-
agosto	-	-	-	-	160

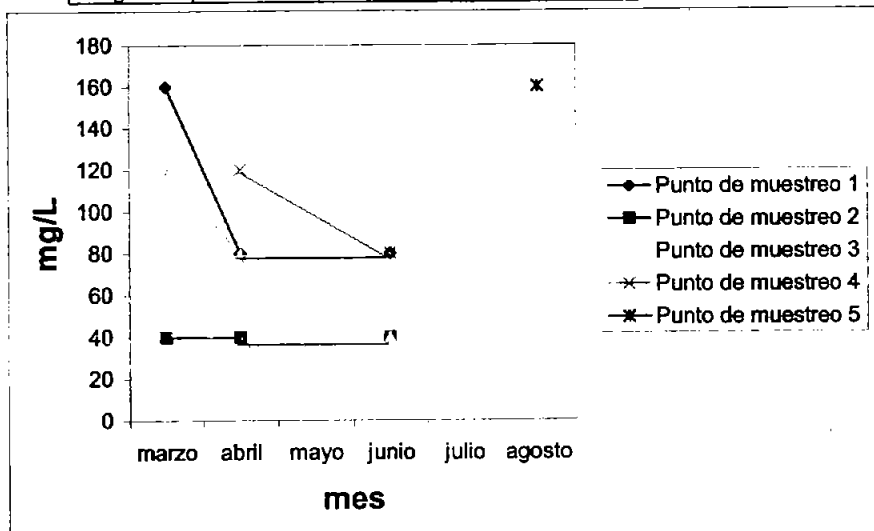


Figura 8.9 Gráfica del comportamiento de SST en el Lago de Guadalupe.

Los sólidos suspendidos totales fueron en decremento a medida que transcurrieron los períodos de muestreo; se puede observar en la gráfica que en el mes de junio fue cuando

se encontraron los valores menores y esto se debe, en gran parte, a las lluvias con las cuales hubo una dilución en los sólidos de las aguas del Lago de Guadalupe. De acuerdo con la NOM-001-ECOL-1996, el límite permisible de SST para embalses artificiales y naturales utilizados para riego agrícola se debe tener como máximo un valor de 75 mg/L y el límite permisible de SST para la preservación de la vida acuática, el valor máximo debe ser de 40 mg/L. En base a lo anterior y de acuerdo a los valores obtenidos para las aguas del Lago de Guadalupe se puede decir que se está amenazando la vida acuática y que no en todos los puntos de muestreo el agua podría ser utilizada para irrigación.

Cabe mencionar que la tendencia de los muestreos 2 y 4 son los más confiables porque fueron tomados a mayor distancia de la orilla, evitando el arrastre de sólidos:

### SÓLIDOS DISUELTOS TOTALES (SDT)

Tabla 8.10 Resultados en la determinación de Sólidos Disueltos Totales en el Lago de Guadalupe.

mes	SDT punto de muestreo 1 mg/L	SDT punto de muestreo 2 mg/L	SDT punto de muestreo 3 mg/L	SDT punto de muestreo 4 mg/L	SDT punto de muestreo 5 mg/L
marzo	320	40	200	-	-
abril	80	120	360	0	-
junio	200	200	160	120	-
agosto	-	-	-	-	240

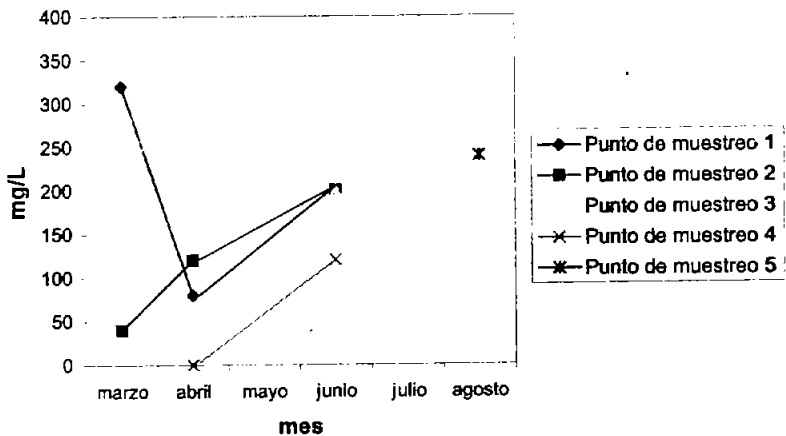


Figura 8.10 Gráfica del comportamiento de SDT en el Lago de Guadalupe.

Los valores obtenidos para sólidos disueltos totales aumentaron un poco en el mes de junio con las lluvias que se presentaron en este período de muestreo, sin embargo como se puede observar en el punto de muestreo 3 que es donde se tiene una descarga de casas, en el período de abril se tuvo un incremento importante originado por la evaporación del agua debida al intenso calor.

En los análisis típicos de aguas superficiales se encuentran valores de 165 mg/L para SDT, dicho parámetro es superado en los puntos de muestreo 1, 2, y 3, lo que significa que existen una cantidad mayor de SDT de los que se esperaba encontrar.

**CLORUROS**

Tabla 8.11 Resultados en la determinación de Cloruros en el Lago de Guadalupe.

mes	Cloruros punto de muestreo 1 mg/L	Cloruros punto de muestreo 2 mg/L	Cloruros punto de muestreo 3 mg/L	Cloruros punto de muestreo 4 mg/L	Cloruros punto de muestreo 5 mg/L
marzo	4.50	5.22	11.40	-	-
abril	9.02	6.17	21.37	6.55	-
junio	63.81	63.81	63.81	56.72	-
agosto	-	-	-	-	15.67

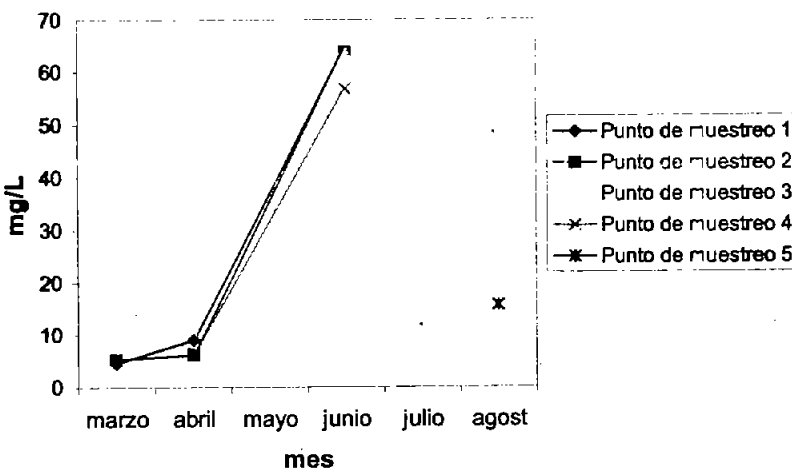


Figura 8.10 Gráfica del comportamiento de cloruros en el Lago de Guadalupe.

En lo que respecta a la concentración de cloruros se presentó un incremento que se originó por el deslave de los suelos del lago causada por la lluvia en este período de muestreo.

En los análisis típicos de aguas superficiales se reportan valores de 1.3 mg/L, en aguas utilizadas para riego los límites permisibles de  $\text{Cl}^-$  son de 2 a 5.5 mg/L pero como se pudo observar en la tabla y en la gráfica, los valores obtenidos para el lago de Guadalupe superan ampliamente estos parámetros.

## FOSFATOS

Tabla 8.11 Resultados en la determinación de Fosfatos en el Lago de Guadalupe.

mes	Fosfatos punto de muestreo 1 mg/L	Fosfatos punto de muestreo 2 mg/L	Fosfatos punto de muestreo 3 mg/L	Fosfatos punto de muestreo 4 mg/L	Fosfatos punto de muestreo 5 mg/L
marzo	2.7947	0.057653	1.55414	-	-
abril	0.61197	1.2114	9.275	1.698	-
junio	6.474	13.3654	13.2843	11.5002	-
agosto	-	-	-	-	25.375

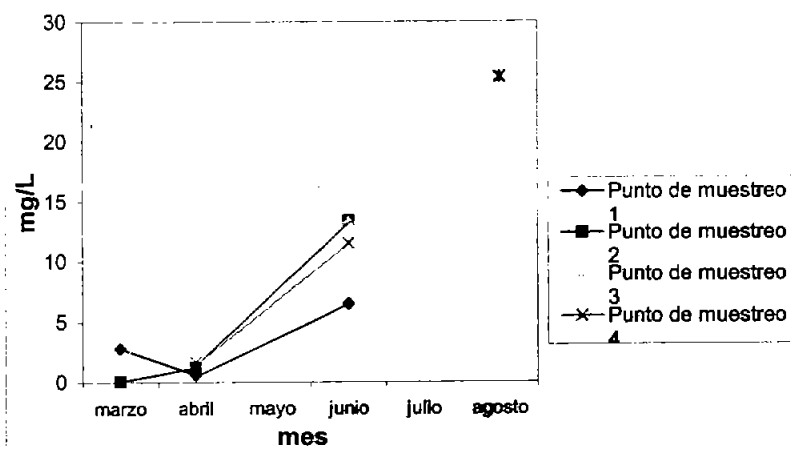


Figura 8.11 Gráfica comportamiento de Fosfatos en el Lago de Guadalupe.

De acuerdo con la NOM-001-ECOL-1996 que menciona los límites permisibles de contaminantes básicos en embalses naturales y artificiales para aguas de uso agrícola, se

tiene que la concentración máxima de fosfatos es de 20 mg/L mientras que para la preservación de la vida acuática en el mismo lugar es de 5 mg/L.

Observando los resultados obtenidos para fosfatos en el mes de junio se presentó una mayor concentración, y con estos valores se está poniendo en riesgo la vida acuática, sin embargo para fines de irrigación agrícola el límite no es superado en ninguno de los puntos de muestreo de acuerdo con la NOM. Es claro que el fósforo es uno de los elementos que mayor influencia ejercen en la eutroficación de los sistemas acuáticos. Los resultados de este estudio sugieren una constante liberación de ortofosfatos, muy comúnmente ligados a iones.<sup>26</sup>

## SÍLICE.

Tabla 8.12 Resultados en la determinación de Sílice en el Lago de Guadalupe.

més	Sílice punto de muestreo 1 mg/L	Sílice punto de muestreo 2 mg/L	Sílice punto de muestreo 3 mg/L	Sílice punto de muestreo 4 mg/L	Sílice punto de muestreo 5 mg/L
marzo	177.79	134.04	164.67	-	-
abril	199.67	155.92	299.50	155.92	-
junio	552.04	303.01	376.69	446.04	-
agosto	-	-	-	-	49.05

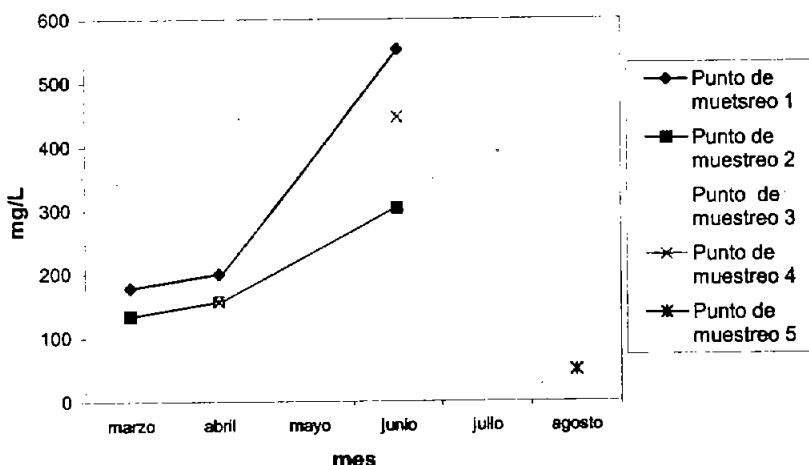


Figura 8.12 Gráfica del comportamiento de sílice en el Lago de Guadalupe.

