

**UNIVERSIDAD MAYOR DE SAN ANDRÉS**  
**FACULTAD DE CIENCIAS PURAS Y NATURALES**  
**CARRERA DE CIENCIAS QUÍMICAS**



**IMPLEMENTACIÓN DEL MÉTODO RESPIROMÉTRICO MANOMÉTRICO EN  
LA MEDICIÓN DE LA DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXIGENO 5, PARA EL  
CONTROL DE CALIDAD DE AGUAS**

**TRABAJO PARA OPTAR EL TÍTULO DE LICENCIATURA EN CIENCIAS QUÍMICAS**

**Postulante** : Freddy Vladimir Huanca Cantuta

**Docente Guía** : Dra. María Eugenia García  
Ing. Jaime Chincheros Paniagua  
Lic. Raúl Vidal Quispe Choque

**Tribunal** : Ing. Hernando Palma Carrasco

**LA PAZ – BOLIVIA**

**2015**

## DEDICATORIA

*Dedico el presente trabajo a mis  
padres, Celia y Miguel por todo  
el amor, apoyo y la confianza  
incondicional que me brindaron,  
en todo momento de mi vida.*

## **AGRADECIMIENTOS**

- ✓ Agradecer a mis padres Celia y Miguel, por brindarme todo su apoyo y confianza en todo momento de mi vida.
  
- ✓ Agradecer al Laboratorio De Calidad Ambiental, por permitirme realizar mis prácticas profesionales, en sus previos, y brindarme todo el apoyo laboral.
  
- ✓ Agradecer a la Dra. María Eugenia García, Ingeniero Jaime Chincheros, Licenciado Raúl Quispe, Doctora María Eugenia García, por todo el apoyo de la realización del presente trabajo.
  
- ✓ A todo el personal del Laboratorio de Calidad Ambiental, por haberme apoyado y acogido con cariño.
  
- ✓ Agradecer a la Carrera de Ciencias Químicas por enseñarme, y brindarme una profesión.

## RESUMEN

Se realizó la medición de la Demanda Bioquímica de Oxígeno ( $DBO_5$ ), en diferentes muestras de agua de distinta procedencia, usando el método tradicional Winkler, y el método implementado: respirométrico-manométrico, en el Laboratorio de Calidad Ambiental (LCA), del Instituto de Ecología de la Facultad de Ciencias Puras y Naturales. Se realizó varios análisis de la  $DBO_5$  por ambos métodos, y se comparó resultados.

La prueba respirométrico- manométrica tiene muchas ventajas en comparación con los métodos clásicos de  $DBO_5$ , incluyendo la reducción de preparación de muestras tiempo, el uso de las muestras no diluida, lo cual nos permite tener datos más exactos, de lectura fácil y continua de los datos de medición, y medir el tiempo más rápido.

Según los resultados el método respirométrico es muy útil para la determinación de la  $DBO_5$  en aguas residuales domésticas y aguas residuales industriales, Siendo un método rápido sencillo y sumamente eficiente en tiempo además de otros factores.

También en el presente trabajo se adquirió conocimientos sobre la determinación de los parámetros que realiza el LCA como ser: pH, conductividad, turbidez demanda bioquímica de oxígeno (DQO), cloruros, fosfatos, sulfuros, sulfatos además de otros. Utilizando para ello normas y procedimientos reconocidos internacionalmente.

## ÍNDICE

1. Introducción .....	1
1.1 Contaminación .....	1
1.1.1 Contaminantes.....	1
1.1.2 Clasificación de los contaminantes .....	2
1.1.3. Tipología de la contaminación.....	3
1.2. La contaminación del agua. ....	3
1.2.1 Fuentes de contaminación.....	4
1.2.2. Principales contaminantes del agua.....	4
1.3. Aguas residuales .....	11
1.3.1. Aguas residuales domésticas .....	12
1.3.2. Aguas residuales industriales con altos niveles de contaminación (residuos industriales líquidos).....	13
1.3.3. Aguas residuales mixtas .....	15
1.4. Contaminación de aire.....	15
1.4.1. La contaminación atmosférica .....	15
1.4.2. Naturaleza, origen y clasificación de los contaminantes del aire .....	16
1.4.3 Contaminantes químicos.....	17
1.5. Contaminación de los suelos .....	18
1.5.1. Metales pesados .....	20
1.5.2. Lluvias ácidas.....	21
1.5.3. Fitosanitarios.....	22
1.6. Muestreo .....	23
1.6.1. Tipos de muestreo .....	24
1.7. Temperatura.....	26
1.7.1. Temperatura y energía cinética promedio de las moléculas o átomos de un gas .....	27
1.8. Presión .....	27
1.8.1. Unidad de presión .....	28
1.8.2. Presión manométrica en U.....	30
1.9. Disolución de los gases en agua.....	31
1.9.1. Solubilidad de gases en agua .....	31
1.10 Biodegradación .....	36
1.10.1. Medida de la biodegradabilidad .....	37

1.11. Demanda Química de Oxígeno (DQO) .....	38
1.11.1. Interferencias y limitaciones .....	39
1.11.2. Toma de muestra, almacenamiento y preservación .....	40
1.12. Oxígeno disuelto (OD) .....	40
1.12.1. Técnica Winkler .....	41
1.12.2. Respirimetría .....	44
1.13. Demanda bioquímica de oxígeno (DBO5) .....	46
1.13.1. Determinación de la DBO5 .....	47
2. Antecedentes .....	48
3. Objetivo general .....	53
3.1. Objetivos específicos .....	53
4. Justificación .....	53
5. Metodología .....	55
5.1 Demanda Química de Oxígeno (DQO) .....	55
5.2. Demanda bioquímica de oxígeno 5 (DBO5) .....	56
5.2.1. Método de Winkler (standard Methods 5210 – B) .....	56
5.2.2. Método respirométrico manométrico para aguas residuales domésticas (oxitop®OC 100) .....	57
5.2.3. Método respirométrico manométrico para aguas residuales con altos niveles de contaminantes (oxitop®OC 100) .....	58
6. Resultados y discusión .....	58
6.1. Resultados .....	58
6.1.1 DBO <sub>5</sub> de referencias .....	58
6.1.2. Muestras de aguas domésticas .....	59
6.1.3. Muestras de aguas residuales con altos niveles de contaminantes .....	62
6.2. Discusión .....	63
7. Conclusiones .....	63
8. Recomendaciones .....	65
9. Bibliografía .....	66

## **1. Introducción**

### **1.1 Contaminación**

La contaminación es la presencia o incorporación al ambiente de sustancias o elementos tóxicos que son perjudiciales para el hombre o los ecosistemas (seres vivos).

La contaminación es un cambio perjudicial en las características físicas, químicas o biológicas del aire, la tierra o el agua, que puede afectar nocivamente la vida humana o la de especies beneficiosas, los procesos industriales, las condiciones de vida del ser humano y puede malgastar y deteriorar los recursos naturales renovables.

Los elementos de contaminación son los residuos de las actividades realizadas por el ser humano organizado en sociedad. La contaminación aumenta, no sólo porque a medida que la gente se multiplica y el espacio disponible para cada persona se hace más pequeño, sino también porque las demandas por persona crecen continuamente, de modo que aumenta con cada año lo que cada una de ellas desecha. A medida que la gente se va concentrando en pueblos y ciudades cada vez más densamente pobladas, ya no hay "escapatoria" posible.

#### **1.1.1 Contaminantes**

Un contaminante es cualquier sustancia o forma de energía que puede provocar algún daño o desequilibrio (irreversible o no) en un ecosistema, en el medio físico o en un ser vivo. Es siempre una alteración negativa del estado natural del medio ambiente, y generalmente, se genera como consecuencia de la actividad humana. Para que exista contaminación, la sustancia contaminante deberá estar en cantidad relativa suficiente como para provocar ese desequilibrio. Esta cantidad relativa puede expresarse como la masa de la sustancia introducida en relación con la masa o el volumen del medio receptor de la misma.

Este cociente recibe el nombre de concentración. Los agentes contaminantes tienen relación con el crecimiento de la población y el consumo (combustibles fósiles, la generación de basura, desechos industriales, etc.), ya que, al aumentar éstos, la contaminación que ocasionan es mayor.

Por su consistencia, los contaminantes se clasifican en sólidos, líquidos y gaseosos. Se descartan los generados por procesos naturales, ya que, por definición, no contaminan. Los agentes sólidos están constituidos por la basura en sus diversas presentaciones. Provocan contaminación del suelo, del aire y del agua. Del suelo porque produce microorganismos y animales dañinos; del aire porque produce mal olor y gases tóxicos, y del agua porque la ensucia y no puede utilizarse. Los agentes líquidos incluyen las aguas negras, los desechos industriales, los derrames de combustibles derivados del petróleo, los cuales dañan básicamente el agua de ríos, lagos, mares y océanos, y con ello provocan la muerte de diversas especies. Los agentes gaseosos incluyen la combustión del petróleo (óxido de nitrógeno y azufre) y la quema de combustibles como la gasolina (que libera monóxido de carbono), la basura y los desechos de plantas y animales. Todos los agentes contaminantes provienen de una fuente determinada y pueden provocar enfermedades respiratorias y digestivas. Es necesario que la sociedad humana tome conciencia del problema.

Se denomina contaminación ambiental a la presencia en el ambiente de cualquier agente (físico, químico o biológico) o bien de una combinación de varios agentes en lugares, formas y concentraciones tales que sean o puedan ser nocivos para la salud, para la seguridad o para el bienestar de la población, o que puedan ser perjudiciales para la vida vegetal o animal, o que impidan el uso habitual de las propiedades y lugares de recreación y el goce de los mismos. La contaminación ambiental es también la incorporación a los cuerpos receptores de sustancias sólidas, líquidas o gaseosas o de mezclas de ellas, siempre que alteren desfavorablemente las condiciones naturales de los mismos o que puedan afectar la salud, la higiene o el bienestar del público.

### **1.1.2 Clasificación de los contaminantes**

Contaminantes no degradables: Son aquellos contaminantes que no se descomponen por procesos naturales. Por ejemplo, son no degradables el plomo y el mercurio. La mejor forma de tratar los contaminantes no degradables (y los de degradación lenta) es por una parte evitar que se arrojen al medio ambiente y por otra reciclarlos o volverlos a utilizar. Una vez que se encuentran contaminando el agua, el aire o el suelo, tratarlos, o eliminarlos es muy costoso y, a veces, imposible.

Contaminantes de degradación lenta o persistente: Son aquellas sustancias que se introducen en el medio ambiente y que necesitan décadas o incluso a veces más tiempo para degradarse. Ejemplos de contaminantes de degradación lenta o persistente son el DDT y la mayor parte de los plásticos.

Contaminantes degradables o no persistentes: Los contaminantes degradables o no persistentes se descomponen completamente o se reducen a niveles aceptables mediante procesos naturales físicos, químicos y biológicos. Contaminantes biodegradables: Los contaminantes químicos complejos que se descomponen (metabolizan) en compuestos químicos más sencillos por la acción de organismos vivos (generalmente bacterias especializadas) se denominan contaminantes biodegradables. Ejemplo de este tipo de contaminación son las aguas residuales humanas en un río, las que se degradan muy rápidamente por las bacterias, a no ser que los contaminantes se incorporen con mayor rapidez de lo que lleva el proceso de descomposición.

### **1.1.3. Tipología de la contaminación**

1. Contaminación del agua.
2. Contaminación del aire.
3. Contaminación del suelo.
4. Contaminación lumínica.
5. Contaminación sonora.
6. Contaminación visual.

### **1.2. La contaminación del agua.**

El agua es un recurso natural indispensable para la vida. Constituye una necesidad primordial para la salud, por ello debe considerarse uno de los derechos humanos básicos.

En las sociedades actuales el agua se ha convertido en un bien muypreciado, debido a la escasez, es un sustento de la vida y además el desarrollo económico está supeditado a la disponibilidad de agua.

El ciclo natural del agua tiene una gran capacidad de purificación. Pero esta misma facilidad de regeneración y su aparente abundancia hace que sea el vertedero habitual de residuos: pesticidas, desechos químicos, metales pesados, residuos radiactivos, etc.

La degradación de las aguas viene de antiguo pero ha sido en este siglo cuando se ha extendido este problema a ríos y mares de todo el mundo.

### **1.2.1 Fuentes de contaminación**

#### **1.2.1.1 Fuentes naturales**

Dependiendo de los terrenos que atraviesa el agua puede contener componentes de origen natural procedentes del contacto con la atmósfera y el suelo (Ej. Sales minerales, calcio, magnesio, hierro etc.). Aunque pueden ser nocivos para la salud, en general son sustancias que se pueden identificar fácilmente y eliminar.

#### **1.2.1.2 Fuentes artificiales**

Producidas como consecuencia de las actividades humanas. El desarrollo industrial ha provocado la presencia de ciertos componentes que son peligrosos para el medio ambiente y para los organismos y difíciles de eliminar.

### **1.2.2. Principales contaminantes del agua**

Hay un gran número de contaminantes del agua que se pueden clasificar en los siguientes ocho grupos:

#### **1.2.2.1. Microorganismos patógenos**

Son los diferentes tipos de bacterias, virus, protozoos y otros organismos que transmiten enfermedades como el cólera, tifus, gastroenteritis diversas, hepatitis, etc. En los países en vías de desarrollo las enfermedades producidas por estos patógenos son uno de los motivos más importantes de muerte prematura, sobre todo de niños.

Normalmente estos microbios llegan al agua en las heces y otros restos orgánicos que producen las personas infectadas. Por esto, un buen índice para medir la salubridad de las aguas, en lo que se refiere a estos microorganismos, es el número de bacterias coliformes presentes en el agua. La OMS recomienda que en el agua para beber haya 0 colonias de coliformes por 100 ml de agua.

#### **1.2.2.2. Desechos orgánicos**

Son el conjunto de residuos orgánicos producidos por los seres humanos, ganado, etc. Incluyen heces y otros materiales que pueden ser descompuestos por bacterias aeróbicas, es decir en procesos con consumo de oxígeno. Cuando este tipo de desechos se encuentran en exceso, la proliferación de bacterias agota el oxígeno, y ya no pueden vivir en estas aguas peces y otros seres vivos que necesitan oxígeno. Buenos índices para medir la contaminación por desechos orgánicos son la cantidad de oxígeno disuelto, OD, en agua, o la DBO (Demanda Biológica de Oxígeno).

#### **1.2.2.3. Sustancias químicas inorgánicas**

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

#### **1.2.2.4. Nutrientes vegetales inorgánicos**

Nitratos y fosfatos son sustancias solubles en agua que las plantas necesitan para su desarrollo, pero si se encuentran en cantidad excesiva inducen el crecimiento desmesurado de algas y otros organismos provocando la eutrofización de las aguas. Cuando estas algas y otros vegetales mueren, al ser descompuestos por los microorganismos, se agota el oxígeno y se hace imposible la vida de otros seres vivos. El resultado es un agua maloliente e inutilizable.

### **1.2.2.5. Compuestos orgánicos**

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

### **1.2.2.6. Sedimentos y materiales suspendidos**

Muchas partículas arrancadas del suelo y arrastradas a las aguas, junto con otros materiales que hay en suspensión en las aguas,

Según la OMS (Organización Mundial de la Salud), el agua está contaminada cuando su composición se haya alterado de modo que no reúne las condiciones necesarias para el uso al que se la hubiera destinado, en su estado natural. En los cursos de agua, los microorganismos descomponedores mantienen siempre igual el nivel de concentración de las diferentes sustancias que puedan estar disueltas en el medio.

Este proceso se denomina auto depuración del agua. Cuando la cantidad de contaminantes es excesiva, la autodepuración resulta imposible.

Los mares son un sumidero. De forma constante, grandes cantidades de fangos y otros materiales, arrastrados es de tierra, se vierten en los océanos. Hoy en día, sin embargo, a los aportes naturales se añaden cantidades cada vez mayores de desechos generados por nuestras sociedades, especialmente aguas residuales cargadas de contaminantes químicos y de productos de desecho procedentes de la industria, la agricultura y la actividad doméstica, pero también de residuos radiactivos y de otros tipos.

En realidad, los océanos operan como gigantescas plantas de tratamiento de residuos, a condición de no superar el umbral de lo que pueden tolerar. De lo contrario, se generan destrucción y muerte de la fauna y de la flora, e inconvenientes económicos, crisis sanitarias y envenenamientos de la población humana. Esto, a corto plazo.

A largo plazo, las consecuencias podrían ser catastróficas. Basta pensar únicamente en los efectos que la contaminación biológica –como consecuencia del incremento de fertilizantes- podría acarrear si la proliferación de formas microscópicas fuera tan grande que se redujera significativamente el nivel de oxígeno disuelto en el agua oceánica.

La contaminación tiende a concentrarse en los lugares próximos a las zonas habitadas y más industrializadas. sí, la contaminación marina de origen atmosférico es, en determinadas zonas adyacentes a Europa (Báltico, mar del Norte, Mediterráneo), por termino general, diez veces mayor que mar adentro, en el propio Atlántico norte; cien veces superior que en el Pacífico norte y mil veces más elevada que en el Pacífico sur. Sin embargo, y como consecuencia de la circulación general de los aires y de las aguas, cada año se detectan nuevos contaminantes en zonas tan apartadas como la Antártida –se ha encontrado DDT en la grasa de los pingüinos antárticos- o las fosas oceánicas La contaminación química del medio marino provocada por el hombre es muy superior a la atribuible a causas naturales. Las tasas de aporte de algunos elementos son elocuentes: el mercurio llega al océano a un ritmo dos veces y media superior al que sería debido únicamente a factores naturales; el manganeso multiplica por cuatro dicho ritmo natural; el cobre, el plomo y el cinc por doce; el antimonio por treinta y el fósforo por ochenta.

Algunos de los metales pesados, como el mercurio y el plomo, junto con el cadmio y el arsénico, son contaminantes graves, pues penetran en las cadenas alimentarias marinas, y, a través de ellas, se concentran. Así, por ejemplo, la enfermedad de Minamata –descubierta en los años 20 en la bahía japonesa de mismo nombre- ha provocado, en Japón y en Indonesia, miles de muertes y un número mucho mayor de enfermos con lesiones cerebrales. La causa que la produjo fue el consumo de atún y otros peces con contenidos elevados de mercurio procedente de los vertidos industriales de aquella zona costera. Igualmente, productos químicos como el DDT y los PCB son otros son, en términos de masa total, la mayor fuente de contaminación del agua. La turbidez que provocan en el agua dificulta la vida de algunos organismos, y los sedimentos que se van acumulando destruyen sitios de alimentación o desove de los peces, rellenan lagos o pantanos y obstruyen canales, rías y puertos.

### **1.2.2.7. Sustancias radiactivas**

Isótopos radiactivos solubles pueden estar presentes en el agua y, a veces, se pueden ir acumulando a lo largo de las cadenas tróficas, alcanzando concentraciones considerablemente más altas en algunos tejidos vivos que las que tenían en el agua.

### **1.2.2.8. Contaminación térmica**

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

### **1.2.3. Causas naturales de la contaminación de agua**

Los cuerpos de agua naturales como los ríos, lagos, mares y estuarios tienen la capacidad de limpiarse a sí mismos sin ayuda del hombre. Esta capacidad de las aguas es limitada debido a que los niveles de auto purificación están determinados por el volumen de los cuerpos de agua, la cantidad de bacterias y organismos que viven en las aguas y las cantidades de contaminantes que llegan a éstas. Un cuerpo de agua de gran tamaño puede diluir un contaminante hasta el límite de que dicho contaminante no le haga daño a los organismos que habitan en el cuerpo de agua.

También, un cuerpo de agua de gran tamaño contiene grandes cantidades de oxígeno el cual es necesario para que las bacterias descompongan los contaminantes que llegan al cuerpo de agua. Los microorganismos que habitan el cuerpo de agua son los encargados de descomponer los compuestos contaminantes y convertirlos en formas químicas que pueden ser utilizados por las plantas y por los animales. No obstante, si las cantidades de contaminantes que llegan al cuerpo de agua son tales que no pueden ser atacados y descompuestos por el número de microorganismos que habitan el cuerpo de agua, dichos contaminantes permanecen en el cuerpo de agua y evitan el crecimiento de la flora y la fauna natural. Esto es, causan contaminación. Casi todas las aguas naturales mantienen una flora compuesta por microorganismos, tales como los protozoarios y bacterias aeróbicas.

Los protozoarios se alimentan de bacterias y algunas de éstas se alimentan de materia orgánica disuelta o suspendida en el agua. La materia orgánica que consumen las bacterias puede provenir del cuerpo de agua en sí o de descargas de aguas usadas de industrias o domicilios. Tanto las bacterias como los protozoarios consumen oxígeno durante su respiración y reproducción. Cuando las descargas de aguas usadas contienen grandes proporciones de materia orgánica (contaminante), las bacterias tienen suficiente alimento para reproducirse en grandes cantidades y consumir todo el oxígeno disponible.

Una vez consumido el oxígeno, tanto las bacterias aeróbicas como los protozoarios mueren. Al morir los protozoarios y las bacterias aeróbicas, se desarrollan en el cuerpo de agua otras bacterias conocidas como bacterias anaeróbicas que no necesitan del oxígeno para su alimentación y reproducción.

En el proceso de alimentación las bacterias anaeróbicas utilizan nitratos y sulfatos en lugar de oxígeno. De la utilización de los sulfatos resulta el sulfuro de hidrógeno, el cual es un gas pestilente. El sulfuro de hidrógeno es el responsable de la pestilencia de algunas aguas contaminadas. Los fenómenos que contribuyen a degradar las aguas son los mismos que a la larga las purifican. Tanto las bacterias aeróbicas como las anaeróbicas posteriormente destruyen la materia orgánica al utilizarla y la convierten en bióxido de carbono, el cual luego se dispersa en la atmósfera con el amoníaco y el sulfuro de hidrógeno.

Una vez destruida la mayor parte de la materia orgánica, se reduce el ritmo de consumo de oxígeno, lo que permite el desarrollo de la fauna en los cuerpos de agua.

Otro componente de la flora acuática son las algas. Contrario a los protozoarios y bacterias, las algas convierten el bióxido de carbono y los bicarbonatos en materia orgánica y oxígeno con la ayuda de la luz solar (fotosíntesis).

