



# UNIVERSIDAD MICHOCANA DE SAN NICOLÁS DE HIDALGO

FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL

**“DETERMINACIÓN DE LOS PARÁMETROS DQO Y DBO<sub>5</sub> SOBRE EL RÍO  
CUPATITZIO PARA EL TRAMO RODILLA DEL DIABLO- ENTRADA A LA  
PRESA CUPATITZIO; ANÁLISIS DE SUS PROCEDIMIENTOS Y RELACIÓN  
ENTRE SUS RESULTADOS”**

**TESIS**

**PARA OBTENER EL TÍTULO DE  
INGENIERO CIVIL**

**PRESENTA**

**SONIA AGUILERA JUÁREZ**

**ASESOR DE TESIS**

**DR. JESÚS ALBERTO RODRÍGUEZ CASTRO**

**MORELIA, MICHOCÁN, AGOSTO DE 2011**

## ÍNDICE

|   |    |
|---|----|
| INTRODUCCIÓN .....  | 4  |
| 1. CONTAMINACIÓN DEL AGUA Y TRATAMIENTO .....   | 7  |
| 1.1 PRINCIPALES FUENTES Y CONTROL .....   | 7  |
| 1.2 CANTIDAD DEL RECURSO AGUA.....  | 9  |
| 1.3 CANTIDAD Y CALIDAD .....  | 10 |
| 1.3.1 El agua en México .....   | 11 |
| 1.4 USOS .....  | 13 |
| 1.4.1 En qué se usa el agua en México .....   | 16 |
| 1.5 CALIDAD DEL AGUA.....   | 17 |
| 1.6 CLASIFICACIÓN DE LOS COMPUESTOS PRESENTES EN EL AGUA.....   | 19 |
| 1.6.1 De acuerdo con su naturaleza.....   | 19 |
| 1.6.2 De acuerdo con el tamaño.....   | 20 |
| 1.6.3 De acuerdo al grupo al que pertenece.....   | 21 |
| 1.6.4 De acuerdo con su clasificación como contaminantes convencionales o tóxicos prioritarios.....   | 21 |
| 1.7 EFECTOS DE LA CONTAMINACIÓN DEL AGUA.....   | 25 |
| 1.8 CONTAMINACIÓN MARINA .....  | 25 |
| 1.9 DEPURACIÓN DE AGUAS .....   | 26 |
| 1.9.1 Depuración de aguas residuales.....   | 28 |
| 2. IMPORTANCIA Y APLICACIÓN DE LOS PARÁMETROS DEMANDA QUÍMICA DE OXÍGENO (DQO) Y DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXÍGENO (DBO <sub>5</sub> ) PARA EL TRATAMIENTO Y LA CARACTERIZACIÓN DE AGUAS CONTAMINADAS ..... | 33 |
| 2.1 OXÍGENO DISUELTO.....   | 33 |
| 2.1.1 Curva de pandeo del oxígeno.....  | 33 |
| 2.2 DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXÍGENO, DBO .....  | 37 |
| 2.3 DEMANDA QUÍMICA DE OXÍGENO, DQO .....   | 38 |
| 2.4 UTILIDAD Y APLICACIONES DE LA D. B. O. ....   | 40 |
| 2.5 UTILIDAD Y APLICACIONES DE LA D. Q. O.....  | 41 |
| 2.6 UTILIDADES Y APLICACIONES DE LOS DOS PARÁMETROS (DQO y DBO <sub>5</sub> ) CONJUNTAMENTE. ....   | 42 |
| 3. METODOLOGÍAS NORMADAS PARA LA DETERMINACIÓN EN LABORATORIO DE LA DEMANDA QUÍMICA DE OXÍGENO Y LA DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXÍGENO..   | 44 |

|                                |   |     |
|--------------------------------|---|-----|
| 3.1                            | NMX-AA-028-SCFI-2001 .....  | 44  |
| 3.2                            | Observaciones a la norma NMX-AA-028-SCFI-2001 .....   | 63  |
| 3.3                            | NMX-AA-030-SCFI-2001.....   | 65  |
| 3.4                            | Observaciones a la norma NMX-AA-030-SCFI-2001.....  | 85  |
| 4.                             | CASO PRÁCTICO DE ESTUDIO. CONTAMINACIÓN EN EL RÍO CUPATITZIO TRAMO<br>RODILLA DEL DIABLO- ENTRADA A LA PRESA CUPATITZIO ..... | 88  |
| 4.1                            | Cuenca del Río Cupatitzio. ....   | 88  |
| CAPÍTULO 5. CONCLUSIONES ..... |   | 131 |
| CAPÍTULO 6. ANEXOS.....        |   | 134 |
| Fuentes Consultadas: .....     |   | 138 |

## INTRODUCCIÓN

En el presente trabajo de Tesis se encuentra la información acerca de la calidad y el análisis del agua, más específicamente, del proceso para determinar la carga de materia orgánica y el tipo de contaminación que posee una muestra de agua, con la finalidad de darle la correcta aplicación y la debida importancia a los procedimientos que se llevan a cabo dentro de un Laboratorio y a los valores de ciertos parámetros que resultan de seguir las metodologías normadas y/o sugeridas por medio de la experiencia.

Para introducirse en el tema, es necesario saber claramente qué se conoce como Agua y Contaminación.

El Agua es el nombre común que se aplica al estado líquido del compuesto de hidrógeno y oxígeno  $H_2O$ . Los antiguos filósofos consideraban el agua como un elemento básico que representaba a todas las sustancias líquidas. Los científicos no descartaron esta idea hasta la última mitad del siglo XVIII. En 1781 el químico británico Henry Cavendish sintetizó Agua detonando una mezcla de hidrógeno y aire. Sin embargo, los resultados de este experimento no fueron interpretados claramente hasta dos años más tarde, cuando el químico francés Antoine Laurent de Lavoisier propuso que el agua no era un elemento sino un compuesto de oxígeno e hidrógeno. En un documento científico presentado en 1804, el químico francés Joseph Louis Gay-Lussac y el naturalista alemán Alexander von Humboldt demostraron conjuntamente que el agua consistía en dos volúmenes de hidrógeno y uno de oxígeno, tal como se expresa en la fórmula actual  $H_2O$ .

La Contaminación es la impregnación del aire, el agua o el suelo con productos que afectan a la salud del hombre, la calidad de vida o el funcionamiento natural de los ecosistemas.

Con relación al agua, su contaminación es el resultado de las actividades humanas en ella que se integran en el ciclo hidrológico.

La contaminación del agua, entonces sería, la incorporación al agua de materias extrañas, como microorganismos, productos químicos, residuos industriales y de otros tipos, o aguas residuales. Estas materias deterioran la calidad del agua y la hacen inútil para los usos pretendidos.

Los principales contaminantes del agua son: aguas residuales, agentes infecciosos, nutrientes vegetales, productos químicos, petróleo, minerales

inorgánicos, compuestos químicos, sedimentos formados por las partículas del suelo y arrastrados, sustancias radiactivas y el calor.

La composición de las aguas residuales se determina a través de diversas mediciones físicas, químicas y biológicas (microbiológicas); cuyos valores son comparados posteriormente, con los valores de la normativa vigente.

Las medidas más comunes incluyen la determinación del contenido en sólidos, la D.B.O., la D.Q.O. y el pH, que miden, respectivamente, la materia sólida en suspensión, la concentración de materia orgánica y la acidez de las aguas.

# ***CAPÍTULO 1.***

## **CONTAMINACIÓN DEL AGUA Y TRATAMIENTO**

## 1. CONTAMINACIÓN DEL AGUA Y TRATAMIENTO

Los principales contaminantes del agua son los siguientes:

Aguas residuales y otros residuos que demandan oxígeno (en su mayor parte materia orgánica, cuya descomposición produce la desoxigenación del agua).

Agentes contaminantes.

- Nutrientes vegetales que pueden estimular el crecimiento de las plantas acuáticas. Éstas, a su vez, interfieren con los usos a los que se destina el agua y, al descomponerse, agotan el oxígeno disuelto y producen olores desagradables.
- Productos químicos, incluyendo los pesticidas, diversos productos industriales, las sustancias tensioactivas contenidas en los detergentes, y los productos de la descomposición de otros compuestos orgánicos.
- Petróleo, especialmente el procedente de los vertidos accidentales.
- Minerales inorgánicos y compuestos químicos.
- Sedimentos formados por partículas del suelo y minerales arrastrados por las tormentas y escorrentías desde las tierras de cultivo, los suelos sin protección, las explotaciones mineras, las carreteras y los derribos urbanos.
- Sustancias radiactivas procedentes de los residuos producidos por la minería y el refinado del uranio y el torio, las centrales nucleares y el uso industrial, médico y científico de materiales radiactivos.
- El calor también puede ser considerado un contaminante cuando el vertido del agua empleada para la refrigeración de las fábricas y las centrales energéticas hace subir la temperatura del agua de la que se abastecen.

### 1.1 PRINCIPALES FUENTES Y CONTROL

Las principales fuentes de contaminación acuática pueden clasificarse como urbanas, industriales y agrícolas.

La contaminación urbana está formada por las aguas residuales de los hogares y los establecimientos comerciales. Durante muchos años, el principal objetivo de la eliminación de residuos urbanos fue tan sólo reducir su contenido en materias que

demandan oxígeno, sólidos en suspensión, compuestos inorgánicos disueltos (en especial compuestos de fósforo y nitrógeno) y bacterias dañinas. En los últimos años, por el contrario, se ha hecho más hincapié en mejorar los medios de eliminación de los residuos sólidos producidos por los procesos de depuración. Los principales métodos de tratamiento de las aguas residuales urbanas tienen tres fases: el tratamiento primario, que incluye la eliminación de arenillas, la filtración, el molido, la floculación (agregación de los sólidos) y la sedimentación; el tratamiento secundario, que implica la oxidación de la materia orgánica disuelta por medio de lodo biológicamente activo, que seguidamente es filtrado; y el tratamiento terciario, en el que se emplean métodos biológicos avanzados para la eliminación del nitrógeno, y métodos físicos y químicos, tales como la filtración granular y la adsorción por carbono activado. La manipulación y eliminación de los residuos sólidos representa entre un 25 y un 50% del capital y los costes operativos de una planta depuradora.

Las características de las aguas residuales industriales pueden diferir mucho tanto dentro como entre las empresas. El impacto de los vertidos industriales depende no sólo de sus características comunes, como la Demanda Bioquímica de Oxígeno, sino también de su contenido en sustancias orgánicas e inorgánicas específicas. Hay tres opciones (que no son mutuamente excluyentes) para controlar los vertidos industriales. El control puede tener lugar allí donde se generan dentro de la planta; las aguas pueden tratarse previamente y descargarse en el sistema de depuración urbana; o pueden depurarse por completo en la planta y ser reutilizadas o vertidas sin más en corrientes o masas de agua.

La agricultura, la ganadería comercial y las granjas avícolas, son la fuente de muchos contaminantes orgánicos e inorgánicos de las aguas superficiales y subterráneas. Estos contaminantes incluyen tanto sedimentos procedentes de la erosión de las tierras de cultivo como compuestos de fósforo y nitrógeno que, en parte, proceden de los residuos animales y los fertilizantes comerciales. Los residuos animales tienen un alto contenido en nitrógeno, fósforo y materia consumidora de oxígeno, y a menudo albergan organismos patógenos. Los residuos de los criaderos industriales se eliminan en tierra por contención, por lo que el principal peligro que representan es el de la filtración y las escorrentías. Las medidas de control pueden incluir el uso de depósitos de sedimentación para líquidos, el tratamiento biológico limitado en lagunas aeróbicas o anaeróbicas, y toda una serie de métodos adicionales.