Los valores de Sílice encontrados en el lago de Guadalupe en forma de silicatos son muy grandes con respecto a los valores que se pensaban encontrar de acuerdo con los valores reportados en los análisis típicos de aguas superficiales que da una concentración de  $\text{SiO}_2 = 1.2 \text{ mg/l}$ . Por lo que se creía que los suelos del lago de Guadalupe son ricos en Silicatos ya que en el período de muestreo correspondiente a junio fue cuando se presentó un mayor incremento de sílice probablemente debido al deslave originado por las lluvias.

## NITRÓGENO AMONICAL

Tabla 8.13 Resultados de la determinación de Nitrógeno amoniacal en el Lago de Guadalupe.

Mes	N amoniacal punto de muestreo 1 mg/L	N amoniacal punto de muestreo 2 mg/L	N amoniacal punto de muestreo 3 mg/L	N amoniacal punto de muestreo 4 mg/L	N amoniacal punto de muestreo 5 mg/L
abril	0.10	0.47	34.49	18.07	-
junio	8.25	8.52	9.0	7.51	-
agosto	-	-	-	-	9.93

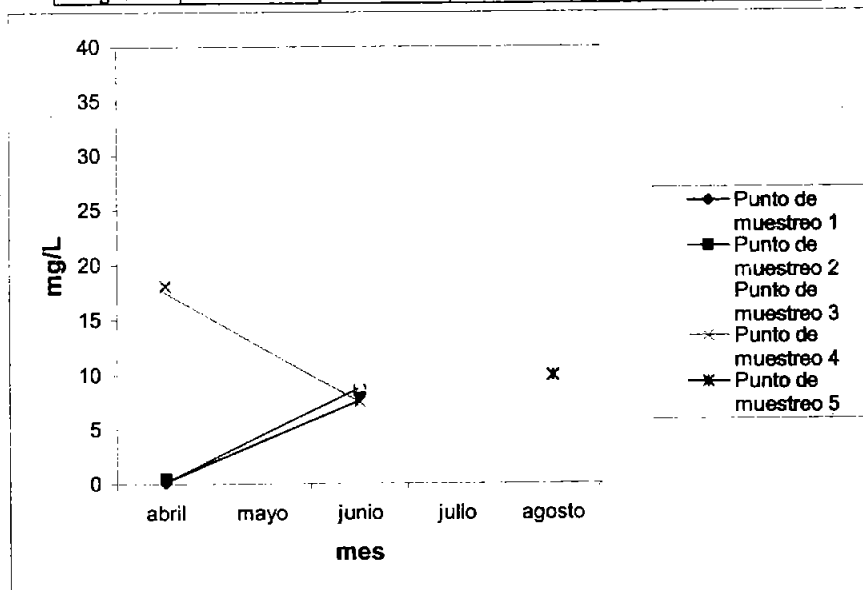


Figura 8.13 Gráfica del comportamiento del Nitrógeno amoniacal en el Lago de Guadalupe.

De acuerdo con las normas europeas el límite permisible para las condiciones de vida acuática en cuanto a la concentración de nitrógeno amoniacal es menor a 1 mg/L , y como se puede observar en los resultados y gráfica presentados, este valor es ampliamente superado en el mes de abril para los puntos de muestreo 3 y 4 ; y para los cuatro puntos en el mes de junio, por lo que la concentración de nitrógeno amoniacal en el lago de Guadalupe puede llegar a ser un riesgo para la vida acuática del mismo

## ACEITES Y GRASAS

Tabla 8.14 Resultados de la determinación de aceites y grasas en el Lago de Guadalupe.

Mes	Punto de muestreo 1	Punto de muestreo 2	Punto de muestreo 3	Punto de muestreo 4	Punto de muestreo 5
marzo	152	372	252	-	-
abril	390	374	418	390	-
junio	156	68	66	66	-
agosto	-	-	-	-	486

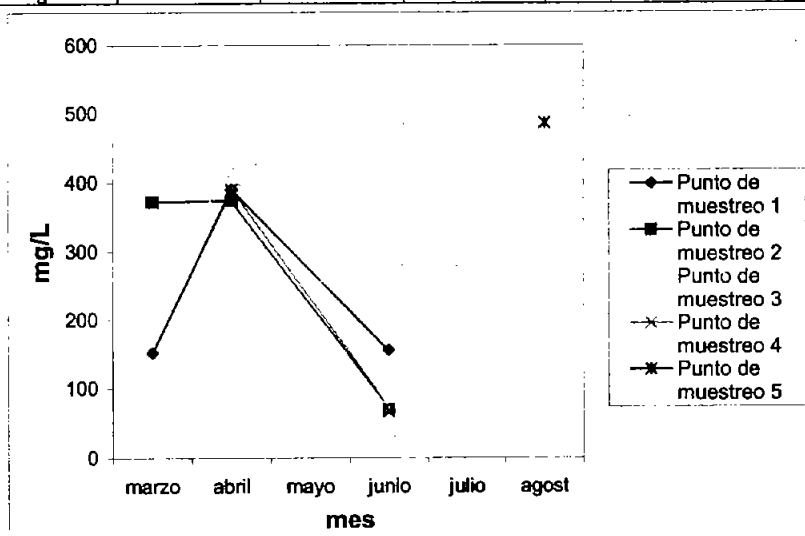


Figura 8.14 Gráfica del comportamiento de aceites y grasas en el Lago de Guadalupe.

Las concentraciones de aceites y grasas en el lago de Guadalupe incrementaron en el mes mas caluroso que corresponde al período de abril por la evaporación de las aguas, cuando comenzaron las lluvias en el mes de junio disminuyeron notoriamente como se muestra en la tabla y en la gráfica ya que estos se diluyen.

De acuerdo con la NOM-001-ECOl-1996, los límites permisibles de aceites y grasas para un embalse artificial y natural es de 15 mg/L para la preservación de la vida y uso en riego agrícola, por lo que resulta evidente que las concentraciones de aceites y grasas que presenta están muy por arriba del parámetro establecido lo que representa un peligro para la vida acuática y terrenos de riego.

## DETERGENTES COMO SUSTANCIAS ACTIVAS AL AZUL DE METILENO (SAAM)

Tabla 8.15 Resultados de la determinación de Detergentes como SAAM en el Lago de Guadalupe.

mes	Detergentes punto de muestreo 1 mg/L	Detergentes punto de muestreo 2 mg/L	Detergentes punto de muestreo 3 mg/L	Detergentes punto de muestreo 4 mg/L	Detergentes punto de muestreo 5 mg/L
marzo	0	0.013	0.056	-	-
abril	0.059	0.010	0.093	0.15	-
junio	0.046	0.027	0.061	0.061	-
agosto	-	-	-	-	0.24



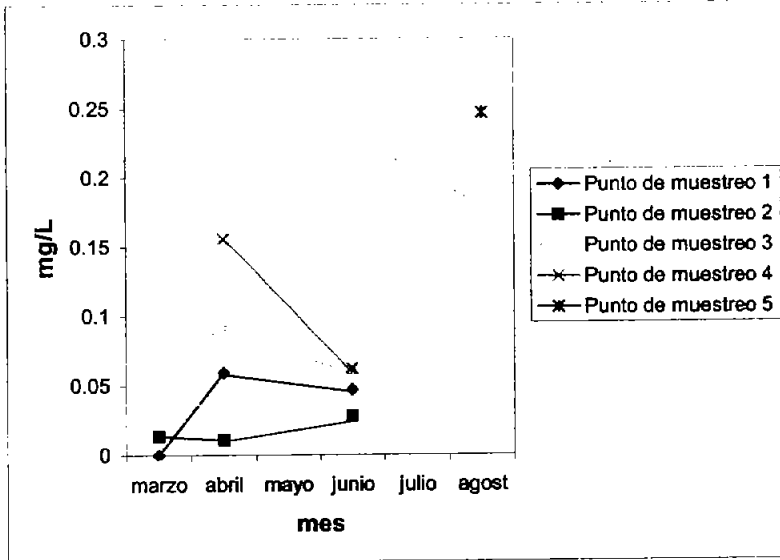


Figura 8.15 Gráfica del comportamiento de detergentes como SAAM en el Lago de Guadalupe.

Los valores encontrados de detergentes como SAAM, en realidad son mínimos ya que las concentraciones son pequeñas, sin embargo se puede observar que en el mes mas caluroso correspondiente a Abril se incrementa la concentración debido a la evaporación del agua y cuando comienzan las lluvias los detergentes tienden a diluirse al igual que ocurre con otros parámetros anteriormente mencionados.

La concentración de detergentes también puede variar debido a las descargas domésticas que hay en el lago, este factor es variable.

## 9. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.

De los resultados obtenidos al realizar el análisis, se llega a la conclusión de que el agua del lago de Guadalupe presenta valores de DQO y DBO tolerables para la vida acuática, y sus niveles son aptos para su uso en riego agrícola. En lo que respecta al contenido de OD, los valores en general no son del todo malos, se puede decir que son aceptables para la vida acuática del lago de Guadalupe. La presencia de las algas sin duda es un factor fundamental que ayuda a que los niveles de OD sean admisibles ya que su actividad fotosintética es vital para la preservación de OD en las aguas.

Las disminuciones de Nitrógeno Amoniacal en algunos puntos de muestreo en el Lago de Guadalupe se deben a que con las lluvias, la concentración de nitrógeno amoniacal en las aguas tendió a diluirse. El comportamiento del fosfato en el Lago de Guadalupe, sigue un patrón ascendente, entre el período de marzo y junio, cuyas concentraciones aumentan en la época de lluvias. Este incremento se debe a que en época de lluvias, el arrastre de fosfatos hacia el lago es mayor por el deslave de las orillas.

Por otra parte los niveles de aceites y grasas encontrados al igual que los sólidos en algunos puntos del lago son bastante mayores a lo permisible de acuerdo con las normas oficiales mexicanas, la presencia de estos son nocivos para la vida acuática y las tierras de riego.

Una propuesta para mejorar la calidad de las aguas del lago de Guadalupe podría ser la implementación de humedales<sup>27</sup> ya que proporcionan beneficios aumentando la estética del sitio y reforzando el paisaje, con plantas como espadañas, carrizos y juncos. La vegetación proporciona superficies para la formación de películas bacterianas, facilita la filtración y la adsorción de los constituyentes del agua, permite la transferencia de oxígeno al agua y controla el crecimiento de algas al limitar la penetración de luz solar.

En cuanto al rendimiento de los humedales, se puede decir que pueden tratar con una buena eficiencia niveles altos de DBO, SS y nitrógeno (rendimientos superiores al

80%). así como niveles significativos de metales, trazas orgánicas y patógenos. La remoción de fósforo es mínima debido a las limitadas oportunidades de contacto del agua con el suelo.

Visualmente, los humedales son ambientes extraordinariamente ricos. Introduciendo el elemento agua al paisaje, el humedal construido, tanto como el natural, agrega diversidad al paisaje. Pueden construirse humedales artificiales siguiendo las formas que tienen los contornos naturales del sitio, hasta el punto de que algunos humedales para el tratamiento de agua son indistinguibles, a simple vista, de los humedales naturales.

## REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- 1.- Lui, David H.F. & Lipták, Béla G. "Groundwater and Surface Water Pollution" Lewis Publishers, U.S.A. 2000
- 2.- Fuente: [www.cuautitlan.org](http://www.cuautitlan.org)
- 3.- Fuente: [www.sagan-gec.org](http://www.sagan-gec.org)
- 4.- Hammer, Marja, "Water and Wastewater", 2a. Edición, John Wiley & Sons, U.S.A. 1986
- 5.- Yen, Teh Fu, "Environmental Chemistry" Vol 4A "Essentials of chemistry for Engineering Practice", Prentice Hall PTR, U.S.A. 1999
- 6.- Gordon M., Fair "Ingeniería Sanitaria y Aguas Residuales", Limusa Mex. D.F. 1998
- 7.- Kadlec, R.H. "Wetland systems for water pollution control", vol. 35 No. 5, Ed. Brix H. 1995.
- 8.- Reed, S.C., Crites R.W., Middlebrooks E.J., "Natural systems for waste management and treatment", 2a edition, Mc Graw Hill, 1995
- 9.- Stanley E. "Fundamental of Environmental Chemistry", 2a Ed. Lewis Publishers, 2001.
- 10.- Mitsch, W. & Jorgensen, S., "Ecological Engineering an Introduction to Ecotechnology" John Wiley & Sons., 1989.
- 11.- Yen, Teh Fu, "Environmental Chemistry", vol 4B "Chemical Principles for Environmental Process", Prentice Hall PTR, 1999.
- 12.- Granados S., D. Et. al. "Destrucción del Planeta y Educación Ambiental". Universidad Autónoma de Chapingo.
- 13.- Harrison, R. M., "Understanding our environment", Royal society of chemistry, 199.
- 14.- Harber r., Perfler, r. "Wetland systems for water pollution control", Laber J. Cooper, 1996.
15. Barrat, B. M., "Recursos y Medio Ambiente" Gustavo Gili, S.A., Barcelona 1978.
- 16.- Brock, J. et. al. "Biology of Microorganism" 8a Edition Parker Souther, Illinois University, Illinois 1994.
- 17.- Cole, G.A. "Text book of Limnology" 3a Edition, Mosby Co., St. Louis, 1983.
- 18.- Horne, A.J., & Goldman, C.R. "Ecology and Classification of North America Invertebrates" 2a Edition, Mc Graw Hill, New York, 1994.
- 19.- Brown J.E. & le May, "Population Biology al alewines in lake Michigan", Brown Co., Michigan, 1987.
- 20.- Curtis H. & Barbes, N. "Biología" 6a Ed., Paidos, Buenos Aires, 1989.
- 21.- et. al. "Standar Methods for Examination of Water and Wastewater", 19a Edition, APHA, AWWA, EPCF, 1995.
- 22.- Enkerlin, E. et. al., "Ciencia Ambiental" y Desarrollo Sostenible", International Thampson editores, Mex. D.f: 1997
- 23.- Fuente: <http://www.reforma.com/mapas/planos.asp>
- 24.- Normas Oficiales Mexicanas para descargas de aguas residuales a cuerpos receptores: NOM-001-ECOL/1996 publicada el 1º de Junio de 1997 en el Diario Oficial de La Federación, NOM-001-ECOL/1993 a NOM-033-ECOL/1993, publicadas en el Diario Oficial de la Federación el 18 de Octubre de 1993.
- 25.- Jirka, A.M. & Carte, J.M. "Micro Semi-Automated Analisis of Surface and Wastewaters for Chemical Oxygen Demand", Central Regional Laboratory, environmental Protection Agency, Chicago.

- 26.- Droste, R.L. *"Theory and Practice of water and wastewater treatment"*, John Wiley & Sons, 1997.
- 27.- García, J.L. *"Autodepuración de aguas residuales urbanas mediante humedales construidos en Tecnología del agua"*, Limusa, Mex. , D.F. 1997.
- 28.- Flores, F. J. Jefe del Departamento del Lago de Guadalupe y Mejoramiento Ambiental. Cuautitlán Izcalli, *Síntesis de la Información geográfica del Estado de México*, INEGI, 2001 página 28, 06 de agosto del 2003.

## ANEXO

### A. COLOR VERDADERO METODO ESPECTROFOTOMETRICO. <sup>21</sup>

#### Equipo y material

- 1 centrífuga
- espectrofotómetro
- 2 pipetas graduadas de 10 ml
- 1 piseta con agua destilada
- 1 vaso de pp. de 205 ml
- 1 perilla de seguridad

#### Procedimiento

- a. Preparación de la muestra: Elimínese por centrifugado el exceso de materias en suspensión.
  - b. Determinación de las características de transmisión de la luz
- 
1. Límpiense meticulosamente las celdas de absorción de 1 cm con detergente y enjuáguese con agua destilada y a continuación llénense la celda con muestra filtrada.
  2. Para determinar el color verdadero de la muestra se utiliza un espectrofotómetro variando la longitud de onda de mayor a menor de 422 nm a 646 nm calibrando con el blanco (agua destilada) para cada medición

**Cálculo:**

Cambiar los valores de absorbancia obtenidos en el espectrofotómetro a:

$$\% \text{Transmitancia} = -\log(\text{Absorbancia}) * 100.$$

Tabúlense los valores de transmitancia correspondientes a las longitudes de onda mostradas en las columnas X, Y y Z de la tabla A. Totalícese cada columna de transmitancia y multiplíquense los totales por los factores adecuados que figuran en la parte baja de la tabla A, para obtener valores triestímulo X, Y y Z. El valor triestímulo corresponde al porcentaje de luminancia.

Calcúlese los coeficientes tricromáticos  $x$  e  $y$  a partir de los valores triestímulos X, Y y Z, mediante las siguientes ecuaciones:

$$x = \frac{X}{X + Y + Z}$$
$$y = \frac{Y}{X + Y + Z}$$

Localícese el punto (x,y) en uno de los diagramas de cromaticidad y determínese la longitud de onda predominante ( en nanómetros) y la pureza ( en porcentaje) directamente a partir del diagrama.

Determinese la tonalidad a partir del valor de longitud de onda dominante, de acuerdo con los márgenes de la tabla A2.

X	Y	Z
435.5	489.5	422.2
461.2	515.2	132
544.3	529.8	438.6
564.1	541.4	444.4
577.4	551.8	450.1
588.7	561.9	455.9
599.6	570.5	462
610.9	584.8	468.7
624.2	600.8	477.7
645.9	627.3	495.2
0.09806	0.01	0.11814

Tabla A-1. Ordinales seleccionados para determinaciones espectrofotométricas de color.<sup>21</sup>

La tonalidad del agua analizada es determinada a partir del valor de longitud de onda dominante, de acuerdo con los márgenes siguientes:

Margen de longitud de onda nm	Color
400-465	violeta
465-482	azul
482-497	azul-verde
497-530	verde
530-575	amarillo verdoso
575-580	amarillo
580-587	naranja amarillento
587-598	naranja
598-620	naranja rojo
620-700	rojo

Tabla A-2 Matices de color para márgenes de longitud de onda predominante.<sup>21</sup>



Figure 2120:1. Chromaticity diagrams.

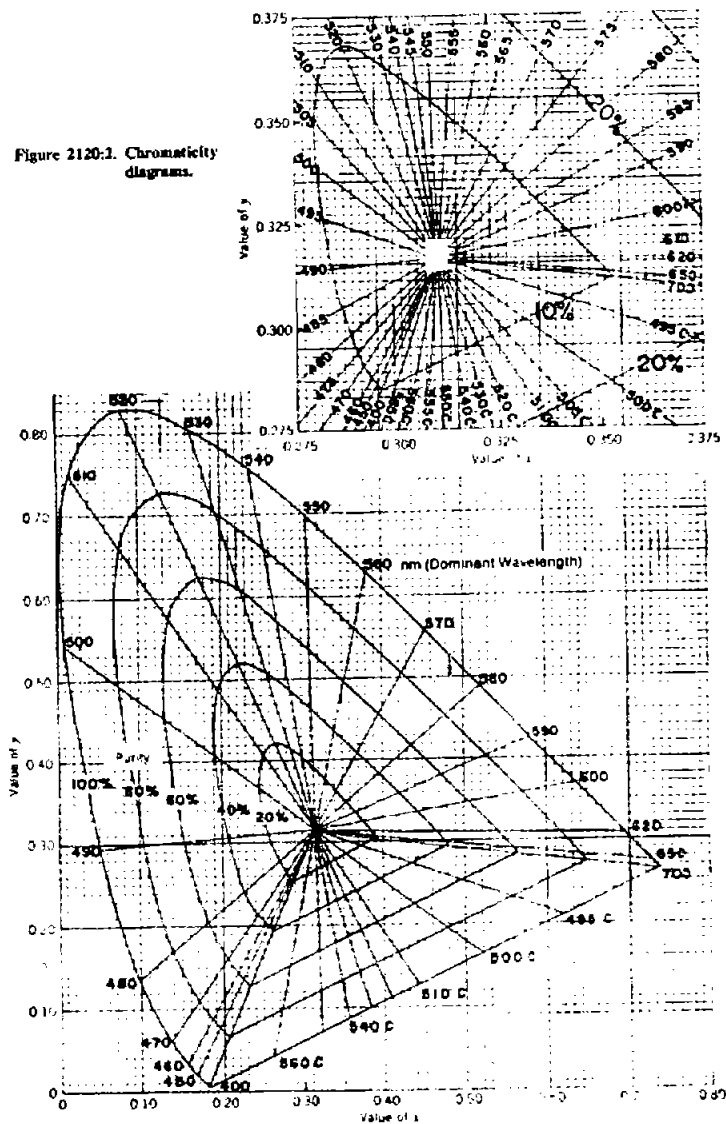


Figura A. Diagramas de cromaticidad en donde se determina la longitud de onda predominante (nm) y la Pureza (%).<sup>21</sup>

## **B . DETERMINACIÓN DE COLOR APARENTE POR EL METODO HELLIGE.<sup>21</sup>**

### **Equipo y material**

- 1 Aparato Hellige
- 2 Celdas Hellige
- 2 vasos de pp. de 250 mil
- 1 piseta con agua destilada

### **Procedimiento**

1. Tomar una celda Hellige y llenarla de agua destilada para ser tomada como el blanco, y la otra celda Hellige llenarla con la muestra.
2. Introducir las celdas Hellige con la muestra y el blanco en el aparato.
3. Visualizar el color de la muestra en el aparato Hellige girando el disco de referencia hasta que un color del disco sea igual al de la muestra.
4. Leer las unidades de color.
5. Si el color de la muestra no coincide con ninguno del disco, hacer una dilución.

### **Cálculo**

Las unidades de color aparente con dadas directamente por el aparato Hellige, en unidades de color. Es importante tomar en cuenta las diluciones cuando se realizasen.

### **Aspectos importantes**

- La turbidez es una característica presentada por aguas superficiales y residuales debido a materiales insolubles que se encuentran en suspensión, coloides o

partículas muy finas, las cuales dificultan la capacidad del agua para transmitir la luz, el uso de la centrifuga elimina la turbidez.