La materia orgánica producida por las algas es utilizada por estas mismas para alimentarse y reproducirse invirtiendo el proceso. En un cuerpo de agua turbia, el crecimiento de las algas es limitado debido a la poca luz solar disponible. Como hemos visto, el crecimiento de bacterias tiende a destruir los contaminantes orgánicos, mientras que el crecimiento de las algas tiende a crearlos. Cuando el crecimiento de las algas no es excesivo resulta beneficioso, ya que la fauna del cuerpo de agua se alimenta de ellas. Cuando el crecimiento de algas es excesivo, éstas mueren y se hunden dando lugar a que las bacterias aeróbicas las utilicen, iniciándose así otro ciclo de respiración.

Existen tres parámetros principales o formas básicas para determinar el grado de contaminación de un cuerpo de agua. Estos parámetros son: el número de bacterias coliformes existentes, cantidad de oxígeno disuelto en el agua.

#### **1.2.3.1. Número de bacterias coliformes existentes**

El número de bacterias coliformes existentes en los intestinos de los animales de sangre caliente y en los suelos nos indica la probabilidad de que los cuerpos de agua contengan contaminantes patógenos.

Las principales fuentes de bacterias coliformes son las descargas sanitarias, tanto de hogares y negocios, como de sistemas municipales de recolección de aguas usadas.

#### **1.2.3.2. Cantidad de oxígeno disuelto en el agua**

Las principales causas contribuyentes a la reducción de oxígeno en el agua son la contaminación por materia orgánica y las descargas industriales cerca de las riberas de los cuerpos de agua. También factores físicos como el estancamiento contribuyen al agotamiento de oxígeno.

#### **1.2.3.3. Fertilizantes y plaguicidas**

Los fertilizantes, tanto naturales como artificiales, utilizados en la agricultura constituyen una fuente potencial de contaminación de agua. Las prácticas de ganadería generan grandes cantidades de materia fecal, las cuales son arrastradas por las aguas de lluvia hasta los cuerpos de agua. También con el lavado de canales se producen efluentes con estiércol que son descargados a los cuerpos de agua. Dichos fertilizantes contienen nitratos y fosfatos que sirven de nutrientes a las algas y otras plantas acuáticas. Altas concentraciones de nitrato en los cuerpos de agua causan metemoglobinemia infantil, enfermedad congénita conocida comúnmente como “bebé azul”.

Por otro lado, los plaguicidas utilizados en la agricultura muchas veces son arrastrados hasta los cuerpos de agua en la misma forma que los fertilizantes.

Una vez en los cuerpos de agua, los plaguicidas se descomponen y/o se adhieren a los sedimentos que contenga el cuerpo de agua. También pueden adherirse a los tejidos grasos de animales acuáticos. El consumo humano de dichos animales acuáticos como peces y crustáceos hacen que se acumulen los plaguicidas en nuestros tejidos grasos y en la leche materna. También, si el ganado vacuno consume agua contaminada con plaguicidas, éstos llegan al ser humano mediante el consumo de leche.

#### **1.2.3.4. Contaminación por sólidos suspendidos**

La erosión de los terrenos, bien sea por desarrollo de obras de construcción, por arado de terrenos o por desarrollos urbanos, constituyen la principal fuente de contaminación de agua por sólidos suspendidos. Los sólidos suspendidos provenientes de la erosión son depositados por las aguas de escorrentía en los lechos de los ríos y en el fondo de las represas y lagos contaminándolos. El ritmo de erosión depende de la clase de actividad que se lleve sobre el terreno, la cantidad de vegetación existente, la cantidad de lluvia, de la inclinación del terreno y de la exposición de los terrenos a la escorrentía.

Los sólidos suspendidos imparten turbiedad al agua haciéndola no apta para algunos usos como recreación, además de hacerlos estéticamente inaceptables.

#### **1.2.3.5. Metales**

Ciertas formas de contaminación química del agua provienen de descargas con compuestos metálicos provenientes de diferentes industrias. Las descargas más tóxicas son las que contienen cromo, cadmio, zinc, plomo y mercurio. (1)

### **1.3. Aguas residuales**

Las aguas residuales se pueden definir como aquellas que por uso del hombre, representan un peligro y deben ser desechadas, porque contienen gran cantidad de sustancias y/o microorganismos.

Dentro de este concepto se incluyen aguas con diversos orígenes:

- Aguas residuales domésticas o aguas negras: proceden de las heces y orina humanas, del aseo personal y de la cocina y de la limpieza de la casa. Suelen contener gran cantidad de materia orgánica y microorganismos, así como restos de jabones, detergentes, lejía y grasas.

### 1.3.1. Aguas residuales domésticas

Son las aguas de origen principalmente residencial (desechos humanos, baños, cocina) y otros usos similares que en general son recolectadas por sistemas de alcantarillado en conjunto con otras actividades (comercial, servicios, industria). Esta agua tiene un contenido de sólidos inferior al 1%. Si bien su caudal y composición es variable, pueden tipificarse ciertos rangos para los parámetros más característicos.

En la tabla 1 se presentan datos típicos de los constituyentes encontrados en un agua residual doméstica.

**Tabla 1: Composición típica de agua residual doméstica**

Componente	Intervalo de concentraciones		
	Alta	Media	Baja
Materia sólida, mg/l	1200	720	350
disuelta total	850	500	250
inorgánica	525	300	145
orgánica	325	200	105
en suspensión	350	220	100
inorgánica	75	55	20
orgánica	275	165	80
Sólidos decantables, ml/ l	20	10	5
DBO <sub>5</sub> a 20°C, mg/ l	400	220	110
Carbono orgánico total, mg/ l	290	160	80
DQO, mg/ l	1000	500	250
Nitrógeno, mg/ l N, total	85	40	20
Orgánico	35	15	8
Amoníaco	50	25	12
Nitritos	0	0	0
Nitratos	0	0	0
Fósforo, mg/ l P, total	15	8	4
orgánico	5	3	1
inorgánico	10	5	3
Cloruros	100	50	30
Alcalinidad, mg/ l CaCO <sub>3</sub>	200	100	50
Grasa, mg/l	150	100	50

Fuente: Luz Edith Barba Ho, conceptos básicos de la contaminación del agua y parámetros de medición, universidad Del Valle, 2002, vol, pag. 20.

### **1.3.2. Aguas residuales industriales con altos niveles de contaminación (residuos industriales líquidos)**

Son aguas provenientes de los procesos industriales y la cantidad y composición de ellas es bastante variable, dependiente de la actividad productiva y de muchos otros factores (tecnología empleada, calidad de la materia prima, etc.). Así estas aguas pueden variar desde aquellas con alto contenido de materia orgánica biodegradable (mataderos, industria de alimentos), otras con materia orgánica y compuestos químicos (curtiembre, industria de celulosa) y finalmente industrias cuyas aguas residuales contienen sustancias inorgánicas u orgánicas no degradables (metalúrgicas, textiles, químicas, mineras).

Son aquellas que proceden de cualquier actividad o negocio en cuyo proceso de producción, transformación o manipulación se utilice agua.

Presentan características muy distintas de las aguas residuales urbanas. Son enormemente variables en cuanto a caudal y composición, difiriendo las características de los vertidos, no sólo de una industria a otra, sino también dentro de un mismo tipo de industria.

A veces, las industrias no emiten vertidos de forma continua, sino únicamente en determinadas horas del día o incluso únicamente en determinadas épocas del año, dependiendo del tipo de producción y del proceso industrial. También son habituales las variaciones de caudal y carga a lo largo del día.

Están más contaminadas que las aguas residuales urbanas, además, con una contaminación mucho más difícil de eliminar. Su alta carga unida a la enorme variabilidad que presentan, hace que el tratamiento de las aguas residuales sea complicado. Por esta razón, al querer adentrarse en el amplio mundo del conocimiento de las aguas residuales industriales, se corre el peligro de equivocarse al querer simplificar el problema, intentando generalizar e incluso querer extrapolar, aplicando las técnicas que se aplican en las aguas residuales urbanas. Por esta razón es necesario un estudio específico en cada caso.

Para conocer las aguas residuales de una determinada industria se debe, en primer lugar, abordar los complejos problemas que presenta el uso del agua dentro de la misma, de tal suerte que, hasta que no se tenga un conocimiento profundo del mismo, no se debe intentar emprender los problemas de polución y su tratamiento. Téngase muy en cuenta que no existe un procedimiento universal de depuración.

Por otra parte, es muy interesante conocer la distribución del agua dentro de las distintas líneas de fabricación, así como su consumo, llevando los datos a gráficos que indiquen los caudales máximos y mínimos utilizados, relacionándolos con la fabricación, el personal, la hora del día o de la noche, ya que la calidad de las aguas residuales vendrá en muchos casos influenciada por estos factores.

De todo lo anterior se deduce que nunca se podrá expresar la carga contaminante de una agua residual de una determinada industria por medio de una muestra media, ya que deben conocerse las concentraciones máximas y mínimas de los contaminantes que pueden influir en el correcto funcionamiento de la estación de tratamiento, así como con la frecuencia en que aparecen los valores significativos.

La complejidad de las aguas residuales industriales hace que sea difícil, por no decir imposible, encerrarlas dentro de una clasificación, por muy complicada que sea, y que existen prácticamente tantas aguas residuales industriales como industrias. Por esto, han sido muchas las clasificaciones que se han propuesto para éstas, ninguna totalmente aceptada. La más corriente hace referencia a la clase de industria que originó estas aguas, intentando agruparlas por su composición cualitativa más probable.

De acuerdo con la posibilidad de biodegradación de la materia orgánica presente, se pueden distinguir tres clases de aguas:

**a) Aguas residuales industriales que contienen materia orgánica**

Con aporte de nitrógeno y fósforo

Sin aporte de nitrógeno y fósforo

**b) Aguas residuales industriales que sólo contienen sustancias minerales**

Con sustancias tóxicas

Sin sustancias tóxicas

### **1.3.3. Aguas residuales mixtas**

Otra clasificación tiene en cuenta el grado de nocividad de determinadas sustancias contaminantes en relación con los organismos vivos presentes en el seno del agua.

- Aguas residuales industriales cuyas sustancias químicas contaminantes no interfieran la vida en el agua
- Aguas residuales industriales cuyas sustancias contaminantes son nocivas para la vida en el agua
- Aguas residuales industriales que tienen en su seno alguna sustancia tóxica que pueda entorpecer o ralentizar la vida en el agua.

Esta clasificación es muy relativa, ya que implica, entre otros conceptos, tener en cuenta los de concentración y dilución. (2).

## **1.4. Contaminación de aire**

### **1.4.1. La contaminación atmosférica**

Condición de la atmósfera en la que ciertas sustancias o energías alcanzan unas concentraciones por encima de su nivel ambiental normal pudiendo causar daños, riesgos o molestias a las personas, ecosistemas o bienes.

#### **1.4.1.1. Causas de la contaminación atmosférica**

Algunos de los contaminantes más importantes corresponden a los subproductos de todo tipo de combustiones, como las que se utilizan en las industrias, ya sea en las generadoras de vapor o energía eléctrica o como parte integrante de los diversos procesos industriales, en los sistemas domésticos de agua caliente, calefacción e incineración; en los servicios públicos, como plantas termoeléctricas y sistemas de disposición de residuales y basuras; en el transporte motorizado, ya sea en motores de explosión o del tipo Diésel, o en ferrocarriles y barcos.

Además de la combustión constituyen fuentes importantes de contaminación los residuos industriales, especialmente los de la industria química, metalúrgica y petrolera, y los vapores orgánicos que salen al aire durante el almacenamiento y las operaciones de trasvasijado de solventes, gasolina y otros combustibles similares.

No basta, sin embargo, que se vacíen al aire algunos contaminantes para que exista un problema, éstos deben sobrepasar la concentración y el tiempo de permanencia mínimos para llegar a representar un riesgo para la salud o la economía.

#### **1.4.2. Naturaleza, origen y clasificación de los contaminantes del aire**

Una vez que se hayan estudiado cuidadosamente algunas sustancias seleccionadas y que se haya declarado como contaminante del aire, es de interés inmediato conocer las principales fuentes de dichas sustancias. Las partículas sólidas que existen en la atmósfera son quemadas por la combustión de combustibles tales como el carbón y el combustóleo en hornos estacionarios y de motores de turbina en fuentes móviles.

Los procesos de fabricación como el molido, fundición, trituración y molienda de granos también contribuyen a la contaminación del aire. La principal fuente de los óxidos de azufre proviene del consumo de combustibles que contengan azufre. Sin embargo, algunos compuestos de azufre son liberados a la atmósfera durante el procesamiento de minerales y de los procesos de fabricación que utilicen ácido sulfúrico.

El monóxido de carbono es generado principalmente por la combustión incompleta de los combustibles carbonáceos en motores de automóviles y unidades de calefacción.

Los hidrocarburos no quemados son el resultado de la combustión incompleta de los combustibles y durante la refinación del petróleo. Una porción relativamente pequeña proviene de otras operaciones como la limpieza en seco, la evaporación de capas industriales y la limpieza de las piezas manufacturadas.

Por tanto, podemos decir que los contaminantes del aire pueden presentarse en forma de gases, de partículas sólidas o de aerosoles líquidos. Estas formas pueden existir, ya sea separadamente o combinadas entre ellas; por ejemplo la partículas o las gotas líquidas pueden absorber los gases. Los agentes contaminantes gaseosos, constituyen aproximadamente el 90% de la masa total emitida a la atmósfera, mientras que las partículas y los aerosoles líquidos constituyen el 10% restante.

Los contaminantes gaseosos proceden sobre todo de la combustión de carburantes y de la incineración de desechos. Cuando se trata de óxidos de azufre su principal origen es la combustión de carburantes en fuentes estacionarias. En las zonas donde se utiliza el carbón y los derivados residuales del petróleo para la calefacción pueden producirse altas concentraciones de SO<sub>2</sub>.

Las partículas son emitidas por un grupo de fuentes bastante diversificado, lo que hace que sus dimensiones, formas, densidad y composición química pueden variar considerablemente. La mayor parte de las partículas contaminadoras proviene de la utilización de carburantes, de la incineración de desechos y de los efluentes industriales. Aunque las partículas sólo representan el 10% de la cantidad de los agentes contaminantes emitidos a la atmósfera, constituyen un problema importante, ya que pueden influir de forma muy diversa en la salud y el bienestar.

Estos agentes son rápidamente transportados y dispersados por el viento. Las partículas pequeñas permanecen durante largo tiempo en la atmósfera hasta el momento que desaparecen por la lluvia o se aglomeran en partículas más grandes. En este orden de magnitud se encuentran las partículas respirables, es decir, partículas inferiores a 8 micras. Esta gama también comprende las partículas que aumentan la turbiedad atmosférica, que atenúan la radiación infrarroja que llega a la corteza terrestre y que pueden por ello influir en el clima a escala mundial.

#### a) . Fuentes contaminantes

Por su naturaleza:

Químicos.

Biológicos.

### 1.4.3 Contaminantes químicos

Sustancias químicas emitidas a la atmósfera: coches, industrias, aerosoles, volátiles, etc. (antrópicas en su inmensa mayoría, incluso se pueden considerar de este modo las flatulencias de las vacas de nuestras ganaderías extensivas).

Al ser gases o disolverse en el aire se denominan emisiones.

Los contaminantes emitidos se denominan primarios.

Los que se forman por reacciones posteriores entre ellos: secundarios.

## 1.5. Contaminación de los suelos

La contaminación del suelo consiste en una degradación química que provoca la pérdida parcial o total de la productividad del suelo como consecuencia de la acumulación de sustancias tóxicas en unas concentraciones que superan el poder de amortiguación natural del suelo y que modifican negativamente sus propiedades. Esta acumulación se realiza generalmente como consecuencia de actividades humanas exógenas, aunque también se puede producir de forma natural o endógena cuando los procesos de fábrica liberan elementos químicos contenidos en las rocas y los concentran en el suelo alcanzando niveles tóxicos. Un ejemplo de esto último lo tenemos en suelos muy evolucionados formados sobre rocas serpentizadas con altos contenidos en metales pesados como el Cr, Ni, Cu y Mn, entre otros, que se concentran en los suelos a medida que la intensa edafogénesis produce el lavado de otros constituyentes esenciales como el Ca, Mg e incluso el Si. Conforme se desarrolla esta concentración residual metálica, estos elementos que inicialmente eran constituyentes no asimilables de los minerales primarios pasan a formas más activas, solubles y biodisponibles que influyen negativamente sobre la actividad biológica (Macías, 1993).

Como ya se ha señalado, las propiedades físicas, químicas, fisicoquímicas y biológicas del suelo controlan en gran medida los ciclos biogeoquímicos superficiales, en los que actúa como un reactor complejo que sirve de elemento protector de otros medios más sensibles frente a elementos contaminantes. Así, el suelo ejerce su labor protectora a través de su poder de amortiguación o capacidad natural de depuración de la contaminación. Esta atenuación de los elementos nocivos contaminantes se realiza, entre otras, a través de reacciones de complicación, reacciones de adsorción y desorción, reacciones de precipitación y disolución, reacciones de óxido reducción, reacciones ácido-base y reacciones derivadas de procesos metabólicos. Todas estas reacciones están estrechamente controladas por propiedades del suelo como su textura, estructura, porosidad, capacidad de intercambio catiónico, pH, Eh y la actividad microbiológica. En cualquier caso, hay que tener muy presente que el poder de amortiguación de un suelo no es ilimitado y cuando se rebasa, el suelo deja de ser eficaz como sumidero de la contaminación, llegando incluso a invertirse el proceso y a convertirse en una fuente de contaminación para los organismos del suelo y para el medio circundante.

A la hora de abordar el estudio de la contaminación de un suelo no basta sólo con detectar la presencia de la sustancia o sustancias contaminantes sino que su concentración debe superar la carga crítica o máxima cantidad permitida en el suelo sin que se produzcan efectos nocivos que no puedan ser contrarrestados por el poder de amortiguación del suelo. De esto se deduce que distintos suelos van a reaccionar de forma diferente ante la presencia de un mismo contaminante o de una misma cantidad de contaminante. Esta reacción estará condicionada por factores como la vulnerabilidad específica de cada suelo, que representa el grado de sensibilidad del suelo frente a la agresión de los agentes contaminantes y que está muy relacionada con el poder de amortiguación del suelo, de forma que cuanto menor sea esta capacidad de amortiguación del impacto del contaminante mayor será su vulnerabilidad. Así, el grado de vulnerabilidad de cada suelo frente a la contaminación depende de la intensidad de la contaminación y de la velocidad con que se producen los cambios negativos en las propiedades del suelo en respuesta a esa contaminación. Además, el grado de contaminación de un suelo no puede ser estimado exclusivamente a partir de los valores totales de los contaminantes frente a determinados valores guía, sino que es necesario considerar la biodisponibilidad del contaminante o su posible asimilación por los organismos del suelo, determinada por la competencia entre el sistema radicular de la planta, la solución del suelo y la fase sólida del suelo (Sposito, 1989); la movilidad, que regulará su distribución y transporte en el suelo o a otros medios; y la persistencia, que controlará la duración de su efecto pernicioso en el suelo. Todos estos conceptos permiten evaluar los riesgos potenciales de determinadas actividades contaminantes y planificar actuaciones de acuerdo con el tipo de suelo, aunque es necesario recalcar que la propia heterogeneidad del suelo puede dificultar en muchos casos la caracterización de estos parámetros.

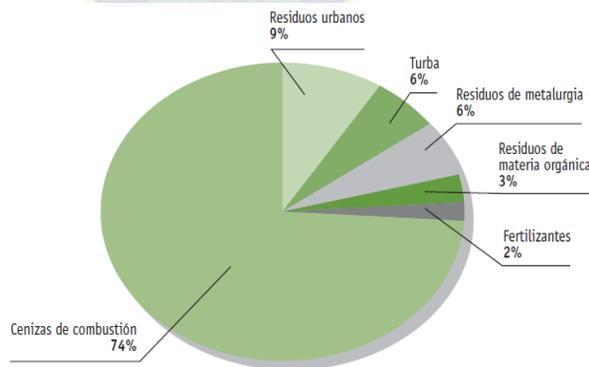
Los agentes potencialmente contaminantes del suelo están fundamentalmente asociados a residuos derivados de actividades industriales, mineras, agrícolas y ganaderas. Las principales agentes de contaminación en los suelos son:

### 1.5.1. Metales pesados

Tradicionalmente se llama metal pesado a aquel elemento metálico que presenta una densidad superior a 5 g/cm<sup>3</sup>, aunque a efectos prácticos en estudios medioambientales se amplía esta definición a todos aquellos elementos metálicos o metaloides, de mayor o menor densidad, que aparecen comúnmente asociados a problemas de contaminación.

Algunos de ellos son esenciales para los organismos en pequeñas cantidades, como el Fe, Mn, Zn, B, Co, As, V, Cu, Ni o Mo, y se vuelven nocivos cuando se presentan en concentraciones elevadas, mientras que otros no desempeñan ninguna función biológica y resultan altamente tóxicos, como el Cd, Hg o el Pb. Estos elementos tienen su origen en el substrato litológico, apareciendo bien como elementos nativos o incorporados normalmente en las estructuras de sulfuros, silicatos, carbonatos, óxidos e hidróxidos. Los aportes dominantes se producen por deposición atmosférica y afectan de forma significativa a los primeros centímetros de suelo. Son fuentes importantes de metales en suelos las cenizas y escorias de los procesos de combustión de carbón fósil o derivados del petróleo (Figura 1), el aporte directo procedente de actividades agrícolas (adición de fertilizantes, pesticidas, lodos de depuradoras, compost, etc.) y su acumulación a partir de residuos industriales, urbanos y mineros (metalurgia, fabricación de pinturas, barnices, disolventes, baterías, textiles, curtidos, etc.).

#### Grafica de metales en suelos:



**Fuente:** (6) Mari JJ. Gomez J. Aranz J Perez E Auditorias de historias clínicas: ¿Cuál es el tamaño adecuado de la muestra? todo hospital 1997; octubre 58 – 59.