## 1.2 CANTIDAD DEL RECURSO AGUA

Se calcula que en la Tierra existen aproximadamente 1'385,000,000 km<sup>3</sup> de agua, de los cuales el 97.3% es salada, el 2.08% se encuentra congelada en los polos y sólo una pequeña parte está efectivamente disponible para nuestras necesidades, como se muestra en la Tabla 1

**Tabla 1. Reparto del agua sobre la Tierra**

| TIPO DE AGUA                                       | POR CIENTO DE LA CANTIDAD TOTAL | POR CIENTO DE LA CANTIDAD DE AGUADULCE | POR CIENTO DE LA CANTIDAD DE AGUA DULCE LIQUIDA |
|--|---------------------------------|--|---|
| Salada (mares y océanos, agua subterránea y lagos) | 97.3                            |  |   |
| Dulce  | 2.7                             | 100-00                                 |   |
| *hielo (glaciares)                                 | 2.08                            | 77.20                                  |   |
| *líquida   | 0.62                            | 22.80                                  | 100.00  |
| *agua subterránea y humedad del suelo              |                                 | 22.40                                  | 98.25   |
| * lagos y pantanos                                 |                                 | 0.35                                   | 1.54  |
| * ríos y corrientes                                |                                 | 0.01                                   | 0.04  |
| *atmósfera   |                                 | 0.04                                   | 0.17  |

Fuente: Hernández Muñoz, 1990

La renovación natural del recurso se realiza a través del ciclo hidrológico. Por precipitación cae 28% del agua en la tierra y el 72% en el mar. El agua que cae en la tierra se distribuye de la siguiente manera:

- 7% se percola a los acuíferos
- 8% va al mar por escurrimientos y,
- el 13% restante, regresa a la atmósfera por evaporación (de los cuerpos de agua superficiales) y evapotranspiración (de la cubierta vegetal).

De tal manera que sólo el 7% del agua de lluvia se almacena en la tierra para su posible empleo como agua dulce, mientras que el 93% se pierde por medios físicos o biológicos (evapotranspiración).

Aparte de la condición climática, la distribución y abundancia del agua en el mundo depende de la geología, orografía, tipo de suelo y cubierta vegetal. Estos

factores, por sí mismos, imponen variaciones espaciales y temporales en la abundancia del recurso. En especial, para la disponibilidad del agua subterránea (principal fuente de agua para consumo humano debido a que generalmente tiene una mejor calidad) influye el tipo de suelo (permeabilidad, grado de drenaje y la relación entre erosión e infiltración). Como resultado, la distribución mundial del agua útil es muy desigual, a tal grado que ocho países (Canadá, Noruega, Brasil, Venezuela, Suecia, Australia, la Comunidad de Estados Independientes y Estados Unidos) concentran prácticamente el 90% del recurso, mientras que otros (Egipto, Sudáfrica) deben completar su abastecimiento con la importación de los excedentes de otras naciones. Por si fuera poco, la carencia de infraestructura adecuada para el aprovechamiento del agua, acrecienta las diferencias. En efecto, mientras 3,400 millones de personas cuentan con una dotación de apenas 50 L/d, en países desarrollados este valor fácilmente sobrepasa los 400 L/hab xd (Garduño, 1992),

El índice de escasez calculado con la metodología de Falkenmark (1989) para México, sitúa al país como una región con disponibilidad de agua comprometida por su variación temporal y su posible contaminación, de tal suerte que si no desarrollamos una administración adecuada para su manejo, almacenamiento y protección, los mexicanos sufriremos escasez de agua.

### 1.3 CANTIDAD Y CALIDAD

La disponibilidad del agua depende no sólo de la cantidad, sino también de su calidad. Aunque haya agua, si está contaminada y se encuentra en una condición tal que sea no acorde con el uso que se le quiere dar, su empleo se limita.

En la antigüedad, la calidad del agua se calificaba sólo por su aspecto, sabor, color y olor. Actualmente, los avances científicos y tecnológicos han repercutido en el desarrollo de técnicas analíticas y procesos capaces de identificar y de remover una amplia lista de compuestos, a tal grado que es posible hacer agua "potable" mediante la depuración del agua residual. Sin embargo, debido a su costo, tales conocimientos no se aplican en forma común; más aún, no se plasman en políticas integrales de administración del agua que busquen:

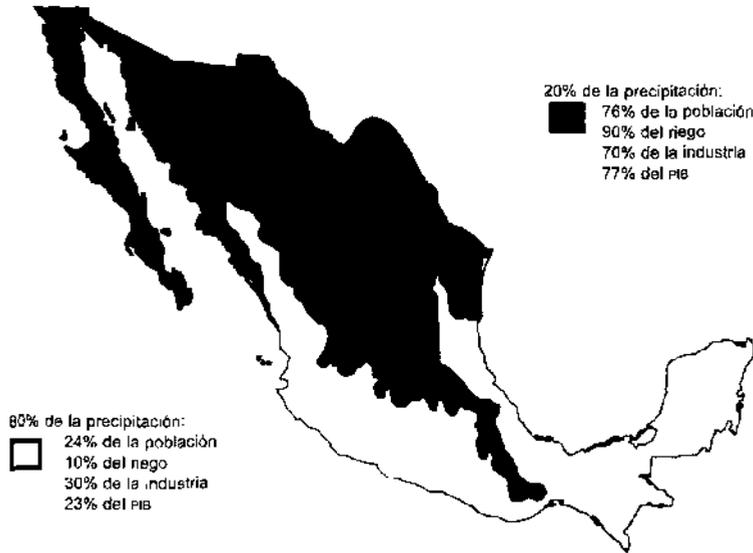
- La conservación del recurso (agua superficial y subterránea),
- la preservación de su calidad, y,
- su uso eficiente (reúso, ahorro y recirculación del agua).

Así, queda aún mucho por lograr en términos del mejoramiento de la calidad y la distribución de la cantidad, tanto en el Tercer Mundo como en los países

desarrollados, en aspectos que pueden ser similares o muy diferentes. Los retos actuales abarcan desde el suministro de agua microbiológicamente aceptable, mediante el empleo de procesos sencillos (como la cloración), hasta el desarrollo de sofisticados métodos de control para remover contaminantes complejos y de daño a largo plazo, e incluso, de efectos poco conocidos.

### 1.3.1 El agua en México

El 67% del territorio mexicano es árido o semiárido y solamente el 33% es húmedo o subhúmedo. La precipitación media anual es de 777 mm, de los cuales cerca del 27% se transforma en un escurrimiento de 13,000 m<sup>3</sup>/s con una parte no recuperable de aproximadamente 3,488 m<sup>3</sup>/s (Garduño, 1992). Al igual que en el resto del mundo, la distribución es muy irregular y se concentra principalmente en el Sur, en las cuencas de los ríos Grijalva-Usumacinta, Papaloapan, Pánuco y Balsas, durante una estación de pocos meses. En el Norte y altiplano central - regiones que representan más de la mitad del territorio nacional- se registra casi el 20% del escurrimiento medio anual y es allí donde se encuentran las dos terceras partes de la población, la mayor parte de la industria y las zonas agrícolas (figura 1). Así, aun cuando el balance global del país es positivo, los balances regionales en casi la mitad del territorio muestran un déficit considerable. Tal es el caso de las regiones de Baja California, Bravo, Lerma y el valle de México. La figura 2 muestra el balance hidráulico nacional y la figura 3 muestra la distribución de agua en México por cuenca hidrológica.



**Figura 1. Distribución nacional del agua**

*Fuente: Balance Hidráulico Nacional, 1995.*

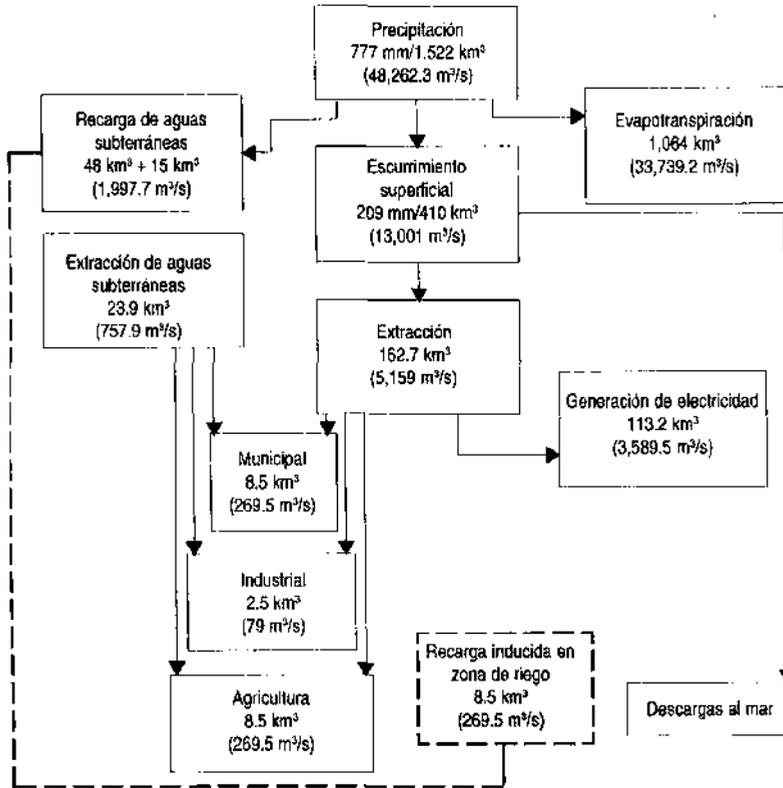


Figura 2. Balance Hidráulico Nacional (base anual)

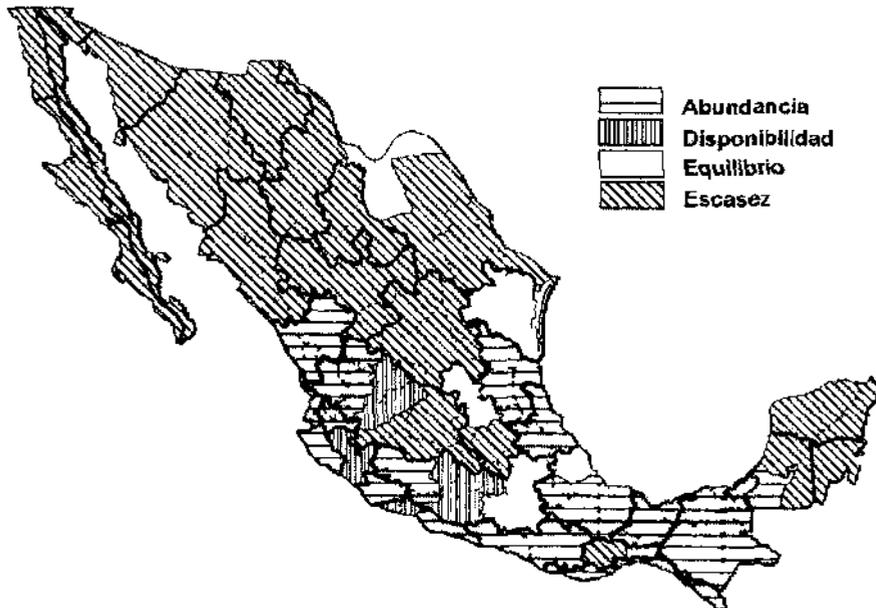
Fuente: OCDE, 1998

### 1.4 USOS

Los usos que se pueden dar al agua son variados y se clasifican en:

1. Consumo humano (bebida, cocina y procesamiento de alimentos),
2. Limpieza personal.
3. Cultivo de peces, mariscos o cualquier otro tipo de vida acuática.
4. Agricultura.
5. Industria.