- La turbidez interfiere para la determinación de color verdadero por eso es necesario eliminar la turbidez presente en el agua, ya que de otra manera resulta difícil determinar el color verdadero debido a las partículas que se encuentren suspendidas en la misma, es importante señalar que los procedimientos de filtrado pueden eliminar parte del color real de la muestra. La presencia de turbidez puede alterar el valor del color registrado. La turbidez incluso cuando es ligera hace que el color aparente sea más llamativo que el color real.
- La cromaticidad es un fenómeno relacionado con el color de la luz y que hace depender ciertas propiedades ópticas de la longitud de onda.
- La tonalidad se designa como longitud de onda dominante, el grado de brillantez como luminacias y la saturación como pureza del color.
- Los diferentes tonos de color en el agua se deben principalmente a los materiales de tipo coloidal o en suspensión que contienen. Cabe mencionar que el color del agua también puede estar condicionado a la presencia de iones metálicos como el hierro o manganeso, de humus y turbas, de plancton, de restos vegetales y de residuos industriales.
- La determinación del color es importante porque, en general, el agua de consumo humano debe estar libre de color, tanto por razones estéticas como porque cuando se tiene un color se sabe de antemano que el agua está contaminada (con sustancias que pueden ser o no dañinas, como residuos industriales o jugo de limón) La fuente de abastecimiento de agua no debe tener un color que exceda las 75 unidades de color en la escala platino-cobalto, cuando el agua se destinará a uso doméstico. El color del agua afecta la vida acuática al reducir la penetración de la luz, reduciendo la fotosíntesis del fitoplancton y restringiendo la zona de crecimiento de plantas acuáticas. El incremento en el color y en la turbidez del agua, debidos a la acción humana, no debe bajar la actividad fotosintética en más de un 10 % de la que se suele tener en cada época del año, en los organismos acuáticos.

## C. DETERMINACION DE pH, CONDUCTIVIDAD Y TEMPERATURA CON EL APARATO MULTIFUNCIONAL.

### Equipo y material

- Aparato multifuncional<sup>1</sup>
- 1 Piseta con agua destilada
- 2 Vasos de precipitado (pp.) de 250 ml

- **pH**

1. Calibrar el aparato multifuncional con el electrodo de pH sumergiendo dicho electrodo el primer buffer de 4 que incluye el aparato y presionar la tecla CAL.
2. Cuando el aparato pida el segundo buffer, enjuagar el electrodo con agua destilada y secarlo perfectamente y sumergirlo en el segundo buffer pH 7 y presionar la tecla CAL.
3. Una vez calibrado el aparato, enjuagar el electrodo y colocar en un vaso de pp. de 500 ml una cantidad suficiente de cada muestra y sumergir en la muestra presionando la tecla RUN para iniciar la medición.

- **Conductividad**

1. Calibrar para conductividad con el electrodo correspondiente y la solución 1432 que incluye el aparato sumergiendo dicho electrodo en ella y presionando la tecla CAL.
2. El aparato se estabiliza lo que significa que está calibrado, entonces se debe enjuagar y sumergir el electrodo en la muestra y presionar la tecla RUN, la medición se proporciona en  $\mu\text{s/cm}$ .

---

<sup>1</sup> Las determinaciones de pH, conductividad y temperatura de las muestras se realizaron con el aparato multifuncional Termo Orion Modelo 1230.

- **Temperatura**

- a. El valor de la temperatura se proporciona aunada a cualquiera de las 2 mediciones anteriores y se proporciona en °C

**Aspectos importantes**

- La importancia de dichos parámetros (pH, conductividad y temperatura) radica en que son los que se deben controlar en las aguas residuales antes de ser lanzadas a un cuerpo receptor con el fin de disminuir el impacto ambiental negativo. Incluso existen normas para controlar dichas variables en el manejo de aguas residuales.
- El valor del color del agua depende en buena medida y se incrementa de manera invariable al aumentar el pH del agua. Cuando se informa sobre un registro numérico referido a color también se debe especificar a que pH fue determinado.

**D. DETERMINACION DE ALCALINIDAD POR TITULACIÓN.** <sup>21</sup>**Equipo y material**

- 1 bureta de 50 ml
- matraces erlen meyer 150 ml
- 1 piseta
- 1 soporte universal completo
- 1 perilla de seguridad
- 2 pipetas graduadas de 25 ml

**Procedimiento**

1. Tomar una muestra de 25 ml.
2. Agregar 25ml. de agua destilada.

3. Agregar unas gotas de fenolftaleina al 10% (si no muestra vire continuar con la titulación) Agregar unas gotas de anaranjado de metilo al 10% como indicador
4. Titular con una solución de H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 0.02N.

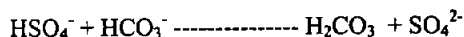
### Cálculo

$$\text{Alcalinidad mg / L}_{\text{CaCO}_3} = \frac{\text{ml de H}_2\text{SO}_4 \text{ utilizados} \times \text{Normalidad} \times 50000}{\text{ml de muestra}}$$

### Aspectos importantes

- Reacciones que ocurren en la determinación de alcalinidad

La especie predominante del ácido carbónico es el ión carbonato ácido ( $pK_{a1} = 6.34$ ;  $pK_{a2} = 10.25$ ) y la reacción entre ésta y el ácido sulfúrico (diluido, 0.02N) es:



## E. DETERMINACION DE DUREZA POR TITULACION.<sup>21</sup>

### Equipo y material

- 1 bureta de 50 ml
- Matraces Erlenmeyer 150 ml
- 1 piseta con agua destilada
- 1 soporte universal completo
- 1 perilla de seguridad
- 2 pipetas graduadas de 25 ml

**Procedimiento****Dureza Total**

1. Tomar 25 ml. de muestra
2. Agregar 25ml. de agua destilada
3. Agregar 2ml. de buffer amoniaco
4. Agregar 0.1 g de indicador negro de eriocromo
5. Titular con EDTA (0.02M)

**Dureza de Calcio**

1. Tomar 25 ml. de muestra
2. Agregar 25ml. de agua destilada
3. Utilizar 1ml. de solución buffer NaOH (0.01M)
4. Agregar como indicador murexida 0.1g.
5. Titular con EDTA (0.02M)

**Cálculo****Dureza de Calcio**

$$Co_{Ca} = ml \text{ gastados EDTA} * \frac{M_{EDTA}}{ml \text{ muestra}} = molCa / L = molCa / L * PM_{Ca} = mgCa / L$$

**Dureza de Magnesio**

$$Co_{TOTAL} = ml \text{ gastados EDTA} * \frac{M_{EDTA}}{ml \text{ muestra}} = mol / L$$

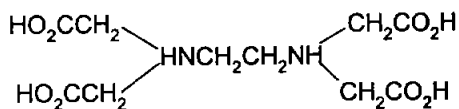
$$Co_{Mg} = Co_{TOTAL} - Co_{Ca} = molMg / L = molMg / L * PM_{Mg} = mgMg / L$$

**Dureza total**

$$Dureza \text{ mg / L} = 2.497(mgCa / L) + 4.118(mgMg / L) = mg / L$$

**Aspectos importantes**

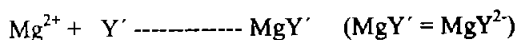
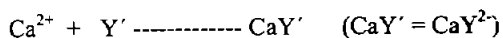
- La determinación de  $\text{Ca}^{++}$  se lleva a cabo a pka's altos con el propósito de tener un pH alto en la solución para evitar la precipitación del calcio.
- EDTA



- Los agentes quelantes son aquellos que se unen a los iones metálicos a través de más de un átomo. Un ligando que se une a un ión metálico a través de más de un átomo también se conoce como multidentado.
- Reacciones que ocurren en la determinación de Dureza:

**Dureza Total y dureza de Calcio**

Tanto el Calcio como el Magnesio forman complejos 1:1 con el ácido etilendiamintetracético (EDTA). El buffer amonio/amoniaco a pH cercano a 10 propicia que el EDTA se presente como las especies mono-protonadas y sin protones, propiciando la formación del complejo. Además, los metales de interés no forman complejos con el amoniaco, y muchos otros de los presentes en el agua si lo hacen, hecho que ayuda a disminuir las interferencias de otros iones metálicos. Así, la reacción es, usando la especie de EDTA generalizada (que se representa como Y, y puede ser indistintamente la que contiene un protón o la que no lo tiene):



Las reacciones no están balanceadas en carga porque para ello se deberían usar las especies reales en vez de las generalizadas.

tradicionalmente como los sólidos totales presentes en agua después de que todos

<sup>u</sup> Las determinaciones de oxígeno disuelto de las muestras se realizaron con el aparato multifuncional Termo Orion Modelo 1230.



## F. DETERMINACION DE OXIGENO DISUELTO (OD).<sup>21</sup>

### Equipo y material

- 1 aparato multifuncional
- Vasos de pp. de 250ml
- 1 Piseta con agua destilada

### Procedimiento

1. Calibrar el aparato multifuncional<sup>II</sup> con el electrodo correspondiente, humedeciendo la esponja del electrodo en agua destilada y tapando presionar la tecla CAL.
2. Una vez estabilizado el aparato, retirar la tapa y la esponja del electrodo y sumergirlo en las muestras, presionando posteriormente la tecla RUN para efectuar la medición en mg/L de OD.

### Aspectos importantes

- Las interferencias que pueden presentarse durante la determinación son especialmente los materiales oxidantes o reductores, que pueden encontrarse en la muestra. Algunos agentes oxidantes liberan yodo a partir de los yoduros (interferencia positiva) y algunos reductores reducen el yodo a yoduro (interferencia negativa). La mayoría de la materia orgánica se oxida principalmente cuando el manganeso oxidado precipitado se acidifica, causando así errores negativos.
- La solubilidad del oxígeno es inversamente proporcional a la temperatura, y la variación en esa propiedad respecto a la temperatura es algo grande, de tal forma que pequeños cambios en la temperatura afectan sensiblemente la cantidad de OD.
- La salinidad afecta la solubilidad del oxígeno. Aunque la salinidad se ha definido tradicionalmente como los sólidos totales presentes en agua después de que todos

<sup>II</sup> Las determinaciones de oxígeno disuelto de las muestras se realizaron con el aparato multifuncional Termo Orion Modelo 1230.

los carbonatos se hayan convertido en óxidos, todos los bromuros y yoduros hayan sido sustituidos por cloruros y toda la materia orgánica se haya oxidado, se basa en la conductividad eléctrica del agua. Para aguas residuales, es necesario conocer los iones responsables de la conductividad de la solución para corregir sus efectos sobre la solubilidad del oxígeno.

- La constante de equilibrio aire-agua del oxígeno

La cantidad de OD en agua limpia y marina en equilibrio con aire saturado de agua puede determinarse con la ecuación:

$$\ln(C^*) = -139.3441 + \frac{1.5757 \times 10^5}{T} - \frac{6.6423 \times 10^7}{T^2} + \frac{1.2438 \times 10^{10}}{T^3} - \frac{8.6219 \times 10^{11}}{T^4} - \text{Chl} \left[ 3.1929 \times 10^{-2} - \frac{1.9428 \times 10}{T} + \frac{3.8673 \times 10^3}{T^2} \right]$$

Donde

$C^*$  = Concentración de OD en equilibrio, a 1 atm.

T = Temperatura, K

Chl = Cloración

Si en vez de la cloración se usara la salinidad, la primera, junto con el término entre corchetes, se sustituye por:

$$\text{Chl}[\dots] = -Sx(1.7674 \times 10^{-2}) - \frac{1.0754 \times 10}{T} + \frac{2.1407 \times 10^3}{T^2}$$

Donde S es la salinidad.