### 1.5.2. Lluvias ácidas

Consisten en deposiciones húmedas (agua de lluvia, nieve y niebla) o secas (gases o partículas sólidas) de la atmósfera constituidas principalmente por SO<sub>2</sub> y óxidos de nitrógeno, NO<sub>x</sub>, que proceden fundamentalmente de actividades industriales, como las emisiones de centrales térmicas y las producidas por la combustión de hidrocarburos, la desnitrificación de fertilizantes añadidos en exceso a los suelos y otros procesos naturales similares que tienen lugar en zonas de manglares, marjales, arrozales, volcanes, etc. Los óxidos de azufre y nitrógeno así emitidos a la atmósfera reaccionan con el agua y el oxígeno, dando lugar a soluciones diluidas de ácido sulfúrico y nítrico que se van depositando sobre los suelos, plantas, árboles, ríos, lagos, etc. Las consecuencias de estas deposiciones se reflejan en un aumento de la acidez de los suelos y las aguas, un incremento de la movilidad de iones y metales pesados, la solubilización y movilización del Al y la materia orgánica y, en definitiva, el descenso de la capacidad de los suelos para neutralizar ácidos. En este sentido, los suelos presentarán distinta sensibilidad al impacto de las deposiciones ácidas en función de su poder de amortiguación para contrarrestar la acidez, de forma que los suelos más sensibles a las lluvias ácidas serán aquellos desarrollados en zonas frías, donde las bajas temperaturas limiten su alteración, sobre materiales poco alterables, con valores bajos de capacidad de intercambio catiónico y grado de saturación y pobres en formas de Al y Fe activas.

#### Salinización

Es el resultado de la acumulación en el suelo de sales más solubles que el yeso (2,6 g/L en agua pura a 25°C, Porta et al., 2003). La salinización se refleja en un incremento en la conductividad eléctrica de la solución del suelo que tiene efectos adversos sobre las propiedades físicas y químicas del suelo y dificulta el crecimiento y la productividad vegetal (Tejada et al., 2006). Los suelos afectados por este proceso se denominan suelos salinos y en ellos el Ca y el Mg son los cationes predominantes en el complejo de cambio. En el caso específico de que sea el Na el catión predominante en el complejo de cambio se habla de suelos sódicos, en los que esta acumulación de Na produce una alcalinización que da lugar a la dispersión de las arcillas y la materia orgánica y a la destrucción de la estructura del suelo. Los principales tipos de sales que se encuentran en suelos salinos son cloruros, sulfatos, carbonatos y bicarbonatos, y nitratos.

Para que se produzca esta acumulación de sales en el suelo es necesario que haya un fuerte aporte de sales y que su eliminación del suelo esté impedida por algún mecanismo, como malas condiciones de drenaje y lavado. En regiones áridas y semiáridas, donde la evapotranspiración es superior a la precipitación, el proceso de salinización se origina de forma natural a partir de la herencia o alteración de la roca original (fundamentalmente rocas sedimentarias) o de las aguas de escorrentía cargadas de sales que se acumulan por evaporación en las zonas más deprimidas. En otras ocasiones, las acumulaciones salinas ocurren por ascensión capilar de las sales en el suelo a partir de mantos freáticos suficientemente superficiales, especialmente en zonas costeras y, en cualquier caso, el viento siempre puede contribuir a la contaminación salina por arrastre de partículas en suspensión. El hombre también contribuye en gran medida a la contaminación de los suelos por sales a través de prácticas agrícolas inadecuadas, como el riego con aguas salinas y el empleo de cantidades muy elevadas de fertilizantes solubles, de la sobreexplotación de acuíferos, que ocasiona un descenso de los mantos freáticos regionales y la intrusión de agua salina, y de actividades industriales y mineras que contaminan directamente los suelos o indirectamente a partir de deposiciones atmosféricas o de las aguas superficiales.

### **1.5.3. Fitosanitarios**

El hombre, con objeto de proteger los cultivos frente al efecto pernicioso de múltiples organismos vivos (insectos, hongos, nematodos, malas hierbas, etc.) y aumentar la producción viene utilizando desde hace décadas productos fitosanitarios como plaguicidas, herbicidas, fungicidas y fertilizantes. Una vez aplicados, son absorbidos por las plantas o sufren procesos de adsorción, volatilización, lavado y degradación biótica y abiótica en el suelo que conducen a la formación de nuevos productos, en ocasiones más móviles, persistentes y más peligrosos que los compuestos de partida (Porta et al, 2003), que son susceptibles de contaminar los suelos, las aguas y pasar a la cadena trófica.

Los fertilizantes son sustancias químicas de origen agrícola (fertilizantes inorgánicos) o ganadero (purines, estiércoles, compost, etc.) que aportan nutrientes, fundamentalmente N y P, para mejorar el desarrollo y crecimiento de las plantas en el suelo. Sin embargo, cuando son aplicados de forma abusiva con objeto de aumentar el rendimiento de las cosechas pierden su efecto beneficioso y se convierten en fuentes de contaminación. El exceso de estos

nutrientes no puede ser absorbido por la vegetación y su lixiviado del suelo en forma sobre todo de nitratos, muy solubles, o a través de las aguas de escorrentía en el caso de los fosfatos da lugar a problemas de eutrofización de las aguas superficiales y subterráneas, provocando el crecimiento desmesurado de biomasa, en especial algas, y un aumento de la demanda biológica de oxígeno para descomponer y degradar la materia orgánica procedente de esa biomasa que puede terminar creando condiciones de anaerobiosis que lleven a la destrucción de ese ecosistema. Lógicamente, el aporte de nutrientes realizado por los fertilizantes es deseable en tanto en cuanto conduzca a una mejora de las cosechas y un aumento de la producción, pero para minimizar sus efectos perniciosos en los suelos es necesario tener un extenso conocimiento de las condiciones iniciales del suelo previas al aporte y de las propiedades edáficas que permitirán en mayor o menor medida amortiguar esos efectos, fundamentalmente la capacidad de cambio, la conductividad hidráulica, la capacidad de fijación, etc. (Macías, 1993).

## **1.6. Muestreo**

El muestreo es por lo tanto una herramienta de la investigación científica, cuya función básica es determinar que parte de una población debe examinarse, con la finalidad de hacer inferencias sobre dicha población.

La muestra debe lograr una representación adecuada de la población, en la que se reproduzca de la mejor manera los rasgos esenciales de dicha población que son importantes para la investigación. Para que una muestra sea representativa, y por lo tanto útil, debe de reflejar las similitudes y diferencias encontradas en la población, es decir ejemplificar las características de ésta.

Los errores más comunes que se pueden cometer son:

- 1.- Hacer conclusiones muy generales a partir de la observación de sólo una parte de la Población, se denomina error de muestreo.
- 2.- Hacer conclusiones hacia una Población mucho más grandes de la que originalmente se tomó la muestra. Error de Inferencia.

En la estadística se usa la palabra población para referirse no sólo a personas sino a todos los elementos que han sido escogidos para su estudio y el término muestra se usa para describir una porción escogida de la población.

### **1.6.1. Tipos de muestreo**

Existen diferentes criterios de clasificación de los diferentes tipos de muestreo, aunque en general pueden dividirse en dos grandes grupos: métodos de muestreo probabilísticos y métodos de muestreo no probabilísticos.

#### **1.6.1.1. Muestreo probabilístico**

Los métodos de muestreo probabilísticos son aquellos que se basan en el principio de equiprobabilidad. Es decir, aquellos en los que todos los individuos tienen la misma probabilidad de ser elegidos para formar parte de una muestra y, consiguientemente, todas las posibles muestras de tamaño  $n$  tienen la misma probabilidad de ser seleccionadas. Sólo estos métodos de muestreo probabilísticos nos aseguran la representatividad de la muestra extraída y son, por tanto, los más recomendables. Dentro de los métodos de muestreo probabilísticos encontramos los siguientes tipos:

#### **1.6.1.2. Muestreo aleatorio simple**

El procedimiento empleado es el siguiente: 1) se asigna un número a cada individuo de la población y 2) a través de algún medio mecánico (bolas dentro de una bolsa, tablas de números aleatorios, números aleatorios generados con una calculadora u ordenador, etc.) se eligen tantos sujetos como sea necesario para completar el tamaño de muestra requerido.

Este procedimiento, atractivo por su simpleza, tiene poca o nula utilidad práctica cuando la población que estamos manejando es muy grande. (6)

Este método de muestreo proporciona un punto de partida para una exposición de los métodos de muestreo probabilístico no porque sea uno de los métodos de muestreo más utilizados sino porque constituyen la base de métodos de muestreo más complejos. Dependiendo si el muestreo es con reposición o sin reposición, podemos hablar de muestreo aleatorio simple con reposición o sin reposición respectivamente.

De manera formal, este diseño básico o técnica de muestreo se define de la siguiente manera

Si se selecciona un tamaño de muestra  $n$  de una población de tamaño  $N$  de tal manera que cada muestra posible de tamaño  $n$  tenga la misma probabilidad de ser seleccionada, el procedimiento de muestreo se denomina muestreo aleatorio simple. A la muestra así obtenida se le denomina muestra aleatoria simple.

Considerando muestreo aleatorio sin reposición, se obtiene la muestra unidad a unidad de forma aleatoria sin reposición a la población de las unidades previamente seleccionadas, teniendo presente además que el orden de colocación de los elementos en las muestras no interviene, es decir, muestras con los mismos elementos colocados en orden distinto se consideran iguales. De esta forma, las muestras con elementos repetidos son imposibles. Bajo muestreo aleatorio con reposición, las unidades seleccionadas son devueltas de nuevo a la población'.

Expondremos una manera de seleccionar una muestra aleatoria simple utilizando un ejemplo concreto. Se pretende realizar un estudio sobre los hábitos de lectura en los estudiantes de Politécnica. Los alumnos que actualmente estudian en Politécnica son un total de 544 alumnos y se quiere extraer una muestra aleatoria simple de 65 alumnos. Una manera de extraer una muestra aleatoria simple consiste en asignar a cada alumno un número del 1 al 544 asociando cada número a un único individuo. Una vez realizado esa asignación, se introducen 544 bolas numeradas en una urna (cada una con un número del 1 al 544), se mezclan cuidadosamente y de manera adecuada y entonces se seleccionan 65 bolas al azar. Si todo el proceso se realiza de manera adecuada, las bolas seleccionadas constituirían una muestra aleatoria simple de 65 estudiantes. Aunque es conceptualmente simple, este método es un poco trabajoso de ejecutar y depende de que las bolas se hayan mezclado de manera adecuada y que todas las bolas tengan el mismo peso y rozamiento.

Otra manera de seleccionar esta muestra aleatoria simple consistiría en utilizar una tabla de números aleatorios. Una tabla de números aleatorios es un conjunto de dígitos generado de modo que, normalmente, la tabla contendrá a cada uno de los diez dígitos (0, 1, . . . , 9), en proporciones aproximadamente iguales, sin mostrar tendencias en el patrón que se generan los dígitos. Por lo tanto, si se selecciona un número en un lugar aleatorio de la tabla, es igualmente probable que sea cualquiera de los dígitos entre el 0 y el 9. Estas tablas se construyen para asegurar que cada dígito, cada par de dígitos, cada tres dígitos, aparecen con la misma frecuencia. En el caso de extraer una muestra aleatoria simple, se elige un lugar para empezar a leer dichos números aleatorios. Después se selecciona una dirección (arriba, abajo, derecha e izquierda) y se van recogiendo dígitos de dos en dos hasta que se consiga el tamaño muestra adecuado. Utilizando este método, un elemento puede aparecer más de una vez. Si queremos extraer una muestra aleatoria simple sin reposición, la solución es ignorar los elementos repetidos. Las ventajas que tiene este procedimiento de muestreo son las siguientes:

Sencillo y de fácil comprensión. Cálculo rápido de medias y varianzas.

Existen paquetes informáticos para analizar los datos

Por otra parte, las desventajas de este procedimiento de muestreo son: Requiere que se posea de antemano un listado completo de toda la población. Si trabajamos con muestras pequeñas, es posible que no representen a la población adecuadamente. A continuación pasamos a describir este procedimiento de muestreo considerando muestreo sin reposición. (7)

### **1.7. Temperatura**

La temperatura de un cuerpo es una medida de su estado relativo de calentamiento o enfriamiento, cuando tocamos un cuerpo, nuestro sentido del tacto nos permite hacer una estimación del grado de calentamiento o enfriamiento del cuerpo con respecto a la parte de nuestra piel que está en contacto con dicho cuerpo. Esta estimación del tacto es demasiado limitada e imprecisa para ser de algún valor en los trabajos técnicos y científicos.

### 1.7.1. Temperatura y energía cinética promedio de las moléculas o átomos de un gas

La temperatura no es una medida de "calor en el cuerpo", la temperatura es una magnitud física que nos indica cuantitativamente, el estado de "caliente" o "frío" de un cuerpo, se expresa mediante un número asociado convencionalmente al cuerpo. Realmente, en la actualidad la temperatura se considera como una medida de la mayor o menor agitación de las moléculas o átomos que constituyen un cuerpo. Para cuantificarla se relaciona la energía cinética promedio de las moléculas, de modo que una temperatura elevada corresponde una mayor energía cinética promedio de las moléculas, debido a una mayor agitación molecular. Esta relación se expresa de la siguiente manera:  $T \propto E_c$  La temperatura es directamente proporcional a la energía cinética media de traslación de las moléculas.

La ecuación resultante es deducida de la teoría cinética de los gases, demostrándose que. (8)

$$T = \frac{2}{3} \left( \frac{1}{K} \right) E_c$$

**Fuente:** (8) Lic. Martín Peña, temperatura, 2007, pag 1

### 1.8. Presión

En física la presión está definida como al cociente entre la acción de una fuerza sobre la unidad de superficie.

$$P = F/S$$

Por lo tanto, la presión atmosférica es numéricamente igual al peso de una columna de aire que tiene como base la unidad de superficie y como altura la de la atmósfera.

### 1.8.1. Unidad de presión

Desde el punto de vista histórico, la primera unidad empleada para medir la presión atmosférica fue el "milímetro de mercurio" (mm Hg), en razón de la conocida capacidad de una columna de mercurio, de unos 760 mm, consistente en lograr equilibrar la referida presión. Dicha propiedad era muy utilizada en la construcción de los primeros barómetros, de modo que el mm Hg resultaba una unidad de medida sumamente intuitiva.

En la industria también ha sido usada la "atmósfera técnica" (at), definida como la presión debida a la acción de un kilogramo fuerza (kgf) sobre una superficie de un centímetro cuadrado. Recordemos que 1 kgf corresponde a la fuerza de gravedad actuando sobre una masa de 1 kg, es decir, aproximadamente 9,81 newtons (N). La "atmósfera técnica" no debe confundirse con la "atmósfera normal" o "atmósfera física" (atm), definida como la presión debida a una columna de mercurio de (exactamente) 760 mm, bajo condiciones predeterminadas. La equivalencia es  $1 \text{ atm.} = 1,033 \text{ at.}$

Se debe mencionar que existen unidades análogas en los países de habla inglesa, donde resultan de uso frecuente las "pulgadas de mercurio" (Hg) y las "libras por pulgada cuadrada" (psi). Estas últimas todavía se utilizan en nuestro país, para medir la presión de los neumáticos en los vehículos.

Posteriormente, se generalizó el empleo del sistema CGS, basado en el centímetro, el gramo y el segundo. Por tal motivo, la elección lógica era la "baria", correspondiente a una fuerza de una dina actuando sobre una superficie de un centímetro cuadrado. Sin embargo, como la baria resultaba demasiado pequeña para los fines prácticos, se decidió adoptar una unidad un millón de veces mayor: el "bar" ( $1 \text{ bar} = 1.000.000 \text{ barias}$ ). En el campo específico de la meteorología, se hizo común el uso de la milésima de bar, el "milibar" (mb).

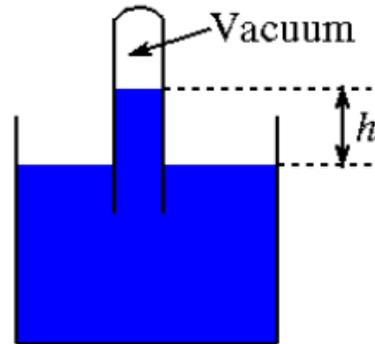
## Barómetro:

### Barometer

$$P = P_{\alpha} + \rho g h$$

$$P = \rho g h$$

absolute pressure



$$\text{water } (\rho = 1000 \text{ kg/m}^3) : h = \frac{P_{\alpha}}{\rho g} = \frac{1.013 \times 10^5 \text{ Pa}}{10^3 \text{ kg/m}^3 \cdot 9.8 \text{ m/s}^2} = 10.3 \text{ m}$$

$$\text{mercury } (\rho = 13.6 \rho_{\text{H}_2\text{O}}) : h = 0.76 \text{ m}$$

*1 Torr = 1 mm Hg (common lab unit)*

**Fuente:** (10) Ing. Rafael Soto González, termodinámica, Escuela Superior Tepeji del Río 2009, pag, 10 – 11.

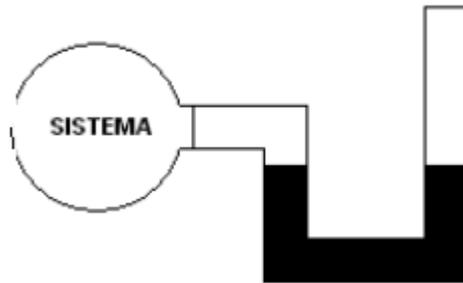
En la actualidad, la comunidad científica internacional ha adoptado el Sistema Internacional (SI), cuyas unidades fundamentales son el metro, el kilogramo y el segundo. Para este sistema la unidad de presión es el newton por metro cuadrado, denominado "pascal" (PA). Debido a que es una unidad muy pequeña y a efectos de facilitar la transición de un sistema a otro, se ha optado por expresar la presión atmosférica en "hectopascales" (hPA), es decir, en centenares de pascales. El hectopascal es idéntico al milibar (1 hPA = 1 mb), de modo que no requiere mayor esfuerzo admitir dicho cambio en la denominación.

Tanto la Organización Meteorológica Mundial (1982) como la Organización de Aviación Civil Internacional (1985) han abandonado ya, definitivamente, el uso del milibar, adoptando en su lugar el hectopascal como unidad de base para la medida de la presión atmosférica.(9)

### 1.8.2. Presión manométrica en U

Cuando el manómetro está cerrado en ambos extremos el líquido se encuentra en equilibrio, por lo que no hay ninguna lectura.

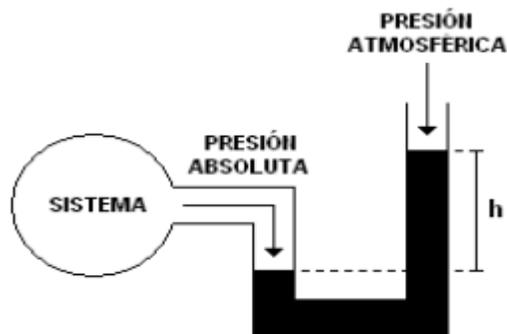
**Manómetro:**



Fuente: (10) Ing. Rafael Soto González, termodinámica, Escuela Superior Tepeji del Río 2009, pag, 10 – 11.

Al abrir los extremos del manómetro, existirá presión en ambos lados, la presión del sistema y la presión de la presión de la Atmósfera.

**Sistema y la presión de la presión de la Atmósfera.**



**Fuente:** (10) Ing. Rafael Soto González, termodinámica, Escuela Superior Tepeji del Río 2009, pag, 10 – 11.

El líquido se desplazará y la altura  $h$  con respecto al punto de equilibrio, será la presión medida, solo se deberá hacer la sustitución en la fórmula de la presión hidrostática.

$$P_{man} = \rho_m g h$$

De acuerdo con la lectura tomada en el manómetro, la relación entre las presiones es. (10)

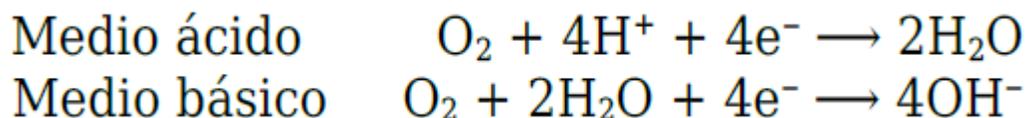
$$P_{man} = P_{abs} - P_{atm}$$

**Fuente:** (10) Ing. Rafael Soto González, termodinámica, Escuela Superior Tepeji del Río 2009, pag, 10 – 11.

## 1.9. Disolución de los gases en agua

### 1.9.1. Solubilidad de gases en agua

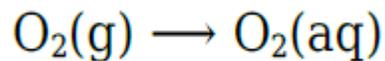
El oxígeno es, sin duda, el más importante agente oxidante del agua natural, en ausencia de otros procesos naturales poco frecuentes y de contaminantes. Cuando actúa químicamente en un proceso redox, cada uno de sus átomos constituyentes se reducen desde un estado de oxidación 0 hasta el -2 del H<sub>2</sub>O o del OH<sup>-</sup>, dependiendo de si la reacción tiene lugar en medio ácido o básico, respectivamente. En aguas naturales, donde el pH medio fluctúa entre 7 y 8, quizá sea el segundo proceso (medio básico) el que tenga una mayor realidad.



Pero la capacidad oxidante de un agua por la presencia de oxígeno depende directamente de la concentración de oxígeno disuelto en ella. Dado el carácter apolar del oxígeno, es de esperar que su solubilidad en agua sea bastante pequeña, como, hecho, así es.

### 1.9.1.2. Ley de Henry

La Ley de Henry (formulada en 1803 por William Henry) enuncia que a una temperatura constante, la cantidad de gas disuelto en un líquido es directamente proporcional a la presión parcial que ejerce ese gas sobre el líquido. Matemáticamente puede formularse como  $c_A = K_H \times P_A$  (existen diferentes formulaciones), siendo  $C_A$  la concentración molar del gas A disuelto,  $P_A$  la presión parcial del mismo y  $K_H$  la constante de Henry, que no es más que la constante de equilibrio para el siguiente proceso en el caso del oxígeno.



Y, por tanto,  $K_H = [\text{O}_2(\text{aq})] / P_{\text{O}_2} = 1,3 \times 10^{-3} \text{ mol} / (\text{atm} \cdot \text{L})$  a 25 °C (298 K).

Puesto que en el aire seco la presión parcial de oxígeno,  $P_2$ , es de 0,21 atmosferas (el oxígeno se encuentra en la atmosfera en un 21%, aproximadamente), se deduce que la solubilidad del  $\text{O}_2$  en agua es de 8,7 mg/L (lo que equivale a 8,7 ppm, supuesta una densidad de 1 g/mL para el agua). Un ejemplo de la aplicación de la ley de Henry está dado por las precauciones que deben tomarse cuando un buzo vuelve a la superficie. Al disminuir la presión parcial de los distintos gases, disminuye la solubilidad de los mismos en la sangre, con el consiguiente riesgo de una eventual formación de burbujas. Para evitarlo, debe de someterse al llamado proceso de descompresión, el cual debe efectuarse lentamente.