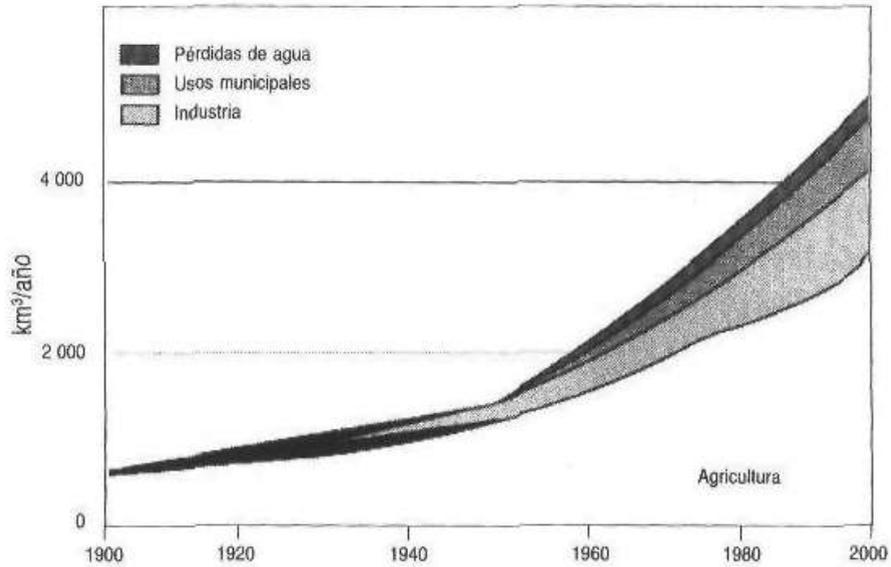
6. Municipales (riego de jardines, lavado de coches, fuentes de ornato, lavado de calles e instalaciones públicas).
7. Recreativos (natación, veleo, etc.).
8. Transporte de desechos.



**Figura 3. Distribución del agua en México por cuenca hidrológica.**

*Fuente. Jiménez y Ramos, 1995.*

El último uso (transporte de desechos), aunque pareciera inaceptable, actualmente se da con frecuencia, a muchos cuerpos de agua, a pesar de que esta práctica limita la posibilidad de emplearlos para otros fines. La figura 4 muestra el empleo del agua en el ámbito mundial.



**Figura 4. Empleo del agua a nivel mundial.**

Fuente: Postel, 1992

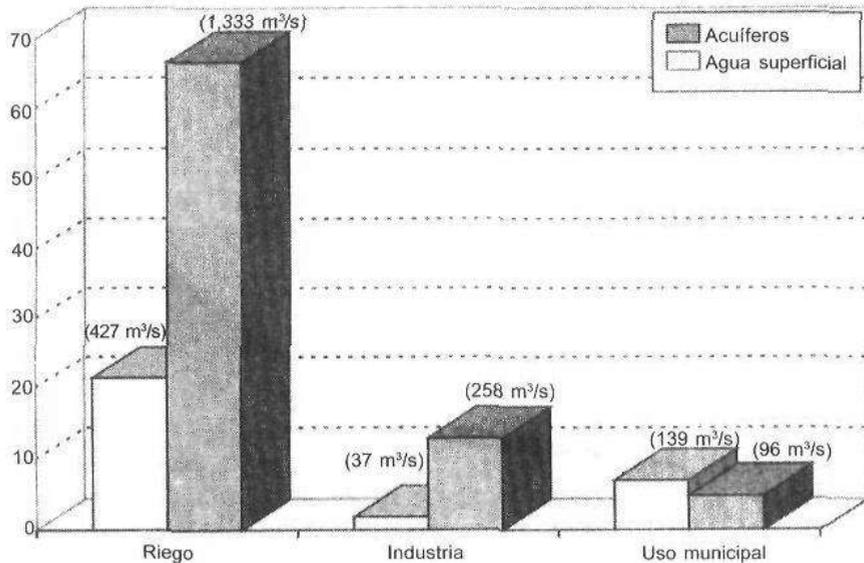
### 1.4.1 En qué se usa el agua en México

La extracción del agua en México alcanza cerca de 186.4 km<sup>3</sup> por año (5,920 m<sup>3</sup>/s), esto es, 45% de la precipitación del país. La generación hidroeléctrica demanda el mayor volumen de extracción (60%), mientras que la irrigación es el 80% del consumo. La tabla 2 muestra, de acuerdo con la Comisión Nacional del Agua, la extracción y uso sin considerar la generación de energía. Cabe mencionar que México ocupa el séptimo lugar mundial en áreas irrigadas (6 de las 21 millones de hectáreas son de riego). Con respecto a los usos municipales, el 83.5% de la población cuenta con servicios de agua potable y 67% con alcantarillado (Plan Hidráulico 1995-2000).

**Tabla 2. Extracción, consumo y descarga del agua en el país por los diferentes usos**

| USO              | EXTRACCIÓN        |     | CONSUMO           |     | DESCARGA          |     |
|------------------|-------------------|-----|-------------------|-----|-------------------|-----|
|                  | m <sup>3</sup> /s | %   | m <sup>3</sup> /s | %   | m <sup>3</sup> /s | %   |
| Riego            | 1760              | 77  | 1478              | 88  | 282               | 46  |
| Industria        | 295               | 13  | 117               | 7   | 178               | 26  |
| Usos municipales | 235               | 10  | 86                | 5   | 149               | 25  |
| TOTAL            | 2290              | 100 | 1681              | 100 | 609               | 100 |

Fuente: Comisión Nacional del Agua, 1995.



**Figura 5. Empleo nacional del agua por los sectores agrícola, industrial y municipal según su procedencia.**

La figura 5 muestra cómo se explota el agua superficial y subterránea para diversos fines. El empleo de acuíferos representa el 27% de la extracción total y es muy notorio que el sector que más la emplea es el riego (76% del total). Normalmente, este tipo de agua es considerado de muy alta calidad y se prefiere preservar para el consumo humano, principalmente porque el uso del agua para riego tiene eficiencias muy bajas (del orden del 50%).

### 1.5 CALIDAD DEL AGUA

El agua —a diferencia del aire— tiene una composición precisa ( $H_2O$ ) y, por lo tanto, es fácil identificar los compuestos ajenos a ella. Sin embargo, la definición de cuáles son contaminantes es difícil. Es un hecho que el agua rara vez se encuentra en forma pura y, afortunadamente, para fines prácticos no se le requiere así o no importa el que contenga otros compuestos; todo depende del uso que se le dé.

En general, se considera como "contaminante" al exceso de materia o energía (calor) que provoque daño a los humanos, animales, plantas y bienes, o bien, que perturbe negativamente las actividades que normalmente se desarrollan cerca o dentro del agua. De esta forma, no existe una división precisa entre las aguas contaminadas y las no contaminadas; este calificativo se atribuye en función del uso, las exigencias higiénicas y del grado de avance de la ciencia y tecnología

para determinar los efectos y medir los contaminantes. A pesar de la dificultad para definir la contaminación, es claro que ésta provoca el abatimiento o muerte de la flora y fauna, impide el uso del agua en industrias o ciudades y deteriora el medio ambiente, e incluso, el paisaje.

El origen de la contaminación es muy variado pero se pueden citar como causantes a los desechos urbanos e industriales, los drenados de la agricultura y de minas, la erosión, los derrames de sustancias tóxicas (accidentales o intencionales), los efluentes de plantas depuradoras, los subproductos de los procesos de depuración, la ruptura de drenajes y el lavado de la atmósfera, entre otros. No hay duda de que el "solvente universal" no sólo disuelve, sino además arrastra y emulsiona a gran número de compuestos con los que entra en contacto a lo largo de su ciclo y que modifican su calidad. El problema del agua es complejo; para poder hacer uso de ella se requiere que tenga la calidad adecuada y exista en cantidad suficiente durante un periodo y época del año determinados, Para evaluar la cantidad disponible de agua, tomando en cuenta su calidad, se utilizan índices de calidad del agua. Jiménez, y otros autores, en 1992, desarrollaron el cálculo de un índice conocido como potencial de uso (PU), Con él se toma en cuenta la calidad del agua a partir de la información disponible, es decir, por medio de la caracterización<sup>1</sup> (actual y futura) de los cuerpos de agua, el empleo que se les va a dar y la cantidad disponible (lo ideal, "ecológicamente disponible"). Determinando el promedio del número de veces que los parámetros, de los que se tiene información para una región dada, exceden el criterio de un uso determinado. La figura 6 muestra las principales cuencas contaminadas del país en función del potencial de uso del agua para abastecimiento en los cuerpos de agua superficiales desarrollado por Jiménez (Jiménez *et al.*, 1992).

<sup>1</sup> Por caracterización del agua se entiende medir los valores de diversos parámetros físicos, químicos y biológicos, por ejemplo, la DQO (Demanda Química de Oxígeno), los SST (sólidos suspendidos totales) y el contenido de Coliformes fecales.



Figura 6. Potencial de uso del agua en algunas cuencas del país

## 1.6 CLASIFICACIÓN DE LOS COMPUESTOS PRESENTES EN EL AGUA

La barrera entre qué es contaminante y qué es un compuesto benéfico, muchas veces es cuestión de la cantidad en la cual se encuentra una sustancia, valor que no es universal para los seres vivos o usos del agua.

### 1.6.1 De acuerdo con su naturaleza

Se distinguen los contaminantes en químicos, biológicos y físicos.

**Químicos.** Los compuestos químicos provienen de los drenados de minas, desechos solubilizados de la agricultura, derrames de petróleo, pesticidas, aguas residuales municipales, desechos líquidos industriales y compuestos radiactivos. Producen efectos diversos y pueden ser de origen natural o sintético. Algunos son desechados directamente, otros, se forman por la reacción entre diferentes compuestos en el agua y, por último, una pequeña fracción se forma durante el procesamiento del agua. Entre estos últimos se encuentran los organoclorados (tetracloruro de carbono y cloroformo, principalmente) que se forman durante la desinfección del agua con cloro.

**Biológicos.** Son seres vivos que provocan enfermedades en el hombre u otras especies. Las más comunes en el hombre son la tifoidea, la salmonelosis, disentería, cólera y helmintiasis. Los agentes que las causan entran al agua a través de las heces fecales de humanos o animales. Para tener una idea de la magnitud de este problema, se estima que el 80% de todas las enfermedades, y más de 1/3 de los fallecimientos en países en vías de desarrollo, se debe al consumo de agua contaminada.

**Físicos.** Son alteraciones de las propiedades físicas del agua, tales como la temperatura, color, etc. Su origen y efectos son diversos.

### 1.6.2 De acuerdo con el tamaño

Según la medida del contaminante, existe:

**Materia suspendida.** Corresponde a moléculas en fase dispersa con diámetro equivalente entre 1 y 100  $\mu\text{m}$ .

**Materia coloidal.** Es materia suspendida con características similares a la materia disuelta. Tiene diámetro equivalente entre  $10^{-3}$  y 1  $\mu\text{m}$  y se caracteriza por ser de sedimentación muy lenta.

**Materia disuelta.** Son moléculas o iones disueltos con diámetro equivalente entre  $10^{-5}$  y  $10^{-3}$   $\mu\text{m}$ .

En general, la dificultad para eliminar los contaminantes es de mayor a menor en este orden: disueltos, coloidales y suspendidos.

### 1.6.3 De acuerdo al grupo al que pertenece

Esta clasificación tiende a agrupar compuestos similares, independientemente de sus efectos o fuentes. Los grupos más comunes que se distinguen son los que se mencionan en la Tabla 3.

**Tabla 3. Clasificación por grupo**

|                                     |
|-------------------------------------|
| Biológicos                          |
| Bifenilos policlorados              |
| Compuestos orgánicos biodegradables |
| Orgánicos refractarios              |
| Detergentes                         |
| Éteres                              |
| Fenoles                             |
| Hidrocarburos                       |
| Metales                             |
| No metales                          |
| Nutrientes (N y P)                  |
| Orgánicos refractarios              |
| Plaguicidas                         |
| Radiactivos                         |
| Radicales (CN <sup>-</sup> )        |

### 1.6.4 De acuerdo con su clasificación como contaminantes convencionales o tóxicos prioritarios

La Tabla 4 muestra los parámetros empleados para medir los contaminantes convencionales, que fueron los primeros en ser atendidos por la Ingeniería Ambiental.