Si la presión no es la estándar, ésta se corrige por:

$$C_p = C^* \times P_x \left[ \frac{(1 - P_{vw} / P)x(1 - \theta P)}{(1 - P_{vw})x(1 - \theta)} \right]$$

Donde

$C_p$  = Concentración de OD en equilibrio a las condiciones de trabajo reales, mg/L

$C^*$  = Concentración de OD en equilibrio a presión  $P = 1$  atm, en mg/L

$P$  = presión de trabajo, no estándar, atm absolutas (ata)

$P_{vw}$  = Presión de vapor del agua, en atm, calculada a partir de:

$$\ln(P_{vw}) = 11.8571 - \frac{3840.7}{T} - \frac{216.961}{T^2}$$

$$\theta = 9.75 \times 10^{-4} - 1.426 \times 10^{-5} t + 6.436 \times 10^{-8} t^2$$

$t$  = Temperatura, en °C

La salinidad se define por una escala basada en la conductividad eléctrica de soluciones, aunque tradicionalmente se le denomina también como la cantidad de sólidos totales después de que todos los carbonatos se hayan convertido a óxidos, todos los bromuros y yoduros se hayan cambiado por cloruros y toda la materia orgánica se haya oxidado.

- Otros métodos para la determinación de OD
  - Métodos yodométricos
  - Modificación de azida
  - Modificación de permanganato
  - Modificación de la floculación de alumbre
  - Modificación de la floculación de la combinación sulfato de cobre-ácido sulfámico.
  - Método del electrodo de membrana

Pueden describirse dos métodos para la determinación oxígeno disuelto: el de Winkler o yodométrico y sus modificaciones, y el electrométrico que utiliza electrodos de membrana. El método yodométrico es un procedimiento titulométrico basado en la propiedad oxidante de OD, mientras que el método del electrodo de membrana se basa en la tasa de difusión del oxígeno molecular a través de una membrana. La elección del método depende de las interferencias presentes.

## G. DETERMINACIÓN DE DEMANDA QUÍMICA DE OXÍGENO POR EL METODO HACH.(DQO)<sup>25</sup>

### Equipo y Material

- 1 aparato Hach Cod Reactor
- 1 espectrofotómetro
- Tubos Hach de vidrio con tapa
- 3 pipetas volumétricas 1 ml
- 2 pipetas volumétricas de 2.5 ml
- 1 perilla de seguridad
- 1 gradilla

### Procedimiento

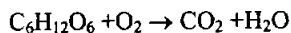
1. Tomar una muestra con un blanco de 2.5 ml.
2. Tomar un blanco de 2.5 ml. de agua destilada
3. Agregar 1.5 ml. de solución de digestión<sup>III</sup>
4. Agregar 3.5 ml. de solución catalizadora<sup>III</sup>
5. Digerir por espacio de 1 hora en el aparato HACH Cod Reactor
6. Leer en el espectrofotómetro a una longitud de onda de 600nm usando el blanco de agua destilada

### Cálculo

Determinar la concentración de la DQO con la curva de calibración.

### Aspectos importantes

- La reacción estequiométrica de la materia orgánica:



---

<sup>III</sup> ver detalles de preparación en la elaboración de la curva de calibración.

- **Método de Hach**

*Solución de digestión* . se utiliza para inducir la oxidación de la materia orgánica presente en la muestra. El agente oxidante es la materia orgánica presente en la muestra , y el agente reductor es el dicromato de potasio  $K_2Cr_2O_7$ .

*Solución catalizadora*. Simplemente se emplea para acelerar el proceso de la reacción de oxidación de la materia orgánica.

- Las especies inorgánicas reducidas, tales como el hierro ferroso, el sulfuro, el manganeso, etc., resultan oxidadas cuantitativamente bajo las condiciones de prueba.
- La mayor parte de la materia orgánica resulta oxidada por una mezcla de ebullición de los ácidos crómico y sulfúrico. Se somete a digestión una muestra en una solución ácida fuerte con un exceso conocido de dicromato de potasio  $K_2Cr_2O_7$ . Después de la digestión, el  $K_2Cr_2O_7$  no reducido que quede se determina mediante espectrofotometría, la cantidad de  $K_2Cr_2O_7$  consumido y así calcular la materia orgánica oxidable en término de equivalente de oxígeno.

### Curva de Calibración Experimental DOO por el Método Hach

*Elaboración de reactivos necesarios para la determinación*

- Solución de Digestión*. Añadir 10.216 g de  $K_2Cr_2O_7$  a 167 ml de  $H_2SO_4$  concentrado y 33.3 g de  $HgSO_4$  con 500 ml de agua destilada y diluir la solución a 1 L.
- Solución catalizadora*. Se prepara disolviendo 22 g de  $AgSO_4$  con  $H_2SO_4$  Concentrado aforando a 1L.
- Solución Madre*. Se prepara con 8.5 g de Ftalato Ácido de potasio previamente puesto a sequedad durante 84 horas y diluyendo en agua a 1L. La solución madre tiene la cantidad equivalente a 10g /L de Ftalato Ácido de Potasio.
- Elaboración de Estándares*. Se elaboraran estándares con un contenido de 25, 50, 75, 100, 250, 500, y 750 mg/L

Los estándares se prepararon diluyendo 2.5, 5, 7.5, 10, 25, 50, y 75 ml de la solución madre aforando en cada caso a 1L de solución con agua destilada.

Después de la preparación de los estándares se realizó la lectura de las absorbancias a 600nm.

Tabla G. Concentración de los estándares y absorbancia de la curva de calibración experimental de DQO.

Concentración	Absorbancia
0	0
25	0.03
50	0.035
75	0.041
100	0.065
250	0.107
500	0.164
750	0.242

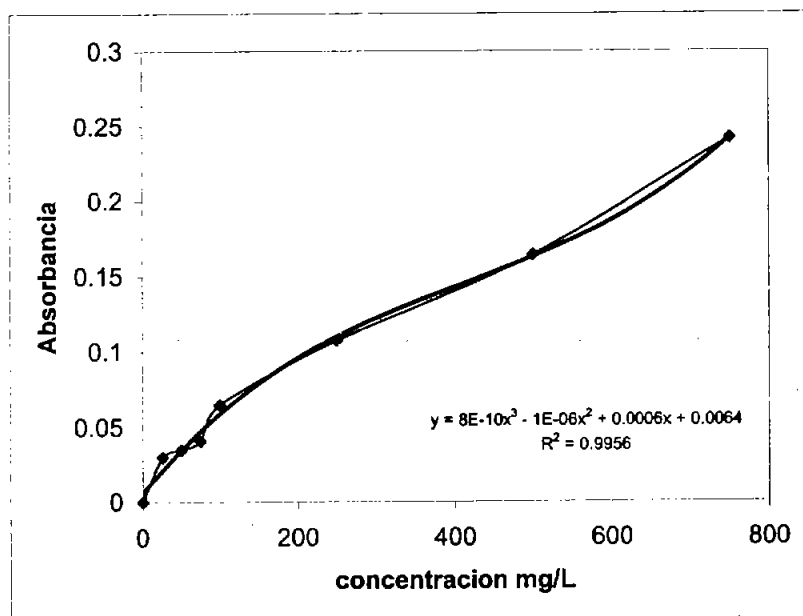


Figura G. Curva de calibración experimental de DQO.

## H. DETERMINACION DE LA DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXIGENO (DBO).<sup>21</sup>

### Equipo y Material

- 1 Aparato multifuncional
- 1 Incubadora
- 1 Difusor de aire
- Frascos Wheaton 300ml
- Agua destilada
- 1 perilla de seguridad
- 1 piseta con agua destilada
- 1 Garrafón de 20 L
- 4 Pipetas graduadas de 10 ml
- Vasos de pp. 250 ml
- Nutrientes para el agua de dilución Solución tampón de fosfato, solución de sulfato de Magnesio, Solución de Cloruro de Calcio, Solución de Cloruro Férrico.<sup>IV</sup>

### Procedimiento

1. Medir el OD<sup>V</sup> de todas las muestras a sembrar
2. Colocar en el garrafón de 20 L la cantidad necesaria de agua destilada para sembrar las muestras y el blanco, y agregar 1 ml de cada nutriente por litro
3. Aerear el contenido del garrafón con el difusor por espacio de 30 min.
4. Tomar una muestra del agua de dilución aereada y determinar OD el cual debe ser mayor al contenido de OD de las muestras, si el contenido de OD del agua de dilución es menor que el de las muestras entonces, aerear un rato más hasta que éste se incremente.

<sup>IV</sup> Preparación de soluciones en referencia <sup>21</sup> Pág.5-4, 5-5, 5-6

<sup>V</sup> Medir el OD con el Aparato multifuncional Termo Orion Modelo 1230.

5. Para cada muestra se siembran 3 frascos Wheaton con diferente porcentaje de muestra como se mencionó en el principio de acuerdo con la cantidad de microorganismos que se espera tener. Dejar un sello de agua.
6. Determinar la cantidad de OD de las muestras diluidas.
7. Guardar los frascos Wheaton por espacio de 5 días en la incubadora a una temperatura de 20-25°C.
8. Después de que han pasado 5 días, determinar la cantidad de oxígeno disuelto para cada frasco.

### Cálculo

$$DBO_5 = \frac{(OD_{\text{MUESTRA INMEDIATAMENTE DE SER DILUIDA}} - OD_{\text{MUESTRA DESPUES DE 5 DIAS}})}{\%DILUCION}$$

### Aspectos Importantes

- La importancia del oxígeno disuelto radica en que permite determinar la calidad del agua para uso doméstico y para el crecimiento de fauna acuática; además, de manera indirecta indica la cantidad de microorganismos presentes en ella que son capaces de oxidar varios compuestos orgánicos.
- Reacción principal que ocurre en la determinación.
 
$$C_6H_{12}O_6 + 6 O_2 \longrightarrow 6 CO_2 + 6 H_2O$$
- Si la muestra contiene gran cantidad de nitrógeno orgánico, el nitrógeno interfiere para la determinación de la DBO debida al carbono, pues es también oxidado por ciertos microorganismos. Si no es inhibido, la DBO obtenida es mayor, pues contiene a la del carbono y a la del nitrógeno.
- Otros métodos para la determinación de DBO son: Medición de períodos de incubación más cortos o más largos, pruebas para determinar las tasas de captación de oxígeno, determinaciones continuas de captación de oxígeno mediante técnicas respirométricas.
- Se usa un blanco para determinar el cambio en el OD de la muestra, así como un control aproximado de la calidad del agua de dilución no sembrada y de la limpieza



de los frascos de incubación. La captación de OD no deberá ser mayor a 0.2 mg/L, y preferentemente no mayor a 0.1 mg/L.

- Debe conocerse previamente el OD de la muestra para conocerse el oxígeno disuelto total antes de la incubación de la muestra cultivada.
- Los principales nutrientes que contienen las aguas residuales son: sulfuros, cloruros, sulfatos, carbonatos, sodio, hierro (II), magnesio, calcio y compuestos orgánicos.
- Se seleccionan 5 días para la incubación y no otro período de tiempo porque es un período de incubación estándar, ya que se pudiera requerir un período de incubación muy grande para estabilizar la muestra, lo cual resulta impráctico.
- La importancia de mantener adecuada la temperatura en la incubadora es porque la temperatura afecta la tasa de crecimiento de microorganismos capaces de efectuar la oxidación de compuestos orgánicos. Si la temperatura es baja, el crecimiento de estas poblaciones lo es también. Si la temperatura no se mantiene constante, los resultados que se obtengan no serán confiables.