Como la solubilidad de un gas en un líquido aumenta al disminuir la temperatura, la cantidad de  $\text{O}_2$  que se disuelve a 0 °C es aproximadamente el doble de la que se disuelve a 35 °C: 14,7 frente a 7,0 ppm. De ahí que la concentración media de  $\text{O}_2$  disuelto en aguas naturales superficiales no contaminadas ronde las 10 ppm en climas moderados. Los peces, para poder vivir, necesitan agua que contenga, al menos, 5 ppm de  $\text{O}_2$  disuelto. Sin embargo, su ecosistema puede sufrir, en ocasiones, procesos de contaminación térmica, esto es, episodios en los que el agua aumenta demasiado su temperatura haciendo disminuir dramáticamente su contenido en oxígeno. Esto puede ocurrir en centrales térmicas u otras instalaciones industriales en las que se recogen el agua fría de un río, se utiliza como refrigerante de un proceso y luego se vuelve a emitir pero caliente.

En la siguiente tabla, se muestran algunos valores para la constante de Henry de algunos gases disueltos en agua a 20 °C.

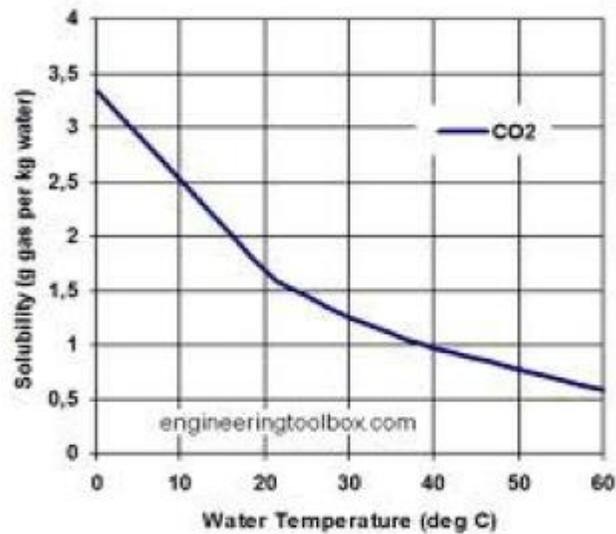
**Constantes de Henry para los gases.**

Gas	$K_H$ (mol · atm <sup>-1</sup> · L <sup>-1</sup> )
Argón	$1,5 \times 10^{-3}$
Dióxido de azufre	$1,3 \times 10^1$
Dióxido de carbono	$3,2 \times 10^{-2}$
Helio	$3,7 \times 10^{-4}$
Hidrógeno	$8,5 \times 10^{-4}$
Neón	$5,0 \times 10^{-4}$
Nitrógeno	$6,3 \times 10^{-4}$
Oxígeno	$1,3 \times 10^{-3}$

Fuente: [http://www.ugr.es/~mota/QIA\\_SEMINARIO-1.pdf](http://www.ugr.es/~mota/QIA_SEMINARIO-1.pdf)

Podemos ver que las solubilidades en agua del CO<sub>2</sub> y, en especial, del SO<sub>2</sub> son bastante superiores al resto. Esto es debido a que estos dos gases reaccionan con el agua dando los correspondientes ácidos. Como el ácido sulfuroso es un ácido muy fuerte, se disocia mucho y, por tanto, su solubilidad aumenta mucho también. De ahí que los fenómenos de lluvia ácida sean tan importantes. Las aguas naturales, por tanto, contienen cantidades significativas de CO<sub>2</sub> disuelto como resultado tanto de la disolución del dióxido de carbono atmosférico como del lixiviado de rocas. La solubilidad del CO<sub>2</sub> en el agua pura a 25 °C es de 1,45 g/L, y su variación con la temperatura queda reflejada en la siguiente gráfica, donde queda patente la gran solubilidad del mismo en el agua fría.

## Solubilidad de los gases en función de la temperatura



**Fuente:** (11) [http://www.ugr.es/~mota/QIA\\_SEMINARIO-1.pdf](http://www.ugr.es/~mota/QIA_SEMINARIO-1.pdf)

Este CO<sub>2</sub> que penetra en el agua genera, en primera instancia, ácido carbónico (H<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>) el cual rápidamente entra a formar parte del complejo equilibrio ácido-base en el que participan las diferentes formas carbonatadas presentes en un agua. Aunque en un agua la mayor parte del CO<sub>2</sub> disuelto está como CO<sub>2</sub> rodeado de moléculas de agua, parte estará en la forma de ácido carbónico, de tal forma que cuando se habla en general de ácido carbónico se asume también la parte del gas disuelta (CO<sub>2(aq)</sub>), a pesar de que es esta última la forma mayoritaria en la que se encuentra. Así, podemos escribir la primera reacción de equilibrio que tiene lugar cuando el CO<sub>2</sub> pasa a la fase acuosa:



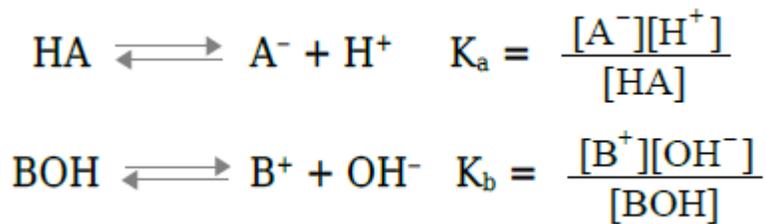
Una vez formado, el ácido carbónico se disocia parcialmente para dar bicarbonato y protones:



### 1.9.1.3. Constantes de acidez y basicidad

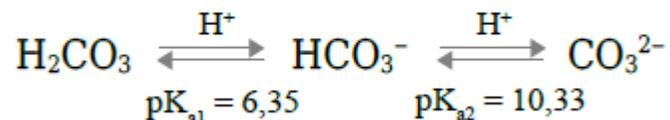
Un equilibrio que implica una disociación dando protones o grupos hidroxilo viene caracterizado por una constante de equilibrio denominada constante de disociación. Si está referida a un proceso en el que se dan protones (o se captan hidroxilos) se denomina  $K_a$  (por constante de acidez), y si son grupos  $\text{OH}^-$  (o se captan protones),  $K_b$  (por constante de basicidad), y siempre referidas al proceso de disociación.

Adicionalmente, en la disociación se generan otras especies. Así, si llamamos ácido a la especie HA,  $\text{A}^-$  será la base conjugada del ácido, y si llamamos base a BOH, la especie  $\text{B}^+$  será el ácido conjugado de la base.



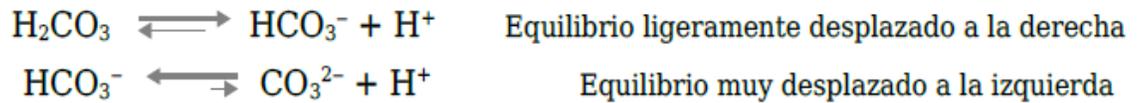
Para la doble disociación que podemos establecer para el ácido carbónico (ya que posee dos protones), tenemos entonces dos constantes de disociación sucesivas.

Los valores de las constantes de disociación suelen estar perfectamente determinados numéricamente para los procesos más comunes, por lo que estos se encuentran tabulados. En el caso del ácido carbónico se tiene.



Según estos valores, en lo que respecta a la primera disociación, si  $pK_{a1} = 6,35$  significa que  $pK_b2 = 7,65$ , o dicho de otro modo, el ácido carbónico es algo más fuerte (unas 20 veces) como ácido que el bicarbonato como base (el bicarbonato es la base conjugada del ácido carbónico), por lo que cuando el  $\text{CO}_2$  se disuelve en agua tiende a acidificarla y a aumentar la concentración de bicarbonato. Por otro lado, en lo que respecta a la segunda disociación, si  $pK_{a2} = 10,33$  significa que  $pK_b1 = 3,67$ , o dicho de otro modo, el carbonato es una base mucho más fuerte (cuatro millones y medio de veces) que el bicarbonato como ácido (este es ahora el ácido conjugado del carbonato), por lo que la segunda disociación apenas tiene lugar; al contrario, es el carbonato presente el que captaría rápidamente un protón aumentando la concentración de bicarbonato. Esto nos lleva a establecer que en un agua natural, la forma

carbonatada más importante presente en el agua será el bicarbonato, siendo los carbonatos disueltos (como consecuencia del lavado de las rocas y de la presencia de lechos calizos) su fuente más importante.



Es muy importante señalar que cuando nos referimos a un par ácido-base conjugados, Kb no se refiere estrictamente a la reacción inversa a la definida por Ka (cuya constante vendría regida por  $1 / K_a$ ) sino al proceso por el cual la base conjugada puede dar OH<sup>-</sup> al medio. Por ejemplo, si la reacción que describimos a través de Ka es la disociación del ácido carbónico para dar bicarbonato y protones, el bicarbonato será la base conjugada del ácido carbónico. Por tanto, el proceso donde el bicarbonato viene determinado por Kb será.



Donde sabiendo que pKa es 6,35, entonces pKb será 7,65. (11)

### 1.10 Biodegradación

La biodegradabilidad y las aguas residuales, son dos conceptos estrechamente vinculados, se sabe que gran parte de las sustancias que transporta el agua, ya sea disuelta, suspendida o coloidal, es materia orgánica, la cual en una importante fracción es biodegradable. La biodegradabilidad de estas sustancias es la propiedad que permite que las aguas residuales puedan ser depuradas por medio de microorganismos, los que utilizan estas sustancias como alimento y fuente de energía para su metabolismo y reproducción. Es precisamente la depuración de las aguas residuales, lo que va regenerando la disponibilidad del recurso agua y a la vez evita la contaminación de las fuentes de aguas existentes tanto superficiales como subterráneas.

Hay sustancias que no son o son lentamente biodegradables, lo que constituye una limitante para los procesos de tratamiento biológico de aguas residuales, por lo que es necesario incorporar a las plantas depuradoras operaciones basadas en mecanismos físico - químicos,

la que generalmente son de alto costo y a la vez siempre dan origen a un residuo que es de difícil disposición final.

La biodegradabilidad es una característica de los compuestos orgánicos que tiene relación con el nivel de susceptibilidad de que éstos sean degradados por microorganismos y por lo tanto condiciona en gran medida la viabilidad de tratar biológicamente un efluente que contenga un determinado compuesto. Para el caso de un agua residual que contenga materia orgánica natural, la degradación es relativamente fácil, aunque hay elementos excepcionales como las grasas y aceites.

Para las aguas residuales industriales la biodegradabilidad resulta más compleja. La factibilidad para degradar compuestos orgánicos más complejos como grasas y aceites o sustratos mezclados es de gran importancia ecológica en lo que respecta a los procesos de degradación, algunos compuestos orgánicos están potencialmente sujetos a ataque microbiano, pero factores medioambientales o la concentración del sustrato puede alterar su susceptibilidad para su utilización como sustrato en los cultivos mezclados de microorganismos. La concentración de las grasas y aceites u otro tipo de sustrato que potencialmente están presentes en aguas residuales u otro tipo de entornos medioambientales y las condiciones del ensayo influyen en la descomposición microbiana.

La posesión de una alta afinidad de mecanismos de captura para cada uno de los sustratos, limita el crecimiento y es de importancia crítica para la degradación, donde la concentración esencialmente será baja. La posibilidad de que comunidades de bacterias heterogéneas metabolicen simultáneamente componentes individuales de mezclas de compuestos de carbono es dependiente de la concentración.

La consideración de la aceptabilidad medioambiental hacia determinados compuestos orgánicos puede incluir no solo su biodegradabilidad, persistencia y toxicidad a microorganismos sino también el efecto sinérgico de sustratos mezclados como los efectos inhibidores de posible metabolismo.

### **1.10.1. Medida de la biodegradabilidad**

El problema básico del ensayo acerca de la biodegradabilidad consiste en la medida de la extensión o tasa de degradación de un compuesto orgánico usando métodos analíticos estandarizados que se utilizan en la determinación de parámetros, tales como la demanda

bioquímica de oxígeno y la demanda química de oxígeno. Una aproximación inicial del ensayo para la biodegradación representa un compromiso entre dimensiones científicas y prácticas. Generalmente, una población mezclada de microorganismos se expone a un compuesto orgánico simple en un medio mineral que es controlado y reproducible. Los métodos estandarizados de biodegradabilidad no necesariamente producen datos medioambientalmente realistas, pero los resultados pueden poseer un grado de repetitividad y comparación generalizada, lo que constituye una buena forma de caracterización de los distintos compuestos orgánicos en cuanto a su susceptibilidad para ser tratados biológicamente. (12)

### **1.11. Demanda Química de Oxígeno (DQO)**

Es un parámetro que mide la cantidad de sustancias susceptibles de ser oxidadas por medios químicos que hay disueltas o en suspensión en una muestra líquida. Se utiliza para medir el grado de contaminación y se expresa en mg O<sub>2</sub>/L.

La Demanda Química de Oxígeno (DQO) está definido como la cantidad de un oxidante específico que reacciona con la muestra bajo condiciones controladas. La cantidad de oxidante consumido se expresa en términos de oxígeno equivalente. Debido a sus propiedades químicas únicas, el ión hexavalente (Cr<sub>2</sub>O<sub>7</sub><sup>-2</sup>) es el oxidante específico en este método. Para muestras de una fuente específica, puede relacionarse empíricamente la DQO con la DBO, carbón orgánico total, o materia orgánica.

La evaluación de la DQO es sugerida dentro de los análisis de aguas, ya que sirve inicialmente como base para la estimación de la DBO; el parámetro puede dar información sobre el funcionamiento de los sistemas de tratamiento de residuos industriales o domésticos, así como al estar correlacionado con otros parámetros de interés ambiental, puede proveerse como indicador de contaminación en fuentes de agua.

El principio del método colorimétrico (SM 5220D) se basa en la medición a una longitud de onda determinada del ión dicromato remanente o el ión trivalente (Cr<sup>+3</sup>) resultante, luego de la oxidación de la materia orgánica presente en la muestra, que es equivalente al oxígeno consumido en la reacción. La DQO es un método definido; el grado de oxidación de la muestra puede estar afectada por el tiempo de digestión, la concentración de los reactivos y la concentración de DQO en la muestra.

Para el método colorimétrico se cuenta con viales listos para su uso; la lectura la realiza un fotómetro o un espectrofotómetro que trabajan con el método incluido.

### **1.11.1. Interferencias y limitaciones**

La oxidación de muchos compuestos llega al 95 – 100% del valor teórico. La piridina y otros compuestos resisten la oxidación y los orgánicos volátiles se oxidan solo en cuanto estén en contacto con el oxidante. El amoníaco, presente en la muestra o liberado por la materia orgánica nitrogenada, no se oxida en ausencia de una cantidad significativa de iones cloro libres. Los orgánicos volátiles alifáticos de cadena lineal no se oxidan bien, porque estos compuestos están en la fase vapor y no entran en contacto con el líquido oxidante. Se oxidan mejor usando sulfato de plata ( $\text{Ag}_2\text{SO}_4$ ) como catalizador. Pero el sulfato de plata reacciona con los haluros produciendo complejos parcialmente oxidables. Esto se previene acomplejando los haluros con 1,0 g de sulfato de mercurio por cada 50 mL de muestra, pudiendo usar menos siempre y cuando la concentración de cloruro sea menor que 2000 mg/L, hasta mantener una relación de 10:1  $\text{Hg}_2\text{SO}_4$ : Cl-. No haga este análisis para muestras con más de 2000 mg/L de Cloruros. Hay técnicas disponibles para determinar DQO en aguas saladas.

El nitrito ( $\text{NO}_2^-$ ) tiene una DQO de 1,1 mg  $\text{O}_2$ /mg  $\text{NO}_2^-$ -N. Como éste, rara vez sobrepasa 1 o 2 mg  $\text{NO}_2^-$ -N/L, se considera insignificante la interferencia. Si es significativa, elimínela añadiendo 10 mg de ácido sulfámico por cada mg  $\text{NO}_2^-$ -N presente en el volumen de muestra usado; añada la misma cantidad de ácido sulfámico a la vasija de reflujo con el blanco de agua destilada.

La plata, el cromo hexavalente y las sales de mercurio utilizados en la determinación de DQO crea residuos peligrosos. El mayor problema es el uso de mercurio. Si la contribución de los cloruros en la DQO es mínima, El sulfato de mercurio puede ser omitido.

Todas las interferencias visibles que absorban luz deben estar ausentes o compensadas. Esto incluye material suspendido insoluble o componentes coloreados.

### 1.11.2. Toma de muestra, almacenamiento y preservación

De preferencia, las muestras se recogen en botellas de vidrio, preferiblemente ámbar. Las muestras inestables se deben ensayar sin demora. Si no se puede evitar el aplazamiento del análisis, la muestra se preserva mediante acidificación a un  $\text{pH} \leq 2$ , usando  $\text{H}_2\text{SO}_4$  concentrado para evitar crecimiento bacteriano. Normalmente 2 mL de ácido sulfúrico concentrado por Litro son suficientes para conseguirlo. Se debe preservar la muestra refrigerada a  $4^\circ\text{C}$ , protegida de la luz, por un tiempo máximo de 28 días. Agite las muestras con sólidos sedimentables antes del análisis. Haga diluciones preliminares para muestras con DQO que puedan sobrepasar el límite superior del método disponible en el laboratorio para reducir el error inherente al medir volúmenes pequeños.

Si la muestra, patrones estándar y blancos se ejecutan bajo las mismas condiciones de volumen y longitud de onda, calcule la DQO como sigue. (13)

$$DQO \text{ como mg de } O_2 / L = \frac{(\text{mg } O_2 \text{ en volumen final } \times 1000)}{\text{mL de muestra}}$$

**Fuente:** Bioq. Beatriz Lermann de Abramovich, Maria Cristina Gilli, técnicas analíticas para oxígeno disuelto, 1992, 17 edit, pag 1.

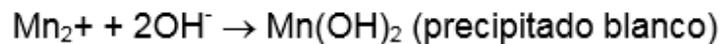
### 1.12. Oxígeno disuelto (OD)

Los niveles de oxígeno disuelto (OD) en aguas naturales y residuales dependen de la actividad física, química y bioquímica del sistema de aguas. El análisis de OD es una prueba clave en la contaminación del agua y control del proceso de tratamiento de aguas residuales. Se describen dos métodos para el análisis de OD: el de Winkler o yodométrico y sus modificaciones, y el electrométrico. El método yodométrico es un procedimiento titulométrico basado en la propiedad oxidante del 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, la precisión deseada y, en algunos casos, de la comodidad o conveniencia

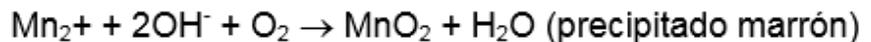
### 1.12.1. Técnica Winkler

Se basa en la adición de solución de manganeso divalente, seguido de álcali fuerte, a la muestra contenida en un frasco con tapón de vidrio de cierre hidráulico. El OD oxida rápidamente una cantidad equivalente del precipitado disperso de hidróxido manganeso divalente a hidróxidos con mayor estado de valencia.

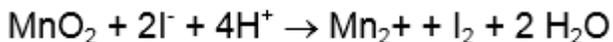
En ausencia de OD:



En presencia de OD:

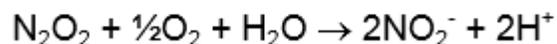


En presencia de iones yoduro, en solución ácida, el manganeso oxidado revierte al estado divalente, con liberación de yodo en cantidad equivalente al contenido original de OD.



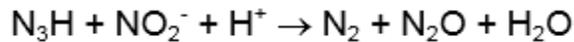
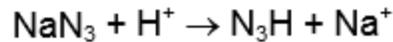
Se valora, luego, ese yodo con una solución patrón de tiosulfato de sodio 0,025 M. El punto final de la titulación se puede detectar visualmente con un indicador de almidón o con técnicas potenciométricas.

Dentro de las interferencias que pueden presentarse están los nitritos, que liberan yodo a partir de los yoduros:



Para reducir al mínimo el efecto de esas interferencias existen varias modificaciones del método yodométrico. Entre los procedimientos más comunes se encuentra la modificación azida. Esta modificación elimina eficazmente la interferencia producida por el nitrito, que es la más común en efluentes tratados biológicamente y muestras de DBO incubadas. (14)

Uso de la azida de sodio:



El oxígeno es esencial para los riachuelos y lagos saludables. El nivel de Oxígeno Disuelto (OD) puede ser un indicador de cuán contaminada está el agua y cuán bien puede dar soporte esta agua a la vida vegetal y animal de un determinado ecosistema. Generalmente, un nivel más alto de oxígeno disuelto indica agua de mejor calidad. Si los niveles de oxígeno disuelto son demasiado bajos, algunos peces y otros organismos no pueden sobrevivir.

El Oxígeno que se encuentra disuelto en el agua proviene, generalmente de la disolución del oxígeno atmosférico (en el aire se encuentra en la proporción del 21%). Siendo un gas muy poco soluble en el agua y además como no reacciona químicamente, su solubilidad obedece a la Ley de Henry, la cual expresa que la solubilidad de un gas en un líquido es proporcional a su concentración o a la presión parcial del gas en la disolución.

Una diferencia en los niveles de OD puede detectarse en el sitio de la prueba si se hace la prueba temprano en la mañana cuando el agua está fría y luego se repite en la tarde en un día soleado cuando la temperatura del agua haya subido. Una diferencia en los niveles de OD también puede verse entre las temperaturas del agua en el invierno y las temperaturas del agua en el verano. Asimismo, una diferencia en los niveles de OD puede ser aparente a diferentes profundidades del agua si hay un cambio significativo en la temperatura del agua. Los niveles de oxígeno disuelto típicamente pueden variar de 0 - 18 partes por millón (ppm) o (mg/L) aunque la mayoría de los ríos y riachuelos requieren un mínimo de 5 - 6 ppm para soportar una diversidad de vida acuática. Además, los niveles de OD a veces se expresan en términos de Porcentaje de Saturación. Sin embargo para esta práctica los resultados se reportarán en ppm.

En general, un nivel de oxígeno disuelto de 9-10 ppm se considera muy bueno. A niveles de 4 ppm o menos, algunas poblaciones de peces y macro invertebrados (por ejemplo, la corvina, la trucha, el salmón, las ninfas de la mosca de mayo, las ninfas de la mosca de las piedras y las larvas de frigáneas) empezarán a morir. Otros

Lineamientos para la calidad del agua según la OMS.

Nivel de OD (ppm)	Calidad del Agua
0,0 - 4,0	<b>Mala</b> Algunas poblaciones de peces y macroinvertebrados empezarán a bajar.
4,1 - 7,9	<b>Aceptable</b>
8,0 - 12,0	<b>Buena</b>
12,0 +	<b>Repita la prueba</b> El agua puede airearse artificialmente.