**Tabla 4. Contaminantes Convencionales**

| CONTAMINANTES CONVENCIONALES | PARÁMETROS   |
|------------------------------|--|
| <b>Físicos</b>               | Color<br>Olor<br>Sabor<br>Temperatura<br>Turbiedad<br>Sólidos<br>Conductividad   |
| <b>Químicos</b>              | Alcalinidad<br>Oxígeno Disuelto<br>pH<br>No Metales<br>Metales<br>Nutrientes (N y P)<br>Dureza<br>Cloro Residual   |
| <b>Materia Orgánica</b>      | Demanda Química de Oxígeno (DQO)<br>Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO)<br>Carbono Orgánico Total (COT)<br>Extractables con Cloroformo<br>Sustancias Activas al Azul de Metileno (SAAM)<br>Grasas y aceites<br>Fenoles |

| CONTAMINANTES CONVENCIONALES | PARÁMETROS   |
|------------------------------|--|
| <b>Bacteriológicos</b>       | Coliformes Fecales<br>Vibrio Cholerae<br>Shigella<br>Salmonella<br>Giardia Lamblia |

Un tóxico es cualquier sustancia química capaz de causar daño, debilitar o matar a cualquier organismo vivo. Los efectos que producen son en función del tipo de sustancia, concentración y metabolismo. En general, son teratogénicas (que producen anomalías o monstruosidades en animales o plantas), mutagénicas (producen cambios genéticos), carcinogénicas o venenosas. Una característica relevante es que son acumulables, y su efecto se manifiesta sólo después de un cierto periodo de exposición. Entre una concentración tolerable y una letal hay un nivel intermedio en donde se presentan efectos secundarios. Este valor inferior corresponde al umbral del valor límite (UVL) y representa la máxima concentración a la cual un organismo puede ser expuesto continuamente sin sufrir trastornos. El UVL se utiliza para definir los estándares de contaminación.

En México, no ha sido definida una lista a este respecto; sin embargo, con el objeto de que se cuente con una lista de sustancias tóxicas de atención prioritaria en cuerpos de agua, el Instituto de Ingeniería de la UNAM, a partir de un estudio bibliográfico, propuso un total de 52 sustancias, de las cuales el 77% corresponde a plaguicidas y el 23% son de origen industrial (Tabla 5). Esta selección tiene como fundamento la frecuencia a escala nacional, la persistencia en zonas agrícola toxicidad, la bioacumulación, la bioconcentración y la movilidad de los contaminantes en cuerpos de agua superficiales y subterráneos.

**Tabla 5. Sustancias Tóxicas Prioritarias en agua propuestas para México**

| COMPUESTO TÓXICO |                     |     |            |
|------------------|---------------------|-----|------------|
| 1.               | 1,1,1-tricloroetano | 27. | Fotato     |
| 2.               | 2,4-D               | 28. | Fosetil-al |
| 3.               | Aldicarb            | 29. | Imazapir   |
| 4.               | Benceno             | 30. | Imazetapir |

| COMPUESTO TÓXICO |                       |     |                         |
|------------------|-----------------------|-----|-------------------------|
| 5.               | Captofol              | 31. | Isoforona               |
| 6.               | Carbaril              | 32. | Lindano                 |
| 7.               | Cianuros              | 33. | Maneb                   |
| 8.               | Clordano              | 34. | Metomilo                |
| 9.               | Cloroformo            | 35. | MSMA                    |
| 10.              | Clorotalonil          | 36. | Naftaleno               |
| 11.              | Clorotolurón          | 37. | Oxadiazón               |
| 12.              | Cloruro de metileno   | 38. | Paraquat                |
| 13.              | Cobre (compuestos de) | 39. | Pentaclorofenol         |
| 14.              | Dalapón               | 40. | Prometrina              |
| 15.              | Dazomet               | 41. | Quinometionato          |
| 16.              | Diclorvos             | 42. | Quitozeno               |
| 17.              | Dicofol               | 43. | Setoxidin               |
| 18.              | Dietilftalato         | 44. | Simazina                |
| 19.              | Diflubenzurón         | 45. | Terbutrina              |
| 20.              | Dimetoato             | 46. | Tetracloruro de carbono |
| 21.              | Endosulfán            | 47. | Thiabendazol            |
| 22.              | EPN                   | 48. | Tolueno                 |
| 23.              | Fenitrotión           | 49. | Tricloroetileno         |
| 24.              | Fenol                 | 50. | Triflurarina            |
| 25.              | Fluometurón           | 51. | Triforina               |
| 26.              | Folpet                | 52. | Vinclozólín             |

Fuente: Arévila, Ramos y Jiménez, 1996. [1]

## 1.7 EFECTOS DE LA CONTAMINACIÓN DEL AGUA

Entre los efectos de la contaminación del agua se encuentran los que afectan a la salud humana. La presencia de nitratos (sales del ácido nítrico) en el agua potable puede producir una enfermedad infantil que en ocasiones es mortal. El cadmio presente en los fertilizantes derivados del cieno o lodo, puede ser absorbido por las cosechas; de ser ingerido en cantidad suficiente, este metal puede producir un trastorno diarreico agudo, así como lesiones en el hígado y los riñones. Hace tiempo que se conoce o se sospecha de la peligrosidad de sustancias inorgánicas, como el mercurio, el arsénico y el plomo.

Los lagos son especialmente vulnerables a la contaminación. Existe un problema, la eutrofización, que se produce cuando el agua se enriquece de modo artificial con nutrientes, lo que produce un crecimiento anormal de las plantas. Los fertilizantes químicos arrastrados por el agua desde los campos de cultivo, pueden ser los responsables. El proceso de eutrofización puede ocasionar problemas estéticos, como mal sabor y olor, así como un cúmulo de algas o verdín desagradable a la vista. También puede causar un crecimiento denso de las plantas con raíces, agotamiento del oxígeno en las aguas más profundas y la acumulación de sedimentos en el fondo de los lagos, así como otros cambios químicos, tales como la precipitación del carbonato de calcio en las aguas duras. Otro problema cada vez más preocupante es la lluvia ácida, que ha dejado muchos lagos del norte y el este de Europa y del noreste de Norteamérica totalmente desprovistos de vida.

## 1.8 CONTAMINACIÓN MARINA

Los vertidos que llegan directamente al mar contienen sustancias tóxicas que los organismos marinos absorben de forma inmediata. Además, forman importantes depósitos en los ríos que generan a su vez, un desarrollo enorme de nuevos elementos contaminantes y un crecimiento excesivo de organismos indeseables. Estos depósitos proceden de las estaciones depuradoras, de los residuos de dragados (especialmente en los puertos y estuarios), de las grabas, de las arenas, así como de una gran variedad de sustancias tóxicas orgánicas y químicas.

Vertidos de petróleo (mareas negras)

Las descargas accidentales a gran escala de petróleo líquido son una importante causa de contaminación de las costas. Los casos más espectaculares de contaminación por crudos suelen estar a cargo de los superpetroleros empleados para transportarlos. La explotación de las plataformas petrolíferas marinas supone también una importante aportación de vertidos. Se estima, que de cada millón de toneladas de crudo embarcadas se vierte una tonelada al mar. Entre las mayores mareas negras registradas hasta el momento se encuentran la producida por el

petrolero *Amoco Cádiz* frente a las costas francesas en 1978 (1,6 millones de barriles de crudo) y la producida por el pozo petrolífero Ixtoc I en el golfo de México en 1979 (3,3 millones de barriles). El vertido de 240.000 barriles por el petrolero *Exxon Valdez* en el Prince William Sound, en el golfo de Alaska, en marzo de 1989, produjo, en el plazo de una semana, una marea negra de 6.700 km<sup>2</sup>, que puso en peligro la vida silvestre y las pesquerías de toda el área. Por el contrario, los 680.000 barriles vertidos por el *Braer* frente a la costa de las islas Shetland en enero de 1993 se dispersaron en pocos días por acción de las olas propias de unas tormentas excepcionalmente fuertes.

Los vertidos de petróleo acaecidos en el golfo Pérsico en 1983, durante el conflicto Irán-Irak, y en 1991, durante la Guerra del Golfo, en los que se liberaron hasta 8 millones de barriles de crudo, produjeron enormes daños en toda la zona, sobre todo por lo que se refiere a la vida marina.

## 1.9 DEPURACIÓN DE AGUAS

La depuración de aguas es el nombre que reciben los distintos procesos implicados en la extracción, tratamiento y control sanitario de los productos de desecho arrastrados por el agua y procedentes de viviendas e industrias. La depuración cobró importancia progresivamente desde principios de la década de 1970 como resultado de la preocupación general expresada en todo el mundo sobre el problema, cada vez mayor, de la contaminación humana del medio ambiente, por los desperdicios domésticos, industriales, municipales y agrícolas. Algunos cuerpos de agua no tienen suficiente espacio para autodepurarse y acaban convirtiéndose en cloacas.

### Las aguas residuales

El origen, composición y cantidad de los desechos están relacionados con los hábitos de vida vigentes. Cuando un producto de desecho se incorpora al agua, el líquido resultante recibe el nombre de agua residual.

Las aguas residuales tienen un origen doméstico, industrial y meteorológico, y estos tipos de aguas residuales suelen llamarse respectivamente, domésticas, industriales y pluviales.

Las aguas residuales domésticas son el resultado de actividades cotidianas de las personas. La cantidad y naturaleza de los vertidos industriales es muy variada, dependiendo del tipo de industria, de la gestión de su consumo de agua y del grado de tratamiento que los vertidos reciben antes de su descarga. Una acería, por ejemplo, puede descargar entre 5.700 y 151.000 litros por tonelada de acero fabricado. Si se practica el reciclado, se necesita menos agua.

Las aguas pluviales transportan una gran cantidad de sustancias contaminantes que están en contacto con el suelo, como resultado de la actividad humana. En zonas de cultivo, por ejemplo, el agua de lluvia arrastra cierta cantidad de sedimentos contaminados por los diferentes agroquímicos utilizados como fertilizantes o pesticidas.

Un área metropolitana estándar vierte un volumen de aguas residuales que oscila entre el 60 y el 80% de sus abastecimientos diarios totales el resto se usa para lavar coches y regar jardines, así como en procesos como el enlatado y embotellado de alimentos.

### **Composición**

La composición de las aguas residuales se determina con los resultados de diversas mediciones físicas, químicas y biológicas. Las mediciones más comunes incluyen la determinación del contenido de sólidos, la demanda bioquímica de oxígeno (DBO<sub>5</sub>), la Demanda Química de Oxígeno (DQO) y el pH.

Los residuos sólidos contenidos en las aguas residuales comprenden los sólidos disueltos y en suspensión. Los sólidos disueltos son capaces de atravesar un papel de filtro, no así los suspendidos que quedan atrapados. Los sólidos en suspensión se dividen a su vez en sedimentables y no sedimentables (flotantes), dependiendo del número de miligramos de sólido que se depositan a partir de 1 litro de agua residual en una hora, durante la prueba correspondiente (sedimentación en Conos). Todos estos sólidos pueden dividirse en volátiles y fijos, siendo los volátiles, por lo general, productos orgánicos y los fijos materia inorgánica o mineral.

La concentración de materia orgánica se determina a través de los análisis de la DBO<sub>5</sub> y la DQO. La DBO<sub>5</sub> se emplea para comprobar la carga orgánica de las aguas residuales municipales e industriales biodegradables, antes y después de un tratamiento. La DQO se usa para comprobar la carga orgánica de aguas residuales que, o no son biodegradables o contienen compuestos que inhiben la actividad de los microorganismos.