## **I. DETERMINACION DE SÓLIDOS POR GRAVIMENTRIA.<sup>21</sup>**

### **Equipo y material**

- 1 Equipo generador de vacío
- 1 Estufa<sup>VI</sup>
- 1 Mufia<sup>VII</sup>
- 1 Balanza Electrónica<sup>VIII</sup>
- 1 Crisol gooch por muestra
- 1 Pipeta volumétrica de 25 ml
- 1 Perilla de seguridad
- 1 Probeta de 25 ml
- 1 Baño maría con anillos concéntricos por muestra.

---

<sup>VI</sup> Estufa BlueM single-wall TRANSITE OVEN by ELECTRONIC COMPANY

<sup>VII</sup> Mufia THERMOLYNE TYPE 1500 FURNACE

<sup>VIII</sup> Balanza Sartorius CP423S

- 1 Agitador de vidrio
- 1 matraz kitazato
- Mangueras de hule
- 1 Tripie por muestra
- 1 Mechero Bunsen por muestra
- 1 desecador
- 1 Cápsula de Porcelana por muestra

### Procedimiento

#### Sólidos totales

1. Pesar una cápsula de porcelana previamente puesta a peso constante (W<sub>1</sub>)
2. Agregar 25 ml de la muestra de agua residual.
3. Evaporar a sequedad la muestra en baño María.
4. Colocar la cápsula de porcelana en la estufa a 105 °C por 15 minutos.
5. Colocar la cápsula de porcelana en el desecador por 15 min.
6. Pesar nuevamente la muestra con la cápsula de porcelana (W<sub>2</sub>)
7. Colocar la cápsula de porcelana en la mufla a 600°C por 5 minutos.
8. Repetir los pasos 4, 5 y 6. (W<sub>3</sub>)

#### Sólidos suspendidos

2. Pesar el Gooch previamente puesto a peso constante. (S<sub>1</sub>)
3. Colocar en el fondo un papel filtro
4. Pasar una muestra de 25 ml de agua residual y aplicar el vacío.
5. Colocar el Gooch por espacio de 30 min. en la estufa.
6. Pasar al desecador por espacio de 15 min.
7. Pesar (S<sub>2</sub>)
8. Colocar la muestra en la mufla a 600°C por espacio de 5 minutos.
9. Repetir los pasos 4, 5 y 6. (S<sub>3</sub>)

**Cálculos**Sólidos totales

$$W_{\text{TOTAL}} = W_2 - W_1$$

Sólidos fijos totales

$$W_{\text{SÓLIDOS FIJOS TOTALES}} = W_3 - W_1$$

Sólidos totales volátiles

$$W_{\text{SÓLIDOS TOTALES VOLÁTILES}} = W_{\text{TOTAL}} - W_{\text{SÓLIDOS FIJOS TOTALES}}$$

Sólidos suspendidos totales

$$S_{\text{TOTAL}} = S_2 - S_1$$

Sólidos suspendidos fijos

$$S_{\text{SÓLIDOS SUSPENDIDOS FIJOS}} = S_3 - S_1$$

Sólidos suspendidos volátiles

$$S_{\text{SÓLIDOS SUSPENDIDOS VOLÁTILES}} = S_{\text{TOTAL}} - S_{\text{SÓLIDOS SUSPENDIDOS FIJOS}}$$

Sólidos totales disueltos

$$ST - SST = SDT$$

Sólidos disueltos volátiles

$$SVT - SSV = SDV$$

Sólidos disueltos fijos

$$SDT - SDV = SDF$$

### Aspectos importantes

- Se lleva a cabo la evaporación de 103°C a 105°C en la estufa, porque es a la temperatura a la que se seca el residuo, esta temperatura incide en gran medida en los resultados, debido a que las pérdidas de peso derivadas de la volatilización de materia orgánica, el agua ocluida, el agua de cristalización y los gases a partir de la descomposición inducida por el calor, así como las ganancias producidas por la oxidación, dependen de la temperatura y tiempo de calentamiento. Los residuos secados a 103 ° C y 105 ° C pueden retener, no solamente agua de cristalización, sino también algo de agua incluida. Como resultado de la conversión del bicarbonato en carbonato, habrá una pérdida de CO<sub>2</sub>. La pérdida de material orgánico por volatilización será ligera. Dado que la eliminación de agua ocluida es marginal a esta temperatura, la obtención de peso constante puede ser muy baja. El aumento de peso en la placa vacía representa los sólidos totales. Es posible que en muestras de aguas residuales los resultados no representen el peso real de los sólidos disueltos y suspendidos.
- La muestra se lleva a la mufla a una temperatura de 600°C porque el residuo se incinera a esta temperatura ya que los sólidos remanentes representan los sólidos totales fijos, disueltos o en suspensión, mientras que la pérdida de peso por ignición representa los sólidos volátiles. La determinación es útil para el control de las operaciones en plantas de tratamiento de aguas residuales, porque ofrece un cálculo aproximado de la cantidad de materia orgánica presente en la fracción sólida del agua residual, lodos activados e industriales.
- Poner a peso constante una cápsula de porcelana o un Gooch es lograr un peso sin variaciones a fin de que pueda determinarse la cantidad de un sólido cualquiera por diferencia de peso, entre el peso inicial del Gooch o cápsula de porcelana libre de este material y el peso final del Gooch o cápsula de porcelana al contener dicho material. Para poner a peso constante el Gooch o la Cápsula de porcelana, estas se exponen al calor de una estufa a fin de eliminar la humedad que puede contener, posteriormente se pasan al desecador para eliminar el calor (es necesario realizar este procedimiento ya que si se pesa el material caliente este absorbe humedad del

ambiente y de nada sirve el haberlo eliminado en la estufa), se realiza este procedimiento varias veces hasta que el peso ya no cambie entre pesada y pesada.

- Las principales sales inorgánicas de la muestra son carbonatos de calcio y magnesio, silicatos, fosfatos, nitratos, y sales de sodio, principalmente.
- Lo que constituyen los sólidos suspendidos son sólidos totales es la expresión que se aplica a los residuos de material que quedan en un recipiente después de la evaporación de una muestra y su secado en la estufa a temperatura definida. Los sólidos totales incluyen los sólidos totales suspendidos, o porción de sólidos totales retenida por un filtro. El tipo de soporte del filtro, el tamaño del poro, la porosidad el área y el espesor del filtro, así como la naturaleza física y el tamaño de las partículas y la cantidad de material depositado son los factores principales que afectan a la separación. Entre los sólidos suspendidos más comunes pueden encontrarse óxidos metálicos, arcillas, arenas y microorganismos.

## J. DETERMINACION DE CLORUROS Y CLORO RESIDUAL POR EL METODO ARGENTOMETRICO.<sup>21</sup>

### Equipo y Material

- 1 Balanza Electrónica
- 2 Buretas de 50 ml
- 2 soportes universales Completos
- Matraces erlen meyer de 250 ml
- 2 Perillas de seguridad
- 1 Piseta con agua destilada
- 1 Espátula
- 1 Probeta de 100 ml
- 1 Pipeta volumétrica de 1ml
- 1 Pipeta graduada de 10 ml

## Procedimiento

### Determinación de cloro

1. Tomar una muestra y blanco de agua destilada de 100ml.
2. Agregar 1 ml de cromato de Potasio al 10 %.
3. Titular con una solución de nitrato de plata (0.01M).

### Determinación de cloro residual

1. Tomar una muestra de 100 ml
2. Agregar 1 ml de ácido acético glacial concentrado, el pH debe bajar entre 4 y 5 .
3. Agregar 0.2 g de yoduro de potasio.
4. Titular con Tiosulfato de sodio 0.0243 M

## Cálculo

### Determinación de cloro

$$mgCl / L = \frac{(ml \text{ gastados muestra } AgNO_3 - ml \text{ gastados blanco } AgNO_3) * M \text{ } AgNO_3 * 35.45 * 1000}{ml \text{ muestra}}$$

### Determinación de cloro residual

Aplicar la misma ecuación anterior sólo que con la molaridad el tiosulfato de sodio y los ml gastados de tiosulfato de sodio en la titulación de las muestras y el blanco.

## Aspectos importantes

- El método argentométrico es el más adecuado para aguas relativamente claras, cuando la porción titulada contenga 0.15 a 10 mg Cl-. El punto final en el método del Nitrato Mercúrico, es el más fácil de detectar. El método potenciométrico es el más adecuado para muestras turbias o coloreadas cuando el punto final podría ser fácilmente observable. La cromatografía iónica también puede ser usada para la determinación de Cloruros.

## K. DETERMINACION DE FOSFATOS POR EL METODO EL CLORURO ESTANOSO.<sup>21</sup>

### Material y Equipo

- 1 Espectrofotómetro
- 1 Parrilla de Calentamiento
- Vasos de pp. de 250 ml
- 1 Embudo de Cristal
- Papel filtro
- 1 Pipeta graduada de 10 ml
- 1 Mechero Bunsen
- 1 Malla de asbesto
- 1 Perilla de Seguridad
- 1 Probeta de 100 ml
- Celdas para espectrofotómetro

### Procedimiento

#### Método de Digestión (Tratamiento previo de la muestra)

1. Tomar 100 ml de muestra
2. Añadir gotas de fenolftaleina al 10%
3. Si aparece coloración roja, añádase solución ácida cualquier concentración gota a gota hasta su desaparición, y entonces añádase 1 ml más.
4. Hervir suavemente durante un mínimo de 90 minutos, hasta que el volumen se encuentre entre 25 y 50 ml
5. Enfríese y neutralícese hasta color rosa débil con solución diluida de NaOH cualquier concentración.
6. Aforar a 100 ml.

### Desarrollo de color

1. Tomar muestras de 100ml con un blanco, y añadirles 4 ml de reactivo de molibdato de Amonio.<sup>IX</sup>
2. Añadir 10 gotas de Reactivo Cloruro Estanoso.<sup>X</sup>
3. Esperar de 10 a 12 minutos para desarrollo de color
4. Leer la Absorbancia a 690nm en el Espectrofotómetro.

### Cálculo

Los resultados de absorbancia obtenidos deben entrar en la curva de calibración para Fosfatos para obtener una concentración de Fosfatos en las muestras.

### Aspectos importantes

- La muestra debe estar en medio ácido ya que la hidrólisis ácida a la temperatura de ebullición del agua transforma los fosfatos condensados, disueltos y en partículas en ortofosfato disuelto. La hidrólisis libera inevitablemente algo de fosfato a partir de los compuestos orgánicos; pero puede reducirse al mínimo eligiendo cuidadosamente la fuerza del ácido y el tiempo y la temperatura de hidrólisis. Para esta fracción es preferible el término de "fosfato hidrolizable por ácido" al de "fosfato condensado".
- Los complejos que se forman al agregar el molibdato amónico en la muestra en condiciones ácidas son ácido molibdofosfórico y heteropoliácido.
- En el método de cloruro estagnoso para la determinación de fosfatos, se forma el ácido molibdofosfórico que se reduce con cloruro estagnoso a azul de molibdeno de color intenso, entonces se lee la absorbancia de la muestra en un espectrofotómetro para así obtener la cantidad de fosfatos presentes. La intensidad del color depende de la concentración de fosfatos. El método de cloruro estagnoso es eficiente para el rango de 0.01 a 6 mgP/L.
- Dado que el fósforo se puede presentar en combinación con materia orgánica se deben emplear los métodos de digestión para determinar el

<sup>IX</sup> Ver la preparación del reactivo en la Elaboración de la curva de calibración Experimental.