**Fuente:** Leidy Johanna Quelal Solarte, documentación del procedimiento de laboratorio para la dbo5 en el laboratorio de control de calidad de la empresa de acueducto y alcantarillado de pereira s.a. e.s.p., 2012, pag 13 – 14.

En general, un nivel de oxígeno disuelto de 9-10 ppm se considera muy bueno. A niveles de 4 ppm o menos, algunas poblaciones de peces y macro invertebrados (por ejemplo, la corvina, la trucha, el salmón, las ninfas de la mosca de mayo, las ninfas, de la mosca de las piedras y las larvas de frigáneas) empezarán a morir. Otros organismos tienen mayor capacidad de supervivencia en agua con niveles bajos de oxígeno disuelto (por ejemplo, los gusanos de lodo y las sanguijuelas). Los niveles bajos de OD pueden encontrarse en áreas donde el material orgánico (plantas muertas y materia animal) está en descomposición. Las bacterias requieren oxígeno para descomponer desechos orgánicos y, por lo tanto, despojan el agua de oxígeno.

Las áreas cercanas a las descargas de aguas negras a veces tienen niveles bajos de OD debido a este efecto. Los niveles de OD también son bajos en aguas tibias que se mueven despacio.

(15)

## **1.12.2 Respirimetría**

La Respirimetría es una técnica basada en la medición del consumo de oxígeno por parte de microorganismos que trabajan sobre un sustrato orgánico, el cual es degradado y oxidado a CO<sub>2</sub>. Esta técnica está encontrando crecientes aplicaciones en la determinación de la cinética de la biodegradación. Los análisis respirométricos permiten adquirir datos sobre el consumo de oxígeno en respuesta al metabolismo de un sustrato por la respiración de microorganismos. La Respirimetría ahorra el tiempo y el trabajo asociados con los experimentos de agotamiento de sustratos y provee puntos de referencia de alta calidad para la valoración de parámetros Biocinéticos.

### **1.12.2.1 Para qué sirve la Respirimetría**

1. Para determinar la tasa de consumo de oxígeno en efluentes domésticos e industriales.
2. Para determinar la combinación óptima de factores para el tratamiento por biodegradación en suelos contaminados con petróleo o sus derivados.
3. Para determina la influencia tóxica y el poder inhibitorio de algunos vertimientos sobre las poblaciones microbiológicas en las plantas de tratamiento de aguas residuales.
4. Para determinar la efectividad de cultivos microbiológicos y su comportamiento en la digestión de algún sustrato en particular.
5. Para determinar las características de biodegradación de productos químicos específicos o de mezclas químicas.
6. Para determinar los parámetros cinéticos para las reacciones de Biodegradación.
7. Para monitorear la aclimatación de un cultivo de microorganismos a materiales orgánicos refractarios.

8. Para medir la actividad de cultivos aeróbicos tanto como anaeróbicos.
9. Para determinar la tasa de consumo de oxígeno de plantas, pequeños animales, suelo o muestras de Compost o residuos vegetales.

#### **1.12.2.2. Como se utiliza la Respirometría**

Para utilizar la Respirometría, se necesita una botella respirométrica. Esta es una botella que permite medir el consumo de oxígeno realizado por microorganismos en una muestra líquida o sólida colocada en dicha botella. A diferencia de la prueba tradicional de la DBO5, los microorganismos no solo consumen el oxígeno disuelto en el agua de la muestra, sino el oxígeno presente en la cámara superior de la botella, el cual puede ser de 20 a 50 veces más grande que el oxígeno disuelto en la fase líquida de la Botella.

Usualmente se recomienda utilizar botellas de 0.5 L de capacidad aunque también pueden ser utilizadas botellas de mayor tamaño.

Las botellas van provistas de una tapa hermética dotada de un transductor de presión. Este se encarga de censar la presión en el interior de la botella y de permitir su lectura mediante una caja electrónica que registra con precisión el valor de la presión, bien sea en centibares o en milímetros de mercurio.

El dato registrado se ingresa a un software especializado para calcular el consumo de oxígeno o agotamiento de la atmósfera en el interior de la Botella.

Para realizar una prueba respirométrica sobre una muestra líquida, se toma una cantidad de muestra según la DBO5 esperada, se le agregan unos reactivos, alimentos para los microorganismos y sustancias buffer para fijar en la fase líquida el CO<sub>2</sub> producido, se agrega un inóculo o semilla de microorganismos, se afora con agua destilada hasta un volumen conocido, se tapa herméticamente y se coloca en una cámara de incubación a una temperatura de  $20 \pm 0.5$  °C. Diariamente se hace la lectura de la presión al interior de la Botella (sin destaparla) y de la temperatura que registra la cámara de incubación. Con estos datos, se calcula la cantidad de oxígeno consumido y se expresa en términos de mg/L.

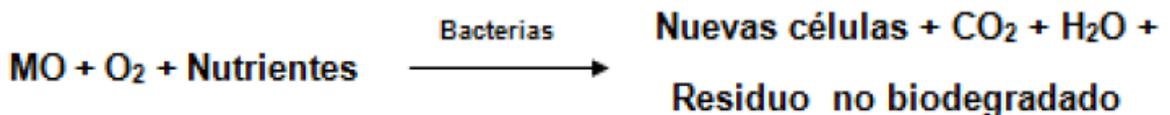
La fijación del CO<sub>2</sub> producido en la botella puede ser realizada en el seno mismo del líquido mediante el uso de un buffer apropiado o en un recipiente aparte suspendido internamente del cuello de la botella.

La agitación influye un poco en los resultados ya que condiciona un poco la difusión del oxígeno a través de la fase líquida. Sin embargo no es necesaria la agitación continua. Por lo general basta con una o dos agitaciones al día. La falta de agitación puede ser compensada colocando las botellas en posición casi horizontal con lo cual la superficie de contacto del líquido con la cámara de aire es mucho mayor. (Nota: El cuello de la botella donde se encuentra el sensor no debe quedar sumergido ni obstruido con líquido, Nunca se deberán colocar boca abajo). (16)

### 1.13. Demanda bioquímica de oxígeno (DBO<sub>5</sub>)

La Demanda Bioquímica de Oxígeno es una prueba analítica que estima la cantidad de oxígeno que se requiere para oxidar la materia orgánica biodegradable presente en una muestra de agua residual, por medio de una población microbiana. La información que se obtiene de la prueba de la DBO<sub>5</sub> es de la materia orgánica biodegradable que se encuentra en el agua residual.

La DBO<sub>5</sub> es la prueba de laboratorio donde una muestra de agua se alimenta con bacterias y nutrientes y se hace con una incubación a 20 °C por cinco días en la oscuridad, el valor de la DBO<sub>5</sub> se determina comparando el valor de oxígeno disuelto de una muestra tomada inmediatamente con el valor de la muestra incubada descrita anteriormente. La diferencia de los dos valores de OD representa la cantidad de oxígeno requerido para la descomposición de material orgánico en la muestra.



**Fuente:** <http://www.drcalderonlabs.com/Publicaciones/Respirometria.htm>

El ensayo de la DBO5 se utiliza para determinar la contaminación de las aguas; cuando los niveles de DBO5 son altos los niveles de oxígeno disuelto son bajos, debido a que las bacterias están consumiendo ese oxígeno en gran cantidad. Al haber menos oxígeno disuelto en el agua los peces y demás organismos tendrán menor posibilidad de sobrevivir.

El ensayo supone la medida de la cantidad de oxígeno requerido por los organismos en sus procesos metabólicos al consumir la materia orgánica presente en las aguas residuales o naturales, por lo que es necesario garantizar que durante todo el período del ensayo exista suficiente OD. Para ser utilizado por los organismos. Además, debe garantizarse que se suministran las condiciones ambientales adecuadas para el desarrollo y trabajo de los microorganismos, así que se deben proporcionar los nutrientes necesarios para el desarrollo bacterial tales como N y P y eliminar cualquier sustancia tóxica en la muestra. Es también necesario que exista una población de organismos suficiente en cantidad y variedad de especies, comúnmente llamada “simiente”, durante la realización del ensayo.

Las condiciones estándar del ensayo incluyen incubación en la oscuridad a 20°C por un tiempo determinado, generalmente cinco días. Las condiciones naturales de temperatura, población biológica, movimiento del agua, luz solar y la concentración de oxígeno no pueden ser reproducidas en el laboratorio. Los resultados obtenidos deben tomar en cuenta los factores anteriores para lograr una adecuada interpretación. Las muestras de agua residual o una dilución conveniente de las mismas, se incuban por cinco días a 20°C en la oscuridad. La disminución de la concentración de oxígeno disuelto (OD), medida por el “método Winkler” o una modificación del mismo, durante el periodo de incubación, produce una medida de la DBO5.

### **1.13.1. Determinación de la DBO5**

#### **1.13.1.1. Técnica de dilución**

Preparar 2 frascos para la muestra y 1 para el blanco. Utilizando una pipeta volumétrica, añádanse cantidades adecuadas de muestra a los frascos Winkler de acuerdo a la DBO5 esperada según la siguiente tabla: **(16)**

## Volúmenes de alícuotas de muestra para la DBO5, método Winkler

Volumen de la alícuota	Intervalos de DBO esperados
0.05	12,000- 42,000
0.1	6,000 – 21,000
0.2	3,000 – 10,500
0.5	1,200 - 4,200
1	600 - 2,100
2	300 - 1,050
5	120 - 420
10	60-210
20	30-105
50	12-42
100	6,21
300	0-7

Cuando el agua de dilución ha sido inoculada aplique la siguiente fórmula:

$$DBO(mg/L) = \frac{(D_1 - D_2) - (B_1 - B_2)f}{P}$$

**D<sub>1</sub>** = OD de la muestra diluida inmediatamente después de su preparación, mg/l.

**D<sub>2</sub>** = OD de la muestra diluida después de 5 días de incubación a 20° C, mg/l.

**P** = fracción volumétrica decimal de la muestra utilizada.

**B<sub>1</sub>** = OD del control de simiente antes de la incubación, mg/l.

**B<sub>2</sub>** = OD del control de simiente después de la incubación, mg/l.

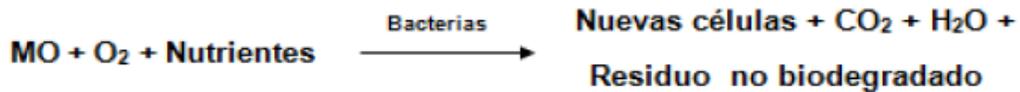
**f** = proporción de la simiente en la muestra diluida con respecto a la del control de simiente = (% de simiente en la muestra diluida) / (% de simiente en el control de simiente).

**Fuente:** <http://www.drcalderonlabs.com/Publicaciones/Respirometria.htm>

## 2. Antecedentes

La DBO5 es la prueba de laboratorio donde una muestra de agua se alimenta con bacterias y nutrientes y se hace con una incubación a 20 °C por cinco días en la oscuridad, el valor de la DBO5 se determina comparando el valor de oxígeno disuelto de una muestra tomada inmediatamente con el valor de la muestra incubada descrita anteriormente. La diferencia de

los dos valores de OD representa la cantidad de oxígeno requerido para la descomposición de material orgánico en la muestra.



Existen métodos para analizar el DBO5: el Método Yodométrico o de Winkler, Método Electrométrico usando electrodos de membrana y el método respirométrico (oxitop).

El primero es un procedimiento de titulación, basado en la propiedad oxidante del oxígeno. De acuerdo a este método, la muestra será fijada en el campo y conducida al laboratorio donde se realizará la titulación y cálculos finales.

La prueba mide el oxígeno molecular utilizado durante un período de incubación especificado para la degradación bioquímica de la materia orgánica y el oxígeno utilizado para oxidar material inorgánico tal como sulfuros y hierro ferroso. El método consiste en llenar con muestra, a rebosar, un frasco hermético del tamaño especificado e incubando a la temperatura especificada durante 5 días. El oxígeno disuelto se mide inicialmente y después de la incubación, y la DBO5 se calcula a partir de la diferencia entre la OD inicial y final. Debido a que la OD inicial se determina poco después de que se haga la dilución, todo el consumo de oxígeno que ocurre después de esta medición se incluye en la medición de DBO5. (3) libro en inglés.

$$\text{BOD}_5, \text{ mg/L} = \frac{D_1 - D_2}{P}$$

El método electrométrico se basa en la tasa de difusión del oxígeno molecular a través de una membrana plástica permeable al oxígeno, que recubre el elemento sensible de un electrodo y actúa a la vez como una barrera de difusión contra muchas impurezas que interfieren en los otros métodos para la determinación del OD. Bajo condiciones regulares, la “corriente de difusión” es lineal y directamente proporcional a la concentración del OD.

Los electrodos de membrana sensibles al oxígeno, de tipo polarográfico o galvánico, están formados por dos electrodos sólidos de metal en contacto con un electrolito de soporte separado de la solución de prueba por una membrana selectiva. La diferencia básica entre los sistemas galvánico y polarográfico, es que en el primero la reacción del electrodo es

espontánea (similar a una celda de combustible), mientras que en el segundo es necesaria una fuente externa de voltaje para polarizar el electrodo indicador. Las membranas usadas comúnmente están hechas de polietileno o fluorocarbono, debido a su permeabilidad al oxígeno molecular y a su relativa resistencia. El medidor electrónico de las sondas para OD está normalmente calibrado en una escala adecuada, con una sensibilidad de aproximadamente 0,05 mg/L.

El método respirométrico para la determinación de la DBO<sub>5</sub> se basa en medir el consumo de oxígeno, o la producción de CO<sub>2</sub>, en una botella respirométrica. Este objetivo se logra entre otras formas (método manométrico) midiendo la variación de la presión en la botella, mediante un manómetro lo suficientemente sensible. Otros métodos respirométricos propiamente dichos miden la producción dentro de la botella de CO<sub>2</sub> u otros gases como metano, anhídrido sulfhídrico, etc.

El método respirométrico se puede usar también para medir la DBO<sub>U</sub> (DBO carbonácea última o total, mg/L). Con la respirometría podemos evaluar la actividad biológica del iodo activo en su relación con la biomasa, el nivel de contaminación del agua residual, nitrificación y toxicidad.

El método respirométrico proporciona una medida directa del oxígeno consumido por los microorganismos a partir del aire ambiente o de un medio enriquecido con oxígeno en un recipiente herméticamente cerrado bajo condiciones de temperatura y agitación constantes.

Los datos respirométricos típicamente se usan en una comparación directa entre el consumo de oxígeno de dos muestras de ensayo o entre una muestra y un control.

Un respirómetro es un instrumento que consiste en un pequeño reactor biológico que sirve para medir velocidades de respiración aerobia de una población microbiana en unas determinadas condiciones. El respirómetro determina la cantidad de oxígeno consumida por unidad de tiempo y de volumen.

Se puede obtener mediante determinación de la concentración de oxígeno disuelto de la medida de la DBO<sub>5</sub>, es el procedimiento manométrico basado en el respirómetro de Warburg.

El  $\text{CO}_2$  desprendido en la determinación de  $\text{DBO}_5$ , en la oxidación de la materia orgánica, es absorbido mediante  $\text{NaOH}$  o  $\text{LiOH}$  que se coloca en un recipiente en el tapón de las botellas; como consecuencia, se produce un descenso de presión que es registrado en un manómetro de mercurio, cuya escala viene expresada en  $\text{mg/l}$  de oxígeno consumido.

Tipos de respirómetros: existen cuatro tipos principales de respirómetros comerciales que son:

Respirómetros volumétricos: son los que miden el consumo de oxígeno en cambios incrementales del volumen de gas mientras se mantiene una presión constante en el tiempo de lectura.

Respirómetros electrolíticos: son los que monitorean la cantidad de oxígeno producida por electrólisis del agua para mantener una presión de oxígeno constante dentro del recipiente de reacción.

Los respirómetros de entrada: son los que entregan oxígeno a la muestra cada minuto a partir de una fuente de oxígeno puro con base en la demanda, cuando se detecta por diferencias en la presión.

Respirómetros manométricos: son los que relacionan el consumo de oxígeno con cambios de presión causadas por el consumo de oxígeno mientras se mantiene un volumen constante.

La medición con oxitop® consiste en una medición de presión en un cerrado sistema: los microorganismos que se encuentran en la muestra consumen oxígeno y generan  $\text{CO}_2$ . El  $\text{CO}_2$  se absorbe con  $\text{NaOH}$ , creando una presión negativa que puede leerse directamente como valor de medición en forma de  $\text{DBO}$  en  $\text{mg/l}$ . Con los volúmenes de muestras empleados se regula cuánto oxígeno es obtenible con lo cual se puede realizar una determinación completa de la  $\text{DBO}$ , mediante los diferentes volúmenes empleados, se pueden medir rangos  $4000\text{mg/l}$ . Los cabezales de oxitop, disponen de una función de temperatura automática: si la temperatura de la muestra sigue estando fría, se demora automáticamente el inicio de la medición hasta alcanzar una temperatura constante, por lo menos durante 1 hora

La gestión de datos

El cabezal de medición registra los valores medidos y almacena los datos de medición. Con el mando, los datos recogidos y almacenados se leen desde el cabezal de medición y se almacenan en la "gestión de muestras". Comenzando en la gestión de muestras de control OxiTop®, es posible hacer que la evaluación gráfica y estadístico de los datos de la muestra. Adicionalmente, los datos pueden ser transferidos desde el controlador a una impresora u ordenador a través de las interfaces (IR o RS232). El software de lectura Achat OC facilita para procesar los datos almacenados más.

La mayoría de los respirómetros se han instrumentado para permitir la captura de datos y el procesamiento por computador. El contenido del recipiente de reacción se mezcla con un dispositivo de agitación magnético o mecánico o por burbujeo de fase gaseosa a través de la fase líquida, dentro del recipiente de reacción. Todos los respirómetros remueven el dióxido de carbono producido durante el crecimiento biológico, por suspensión de un adsorbente concentrado (granular o en solución) dentro de la cámara cerrada de reacción o por recirculación de la fase gaseosa a través de un removedor externo, por ejemplo.

El controlador OxiTop® OC110 recoge los valores de la presión de los cabezales de medición y los procesa. La fórmula que se muestra a continuación es la base de todos los cálculos para el DBO utilizando los valores de la cabeza de medición OxiTop®-C.

$$\text{BOD} = \frac{M(\text{O}_2)}{R \cdot T_m} \cdot \left( \frac{V_t - V_l}{V_l} + \alpha \frac{T_m}{T_0} \right) \cdot \Delta p(\text{O}_2)$$

M = (O<sub>2</sub>) Peso molecular (32.000 mg / mol).

R = constante de gas (83.144 l·mbar / mol·K).

T<sub>0</sub> = la temperatura de referencia (273.15 K).

T<sub>m</sub> = Medida de la temperatura.

V<sub>t</sub> = Volumen Botella (volumen nominal en ml).

V<sub>l</sub> = Volumen de la muestra en ml.

α = coeficiente de absorción α Bunsen (0,03103).

Ap = (O<sub>2</sub>) Diferencia de la presión parcial de oxígeno (mbar).

### 3. Objetivo general

- Implementar el método respirométrico – manométrico, en el laboratorio de calidad ambiental, para la determinación de la DBO5 en aguas.

#### 3.1. Objetivos específicos

- Determinar la DBO5 en aguas domesticas residuales, usando el método Winkler y respirométrico – manométrico, usando el equipo oxitop®OC100.
- Determinar la DBO5 de aguas residuales con altos niveles de contaminantes, usando el método respirométrico, manométrico, usando el equipo oxitop®OC100.
- Variar parámetros de temperatura, volumen, dilución de muestra, en el método respirométrico – manométrico, usando el equipo oxitop®OC100.
- Encontrar las condiciones adecuadas de análisis, para el método respirométrico – manométrico, usando el equipo oxitop®OC100.

### 4. Justificación

En la actualidad, nos encontramos con una gran contaminación ambiental, como por ejemplo la de suelos, aire acústica, aguas, etc. Algo que realmente preocupa a la humanidad es la contaminación de aguas, ya que este líquido es de suma importancia para que los seres vivos puedan persistir en la tierra, este líquido se encuentra en la naturaleza, como ser en ríos, mares, vertientes, etc. Y es usados de distintas formas como ser para consumo, riego de plantas verduras, etc. Es por eso que es de vital importancia el saber el grado de contaminación, que poseen las aguas superficiales usadas en riego, ya que pueden contener gran contaminación, la cual a la larga puede causar enfermedades muy dañinas a la salud humana.

Las aguas residuales son derivadas de residuos domésticos o de procesos industriales, los cuales necesitan tratamiento antes de realizar la descarga de dichas aguas a los ríos, por razones de salud pública y por consideraciones económicas no pueden desecharse vertiéndolas sin tratamiento en lagos o corrientes convencionales. La DBO5 es uno de los parámetros que se analiza a dichas aguas antes de ser vertidas a los ríos.

La Demanda Bioquímica de Oxígeno es el parámetro más usado para medir la calidad de las aguas residuales y superficiales, para determinar la cantidad de oxígeno requerido y estabilizar biológicamente la materia orgánica del agua, para diseñar unidades de tratamiento biológico y así evaluar la eficiencia de los procesos de tratamiento y fijar las cargas orgánicas permisibles en fuentes receptoras

El grado de contaminación, podemos saberlo con la técnica de demanda bioquímica de oxígeno (DBO), ya este parámetro nos indica el consumo de oxígeno por microorganismo, el consumo de esta agua con alto contenido de DBO presenta riesgos a la salud.

La mejora de las técnicas nos permite medir la DBO mediante pruebas más rápidas y precisas, como la prueba respirométrica manométrica. La prueba respirométrica manométrica tiene muchas ventajas en comparación con los métodos clásicos de DBO<sub>5</sub>, incluyendo la reducción de preparación de muestras tiempo, el uso de las muestras no diluida, lo cual nos permite tener datos más exactos, de lectura fácil y continua de los datos de medición, y medir el tiempo más rápido. Esta prueba respirométrica manométrica se basa en la medición automática de la presión en una botella cerrada a temperatura constante. Los microorganismos consumen oxígeno al degradar la materia orgánica y el gas CO<sub>2</sub> formado está obligado químicamente por las lentejas de hidróxido de sodio.