No es fácil caracterizar la composición de los residuos industriales con arreglo a un rango típico de valores dado, según el proceso de fabricación. La concentración de un residuo industrial se pone de manifiesto enunciando el número de personas o el equivalente de población (PE) necesario para producir la misma cantidad de residuos. Se acostumbra a expresarse este valor en términos de DBO<sub>5</sub>. Para la determinación de la PE, se emplea un valor medio de 0.077 kg, en 5 días, a 20 °C de DBO por persona y día. El equivalente de población de un matadero, por ejemplo, oscilará entre 5 y 25 PE por animal.

### 1.9.1 Depuración de aguas residuales

El tratamiento de aguas residuales en las plantas depuradoras municipales suelen clasificarse en primario, secundario o terciario.

**Tratamiento primario:** Las aguas residuales que entran en una depuradora contienen materiales que podrían atascar o dañar las bombas y la maquinaria. Estos materiales se eliminan por medio de enrejados o barras verticales y se queman o se entierran tras ser recogidos manual o mecánicamente. El agua residual pasa a continuación a través de una trituradora, donde las hojas y otros materiales orgánicos son triturados para facilitar su posterior procesamiento y eliminación.

Una vez que los materiales sólidos son removidos, el agua residual pasa a una cámara de arena. En el pasado, se usaban tanques de deposición, largos y estrechos, en forma de canales, para eliminar materia inorgánica o mineral como arena, sedimentos y grava. Estas cámaras estaban diseñadas de modo que permitieran que las partículas inorgánicas de 0.2 mm o más se depositaran en el fondo, mientras que las partículas más pequeñas y la mayoría de los sólidos orgánicos que permanecen en suspensión continuaban su recorrido. Hoy en día las más usadas son las cámaras aireadas de flujo en espiral con fondo en tolva, o clarificadores, provistos de brazos mecánicos encargados de raspar. Así de esta manera se elimina el residuo mineral que posteriormente se vierte en vertederos sanitarios. La acumulación de estos residuos puede ir de los 0.08 a los 0.23 m<sup>3</sup> por cada 3.8 millones de litros de aguas residuales.

Una vez eliminada la fracción mineral sólida, el agua pasa a un depósito de sedimentación donde se depositan los materiales orgánicos, que son retirados para su eliminación. El proceso de sedimentación puede reducir de un 20 a un 40% la DBO<sub>5</sub> y de un 40 a un 60% los sólidos en suspensión.

La tasa de sedimentación se incrementa en algunas plantas de tratamiento industrial incorporando procesos llamados coagulación y floculación químicas al tanque de sedimentación. La coagulación es un proceso que consiste en añadir productos químicos como el sulfato de aluminio, el cloruro férrico o polielectrolitos a las aguas residuales; esto altera las características superficiales de los sólidos en suspensión de modo que se adhieren los unos a los otros y precipitan. La floculación provoca la aglutinación de los sólidos en suspensión. Ambos procesos eliminan más del 80% de los sólidos en suspensión.

Una alternativa a la sedimentación, utilizada en el tratamiento de algunas aguas residuales, es la flotación, en la que se fuerza la entrada de aire en las mismas, a presiones de entre 1.75 y 3.5 kg por cm<sup>2</sup>. El agua residual, supersaturada de aire, se descarga a continuación en un depósito abierto. En él, la ascensión de las

burbujas de aire hace que los sólidos en suspensión suban a la superficie, de donde son retirados. La flotación puede eliminar más de un 75% de los sólidos en suspensión.

La digestión es un proceso microbiológico que convierte el lodo, orgánicamente complejo, en metano, dióxido de carbono y un material inofensivo similar al humus. Las reacciones se producen en un tanque cerrado o digestor, en ausencia de oxígeno (proceso anaerobio). La conversión se produce mediante una serie de reacciones. En primer lugar, la materia sólida se hace soluble por la acción de enzimas. La sustancia resultante se fermenta por la acción de un grupo de bacterias productoras de ácidos, que la reducen a ácidos orgánicos sencillos, como el ácido acético. Los ácidos orgánicos son convertidos en metano y dióxido de carbono por bacterias. Se añade lodo espesado y calentado al digestor tan frecuentemente como sea posible, donde permanece entre 10 y 30 días hasta que se descompone. La digestión reduce el contenido en materia orgánica entre un 45 y un 60 por ciento.

El lodo digerido se extiende sobre lechos de arena para extraer el agua. La absorción por la arena y la evaporación son los principales procesos responsables de la desecación. El secado al aire requiere un clima seco y relativamente cálido para que su eficacia sea óptima, y algunas depuradoras tienen una estructura tipo invernadero para proteger los lechos de arena. El lodo desecado se usa sobre todo como acondicionador del suelo; en ocasiones se usa como fertilizante, debido a que contiene un 2% de nitrógeno y un 1% de fósforo.

**Tratamiento secundario:** Una vez eliminados entre un 40 y un 60% de los sólidos en suspensión y reducida de un 20 a un 40% la DBO<sub>5</sub> por medios físicos en el tratamiento primario, el tratamiento secundario reduce la cantidad de materia orgánica en el agua. Por lo general, los procesos microbianos empleados son aeróbicos, es decir, los microorganismos actúan en presencia de oxígeno disuelto. El tratamiento secundario supone, el emplear y acelerar los procesos naturales de eliminación de los residuos. En presencia de oxígeno, las bacterias aeróbicas convierten la materia orgánica en formas estables, como dióxido de carbono, agua, nitratos y fosfatos, así como otros materiales orgánicos. La producción de materia orgánica nueva es un resultado indirecto de los procesos de tratamiento biológico, y debe eliminarse antes de descargar el agua en el cauce receptor.

Existen diversos procesos alternativos para el tratamiento secundario, incluyendo el filtro de goteo, el lodo activado y las lagunas.

#### Filtro de goteo

En este proceso, una corriente de aguas residuales se distribuye intermitentemente sobre un lecho o columna de algún medio poroso revestido con

una película gelatinosa de microorganismos que actúan como agentes destructores. La materia orgánica de la corriente de agua residual es absorbida por la película microbiana y transformada en dióxido de carbono y agua. El proceso de goteo, cuando va precedido de sedimentación, puede reducir cerca de un 85% la DBO<sub>5</sub>.

#### Fango activado

Se trata de un proceso aeróbico en el que partículas gelatinosas de lodo quedan suspendidas en un tanque de aireación y reciben oxígeno. Las partículas de lodo activado, llamadas *floc*, están compuestas por millones de bacterias en crecimiento activo aglutinadas por una sustancia gelatinosa. El *floc* absorbe la materia orgánica y la convierte en productos aeróbicos. La reducción de la DBO<sub>5</sub> fluctúa entre el 60 y el 85 por ciento.

Un importante acompañante en toda planta que use lodo activado o un filtro de goteo es el clarificador secundario, que elimina las bacterias del agua antes de su descarga.

#### *Estanque de estabilización o laguna*

Otra forma de tratamiento biológico es el estanque de estabilización o laguna, que requiere una extensión de terreno considerable y, por tanto, suelen construirse en zonas rurales. Las lagunas opcionales, que funcionan en condiciones mixtas, son las más comunes, con una profundidad de 0.6 a 1.5 m y una extensión superior a una hectárea. En la zona del fondo, donde se descomponen los sólidos, las condiciones son anaerobias; la zona próxima a la superficie es aeróbica, permitiendo la oxidación de la materia orgánica disuelta y coloidal. Puede lograrse una reducción de la DBO<sub>5</sub> de un 75 a un 85 por ciento.

#### *Tratamiento avanzado de las aguas residuales*

Si el agua que ha de recibir el vertido requiere un grado de tratamiento mayor que el que puede aportar el proceso secundario, o si el efluente va a reutilizarse, es necesario un tratamiento avanzado de las aguas residuales. A menudo se usa el término tratamiento *terciario* como sinónimo de tratamiento avanzado, pero no son exactamente lo mismo. El tratamiento terciario, o de tercera fase, suele emplearse para eliminar el fósforo, mientras que el tratamiento avanzado podría incluir pasos adicionales para mejorar la calidad del efluente eliminando los contaminantes recalcitrantes. Existen procesos que permiten eliminar más de un 99% de los sólidos en suspensión y reducir la DBO<sub>5</sub> en similar medida. Los sólidos disueltos se reducen por medio de procesos como la ósmosis inversa y la electrodiálisis. La eliminación del amoníaco, la desnitrificación y la precipitación de los fosfatos pueden reducir el contenido en nutrientes. Si se pretende la reutilización del agua

residual, la desinfección por tratamiento con ozono es considerada el método más fiable, excepción hecha de la cloración extrema. Es probable que en el futuro se generalice el uso de estos y otros métodos de tratamiento de los residuos a la vista de los esfuerzos que se están haciendo para conservar el agua mediante su reutilización.

El vertido final del agua tratada se realiza de varias formas. La más habitual es el vertido directo a un río o lago receptor. En aquellas partes del mundo que se enfrentan a una creciente escasez de agua, tanto de uso doméstico como industrial, las autoridades empiezan a recurrir a la reutilización de las aguas tratadas para rellenar los acuíferos, regar cultivos no comestibles, procesos industriales, recreo y otros usos. Durante este proceso, se crea un medio alcalino (pH elevado) para potenciar el proceso. En el paso siguiente se emplea la recarbonatación para volver a un pH neutro. A continuación se filtra el agua a través de múltiples capas de arena y carbón vegetal y el amoníaco es eliminado por ionización. Los pesticidas y demás compuestos orgánicos aún en suspensión son absorbidos por un filtro granular de carbón activado. Los virus y bacterias se eliminan por ozonización. En esta fase el agua debería estar libre de todo contaminante pero, para mayor seguridad, se emplean la segunda fase de absorción sobre carbón y la ósmosis inversa y, finalmente, se añade dióxido de cloro para obtener un agua de calidad máxima.