<sup>X</sup> Ver la preparación del reactivo en la Elaboración de la curva de calibración Experimental.



fósforo total, la digestión debe ser capaz de oxidar la materia orgánica eficazmente para liberar al fósforo como ortofosfato. El método el ácido perclórico es el más drástico y lento, se recomienda para muestras difíciles como los sedimentos.

### Curva de Calibración Experimental para Fosfatos (Método Del Cloruro Estagnoso)

*Elaboración de reactivos necesarios para la determinación.*

- A) *Solución patrón de fosfato:* disolver 21.95 mg de  $\text{KH}_2\text{PO}_4$  anhidro en agua destilada a 100 ml
- B) *Reactivo de cloruro estagnoso.* Disolver 0.25 g de  $\text{SnCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$  en 100ml de glicerol y calentar para acelerar la dilución.
- C) *Reactivo molibdato amónico:* 2.5 g de  $(\text{NH}_4)_6\text{Mo}_7\text{O}_{24} \cdot 4\text{H}_2\text{O}$  en 17.5 ml de  $\text{H}_2\text{O}$  destilada. Añadir 28.0 ml de  $\text{H}_2\text{SO}_4$  a 40 ml de  $\text{H}_2\text{O}$  destilada enfriar y diluir a 100 ml
- D) *Elaboración de estándares.*

La solución madre contiene 219.5 ppm de fosfatos y a partir de esta se elaboraron las diluciones para los estándares. Se elaboraron estándares con un contenido de 0.2, 0.4, 0.6, 0.8, 1, 1.2, y 1.5 mg P/L.

Se realizaron las diluciones necesarias para la preparación de los estándares, y se realizó la lectura de la absorbancia a 690 mn.

Tabla K. Concentración de los estándares y absorbancia de la curva de calibración experimental de Fosfatos.

concentración mg/l	absorbancia
0.199745	0.049
0.3999	0.068
0.79898	0.112
1.19847	0.183
1.50138	0.226

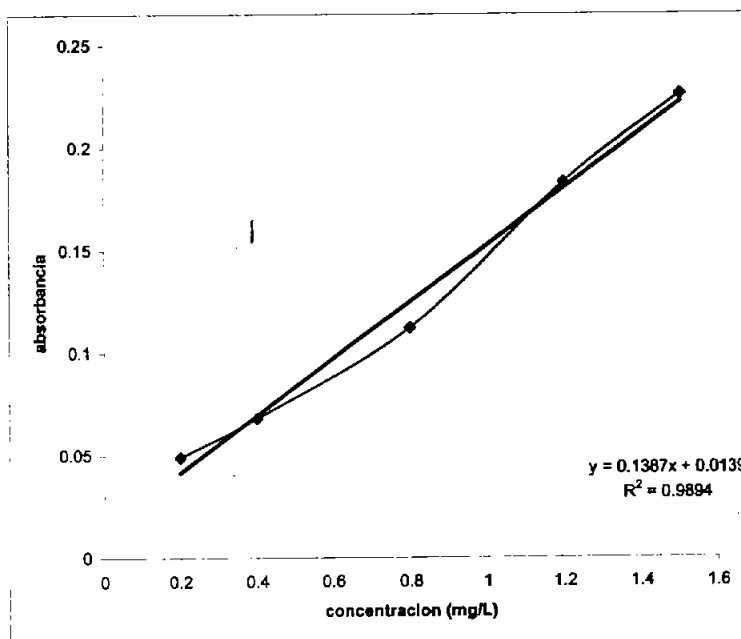


Figura K. Curva de calibración experimental de Fosfatos.

## L. DETERMINACION DE SÍLICE (METODO DE MOLIBDOSILICATO).<sup>21</sup>

### Equipo y Material

- 1 Espectrofotómetro
- 3 Pipetas volumétricas de 2 ml
- vasos de pp. 250ml
- 1 Perilla de seguridad
- 1 Probeta de 100 ml

### Procedimiento

1. Añádase a 50 ml. de muestra y un blanco en sucesión rápida: 1.0 ml de HCl 1 + 1
2. Añadir 2.0 ml. de reactivo de molibdato amónico.<sup>XI</sup>
3. Mézclese invirtiendo seis veces, por lo menos, y déjese reposar durante 5 a 10 minutos.
4. Añádanse 2.0 ml de solución de ácido oxálico<sup>XI</sup> y mézclese completamente.
5. Leer la absorbancia a 410 nm al cabo de 2 minutos pero antes de 15, desde la adición del ácido oxálico. Dado que el color amarillo sigue la ley de Beer, mídase fotométrica en el espectrofotómetro.

### Cálculo

Obtener la concentración de sílice presente en las muestras a partir de los datos presentados en la curva de calibración para sílice.

### Aspectos importantes

- Otros métodos existen para determinar sílice  
*El método gravimétrico.* Es un método para determinar la sílice total. El ácido clorhídrico descompone los silicatos y sílice disuelta, formando

<sup>XI</sup> Ver la preparación del reactivo en la Elaboración de la curva de calibración Experimental.

ácidos silícicos que precipitan como sílice parcialmente deshidratada durante la evaporación y secado. La ignición completa la deshidratación de sílice, que se pesa y volatiza después como tetrafluoruro de silicio, dejando todas las impurezas como residuo no volátil.

*Método de azul heteropoli.* Determina la sílice molibdato-reactiva. A pH aproximado de 1,2, el molibdato amónico reacciona con sílice y cualquier fosfato presente para producir heteropoliácidos. El ácido molibdosilícico amarillo se reduce por medio del ácido aminonaftosulfónico a azul heteropoli.

*Método automatizado para sílice molibdato-reactiva.* Este método es una adaptación del método de azul heteropoli, que utiliza un instrumento analítico continuo.

- La digestión de la muestra es necesaria sólo para detectar la presencia de sílice molibdato no reactiva, entonces se debe digerir la muestra con  $\text{NaHCO}_3$  antes del desarrollo de color. Esta digestión no es necesariamente suficiente para convertir toda la sílice molibdato no reactiva en la forma reactiva. Los silicatos complejos y polímeros con más sílice pueden precisar una fusión prolongada con álcali a temperatura elevada o una digestión bajo presión, para su conversión compleja.

### Curva De Calibración Experimental Para Sílice (El Método de Molibdosilicato)

Preparación de soluciones necesarias:

- Solución madre de sílice.* 0.473 g de metasilicato de sodio noahidratado  $\text{Na}_2\text{SiO}_3 \cdot 9\text{H}_2\text{O}$  en agua destilada a 100 ml
- Solución de ácido oxálico.* 7.5g de  $\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$  en agua destilada y diluir a 100 ml
- Reactivo de molibdato amónico.* 10 g de  $(\text{NH}_4)_6\text{Mo}_7\text{O}_{24} \cdot 4\text{H}_2\text{O}$  en agua destilada, con agitación y calentando suavemente y diluir a 100 ml
- D) Se prepararon los estándares necesarios, y se tomaron la absorbancia a  $\lambda=410$  nm

Solución madre tiene 4730 mg de sílice/L y a partir de esta se elaboraron las diluciones para preparar los estándares con 5, 7, 9, 11, 13, 15 mg de sílice /L.

Se prepararon los estándares necesarios, y se tomaron las absorbancias a  $\lambda=410$  nm

Tabla L. Concentración de los estándares y absorbancia de la curva de calibración experimental de Sílice.

concentración mg/L	absorbancia
5.0138	0.018
8.987	0.025
11.0209	0.03
13.0075	0.033
14.9941	0.042

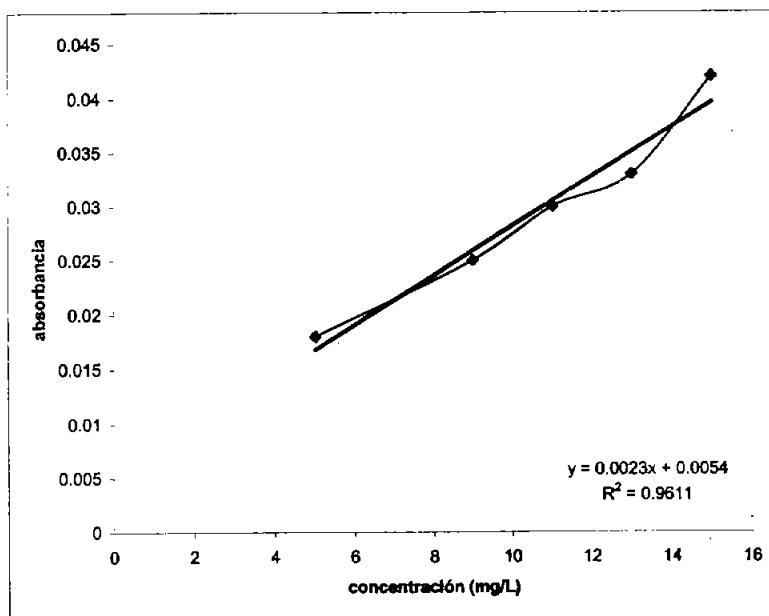


Figura K. Curva de calibración experimental de Sílice.

## M. DETERMINACION DE NITRÓGENO AMONIAICAL POR EL METODO DE LA NESSLERIZACION.<sup>21</sup>

### Equipo y Material

- 1 Espectrofotómetro
- 1 Parrilla de Calentamiento con Agitación
- 1 Aparato multifuncional
- Matracas de Aforo de 250 ml
- 1 Probeta de 100ml
- Vasos de pp. de 100ml
- 1 Vaso de pp. de 1 L
- 1 Pipeta graduada de 10ml
- 1 perilla de Seguridad
- 2 Termómetros esmerilados
- 2 colas de vidrio
- 2 cabezas de vidrio
- 2 tubos refrigerantes
- 2 matraces de bola
- 1 Estufa
- Perlas de ebullición

### Procedimiento

1. Tomar 250 ml de muestra con un blanco de agua destilada.
2. Agregar 12.5 ml de buffer para N Amoniacal<sup>XII</sup>.
3. Ajustar el pH a 9.5 con NaOH diluida cualquier concentración.
4. Poner a destilar con perlas de ebullición.
5. Tirar los primeros 20 ml de destilado

---

<sup>XII</sup> Ver la preparación del reactivo en la Elaboración de la curva de calibración Experimental.

6. Recibir en 25 ml de solución adsorbente hasta obtener un total de 125 ml de destilado.
7. Aforar a 250 ml con agua destilada.
8. Subir el pH a 7 con HCL diluido cualquier concentración.
9. Tomar 50 ml de la solución anterior.
10. Agregar 1 ml del reactivo de Nessler.<sup>XII</sup>
11. Esperar el desarrollo de color por espacio de 12 minutos
12. Leer a 400 nm la absorbancia en el Espectrofotómetro.

### Cálculo

Determinar la concentración de N amoniacal por medio de la curva de calibración que se presenta.

### Aspectos Importantes

- Es necesario hacer la destilación de las muestras para eliminar interferencias causadas por otras posibles formas en las que se pudiera encontrar el nitrógeno como pueden ser aminas, Nitratos, Nitritos etc., y otros compuestos nitrogenados.

### Curva de Calibración para Nitrógeno Amoniacal (Método de la Nesslerización)

#### *Elaboración de reactivos.*

A) *Reactivo Nessler.* Pesar 10 g de  $HgI_2$  y 7 g de KI con 16 g de NaOH y diluir a 100 ml con agua destilada.