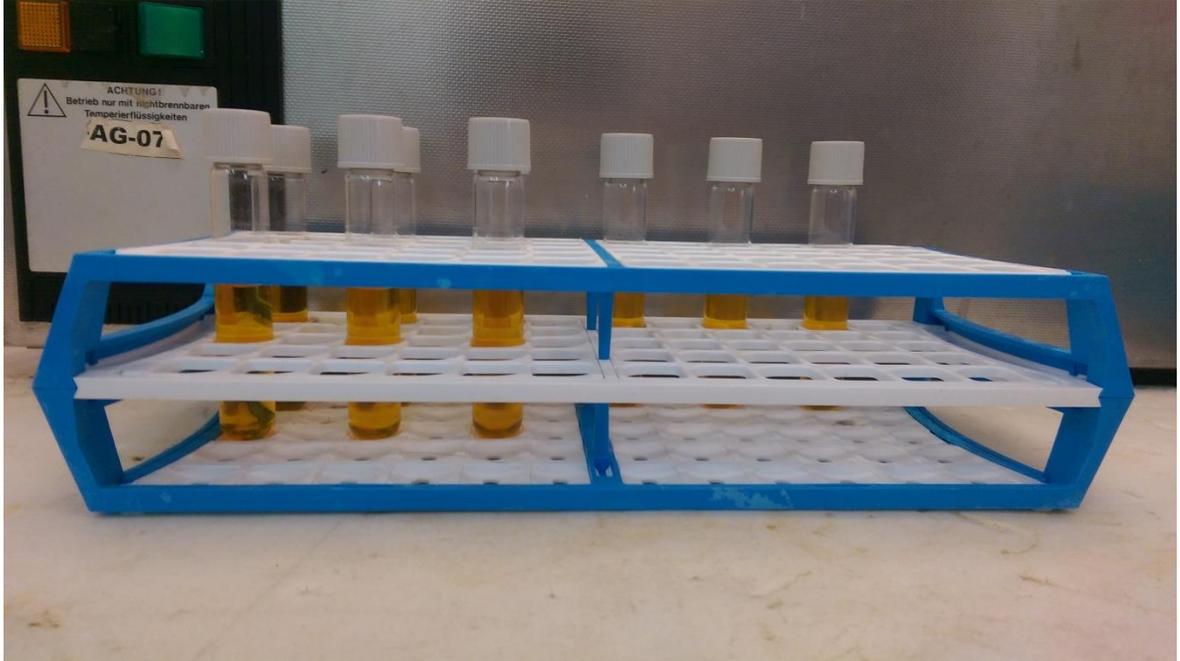
En 1948 Caldwell y Langelier realizaron una publicación donde concluyeron que las medidas respirométricas ofrecían un gran número de ventajas con respecto al método de dilución convencional en cuanto a determinación de valores de DBO<sub>5</sub>.

En 1954, Lee y Oswald publicaron resultados de estudios comparativos adicionales evaluando la utilización de respirómetros Warburg con respecto al método de diluciones standard para determinación de DBO<sub>5</sub>, utilizando “aguas residuales” de distinto tipo: cruda, esterilizada y sintética. Estos investigadores concluyeron que los respirómetros podían ser utilizados eficientemente para la determinación de la DBO<sub>5</sub>. Asimismo destacaban que en la medida que aumentase la cantidad de puntos requeridos a graficar de la curva de consumos, la aplicación de dichos instrumentos era claramente preferida.

El instrumento calcula automáticamente el valor DBO utilizando la ley de los gases ideales modificado para las condiciones en un espacio cerrado. El valor de DBO se puede leer de forma continua durante la prueba.

## 5. Metodología

### 5.1 Demanda Química de Oxígeno (DQO)



- Método titulométrico a reflujo cerrado
- Colocar 2,5 ml de muestra + 1,5 ml de  $K_2Cr_2O_7$  0,2085 N + 3,5 ml  $Ag_2SO_4$  en tubos hach.
- Se realiza la digestión por 2 horas, posterior mente se lo deja enfriar para luego vaciar la solución en un Erlenmeyer muy bien lavados.
- Titular las soluciones anteriores con  $FeSO_4$  0,025N y 6 gotas de ferroina hasta que vire de verde claro a rojizo.

## 5.2. Demanda bioquímica de oxígeno 5 (DBO5)

### 5.2.1. Método de Winkler (standard Methods 5210 – B)



- Regular el pH de la muestra, a un rango de 6,5 – 7,5 con los reactivos  $\text{H}_2\text{SO}_4$  y  $\text{NaOH}$  si es necesario.
- Se llena un balón con 2 L de agua de ionizada, se la hace burbujear con una bomba de vacío por 1 hora.
- Agregar a dicha agua, 2 ml de  $\text{FeCl}_3$  (diluir 0,01502g  $\text{FeCl}_3$  en 100ml de agua),  $\text{CaCl}_2$  (diluir 2,75g  $\text{CaCl}_2$  en 100ml de agua),  $\text{MgSO}_4$  (diluir 1,097g de  $\text{MgSO}_4$  en 100ml de agua), solución buffer (diluir 0,43g  $\text{KH}_2\text{PO}_4$ , 1,09g  $\text{K}_2\text{HPO}_4$ , 1,67g  $\text{Na}_2\text{HPO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ , 0,085g  $\text{NH}_4\text{Cl}$  en 50ml de agua).
- Agregar a los Winkler un volumen determinado y representativo de muestra.
- Llenar el Winkler con muestra y con el agua preparada anterior mente y medir el ODo y la  $T^\circ$ .
- Introducir la muestra en una incubadora a 20  $^\circ\text{C}$  durante 5 días.
- Sacar la muestra, dejarla unos minutos para que adquiriera la temperatura ambiente, y medir el Odf y  $T^\circ$ , y calcular el DBO5 con la formula (4).

**5.2.2. Método respirométrico manométrico para aguas residuales domesticas (oxitop®OC 100)**



- Regular el pH de la muestra.
- Agregar el volumen adecuado de muestra al recipiente de vidrio según la tabla.

Volumen de muestra ml	Medición de alcance mg/l	Inhibidor de la nitrificación (NTH 600) gotas
432	0 – 40	9
365	0 – 80	7
250	0 – 200	5
164	0 – 400	3
97	0 – 800	2
43,5	0 – 2000	1
22,7	0 – 4000	1

- Introducir un magneto.
- Agregar algunas perlas (2 – 3) de hidróxido de sodio a los tapones de goma.
- Introducir la muestra en una incubadora a 20 °C.

- Programar los cabezales para una DBO<sub>5</sub>.

### 5.2.3. Método respirométrico manométrico para aguas residuales con altos niveles de contaminantes (oxitop®OC 100)

- Regular el pH de la muestra.
- Se llena un balón con 1 L de agua de ionizada, se le agrega 1 ml de soluciones FeCl<sub>3</sub>, CaCl<sub>2</sub>, MgSO<sub>4</sub>, solución buffer, se la hace burbujear con una bomba de vacío por 1 hora.
- Diluir la muestra con el agua de dilución, agregando 40 ml de muestra en 960ml de agua de dilución.
- Medir 250 ml de muestra diluida y agregarla a una botella de vidrio.
- Introducir el tapón de goma, y agregarle perlas (2 – 3) de hidróxido de sodio.
- Introducir la muestra en una incubadora a 20 °C.
- Programar los cabezales para una DBO<sub>5</sub>.

## 6. Resultados y discusión

### 6.1. Resultados

#### 6.1.1 DBO<sub>5</sub> de referencias

##### 6.1.1.1. DBO<sub>5</sub> de referencia, para el método Winkler

Se determinó la DBO<sub>5</sub> de 5 muestras de referencia, preparando ácido glutámico y glucosa. Se obtuvo el valor de.

212,0 mg/L
------------

Desviación Estándar (SD) = 3,7 mg/L      Coeficiente de varianza (CV) = 1,76 %

El valor teórico de esta determinación es de 198 +/- 30 mg/L.

### 6.1.1.2 DBO<sub>5</sub> de referencia usando el método respirométrico manométrico

Se ha determinado la DBO por triplicado de una pastilla calibradora de DBO obteniéndose:

295,3 mg/L

SD = 2,5 mg/L

CV = 0,8 %

### 6.1.2. Muestras de aguas domésticas

#### 6.1.2.1. Muestra 1 del río Jiruzaya

Se realizó la DQO de la muestra 1 del río Jiruzaya altura Limnologia: (01/10/15)

156,0 mg/L

SD = 3,5 mg/L

CV = 2,2%

Se realizó la DBO<sub>5</sub> de la muestra 1 de agua del río Jiruzaya altura Limnologia, usando el método Winkler (24/09/15 al 29/09/15)

51,5 mg/L

SD = 4,9 mg/L

CV = 9,6%

Relación DQO/DBO<sub>5</sub>, de la muestra 1 de agua del río Jiruzaya altura Limnologia. (Valor de DBO<sub>5</sub> determinada por el método Winkler).

$$DQO/DBO_5 \cdot \frac{156,0}{51,5} = 3,0$$

Se realizó la DBO<sub>5</sub> de la muestra 1 de agua del río Jiruzaya altura Limnologia, usando el método respirométrico - manométrico (oxitop®OC 100). (24/09/15 al 29/09/15)

51,3 mg/L

SD = 3,2 mg/L

CV = 6,2%

Relación DQO/DBO<sub>5</sub>, muestra 1 del río Jiruzaya altura Limnologia. (Valor de DBO<sub>5</sub> determinada por el método respirométrico manométrico).

$$DQO/DBO_5 \cdot \frac{156,0}{51,3} = 3,0$$

#### 6.1.2.1.1. Muestra 2 del rio Jiruzaya

Se realizó la DBO<sub>5</sub> de la muestra 2 del rio Jiruzaya altura Limnologia, usando el método Winkler (21/10/15 al 26/1.0/15)

80,5 mg/L

$$SD = 1,7 \text{ mg/L}$$

$$CV = 2\%,0$$

Relación DQO/DBO<sub>5</sub>, de la muestra 2 del rio Jiruzaya. (Valor de DBO<sub>5</sub> determinada por el método Winkler).

$$DQO/DBO_5 \cdot \frac{156,0}{92,5} = 1,7$$

Se realizó la DBO<sub>5</sub> de la muestra 2 del Jiruzaya altura Limnologia, usando el método respirométrico - manométrico (oxitop®OC 100). (21/10/15 al 26/10/15)

79,0 mg/L

$$SD = 0,6 \text{ mg/L}$$

$$CV = 0,7\%$$

Relación DQO/DBO<sub>5</sub>, muestra 2 del rio Jiruzaya. (Valor de DBO<sub>5</sub> determinada por el método respirométrico manométrico).

$$DQO/DBO_5 \cdot \frac{156,0}{79,0} = 1,9$$

#### 6.1.2.2. Muestra número 155

Se realizó la DQO de la muestra 155 agua de lavado de descarga de industrial: (29/10/15)

801,0 mg/L

Se realizó la DBO de la muestra 155 agua de lavado de descarga de industria, usando el método Winkler: (29/10/15 al 03/11/15).

333,0 mg/L

Relación DQO/DBO<sub>5</sub>, muestra 155 agua de lavado de descarga de industria. (Valor de DBO<sub>5</sub> determinada por el método Winkler).

$$DQO/DBO_5. \frac{801,0}{333,0} = 2,4$$

Se realizó la DBO de la muestra 155 agua de lavado de descarga de industria, usando el método respirométrico (oxitop®OC 100). (29/10/15 al 03/11/15).

408,0 mg/L

Sd = 4,3 mg/L

CV = 1,1%

Relación DQO/DBO<sub>5</sub>, muestra 155 agua de lavado de descarga de industria. (Valor de DBO<sub>5</sub> determinada por el método respirométrico manométrico).

$$DQO/DBO_5. \frac{801,0}{408,0} = 1,9$$

### 6.1.2.3. Muestra número 163

Se realizó la DQO de la muestra 163 agua de rio de Tarija.: (06/11/15)

33,0mg/L

Se realizó la DBO<sub>5</sub> de la muestra 163 agua de rio de Tarija el método Winkler: (06/11/15 al 11/11/15).

7,0 mg/L

Relación DQO/DBO<sub>5</sub>, muestra 163 agua de rio de Tarija. (Valor de DBO<sub>5</sub> determinada por el método Winkler).

$$DQO/DBO_5. \frac{33,0}{7,0} = 4,7$$

Se realizó la DBO<sub>5</sub> de la muestra 163 agua de rio de Tarija, usando el método respirométrico (oxitop®OC 100). (06/11/15 al 11/11/15)

5,6 mg/L

Relación DQO/DBO<sub>5</sub>, muestra 163. (Valor de DBO<sub>5</sub> determinada por el método respirométrico manométrico).

$$DQO/DBO_5. \frac{33,0}{5,6} = 5,8$$

#### 6.1.2.4. Muestra número 164 aguas residuales de la ciudad del alto

Se realizó la DQO de la muestra aguas residuales de la ciudad del alto, 164 – 1, 164 – 2.: (13/11/15)

1621,0mg/L

1530,0 mg/L

Se realizó la DBO de la muestra aguas residuales de la ciudad del alto, 164 – 1, 164 – 2 usando el método Winkler: (13/11/15 al 18/11/15).

810,0 mg/L

838,0 mg/L

Relación DQO/DBO<sub>5</sub>, muestra aguas residuales de la ciudad del alto, 164 – 1, 164 – 2. (Valor de DBO<sub>5</sub> determinada por el método Winkler).

$$DQO/DBO_5 \cdot \frac{1621,0}{810,0} = 2,0$$

$$DQO/DBO_5 \cdot \frac{1530,0}{838,0} = 1,8$$

Se realizó la DBO<sub>5</sub> de la muestra aguas residuales de la ciudad del alto, 164 – 1, 164 – 2, usando el método respirométrico (oxitop®OC 100), (13/11/15 al 18/11/15).

805,0 mg/L

833,1 mg/L

Relación DQO/DBO<sub>5</sub>, muestra aguas residuales de la ciudad del alto, 164 – 1, 164 – 2. (Valor de DBO<sub>5</sub> determinada por el método respirométrico manométrico).

$$DQO/DBO_5 \cdot \frac{1621,0}{805,0} = 2,0$$

$$DQO/DBO_5 \cdot \frac{1530,0}{833,1} = 1,8$$

#### 6.1.3. Muestras de aguas residuales con altos niveles de contaminantes

##### 6.1.3.1. Muestra número 153

Se realizó la DQO de la muestra 153 aguas de lavado de descarga industrial: (12/11/15).

8608,0 mg/L

Se realizó la DBO de la muestra 153 agua de lavado de descarga industrial, usando el método Winkler: (12/11/15 al 18/11/15).

1707,3mg/L

Se realizó la DBO<sub>5</sub> de la muestra 153 agua de lavado de descarga industrial, usando el método respirométrico (oxitop®OC 100), (12/11/15 al 17/11/15).

2220,0 mg/L
-------------

## 6.2. Discusión

Los resultados obtenidos por el método respirométrico manométrico, son más aceptables, en comparación con el método Winkler, ya que en el método respirométrico no se realizan diluciones se obtienen mejores resultados. En cambio en el método Winkler, se realizan diluciones de la muestra, cuando se trata de aguas residuales domésticas.

Cabe mencionar, que no existe una relación matemática exacta entre DQO y DBO<sub>5</sub>, sin embargo en las aguas de origen domestico se encuentra con frecuencia, que DQO/DBO<sub>5</sub> tienen valores comprendidos entre 1,5 y 3, lo cual si se logró obtener dicha relación, de las muestras de aguas domesticas analizadas por el método respirométrico manométrico y Winkler.

Los resultados obtenidos, por ambos métodos cuando se analizaron aguas domesticas que no presentas valores altos de DBO<sub>5</sub>, fueron similares pero al analizar aguas residuales con altos niveles de contaminación, se obtuvo resultados más aceptables usando el método respirométrico manométrico, en comparación con el método Winkler, ya que con este método la dilución de la muestra es menor, que la del método Winkler.

Para cerciorarnos, que el valor de DBO<sub>5</sub> es correcto debemos calcular previamente el valor de DQO, donde el valor de DBO<sub>5</sub>, debe estar entre el 50% - 80% del valor de DQO.

## 7. Conclusiones

- Se debe determinar la DQO de la muestra previamente, para poder estimar la DBO<sub>5</sub> de la muestra, y así poder tomar la alícuota correcta de muestra para el análisis de la DBO<sub>5</sub>.
- La relación DQO/DBO<sub>5</sub> en muestra de agua residual doméstica, tiene un rango de 1,5 a 3.

- Ambos métodos de análisis deben realizarse la más pronto posible, ya que solo se tiene 72 horas para su análisis, luego de este tiempo los microorganismos comienzan a morir.
- Se logró la implementación del método respirométrico manométrico usando el equipo oxitop®OC100, para la determinación de la DBO<sub>5</sub>, para el control de calidad de aguas residuales domesticas.
- Se determinó la DBO<sub>5</sub> del rio Jiruzaya altura Limnologia, donde se obtuvo resultados similares, al de bibliografía usando ambos métodos de análisis.

Winkler	manométrico	bibliográfico
51,5 mg/L	51,3 mg/L	110 mg/L
Winkler	manométrico	bibliográfico
80,5 mg/L	79,0 mg/L	110 mg/L

Donde notamos que en ambos análisis, el valor experimental no es tan próximo al bibliográfico, esto debido que el valor de DBO<sub>5</sub>, no es constante a lo largo del tiempo, ya que este valor cambia de acuerdo a la contaminación que se realiza, donde esta contaminación es muy cambia constantemente.

- Se determinó la DBO<sub>5</sub> en aguas domesticas residuales, aguas residuales con altos niveles de contaminación, usando el método Winkler y respirométrico – manométrico, obteniendo resultados conformes, y adecuados.
- Se varió parámetros de análisis como ser, temperatura, alícuota de muestra, dilución de muestra, obteniendo, donde se concluye que el valor de temperatura de la muestra, no influye en el análisis.
- Se concluye, cuando se tiene muestras de aguas de origen domestico se debe tomar la alícuota correcta de muestra, la cual la estimamos con el previo análisis de la DQO.
- En el caso de tener aguas residuales con altos niveles de contaminantes, realizar la dilución correcta, para poder obtener el valor adecuado.
- Los datos obtenidos, usando el método respirométrico – manométrico, fueron más aceptables, en comparación a los datos obtenidos con el método Winkler, esto en muestras de aguas residuales con altos niveles de contaminantes, ya que estas

presentan valores altos de DBO<sub>5</sub>, lo cual complica el análisis de estas por el método Winkler, debido a que debe hacerse una gran dilución alta, lo cual origina errores.

El método Winkler, presenta un límite, ya que para aplicación correcta de esta método se debe hacer burbujear aguas, hasta obtener un valor de oxígeno inicial de 8mg/L, lo cual no se da en La Paz Bolivia, por presión a la que se encuentra.

- El método respirométrico – manométrico, implican menor costo, ya que cuando se trata de analizar aguas domésticas, se evita el uso de agua des ionizada, el uso de nutrientes.
- El método respirométrico manométrico, es más fácil y sencillo de realizar, que el método Winkler.

Muestras de aguas residuales domésticas.

Método Winkler	Método respirométrico – manométrico
Preparación de agua de dilución	No necesita agua de dilución
Burbujeo por una hora el agua de dilución	No necesita burbujeo
Realización del trabajo miércoles, jueves, viernes.	Podemos realizar el trabajo cualquier día de la semana.

## 8. Recomendaciones

- Realizar el análisis lo más pronto posible, después de a ver sido tomada la muestra, ya que los microorganismos, van muriendo con el transcurso del tiempo.
- Tener muy en cuenta el procedimiento de la muestra, para poder realizar el análisis correcto.
- Cuando se tengan muestras de aguas, sumamente sucias como ser, aguas residuales contaminadas con inhibidor o sustancias toxicas, realizar varias diluciones para finalmente realizar una gráfica, y así obtener el valor adecuado de DBO<sub>5</sub>

- Se recomienda el uso oxitop®OC100, para la determinación de la respiración del suelo.

## 9. Bibliografía

- (1) Ciencias de la Tierra y del Medio Ambiente (libro electrónico)  
<http://www1.ceit.es/asignaturas/ecologia/Hipertexto/00General/IndiceGral.html>
- (2) Luz Edith Barba Ho, conceptos básicos de la contaminación del agua y parámetros de medición, universidad Del Valle, 2002, vol, pag. 20.
- (3) Juan Luis Ruiz Refrigeración respetuoso con el medio ambiente, en investigación y ciencia, febrero 2011, pgs: 12-13.
- (4) Lic. Reinaldo Diaz Veliz, contaminación del aire, cuaderno, 1989, Pag. 49.
- (5) Alfonso DE ESTEBAN ALONSO, Contaminación acústica y salud, Instituto Universitario de Ciencias Ambientales (UCM), 2003, pag 74 – 75.
- (6) Mari JJ. Gomez J. Aranaz J Perez E Auditorias de historias clínicas: ¿Cuál es el tamaño adecuado de la muestra? todo hospital 1997; octubre 58 – 59.
- (7) Enric Mateu, tipos de muestreo 2003, pag.4.de DQO, 2004. Pag 4
- (8) Lic. Martín Peña, temperatura, 2007, pag 1
- (9) <http://200.58.146.28/nimbus/weather/pdf/cap4.pdf>
- (10) Ing. Rafael Soto González, termodinámica, Escuela Superior Tepeji del Río 2009, pag, 10 – 11.
- (11) [http://www.ugr.es/~mota/QIA\\_SEMINARIO-1.pdf](http://www.ugr.es/~mota/QIA_SEMINARIO-1.pdf)
- (12) <http://www.bvsde.paho.org/bvsaidis/chile13/trab-12.pdf>
- (13) Bioq. Beatriz Lermann de Abramovich, Maria Cristina Gilli, técnicas analíticas para oxígeno disuelto, 1992, 17 edit, pag 1.
- (14) Profesor Pedro Rodríguez Determinación de Oxígeno Disuelto (OD) en muestras de agua, 2011 semestre RA, pag. 1 – 2.
- (15) Leidy Johanna Quelal Solarte, documentación del procedimiento de laboratorio para la dbo5 en el laboratorio de control de calidad de la empresa de acueducto y alcantarillado de pereira s.a. e.s.p., 2012, pag 13 – 14.
- (16) <http://www.drccalderonlabs.com/Publicaciones/Respirometria.htm>

## Anexos

### Datos obtenidos

DBO<sub>5</sub> de referencias.