**CAPÍTULO 2.**

**IMPORTANCIA Y APLICACIÓN DE LOS  
PARÁMETROS DEMANDA QUÍMICA DE  
OXÍGENO (DQO) Y DEMANDA  
BIOQUÍMICA DE OXÍGENO (DBO<sub>5</sub>) PARA  
EL TRATAMIENTO Y LA  
CARACTERIZACIÓN DE AGUAS  
CONTAMINADAS**

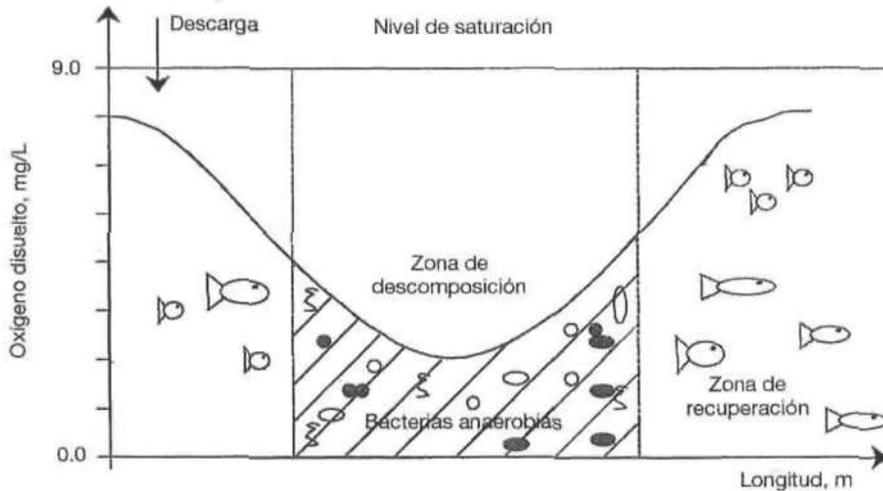
## 2. IMPORTANCIA Y APLICACIÓN DE LOS PARÁMETROS DEMANDA QUÍMICA DE OXÍGENO (DQO) Y DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXÍGENO (DBO<sub>5</sub>) PARA EL TRATAMIENTO Y LA CARACTERIZACIÓN DE AGUAS CONTAMINADAS

### 2.1 OXÍGENO DISUELTO

La determinación de Oxígeno Disuelto es muy importante en Ingeniería Ambiental por ser el factor que determina la existencia de condiciones aerobias o anaerobias en un medio particular. La determinación de O.D. sirve como base para cuantificar DBO, aerobividad de los procesos de tratamiento, tasas de aireación en los procesos de tratamiento aerobios y grado de contaminación de ríos. El O.D. se presenta en cantidades variables y bajas en el agua; su contenido depende de la concentración y estabilidad del material orgánico presente y es, por ello, un factor muy importante en la autodepuración de los ríos. Los valores de O.D. en aguas son bajos y disminuyen con la temperatura. El oxígeno libre en solución, especialmente cuando está acompañado de CO<sub>2</sub>, es un agente de corrosión importante del hierro y el acero. [2]

#### 2.1.1 Curva de pandeo del oxígeno

Toda corriente posee una capacidad de autodepuración propia que se realiza mediante la oxidación aerobia de la materia orgánica biodegradable. La capacidad de remoción está así íntimamente ligada con la concentración de oxígeno disuelto. El proceso de autodepuración se describe mediante la variación de la concentración de oxígeno disuelto a lo largo del cuerpo receptor (figura 7). Los primeros en describir matemáticamente la curva fueron Streeter y Phelps, por lo que es común encontrarla bajo este nombre y el de curva de pandeo. En la curva existen las siguientes cuatro zonas:



**Figura 7. Curva de pandeo del oxígeno disuelto**

**Zona de degradación** Es la zona donde se encuentra el punto de descarga; por lo que existen signos visibles de contaminación (sólidos flotantes), hay mucha turbiedad y el oxígeno disuelto comienza a disminuir. La fauna acuática está en decremento y se limita a especies que consumen poco oxígeno, en cambio, la actividad microbiológica abunda.

**Zona de descomposición** El oxígeno disuelto es prácticamente nulo y no hay fauna acuática superior. El agua es de color negro y tiene mal olor. Hay gran cantidad de sedimentos en el fondo.

**Zona de recuperación** El oxígeno disuelto aumenta. Los microorganismos están presentes en menor cantidad y son del tipo anaerobio facultativo y aerobio estricto. Aparecen algunas formas superiores de vida como larvas, gusanos y peces pequeños.

**Zona de agua limpia** La apariencia es similar a la de antes de recibir la descarga, no hay sólidos flotantes y el agua es clara. El oxígeno disuelto es cercano a la saturación. Existen microorganismos y animales superiores. Los peces, generalmente, son más abundantes que antes del punto de descarga.

La forma de la curva de pandeo es en función de la carga contaminante, la calidad del agua receptora, la temperatura, el gasto de agua contaminada y el del cuerpo receptor. Es importante señalar que a mayor temperatura menor es la concentración de oxígeno disuelto; sin embargo, es mayor la actividad biológica y, por tanto, existe una mayor demanda de oxígeno, lo que acrecienta el problema que provoca un contaminante. Otro factor que influye es la agitación, ya que

aumenta la transferencia y dilución del oxígeno y las posibilidades de mantener el agua a la saturación.

Cuando se arroja un desecho biodegradable a una corriente, la concentración en oxígeno disuelto disminuye a medida que la materia es descompuesta por las bacterias. Si la velocidad con la cual se reduce es mayor a la tasa de disolución del oxígeno la concentración de éste baja, pudiendo alcanzar condiciones anaerobias.

Además del consumo de oxígeno deben tomarse en cuenta los productos que son nocivos para la flora y fauna presentes en los cuerpos de agua, aun considerando la dilución. En las tablas 6 y 7 se presentan los niveles de algunos contaminantes compatibles con la vida de los peces.

**Tabla 6. Niveles compatibles con la vida normal de los peces**

| PARÁMETRO                        | CONCENTRACIÓN |
|----------------------------------|---------------|
| DBO <sub>5</sub>                 | <5mg/l        |
| OD                               | >5 mg/l       |
| NaOH                             | <50 mg/l      |
| H <sub>2</sub> S                 | 0 mg/l        |
| N – NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> | <1 mg/l       |
| FeCl <sub>3</sub>                | <1 mg/l       |
| Fenol                            | 0.02 mg/l     |
| pH                               | Entre 6 y 8   |

Fuente: Colas, 1977.

**Tabla 7 Productos Nocivos para los peces**

| PARÁMETRO                                     | DOSIS LÍMITE, mg/L |             | DOSIS MÍNIMA LETAL, mg/L |             |
|---|--------------------|-------------|--------------------------|-------------|
|   | AGUA DULCE         | AGUA SALADA | AGUA DULCE               | AGUA SALADA |
| HCl   | 3                  | 50-150      | 5                        | 200         |
| HNO <sub>3</sub>                              |                    | 200         |                          | 750         |
| H <sub>2</sub> S                              | 0.2 a 1            | 0.2 a 1     | 2 a 5                    | 2 a 5       |
| NH <sub>3</sub>                               | 5 a 10             | 10 a 17     | 14                       | 26          |
| NH <sub>4</sub> Cl                            |                    |             | 700 a 800                | 700 a 800   |
| NH <sub>4</sub> NO <sub>3</sub>               |                    |             | 800                      | 800         |
| Ca(OH) <sub>2</sub>                           | VARIABLE           | VARIABLE    | 70                       | 70          |
| CaCl <sub>2</sub>                             | 10                 | 10          | 30                       | 30          |
| KOH   | 28                 |             | 56                       |             |
| NaOH  | 20 a 50            | 400         |                          | 96          |
| Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>               |                    |             | 250 a 500                | 250 a 500   |
| Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>               |                    | 1,000       |                          |             |
| Na <sub>2</sub> S                             | 0.8                | 40          | 50                       |             |
| CuSO <sub>4</sub>                             | 2.5                | 50          | 25                       | 100         |
| FeCl <sub>2</sub>                             | 500                | 500         | 500 a 1,000              | 500 a 1,000 |
| FeCl <sub>3</sub>                             | 250                | 250         | 100 a 500                | 100 a 500   |
| FeSO <sub>4</sub>                             | 300                | 100 a 250   |                          | 1,000       |
| KCN   |                    |             | 0.1 a 0.5                | 0.1 a 0.5   |
| Fenol   |                    | 1           |                          | 10          |
| As  |                    |             | 25                       |             |
| K <sub>2</sub> Cr <sub>2</sub> O <sub>7</sub> |                    |             | 0.5                      | 0.5         |

*Adaptado de: Colas, 1977.*

Como ya se mencionó en el capítulo anterior, los principales contaminantes del agua son: aguas residuales, agentes infecciosos, nutrientes vegetales y productos químicos, entre otros.

La composición de las aguas residuales se averigua a través de diversas mediciones físicas, químicas y biológicas (microbiológicas); y comparando los valores obtenidos con los que determina la normativa vigente.

Las medidas más comunes incluyen la determinación del contenido en sólidos, la DBO, la DQO. y el pH, que miden, respectivamente, la materia sólida en suspensión, la concentración de materia orgánica y la acidez de las aguas.

Todos estos controles y posteriores tratamientos hacen posible que las aguas residuales, una vez sometidas a un proceso de depuración adecuado, puedan ser utilizadas de nuevo para diferentes usos, según la composición resultante de las mismas tras el tratamiento. **[1]**

## 2.2 DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXÍGENO, DBO

Uno de los ensayos más importantes para determinar la concentración de la materia orgánica de aguas y aguas residuales es el ensayo de DBO a cinco días. Esencialmente, la DBO es una medida de la cantidad de oxígeno utilizado por los microorganismos en la estabilización de materia orgánica biodegradable, bajo condiciones aerobias, en un periodo de cinco días y a 20° C.

En aguas residuales domésticas, el valor de DBO a 5 días representa un promedio de 65 a 70% del total de la materia orgánica oxidable. La DBO, como todo un ensayo biológico, requiere cuidado especial en su realización, así como conocimiento de las características esenciales que deben cumplirse, con el fin de obtener valores representativos confiables. El ensayo supone la medida de la cantidad de oxígeno consumido por organismos vivos en la utilización de la materia orgánica presente en un residuo; por lo tanto es necesario garantizar que durante todo el periodo del ensayo exista suficiente O.D. 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 bacteriano 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.

Variaciones en el número inicial de bacterias tiene poco efecto sobre el valor de DBO siempre y cuando el número de bacterias sea mayor de  $10^3$ /ml.

Si no están adaptadas al substrato particular existente en la botella de DBO, las bacterias morirán o disminuirán en número hasta que logren adaptarse; es importante, por lo tanto, obtener simientes aclimatadas para conseguir valores verdaderos de la concentración orgánica.

La nitrificación es otro de los factores que debe tenerse en cuenta al interpretar valores de DBO. En aguas residuales domésticas, en condiciones normales, la nitrificación no es un problema pues se presenta después del quinto día de

incubación; sin embargo, en efluentes de plantas de tratamiento biológico que contienen una alta población de bacterias nitrificantes, éstas crean una demanda adicional de oxígeno debida a la nitrificación u oxidación de cualquier compuesto de nitrógeno no oxidado previamente.

La temperatura escogida para determinar el valor de DBO es de 20°C y debe mantenerse constante durante el tiempo del ensayo; la velocidad de las reacciones durante el ensayo se verá afectada si se modifica la temperatura; por consiguiente los resultados obtenidos no serían los correspondientes al procedimiento estándar y, en consecuencia, no serían comparables. Tal como se definió anteriormente, la DBO es una medida de la cantidad de oxígeno requerido por los microorganismos para oxidar la materia orgánica utilizable aerobiamente; por lo tanto, la DBO es solo una medida del oxígeno consumido en la oxidación de la mezcla de compuestos existentes en la muestra por la población microbial existente en la misma al hacer el ensayo. Así, el ensayo de la DBO es un proceso de oxidación húmeda en el cual los organismos son el medio para oxidar la materia orgánica en dióxido de carbono y agua. Es posible interpretar los valores de DBO en términos de materia orgánica mediante relaciones cuantitativas que expresan matemáticamente la relación entre la concentración de materia orgánica y la cantidad de oxígeno requerido para convertirla en dióxido de carbono, agua y amoníaco. [2]

### 2.3 DEMANDA QUÍMICA DE OXÍGENO, DQO

La Demanda Química de Oxígeno es un parámetro analítico de contaminación que mide el material orgánico contenido en una muestra líquida mediante oxidación química. La determinación de DQO es una medida de la cantidad de oxígeno consumido por la porción de materia orgánica existente en la muestra y oxidable por un agente químico oxidante fuerte. Específicamente presenta el contenido orgánico total de la muestra, oxidable por dicromato en solución ácida. El ensayo tiene la ventaja de ser más rápido que el de DBO y no está sujeto a tantas variables como las que pueden presentarse en el ensayo biológico. Todos los compuestos orgánicos, con unas pocas excepciones, pueden ser oxidados a  $\text{CO}_2$  y agua mediante la acción de agentes oxidantes fuertes, en condiciones ácidas.

La oxidación de la mayoría de las formas de materia orgánica se efectúa mediante la ebullición de la muestra con una mezcla de ácido sulfúrico y un exceso de dicromato de potasio estándar. La mezcla formada por la muestra más cantidades conocidas de dicromato de potasio y ácido sulfúrico es sometida a reflujo por dos

horas; durante el periodo de reflujo el material orgánico oxidable reduce una cantidad equivalente de dicromato.