B) *Solución Madre de Amonio.* Pesar 0.3819 g de  $NH_4Cl$  secado a 100 °C y diluir a 100 ml con agua destilada. La concentración es de 1000mg/L

C) *Solución patrón de Amonio.* Tomar 1 ml de la solución Madre de Amonio y diluir a 1000 ml con agua destilada. La concentración es de 10 mg/L

D) Se prepararon los siguientes estándares de 1, 2, 4, 6, 8, y 10 mg/L y se leyó la absorbancia a 400 nm.

Tabla M. Concentración de los estándares y absorbancia de la curva de calibración experimental de Nitrógeno Amoniacal.

Conc. mg/l	Absorbancia
10.0822	0.334
8.0963	0.229
6.1104	0.179
3.9718	0.163
2.0011	0.062
1.006	0.065
0	0

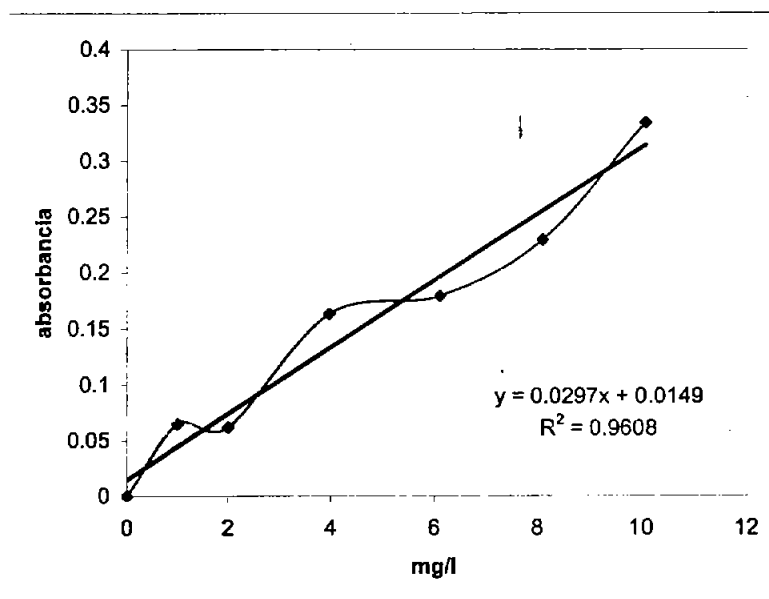


Figura M. Curva de calibración experimental de Nitrógeno amoniacal.



## N. DETERMINACION DE ACEITES Y GRASAS POR EL METODO DE PARTICIÓN-GRAVIMETRIA.<sup>21</sup>

### Equipo y Material

- 1 Parrilla de calentamiento
- 1 Balanza electrónica
- Vasos de pp. de 1 L
- Embudos de separación de 1L
- 1 Perilla de Seguridad
- 1 Pipeta graduada de 10 ml
- 1 probeta de 100 ml
- Tripies
- Papel filtro
- Vasos de pp. de 50 ml
- 1 Desecador

### Procedimiento

1. Tomar 500 ml de muestra y colocarla en un embudo de separación de 1L, bajar el pH hasta 2 utilizando HCl concentrado.
2. Agitar la muestra.
3. Agregar 20 ml de benceno grado de reactivo analítico.
4. Agitar el embudo de separación y desfogar cada 3 agitadas.
5. Esperar algunos minutos hasta que se separen las fases orgánica y acuosa.
6. Separar la parte orgánica la cual se encuentra en la parte superior del embudo de separación.
7. Filtrar por gravedad colocando en el papel filtro 1 gramo de  $\text{Na}_2\text{SO}_4$ .

8. Colocar en un vaso de precipitado de 50 ml el filtrado, es importante que este vaso haya sido previamente puesto a peso constante y pesado.
9. Agregar a la fase acuosa nuevamente 20 ml de benceno en el embudo de separación.
10. Repetir de los pasos 4 al 8 utilizando el mismo papel filtro y colocando en el mismo vaso de pp.
11. Agregar a la fase acuosa 10 ml de benceno repetir nuevamente la misma operación.
12. Una vez que los filtrados fueron colectados en el mismo vaso de pp. de 50 ml evaporar hasta sequedad total con una parrilla en la campana a temperatura baja, para evitar que se volatilicen los aceites.
13. Colocar el vaso de pp. en el desecador por espacio de 30 min.
14. Pesar el vaso de pp.

### Cálculo

Obtener la diferencia

gr. de aceites y grasas = Peso final de vaso - Peso inicial del vaso

$mg \text{ aceites y grasas/L} = \text{gr de aceites y grasas} * 2 * 1000$

### Aspectos Importantes

- Otros métodos existen para la determinación

Para muestras líquidas existen principalmente tres métodos.

*Método de partición por gravimetría.* En el cual el aceite o grasa es extraída del agua por íntimo contacto con un disolvente como el triclorotrifluoroetano.

*Método de partición-infrarrojo.* También se procede a hacer una extracción como en el método anterior pero aquí se realiza una detección infrarroja que permite medir muchos hidrocarburos relativamente volátiles.

*Método de Soxhlet.* Cuando hay fracciones relativamente polares, de petróleo pesado, o cuando los niveles de grasas no volátiles pueden amenazar los límites de solubilidad del disolvente.

- Este método no es aplicable para medir fracciones de bajo punto de ebullición que volatilizan a temperaturas por debajo de 70 °C.
- Se agrega  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  al cono del papel filtro para obtener una capa clara del disolvente, los cristales de  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  absorben la turbidez del disolvente al momento de verter sobre ellos la solución.

Acidifica la muestra para ayudar a llevarse a cabo la extracción de los aceites y grasas; el pH de 2 es favorable para crear la separación de las fases orgánica y acuosa.

## Ñ. DETERMINACION DE SURFACTANTES COMO SAAM.<sup>21</sup>

### Equipo y Material

- 1 Espectrofotómetro
- Embudos de Separación de 500ml
- 1 Pipeta volumétrica de 25 ml
- 2 Pipetas graduadas de 10 ml
- Tripies
- Triángulos de Porcelana
- Vasos de pp. de 250 ml
- 1 Piseta con agua destilada
- 2 Perillas de seguridad
- 1 Probeta de 100 ml
- Lana de vidrio

### Procedimiento

1. Añadir muestras de 100ml a los embudos de separación.
2. Alcalinizar añadiendo NaOH 1M, utilizando como indicador fenolfatleina al 10 %.
3. Eliminar el color rosa añadiendo  $\text{H}_2\text{SO}_4$  1M

4. Añadir 10 ml de Cloroformo y 25 de Reactivo Azul de metileno.<sup>xiii</sup> Agitar vigorosamente durante 30 segundos teniendo cuidado de desfogar.
5. Dejar reposar hasta la separación de las fases.
6. Separar la capa orgánica y coleccionar en un vaso de precipitado.
7. Repetir la extracción 2 veces más utilizando 10 ml de cloroformo y coleccionando el extracto en el mismo vaso.
8. Combinar todos los extractos en un segundo embudo de separación con un tapón de lana y añadir 50 ml de solución de lavado, agitar vigorosamente durante 30 segundos y dejar reposar.
9. Extraer la capa de cloroformo y extraer 2 veces con 10 ml de cloroformo la solución de lavado. Recoger los extractos en un matraz y aforar a 100ml en un matraz de aforo con cloroformo.
10. Leer la absorbancia a 652 nm frente a un blanco de cloroformo.

### Cálculo

A partir de la curva de calibración incluida y determinar la concentración en mg/L

### Aspectos importantes

- Los surfactantes de tipo sulfonato y sulfato responden juntos en el análisis SAAM, pero pueden diferenciarse por otros medios. El tipo sulfonato se descompone por hidrólisis ácida, la reducción resultante de la SAAM corresponde al contenido de surfactante sulfonato. El alquilbenceno sulfonato puede ser identificado y cuantificado por infrarrojos.
- Debido a la variada extracción de SAAM no surfactantes, algunas desviaciones de la proporción de cloroformo y el procedimiento de lavado a contracorriente pueden inducir diferencias significativas en las SAAM totales observadas, aunque la recuperación de los surfactantes de tipo sulfonato y sulfato serán sustancialmente completas en todos los casos.

---

<sup>xiii</sup> Ver la preparación del reactivo en la Elaboración de la curva de calibración Experimental.

- Cuanto más pobre la extracción de sus pares iónicos, más efectiva es la etapa del lavado en contracorriente acuosa para extraer las interferencias positivas, la interferencia del cloruro es casi eliminada por completo y la del nitrato también lo es en gran medida por la contracorriente.

### Curva de Calibración de Surfactantes por el Método de SAAM

#### *Elaboración de reactivos*

- A) Solución SAL de reserva.* Pese una cantidad de material de referencia igual a 1gm de SAL en una base activa. Disolver en agua y diluir a 1L. Guardar en refrigeración para evitar la biodegradación.
- B) Solución SAL patrón.* Dilúyase 10 ml de la solución anterior hasta 1L la concentración es de 10mg/L.
- C) Solución indicadora Fenolfaleina*
- D) Reactivo azul de metileno.* Disuélvase 100 mg de azul de metileno en 100 ml de agua. Pásense 30 ml a un matraz de 1 L. Añadir 500 ml de agua y 41 ml de  $H_2SO_4$  6N y 50 g de fosfato de sodio, monobásico monohidratado,  $NaH_2PO_4 \cdot H_2O$ . Agitar y diluir a 1L.
- E) Solución de lavado.* Añadir 41 ml de  $H_2SO_4$  6N a 500 ml de agua en un matraz de 1L. Añadir 50 g de  $NaH_2PO_4 \cdot H_2O$  agitar y disolver a 1L.
- F) Se prepararon los siguientes estándares 7, 9, 12, 15, 17 y 20  $\mu$ g/L.*

Tabla Ñ. Concentración de los estándares y absorbancia de la curva de calibración experimental de SAAM.

concentración mg/L	absorbancia
0.0068544	0.0466
0.00959616	0.04792
0.01235112	0.04892
0.01507968	0.0498
0.01782144	0.05096
0.0205632	0.05136

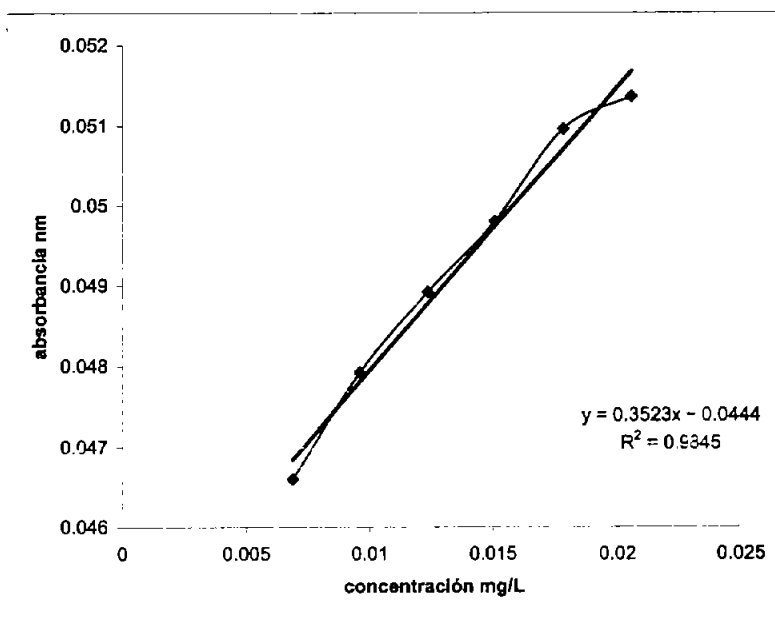


Figura Ñ. Curva de calibración experimental de SAAM.