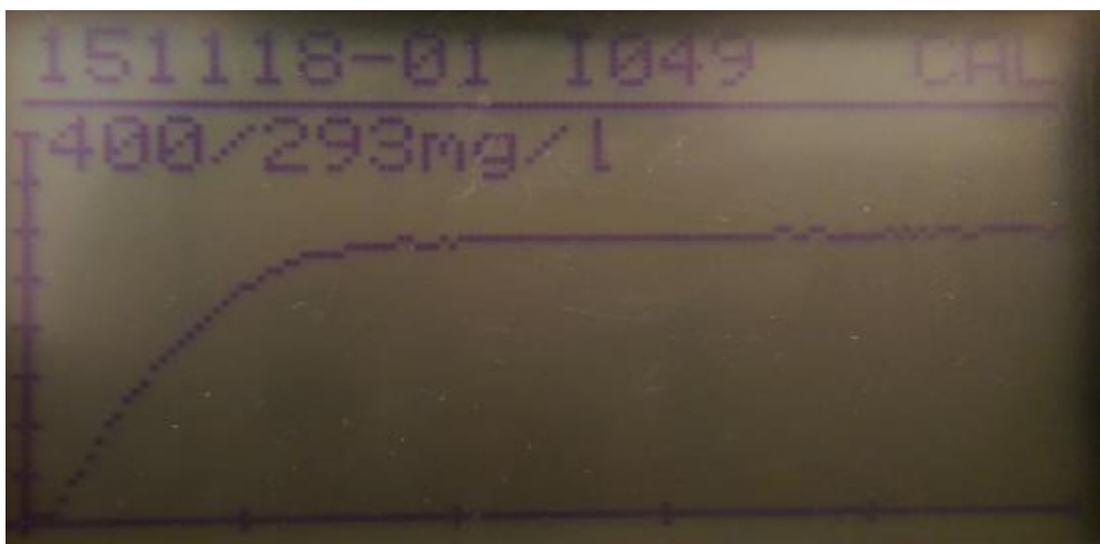
DBO<sub>5</sub> de referencia, para el método Winkler.

Se determinó la DBO<sub>5</sub> de una muestra de referencia, preparando ácido glutámico y glucosa.

N°	Muestra	# Winkler	Dilución	Volumen de alícuota (ml)	ODO (mg/L)	To	ODf (mg/L)	Tf	DBO5 (mg/L)
1	Blanco	2	1	0	5,8	16,2	5,5	19,0	
2	Ref 1	18	1	100,0	5,8	16,1	2,2	19,0	208,0
3	Ref 1r	12	1	100,0	5,8	16,3	2,1	19,0	212,0
4	Ref 1''	7	1	100,0	5,8	16,2	2,1	18,8	211,0
5	Ref 1'''	19	1	100,0	5,8	16,1	2,0	18,6	2170
									212,0

DBO<sub>5</sub> de referencia usando el método respirométrico manométrico.

N°	Muestra	Alícuota (ml)	DBO5(mg/L)
1	Referencia	164,0	293,0
2	Referencia	164,0	298,0
3	Referencia	164,0	295,0
			295,0



### Muestra 1 del río Jiruzaya altura Limnología

Se realizó la DQO de una muestra 1 de agua del río Jiruzaya altura Limnología: (01/10/15)

N°	Muestra	Dilución	Volumen de alícuota tomada (ml)	Volumen de titulación (ml)	DQO(mg/L)
1	Blanco	0	2,5	11,2	
3	Río I – 1	0	2,5	9,3	154,0
	Río I – 1R	0	2,5	9,3	154,0
4	Río I – 1RR	5/50	2,5	10,9	160,0
					156,0

Se realizó la DBO5 de una muestra 1 de agua del río Jiruzaya altura Limnología, usando el método Winkler (24/09/15 al 29/09/15)

N°	Muestra	# Winkler	Dilución	Volumen de alícuota (ml)	ODo (mg/L)	To	ODf (mg/L)	Tf	DBO5 (mg/L)
2	Río I	5	1	5,0	6,1	18,4	4,2	21,8	55,0
3	Río I	10	1	10,0	6,0	18,4	3,1	21,4	48,0
									51,5

Relación DQO/DBO<sub>5</sub>, muestra 1 de río Jiruzaya altura Limnologia. (Valor de DBO<sub>5</sub> determinada por el método Winkler).

$$DQO/DBO_5 \cdot \frac{156,0}{51,5} = 3,0$$

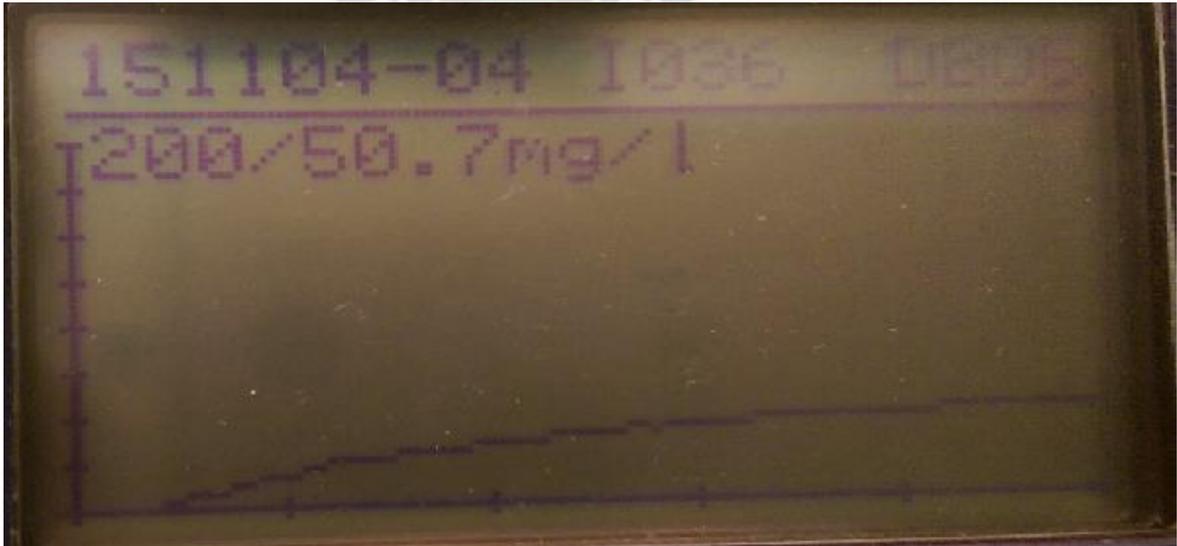
Se realizó la DBO<sub>5</sub> de una muestra de agua 1 del río Jiruzaya altura Limnologia usando el método respirometrico - manometrico (oxitop®OC 100).

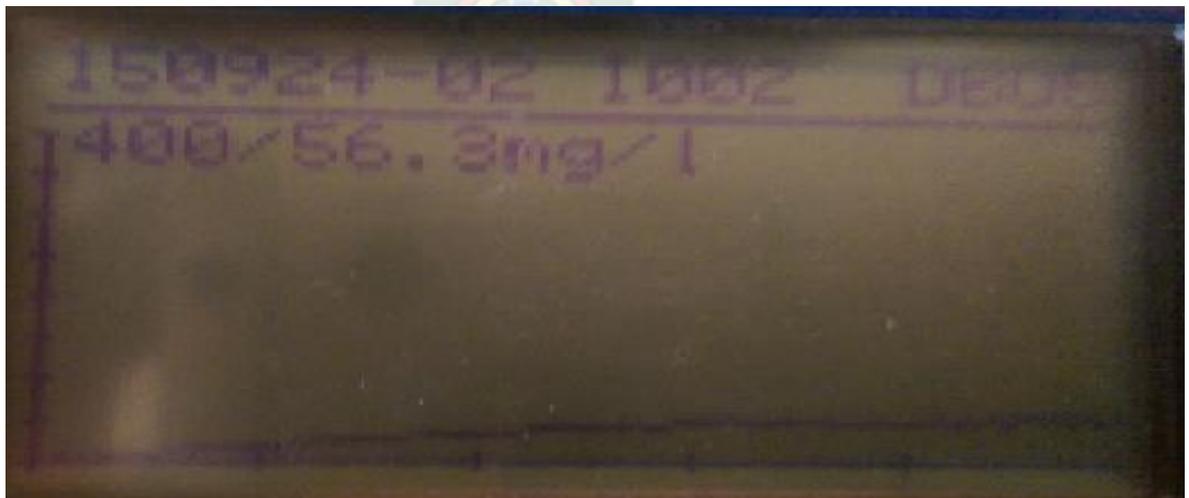
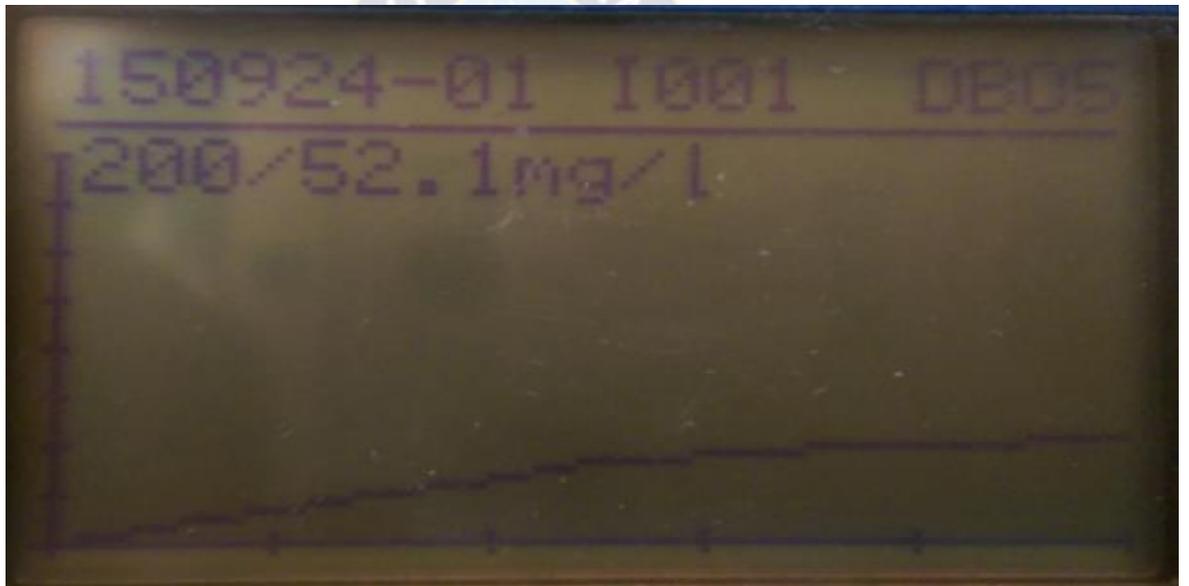
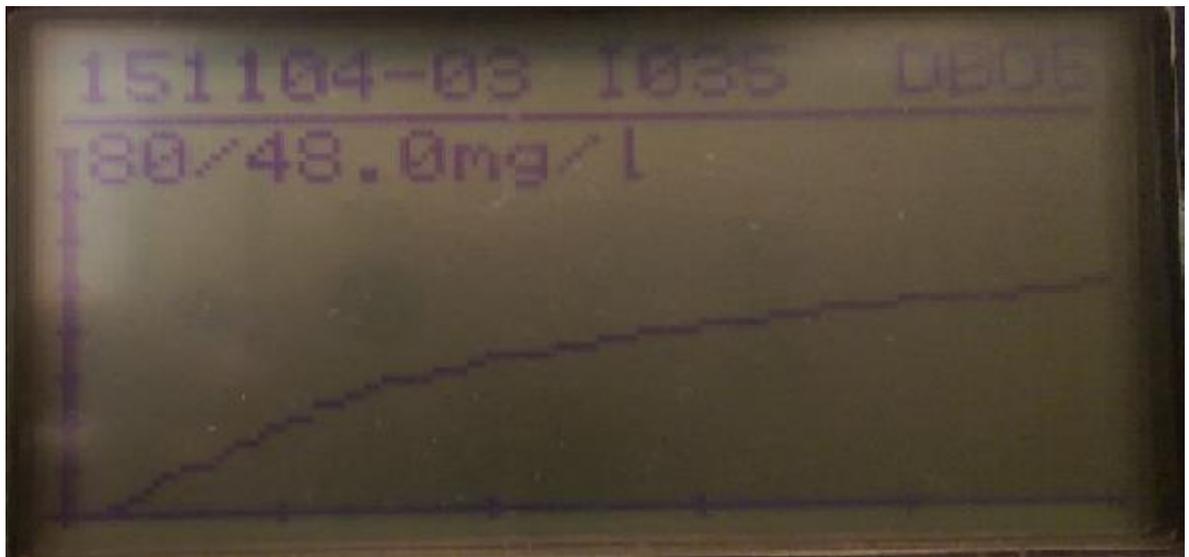
N°	Muestra	Alícuota (ml)	DBO <sub>5</sub> (mg/L)
1	1r	365,0	50,7
2	1r''	250,0	48,0
3	1r'''	250,0	52,1
4	1r''''	164,0	56,3
5	1r''''''	250,0	49,3
			51,3

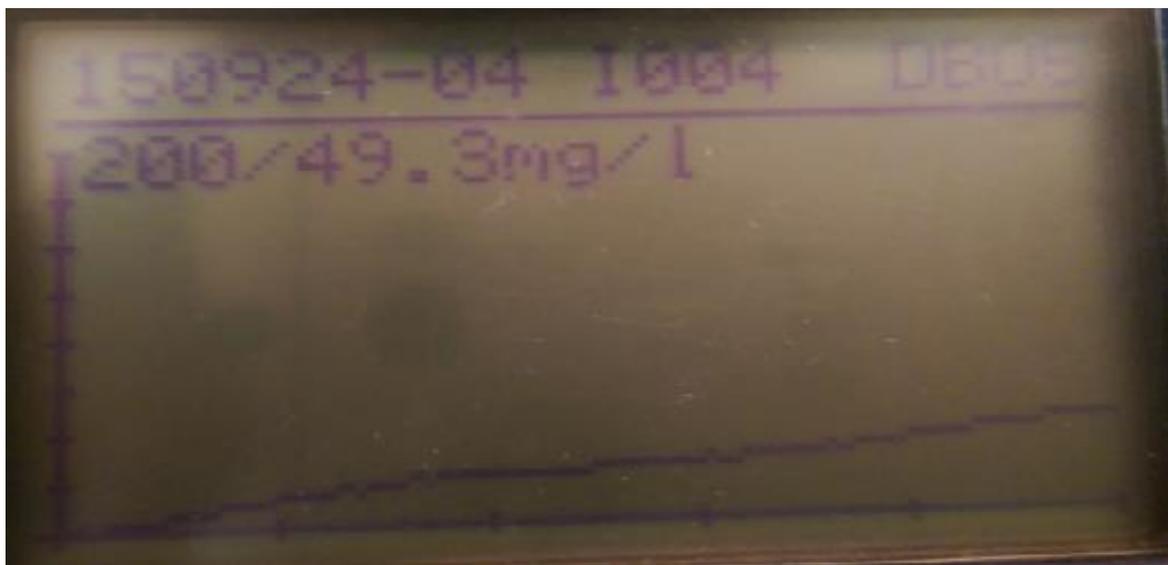
Relación DQO/DBO<sub>5</sub>, muestra 1 de río Jiruzaya altura Limonolgia. (Valor de DBO<sub>5</sub> determinada por el método respirometrico manometrico).

$$DQO/DBO_5 \cdot \frac{156,0}{51,3} = 3,0$$

### Graficas







### Muestra 2 del rio Jiruzaya

Se realizó la DBO5 de la muestra 2 de agua del rio Jiruzaya altura Limnologia, usando el método Winkler (21/10/15 al 26/10/15)

N	Muestra	# Winkler	dilución	Volumen de alícuota (ml)	ODo (mg/L)	To	ODf (mg/L)	Tf	DBO5 (mg/L)
1	Rio – 2r	7	0	5,0	5,9	20,0	3,0	21,1	82,0
2	Rio– 2rr	5	5/50	20,0	5,9	20,0	5,2	21,1	79,0
									80,5

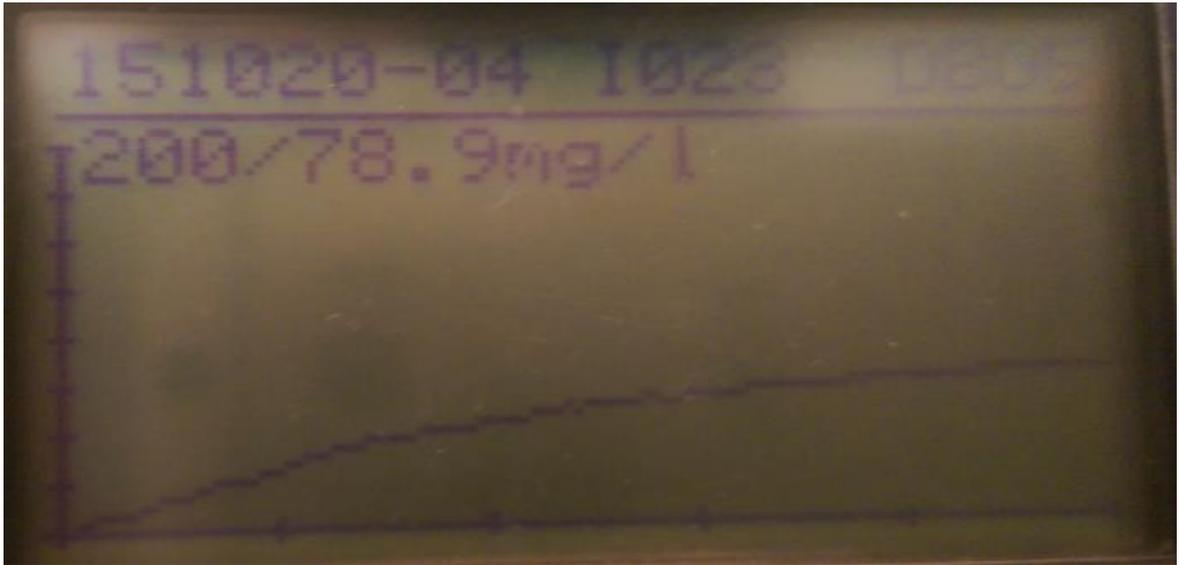
Relación DQO/DBO<sub>5</sub>, muestra 2 del rio Jiruzaya altura Limnologia. (Valor de DBO<sub>5</sub> determinada por el método Winkler).

$$DQO/DBO_5 \cdot \frac{156,0}{80,5} = 1,9$$

Se realizó la DBO5 de una muestra 2 del agua de rio Jiruzaya altura Limnologia, usando el método respirometrico - manometrico (oxitop®OC 100).

N°	Muestra	Alícuota (ml)	DBO5(mg/L)
2	Rio – 1r	250	78,5
3	Rio – 1r''	250	79,6
4	Rio – 1r'''	250	78,9

79,0



Relación DQO/DBO<sub>5</sub>, muestra 2 del río Jiruzaya altura Limnología. (Valor de DBO<sub>5</sub> determinada por el método respirometrico manométrico).

$$DQO/DBO_5 \cdot \frac{156,0}{79,0} = 1,9$$

**Muestra 155**

Se realizó la DQO de la muestra 155 agua de lavado de descarga de industria (29/10/15)

N°	Muestra	Dilución	Volumen de alícuota tomada (ml)	Volumen de titulación (ml)	DQO(mg/L)
1	Blanco	0	2,5	11,4	
2	155 – 1	0	2,5	1,3	801,0

Se realizó la DBO<sub>5</sub> de la muestra 155 agua de lavado de descarga de industria, usando el método Winkler: (29/10/15 al 03/11/15).

N	Muestra	# Winkler	dilución	Volumen de alícuota (ml)	ODo (mg/L)	To	ODf (mg/L)	Tf	DBO (mg/L)

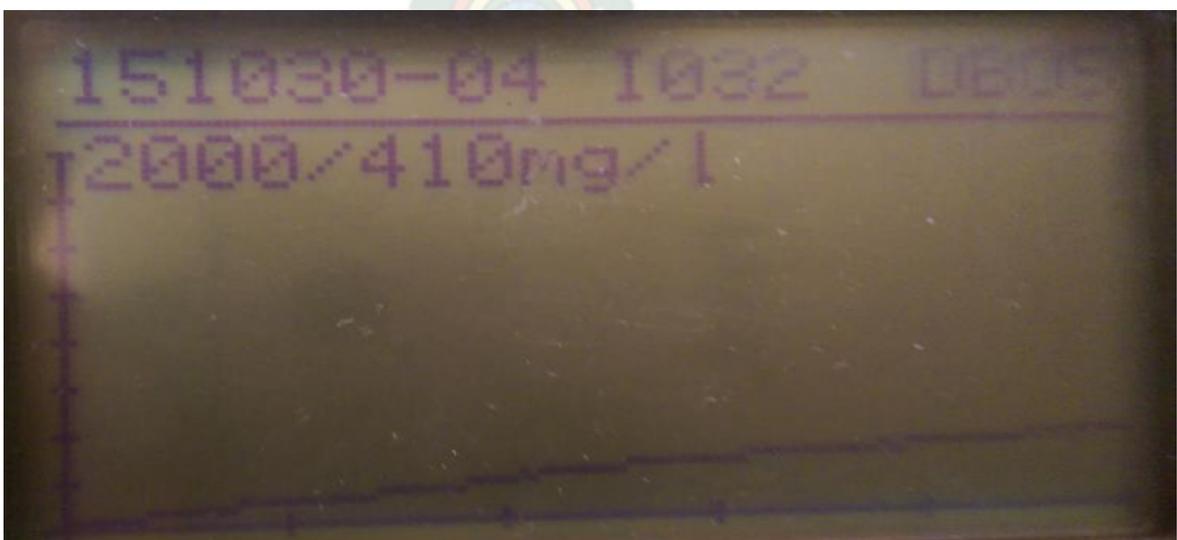
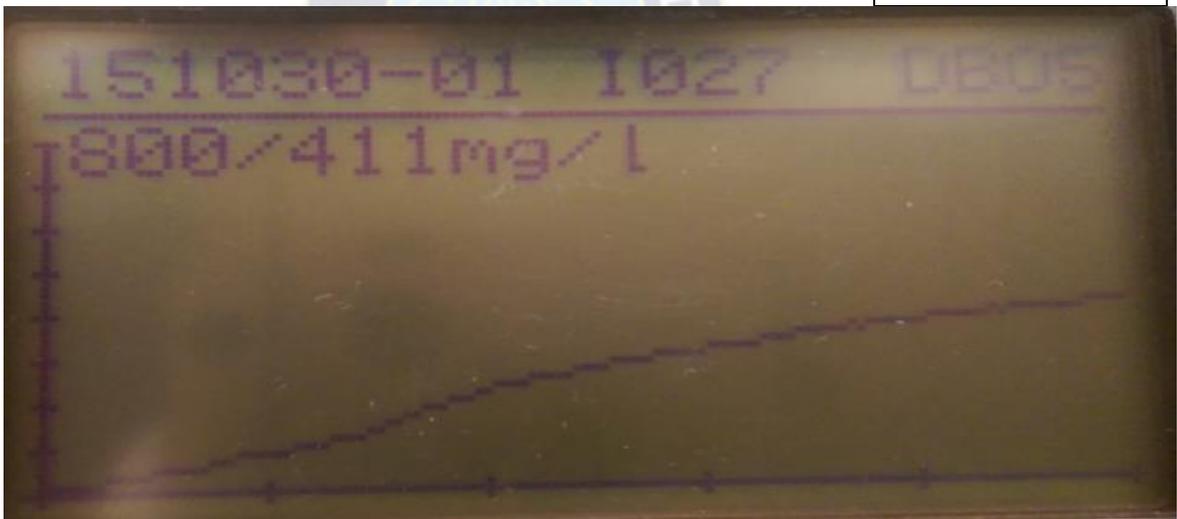
2	140 - 1	4	0	5,0	5,7	20,7	0,01	21,7	333,0
---	---------	---	---	-----	-----	------	------	------	-------

Relación DQO/DBO<sub>5</sub>, muestra agua de lavado de descarga de industria. (Valor de DBO<sub>5</sub> determinada por el método Winkler).

$$DQO/DBO_5 \cdot \frac{801,0}{333,0} = 2,4$$

Se realizó la DBO<sub>5</sub> de la muestra 155 agua de lavado de descarga de industria, usando el método respiro métrico (oxitop®OC 100), (29/10/15 al 03/10/15).