El dicromato de potasio es el agente oxidante utilizado hoy en día en el procedimiento estándar para determinar DQO, por ser el más práctico y porque produce resultados reproducibles y es capaz de oxidar una gran variedad de sustancias orgánicas casi completamente a  $\text{CO}_2$  y agua. Sin embargo, debe anotarse que no todos los compuestos orgánicos son oxidables por dicromato. Compuestos como los hidrocarburos aromáticos y la piridina,  $\text{C}_5\text{H}_5\text{N}$ , no son oxidados bajo ninguna circunstancia.

Otros compuestos orgánicos, tales como alcoholes y aminoácidos, no son oxidados por el dicromato a menos que exista un catalizador; los iones plata cumplen efectivamente esta función y por eso se adiciona  $\text{Ag}_2\text{SO}_4$  como catalizador.

En la determinación de DQO interfieren los cloruros, los nitritos y otros iones inorgánicos como hierro ferroso, manganeso manganeso, sulfitos y sulfuros, susceptibles de oxidación por dicromato en las condiciones del ensayo; el amoníaco no está incluido en la DQO. En general, en aguas residuales los cloruros constituyen la interferencia más importante pues introducen un error por exceso en el valor de la DQO.

No es posible establecer una relación fija entre la DBO y la DQO mientras no se establezcan ambos parámetros para cada muestra particular. Si la muestra contiene esencialmente compuestos oxidables por ambos procedimientos, DQO y DBO, puede establecerse una relación. En estos casos puede un ensayo sustituir al otro y el de DQO puede usarse como indicador de las diluciones requeridas para hallar el valor de DBO.

Si la muestra se caracteriza por un predominio de material químicamente oxidable pero no oxidable biológicamente, el valor de la DQO será mayor que el de la DBO. En general, esto se observa en aguas residuales crudas, residuos textiles y residuos de procesadoras de papel. En aguas residuales domésticas típicas es común suponer una relación DQO/DBO igual a 2; pero en efluentes de plantas de tratamiento la relación puede ser igual a 3 y en muchos casos mayor de 3.

Si el caso es contrario al anterior, es decir, si predomina en la muestra el material oxidable biológicamente, la DBO será mayor que la DQO; como ejemplo puede citarse el de algunos residuos de destilerías o plantas de refinación que pueden tener una DBO alta y una DQO baja.[2]

## 2.4 UTILIDAD Y APLICACIONES DE LA D. B. O.

La DBO es el criterio más importante usado para el control de la contaminación de las corrientes donde la carga orgánica se debe restringir para mantener los niveles deseados de oxígeno disuelto. La determinación se utiliza en estudios para medir la capacidad de purificación de las corrientes y sirve a las autoridades para establecer las reglas de control de la calidad de los efluentes descargados a estas aguas.

La información de la DBO de los residuos es una consideración importante para el diseño de los equipos de tratamiento, es un factor para la elección del método de tratamiento y se usa para determinar el tamaño de ciertas unidades, especialmente de los filtros percoladores y de las unidades de lodos activados. Después de que las plantas de tratamiento comienzan a operar, las pruebas se usan para evaluar la eficiencia de los diferentes procesos.

Muchas municipalidades y autoridades del alcantarillado financian operaciones de tratamiento de aguas residuales mediante el cobro del servicio de alcantarillado. A las industrias que aportan residuos a los sistemas municipales se les solicita una justa contribución con los costos de operación y mantenimiento. La DBO es una de las variables normalmente usadas para el cálculo de los costos, en particular cuando se realiza un tratamiento secundario o procesos biológicos. [3]

Los valores típicos de la  $DBO_5$  para aguas residuales domésticas se sitúan entre los 250 – 350 mg/l, mientras que ciertas aguas residuales industriales pueden alcanzar cifras de hasta varios miles de miligramos por litro de agua. Por comparación, los valores de la DBO en un río no contaminado difícilmente superarán los 3 mg/l, mientras que uno muy contaminado podría tener valores superiores a 10 mg/l.

En el tratamiento primario de potabilización del agua existe una fase llamada sedimentación, en la que se depositan los materiales orgánicos y se retiran para su eliminación. Este depósito se conoce como fosa séptica, en la que sedimentan los sólidos y asciende la materia flotante, mientras que el agua fluye hacia zanjas subterráneas, donde se oxida aeróticamente. Con este proceso se reducen los sólidos en suspensión y la  $DBO_5$  entre un 20 y un 40%.

En el tratamiento secundario de las aguas residuales se utiliza un proceso denominado filtro de goteo, en el que la materia orgánica es absorbida por una

película microbiana y transformada en sedimentos, lo que reduce cerca de un 85% la DBO<sub>5</sub>.

Al método anterior le sigue el tratamiento aeróbico de fangos activados, en el que las partículas de lodo absorben la materia orgánica y la convierten en productos aeróbicos. Se disminuye así la DBO entre un 60 y un 85%.

El proceso correlativo, es un estanque de estabilización o laguna cuya función es oxidar la materia orgánica disuelta y coloidal, restringiéndose de un 75 a un 80% la DBO.

Para llegar a rebajar este parámetro en un 99% se utiliza el tratamiento avanzado, que consiste en pasos adicionales al tratamiento terciario para mejorar la calidad del efluente eliminando los componentes recalcitrantes.

Destacar, por último, que en aguas residuales procedentes de industrias alimentarias, este parámetro se presenta muy elevado. También en el caso de las industrias de tipo textil, pero acompañado de un incremento de la DQO.

## **2.5 UTILIDAD Y APLICACIONES DE LA D. Q. O.**

Principalmente se utiliza este parámetro para comprobar la carga orgánica de las aguas residuales que, o no son biodegradables, o contienen componentes que inhiben la actividad de los microorganismos que degradan la materia orgánica.

En el tratamiento primario de aguas residuales existe una fase llamada decantación en la que se elimina la materia coloidal, ya que el 80% de la DQO son coloides. Son partículas muy pequeñas que tienen carga superficial no nula, normalmente en aguas residuales es negativa. Para eliminarlas hay que neutralizar dicha carga (proceso llamado coagulación), para lo que se utilizan sales de hierro y aluminio. Al ser de pequeño tamaño, la velocidad de sedimentación es baja y para incrementarla se utiliza la floculación que consiste en añadir polielectrolitos (plásticos solubles en agua) que enlazan los coloides.

En el tratamiento de aguas residuales industriales se aplica un proceso llamado adsorción, mediante el que se eliminan algunas sustancias colorantes del agua. Utilizando tratamientos directos de columnas de adsorción se elimina la DQO.

Cerca de un tercio de la DQO de un desecho se usa para obtener energía y los dos tercios restantes se emplea para la síntesis de nuevas células.

El valor de DQO es usado extensivamente en el análisis de aguas residuales; junto con el valor de DBO permite determinar las condiciones de biodegradabilidad

y el contenido de sustancias tóxicas de la muestra, así como la eficiencia de las unidades de tratamiento.

La medida del DQO tiene otras aplicaciones: por ejemplo las centrales eléctricas, la producción química, las lavanderías industriales y la industria papelera.

## 2.6 UTILIDADES Y APLICACIONES DE LOS DOS PARÁMETROS (DQO y DBO<sub>5</sub>) CONJUNTAMENTE.

Conjuntamente, las pruebas de DBO y DQO son útiles para indicar las condiciones tóxicas y la presencia de sustancias orgánicas biológicamente resistentes.

Existen dos tipos de tratamientos para las aguas residuales:

ARU: Tratamiento biológico (lodos activados)

ARI: Tratamiento físico – químico

Seleccionar un método u otro para el tratamiento depende de la relación:

DBO<sub>5</sub>

----- , lo que también se denomina ÍNDICE DE BIODEGRADABILIDAD

DQO

DEL AGUA, que varía entre los valores de la Tabla :

Tabla #. Clasificación del tipo de agua en base a la relación DBO/DQO

| Valor             | Tipo de agua      |
|-------------------|-------------------|
| Menor que 0, 2    | No biodegradable  |
| Entre 0, 2 y 0, 4 | Biodegradable     |
| Mayor que 0, 4    | Muy biodegradable |

El valor de la DQO siempre será superior al de la DBO debido a que muchas sustancias orgánicas pueden oxidarse químicamente pero no biológicamente. **[4]**

**CAPÍTULO 3.**

**METODOLOGÍAS NORMADAS PARA LA  
DETERMINACIÓN EN LABORATORIO DE LA  
DEMANDA QUÍMICA DE OXÍGENO Y LA  
DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXÍGENO**

### **3. METODOLOGÍAS NORMADAS PARA LA DETERMINACIÓN EN LABORATORIO DE LA DEMANDA QUÍMICA DE OXÍGENO Y LA DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXÍGENO**

#### **3.1 NMX-AA-028-SCFI-2001**

##### **ANÁLISIS DE AGUA - DETERMINACIÓN DE LA DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXÍGENO EN AGUAS NATURALES, RESIDUALES (DBO<sub>5</sub>) Y RESIDUALES TRATADAS - MÉTODO DE PRUEBA (CANCELA A LA NMX-AA-028-1981)**

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

##### **OBJETIVO Y CAMPO DE APLICACIÓN**

Esta norma mexicana establece el método de análisis para la determinación de la demanda bioquímica de oxígeno (DBO<sub>5</sub>) en aguas naturales, residuales y residuales tratadas.

NOTA. Se determina la cantidad de oxígeno utilizada por una población microbiana heterogénea para transformar la materia orgánica, en un periodo de incubación de 5 días a 20°C.

Para la correcta aplicación de esta norma se deben consultar las siguientes normas mexicanas vigentes o las que las sustituyan:

NMX-AA-012 SCFI-2001 Análisis de agua - Determinación de oxígeno disuelto en aguas naturales, residuales y residuales tratadas - Método de prueba.

NMX-AA-100-1987 Calidad del agua – Determinación de cloro total – Método iodométrico. Declaratoria de vigencia publicada en el Diario Oficial de la Federación del 22 de junio de 1987.

## **PRINCIPIO DEL MÉTODO**

El método se basa en medir la cantidad de oxígeno que requieren los microorganismos para efectuar la oxidación de la materia orgánica presente en aguas naturales y residuales y se determina por la diferencia entre el oxígeno disuelto inicial y el oxígeno disuelto al cabo de cinco días de incubación a 20°C.

Para la determinación de oxígeno disuelto (OD) se puede emplear cualquiera de los dos métodos establecidos en la norma mexicana NMX-AA-012-SCFI (ver 2 Referencias).

## **DEFINICIONES**

Para los propósitos de esta norma se establecen las siguientes definiciones:

Aguas naturales.-El agua cruda, subterránea y pluvial.

Aguas residuales.-Las aguas de composición variada provenientes de las descargas de usos municipales, industriales, comerciales, de servicios, agrícolas, pecuarios, domésticos y en general de cualquier otro uso.

Biota.- Es un conjunto de organismos vivos tanto de origen vegetal como animal.

Bitácora.- Cuaderno de laboratorio debidamente foliado e identificado, en el cual los analistas anotan todos los datos de los procedimientos que siguen en el análisis de una muestra, así como todas las informaciones pertinentes y relevantes a su trabajo en el laboratorio.

Blanco analítico o de reactivos.-Agua reactivo o matriz equivalente que no contiene, por adición deliberada, la presencia de ningún analito o sustancia por determinar, pero que contiene los mismos disolventes, reactivos y se somete al mismo procedimiento analítico que la muestra problema.

Calibración.- Conjunto de operaciones que establecen, bajo condiciones específicas, la relación entre los valores de una magnitud indicados por un instrumento o sistema de medición, o los valores representados por una medida materializada y los valores correspondientes de la magnitud, realizados por los patrones, efectuando una corrección del instrumento de medición para llevarlo a las condiciones iniciales de funcionamiento.