N°	Muestra	Alícuota (ml)	DBO(mg/L)
1	155 - 1	97	411,0
2	155 - 1r	43,5	403,0
3	155 - 1rr	43,5	410,0
			408,0



Relación DQO/DBO<sub>5</sub>, muestra 155 agua de lavado de descarga de industria. (Valor de DBO<sub>5</sub> determinada por el método respirometrico manométrico).

$$DQO/DBO_5. \frac{801,0}{408,0} = 1,9$$

### Muestra 163

Se realizó la DQO de la muestra 163 rio de Tarija: (06/11/15)

N°	Muestra	Dilución	Volumen de alícuota tomada (ml)	Volumen de titulación (ml)	DQO(mg/L)
1	Blanco	0	2,5	10,8	
2	163 – 1	0	2,5	10,4	33,0

Se realizó la DBO<sub>5</sub> de la muestra 163 rio de Tarija usando el método Winkler: (06/11/15 al 11/11/15).

N	Muestra	# Winkler	dilución	Volumen de alícuota (ml)	ODo (mg/L)	To	ODf (mg/L)	Tf	DBO <sub>5</sub> (mg/L)
1	Blanco	1	0	0	5,9	20,2	5,3	21,5	
2	163 -1	2	0	50,0	6,1	18,9	4,8	21,7	7,0

Relación DQO/DBO<sub>5</sub>, muestra 163 rio de Tarija. (Valor de DBO<sub>5</sub> determinada por el método Winkler).

$$DQO/DBO_5. \frac{33,0}{7,0} = 4,7$$

Se realizó la DBO<sub>5</sub> de la muestra 163 rio de Tarija usando el método respiro métrico (oxitop®OC 100), (12/11/15 al 17/11/15).

N°	Muestra	Alícuota (ml)	DBO(mg/L)
1	163 – 1	432	5,6
2	163 – 1r	432	5,6

5,6
-----

Relación DQO/DBO<sub>5</sub>, muestra 163 rio de Tarija. (Valor de DBO<sub>5</sub> determinada por el método respirometrico manométrico).

$$DQO/DBO_5 \cdot \frac{33,0}{5,6} = 5,8$$

### Muestra 164

Se realizó la DQO de la muestra, aguas residuales de la ciudad del alto, 164 – 1, 164 – 2.: (13/11/15)

N°	Muestra	Dilución	Volumen de alícuota tomada (ml)	Volumen de titulación (ml)	DQO(mg/L)
1	Blanco	0	2,5	11,2	
2	164 – 1	5/50	2,5	9,2	1621,0
3	164 – 2	5/50	2,5	9,4	1530,0

Se realizó la DBO de la muestra aguas residuales de la ciudad del alto, 164 – 1, 164 – 2, usando el método Winkler: (13/11/15 al 18/11/15).

N	Muestra	# Winkler	dilución	Volumen de alícuota (ml)	ODo (mg/L)	To	ODf (mg/L)	Tf	DBO5 (mg/L)
1	164 – 1	5	0	1	5,9	20,1	3,0	21,9	810,0
2	164 – 2	7	0	1	5,9	20,1	2,9	22,2	838,0

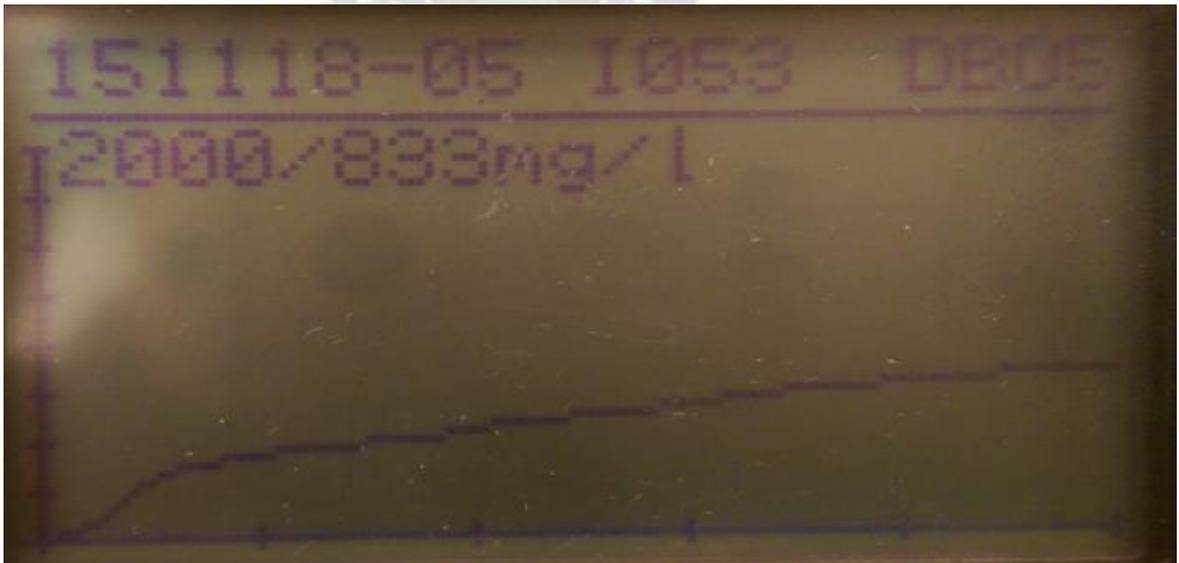
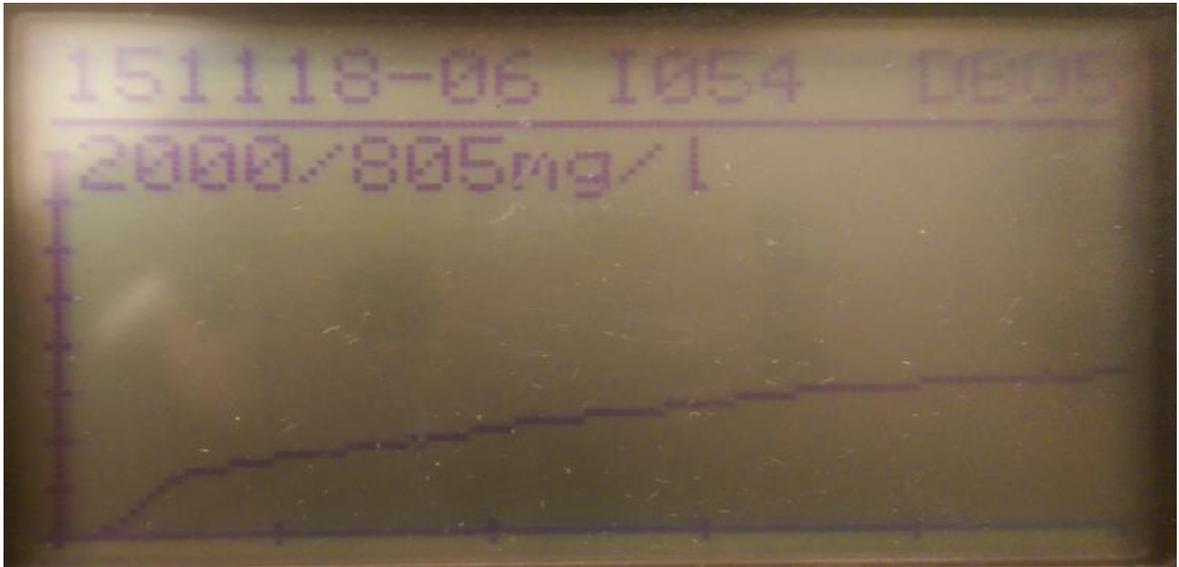
Relación DQO/DBO<sub>5</sub>, muestra aguas residuales de la ciudad del alto, 164 – 1, 164 – 2. (Valor de DBO<sub>5</sub> determinada por el método Winkler).

$$DQO/DBO_5 \cdot \frac{1621,0}{810,0} = 2,0$$

$$DQO/DBO_5 \cdot \frac{1530,0}{838,0} = 1,8$$

Se realizó la DBO<sub>5</sub> de la muestra aguas residuales de la ciudad del alto, 164 – 1, 164 – 2, usando el método respiro métrico (oxitop®OC 100), (13/11/15 al 18/11/15).

N°	Muestra	Alícuota (ml)	DBO(mg/L)leído	
1	164 – 1	43,5	805,0	
2	164 – 1r	43,5	805,0	
3	164 – 2r	43,5	833,1	
2	164 – 2r	43,5	833,0	
			805,0	833,1



Relación DQO/DBO<sub>5</sub>, muestra aguas residuales de la ciudad del alto, 164 – 1, 164 – 2. (Valor de DBO<sub>5</sub> determinada por el método respirometrico manométrico).

$$DQO/DBO_5. \frac{1621,0}{805,0} = 2,0$$

$$DQO/DBO_5. \frac{1530,0}{833,1} = 1,8$$

### Muestras de aguas residuales con altos niveles de contaminación.

#### Muestra 153

Se realizó la DQO de la muestra 153 agua de lavado de descarga de industria: (12/11/15)

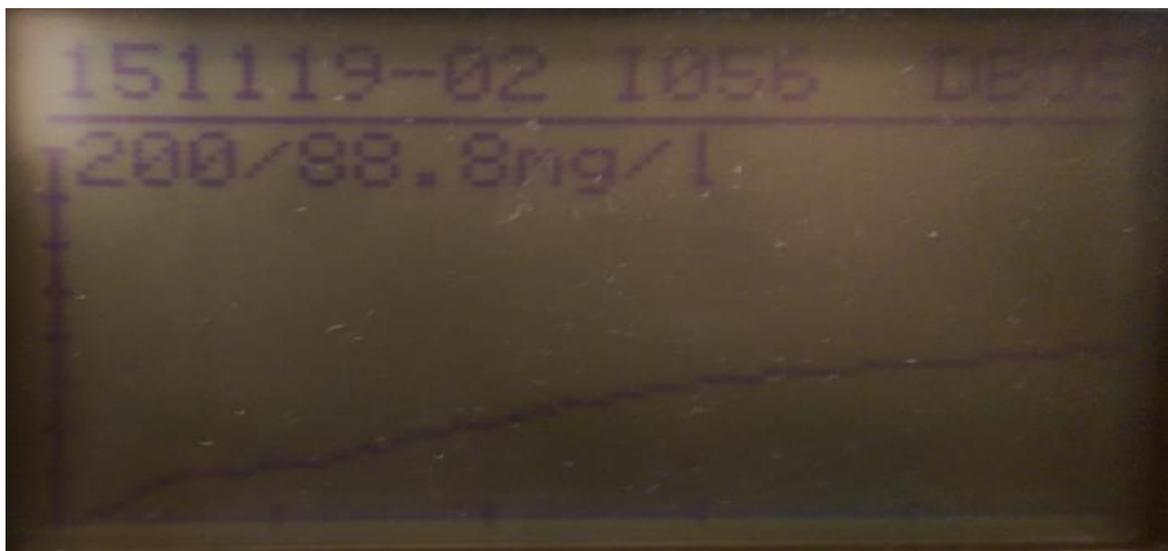
N°	Muestra	Dilución	Volumen de alícuota tomada (ml)	Volumen de titulación (ml)	DQO(mg/L)
1	Blanco	0	2,5	11,40	
2	153 – 1	5/50	2,5	9,29	8608

Se realizó la DBO de la muestra 153 agua de lavado de descarga de industria, usando el método Winkler: (12/11/15 al 17/11/15).

N	Muestra	# Winkler	dilución	Volumen de alícuota (ml)	ODo (mg/L)	To	ODf (mg/L)	Tf	DBO5 (mg/L)
2	163 – 1	5	0	1,0	5,93	19,8	0,01	21,7	1707,3

Se realizó la DBO5 de la muestra 153 agua de lavado de descarga de industria, usando el método respiro métrico (oxitop®OC 100), (12/11/15 al 17/11/15).

N°	Muestra	Dilución de muestra	Alícuota (ml)	DBO(mg/L)leído	DBO(mg/L)calculado
1	153 – 1	40/1000	40,0	88.8	2220,0
2	153 – 1r	40/1000	40,0	88,8	2220,0



### **Análisis realizados en laboratorio**

#### **Conductividad eléctrica**

Previamente se debe calibrar el equipo con 3 soluciones de 12,89 ms/cm, 146,9 $\mu$ S/cm y de 1412mS/cm

Medir la conductividad de la muestra.

#### **Interferencias**

Los valores medidos de la conductividad eléctrica pueden ser afectados por la contaminación de la muestra dentro de la celda. La presencia de grandes cantidades de materia de suspensión, la grasa o el aceite pueden causar falla de los electrodos.

Las interferencias causadas por tales efectos, no son en la rutina de operación fáciles de reconocer. Pueden provocar un cambio en la constante de celda, pero esto solo se puede determinar mediante la verificación con la disolución patrón de trabajo apropiado de cloruros de potasio.

#### **Cloruros (standard methods 4500 – b)**

Poner la muestra a un pH neutro o ligeramente alcalino, para posteriormente titular con AgNO<sub>3</sub>, usando indicador K<sub>2</sub>CrO<sub>4</sub>.

Formar un precipitado color ladrillo de Ag<sub>2</sub>CrO<sub>4</sub>

#### **Interferencias**

Los iones bromuro, yoduro y cianuro se registraron como concentraciones equivalentes de cianuros.

El orto fosfato en concentraciones mayores de 25mg/L interfiere ya que precipita como fosfato de plata.

#### **Medición de pH (standard methods 4500 – a)**

Primero se debe calibrar el pH – metro con soluciones Buffer de 7 – 10 y 4, para luego tener un pH exacto de las muestras

Los electrodos deben estar almacenados en KCl

Las muestras deben ser a temperatura ambiente.

#### **Sulfatos método turbidimetro (standard methods 4500 – e)**

Medir 100ml de muestra o una porción adecuada y llevarla a 100ml, en un Erlenmeyer de 250ml, agregar 20ml de solución buffer y mezclar en el aparato de agitación. Mientras esta se agita agregar una porción de BaCl<sub>2</sub> y comenzar la cuanta de tiempo inmediatamente. Agitar durante 60 segundos a velocidad constante.

Después que el periodo de agitación ha terminado, clocar la solución en una celda de absorción del fotómetro y medir la turbiedad a los 5 min.

Estimar la concentración de SO<sub>4</sub>-2 en la muestra comparando la turbiedad leída con una curva de calibración, sometiendo los estándares de SO<sub>4</sub>-2 a todo el procedimiento. Espaciar los estándares en incremento de 5mg/L en el rango de 0 a 40 mg/L de SO<sub>4</sub>-2. encima de 40 mg/L la exactitud disminuye y las suspensiones de BaSO<sub>4</sub> pierden estabilidad.

#### **Interferencias**

En este método interfieren la materia en suspensión e grandes cantidades y el color.

La materia suspendida puede eliminarse parcial mente por filtración. Si ambos interferentes proceden lectura pequeña en comparación con la concentración del ion sulfato, la interferencia se corrige. La sílice en concentración 500mg/L y la materia orgánica en concentraciones altas, también interfieren, imposibilitando la precipitación satisfactoria del sulfato de bario.

#### **Solidos suspendidos (standard methods 2540 – d)**

El papel filtro de fibra de fibra de vidrio debe estar 24hrs en la estufa a 105°C

Se prepara el filtro con fibra de vidrio, y se selecciona el volumen según su espesor, ya que puede tapar los poros y retardar el filtrado.

Una vez filtrado se lleva por una hora a la estufa a 105°C.

Se coloca en un desecador hasta que este a temperatura ambiente.

Se pesa la muestra filtrada.

### **Solidos disueltos (standard methods 2540 – c)**

Se filtra un volumen conocido de agua, un filtro de 0,45µm de porosidad.

El filtrado se coloca a una capsula previamente pesada en una estufa a 105°C

La capsula filtrada se lleva a sequedad en baño María.

Luego se lleva a la estufa a 105°C por cuatro horas.

Se lleva al desecador hasta que adquiera peso constante.

Se pesa la capsula.

### **Solidos totales (standard methods 2540 – a)**

Se coloca las capsulas en la estufa a 105°C por una hora y se lo lleva a un desecador hasta que tenga peso constante.

Se coloca un volumen de muestra conocida bien mezclada, según el tipo de muestra, si es cristalina puede colocarse hasta 100 ml y si es un lixiviado se coloca 10ml.

La capsula se lleva a sequedad en baño María luego se la coloca a estufa a 105°C.

Se lleva al desecador hasta que este a peso constante para luego pesarla.

### **Turbidez**

Calibrar el turbidimetro con agua mili –Q a 0,03.

Agitar la muestra y agregarla a la celda.

Con la lectura de la escala y con el factor de dilación, calcular la turbidez.

### **Interferencias**

El color verdadero, es decir el color del agua debido a las sustancias disueltas que absorben la luz, origina que la turbidez sea más baja.

La presencia de residuos flotantes y materia fina, los cuales pueden sedimentarse rápidamente dará lecturas bajas. Pequeñas burbujas aire pueden afectar el resultado de manera positiva.

### **Alcalinidad**

Preparar HCl 0,1N y estandarizar

Medir pH (pH – metro / conductivity meter AR20) de la muestra y filtrar con papel filtro de porosidad 0,45µm.

Colocar 2 gotas del indicador mixto (verde bromocresol + rojo de metilo), el cual se prepara con 100mg de verde de bromo cresol y 20 mg de rojo de metilo en 100ml de C<sub>2</sub>H<sub>5</sub>OH.

Titular hasta que cambie de azul ha rozado.

### **Interferencias**

La muestra no debe presentar altos niveles de turbidez, que impidan apreciar el punto final de titulación. La muestra a través del filtro de fibra Si se presenta este problema se filtra la muestra a través del filtro de fibra de vidrio.

**Fotos de trabajo en el laboratorio.**



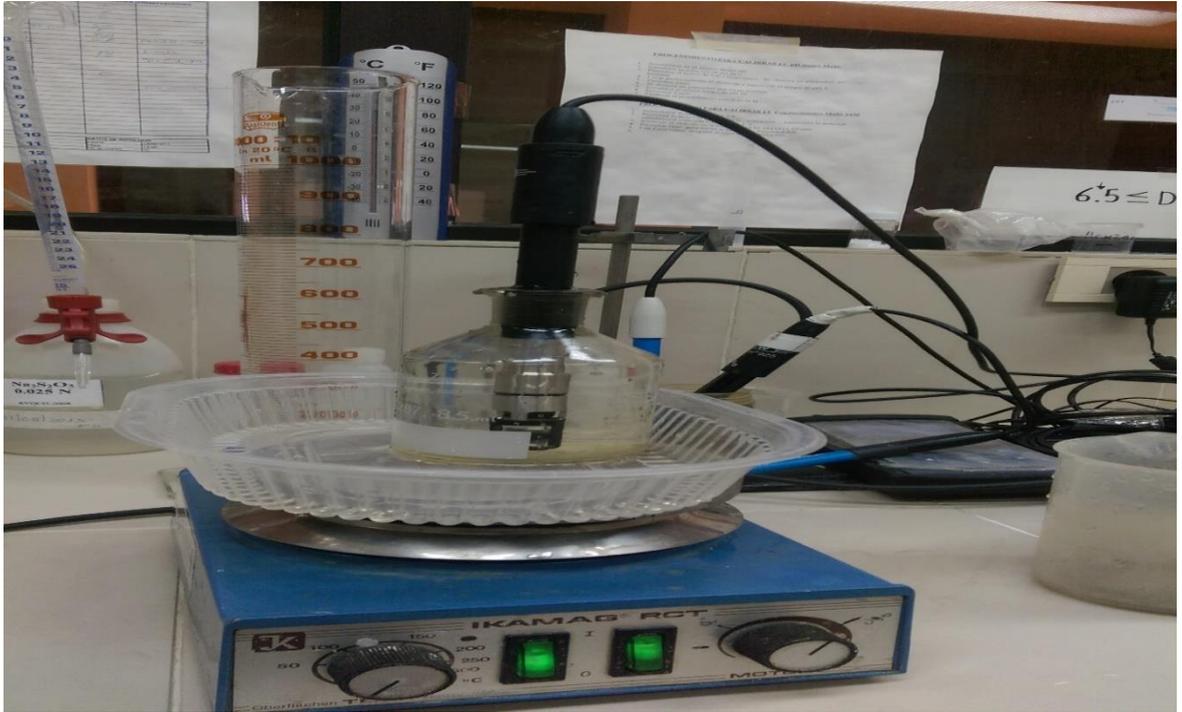
**Incubadora de DBO5**



**Equipo oxitopOC 100**



**Incubación método repirometrico – manométrico, Winkler.**



**Medición del oxígeno disuelto en la muestra.**



**Equipo de determinación de turbidez.**



**Muestreo en el rio Jiruzaya.**