Demanda bioquímica de oxígeno (DBO<sub>5</sub>).-Es una estimación de la cantidad de oxígeno que requiere una población microbiana heterogénea para oxidar la materia orgánica de una muestra de agua en un periodo de 5 días.

Descarga.-Acción de verter, infiltrar o depositar o inyectar aguas residuales a un cuerpo receptor en forma continua, intermitente o fortuita, cuando éste es un bien del dominio público de la Nación.

Desviación estándar experimental.- Para una serie de “n” mediciones del mismo mensurando, es la magnitud que caracteriza la dispersión de los resultados, dado por la siguiente fórmula:

$$s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n - 1}}$$

En donde  $x_i$  es el resultado de la i-ésima medición y  $\bar{x}$  es la media aritmética de los n resultados considerados.

Disolución estándar.- Disolución de concentración conocida preparada a partir de un patrón primario.

Disolución madre.- Corresponde a la disolución de máxima concentración en un análisis. A partir de esta disolución se preparan las disoluciones de trabajo.

Inóculo.-Es una suspensión de microorganismos vivos que se han adaptado para reproducirse en un medio específico.

**Material de referencia.**-Material o sustancia en el cual uno o más valores de sus propiedades son suficientemente homogéneas y bien definidas, para ser utilizadas para la calibración de aparatos, la evaluación de un método de medición, o para asignar valores a los materiales.

**Material de referencia certificado.**-Material de referencia, acompañado de un certificado, en el cual uno o más valores de las propiedades están certificados por un procedimiento que establece la trazabilidad a una realización exacta de la unidad en la cual se expresan los valores de la propiedad, y en el que cada valor certificado se acompaña de una incertidumbre con un nivel declarado de confianza.

**Medición.**-Conjunto de operaciones que tiene por objeto determinar el valor de una magnitud.

**Medio aerobio.**-Es aquel en el cual se desarrollan microorganismos en presencia de oxígeno molecular.

**Medio anaerobio.**- Es aquel en el cual se desarrollan microorganismos en ausencia de oxígeno molecular.

**Mensurando.**-Magnitud particular sujeta a medición.

**Muestra compuesta.**-La que resulta de mezclar un número de muestras simples. Para conformar la muestra compuesta, el volumen de cada una de las muestras simples deberá ser proporcional al caudal de la descarga en el momento de su toma.

**Muestra simple.**-La que se tome en el punto de descarga, de manera continua, en día normal de operación que refleje cuantitativa y cualitativamente el o los procesos más representativos de las actividades que generan la descarga, durante el tiempo necesario para completar cuando menos, un volumen suficiente para que se lleven a cabo los análisis necesarios para determinar su composición, aforando el caudal descargado en el sitio y en el momento de muestreo.

**Parámetro.**-Variable que se utiliza como referencia para determinar la calidad física, química y biológica del agua.

**Patrón (de medición).**-Medida materializada, aparato de medición o sistema de medición destinado a definir, realizar, conservar o reproducir una unidad o uno o varios valores conocidos de una magnitud para transmitirlos por comparación a

otros instrumentos de medición.

Patrón de referencia.-Patrón, en general de la más alta calidad metrológica disponible en un lugar dado, o en una organización determinada del cual se derivan las mediciones realizadas en dicho lugar.

Patrón de trabajo.-Patrón que es usado rutinariamente para calibrar o controlar las medidas materializadas, instrumentos de medición o los materiales de referencia.

Patrón nacional.-El patrón autorizado para obtener, fijar o contrastar el valor de otros patrones de la misma magnitud, que sirve de base para la fijación de los valores de todos los patrones de la magnitud dada.

Patrón primario.-Patrón que es designado o reconocido ampliamente como un patrón que tiene las más altas cualidades metrológicas y cuyo valor es aceptado sin referencia a otros patrones de la misma magnitud.

Patrón secundario.-Patrón cuyo valor es establecido por comparación con un patrón primario de la misma magnitud.

Precisión.-Es el grado de concordancia entre resultados analíticos individuales cuando el procedimiento analítico se aplica repetidamente a diferentes alícuotas o porciones de una muestra homogénea. Usualmente se expresa en términos del intervalo de confianza o incertidumbre.

$$x = \bar{x} \pm t_{\alpha/2} \frac{s}{\sqrt{n}}$$

donde:

$\bar{x}$  es la media calculada a partir de un mínimo de tres mediciones independientes;

$t_{\alpha/2}$  es el valor de la  $t$  de Student para un nivel de significancia del 95 %;

$s$  es la desviación estándar de la muestra;

$n$  es el número de réplicas, y

$x$  es el resultado que incluye el intervalo de confianza.

Trazabilidad.-Propiedad del resultado de una medición o del valor de un patrón por la cual pueda ser relacionado a referencias determinadas, generalmente patrones nacionales o internacionales, por medio de una cadena ininterrumpida de comparaciones teniendo todas las incertidumbres determinadas.

Verificación de la calibración.-Una verificación periódica de que no han cambiado las condiciones del instrumento en una forma significativa.

## REACTIVOS Y PATRONES

Son los productos químicos usados en este método y deben ser grado reactivo, a menos que se indique otro grado. Lo siguiente es un listado de los reactivos utilizados en la prueba.

Agua: Debe entenderse agua que cumpla con las siguientes características:

- a) Resistividad, megohm-cm a 25°C: 0,2 min.;
- b) Conductividad,  $\mu\text{S}/\text{cm}$  a 25°C: 5,0 máx., y
- c) pH: 5,0 a 8,0.

Fosfato monobásico de potasio ( $\text{KH}_2\text{PO}_4$ )

Fosfato dibásico de potasio ( $\text{K}_2\text{HPO}_4$ )

Fosfato dibásico de sodio heptahidratado ( $\text{Na}_2\text{HPO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ )

Cloruro de amonio ( $\text{NH}_4\text{Cl}$ )

Sulfato de magnesio heptahidratado ( $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ )

Cloruro de calcio anhidro ( $\text{CaCl}_2$ )

Cloruro férrico hexahidratado ( $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ )

Ácido sulfúrico concentrado ( $\text{H}_2\text{SO}_4$ )

Hidróxido de sodio ( $\text{NaOH}$ )

Sulfito de sodio ( $\text{Na}_2\text{SO}_3$ )

2-cloro-6 (triclorometil) piridina  
Glucosa grado patrón primario ( $C_6H_{12}O_6$ )

Ácido glutámico grado patrón primario( $C_5H_9NO_4$ )

Ácido clorhídrico (HCl)

Acido nítrico ( $HNO_3$ )

Disolución amortiguadora de fosfato. Pesar aproximadamente 8,5 g de fosfato monobásico de potasio, 21,75 g de fosfato dibásico de potasio, 33,4 g de fosfato dibásico de sodio heptahidratado y 1,7 g de cloruro de amonio, disolver en 500 mL de agua y aforar a 1 L. El pH de la disolución debe ser de 7,2. Desechar el reactivo (o cualquiera de los siguientes reactivos) si hay algún signo de crecimiento biológico en el frasco de almacenamiento.

Disolución de sulfato de magnesio. Pesar aproximadamente 22,5 g de sulfato de magnesio heptahidratado, disolver en agua y diluir a 1 L.

Disolución de cloruro de calcio. Pesar aproximadamente 27,5 g de cloruro de calcio anhídrido, disolver en agua y diluir a 1 L.

Disolución de cloruro férrico. Pesar aproximadamente 0,25 g de cloruro férrico hexahidratado, disolver en agua y diluir a 1 L.

Disolución de ácido sulfúrico (0,1N). Agregar aproximadamente 2,8 mL de ácido sulfúrico concentrado a 500 mL de agua, mezclar bien y diluir hasta 1 L.

Disolución de hidróxido de sodio (0,1N). Pesar aproximadamente 4,0 g de hidróxido de sodio, disolver en agua y diluir a 1 L.

Disolución de sulfito de sodio. Pesar aproximadamente 1,575 g de sulfito de sodio, disolver en agua y diluir a 1 L. Esta disolución no es estable; por lo que debe prepararse diariamente.

Disolución patrón de glucosa-ácido glutámico. Secar glucosa y ácido glutámico a  $103^{\circ}C$  durante una hora. Pesar aproximadamente y con precisión 150,0 mg de

glucosa y 150,0 mg de ácido glutámico, diluir en agua y aforar a 1 L. Preparar inmediatamente antes de usarla. Esta disolución tiene una  $DBO_5$  de 198 mg/L.

Disolución de cloruro de amonio. Pesar aproximadamente 1,15 g de cloruro de amonio y disolver en 500 mL de agua, ajustar el pH a 7,2 con disolución de hidróxido de sodio y aforar a 1 L. La disolución contiene 0,3 mg N/mL.

## **EQUIPO Y MATERIALES**

### Equipo

Equipo de aireación con difusor

Incubador: Controlado por termostato a  $20^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$ . Eliminar toda la luz para evitar la posibilidad de producción fotosintética de oxígeno disuelto.

Balanza analítica con precisión de 0,1 mg

Medidor de oxígeno disuelto

Material

### Limpieza del material.

Todo el material usado en la determinación debe ser exclusivo para este procedimiento. Para el lavado del material remojar durante 1 h en una disolución de ácido sulfúrico al 10 % y enjuagar con agua. Los detergentes con base de amoníaco no deben usarse para la limpieza del material.

Los contenedores de las muestras deben lavarse con disolución de detergente no iónico, libre de metales, enjuagarse con agua, remojar en ácido toda la noche y volver a enjuagarse con agua libre de metales.

Para el material de cuarzo, politetrafluoroetileno o material de vidrio debe dejarse remojando de 12 h a 24 h con  $\text{HNO}_3$  (1:1),  $\text{HCl}$  (1:1) o con agua regia (3 partes de  $\text{HCl}$  concentrado + 1 parte de  $\text{HNO}_3$  concentrado) a  $70^{\circ}\text{C}$  solo en los casos que presente material adherido, después debe ser enjuagado con agua libre de metales.

En los casos de que el material presente grasas, enjuagar con acetona y/o hexano.

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

## **RECOLECCIÓN, PRESERVACIÓN Y ALMACENAMIENTO DE MUESTRAS**

En el caso de aguas naturales debe tomarse un mínimo de 1 L de muestra en un envase de polietileno o vidrio. En el caso de aguas residuales ( $\text{DBO}_5$  mayores a 50 mg/L) deben tomarse mínimo 100 mL. Pueden utilizarse muestras simples o compuestas.

No se debe agregar ningún preservador a las muestras. solo deben conservarse a 4°C hasta su análisis.

El tiempo máximo de almacenamiento previo al análisis es de 24 h.

## **CONTROL DE CALIDAD**

Cada laboratorio que utilice este método debe operar un programa de control de calidad (CC) formal.

El laboratorio debe mantener los siguientes registros:

- Los nombres y títulos de los analistas que ejecutaron los análisis y el encargado de control de calidad que verifica los análisis, y
- Las bitácoras manuscritas del analista y del equipo en los que se contengan los siguientes datos:
  1. Identificación de la muestra
  2. Fecha del análisis
  3. Procedimiento cronológico utilizado
  4. Cantidad de muestra utilizada

5. Número de muestras de control de calidad analizadas
6. Trazabilidad de las calibraciones de los instrumentos de medición
7. Evidencia de la aceptación o rechazo de los resultados

Además el laboratorio debe mantener la información original reportada por los equipos en disquetes o en otros respaldos de información, de tal forma que permita a un evaluador externo reconstruir cada determinación mediante el seguimiento de la información desde la recepción de la muestra hasta el resultado final.

## **CALIBRACIÓN**

Se debe contar con la calibración de los equipos y materiales siguientes:

Material volumétrico

Balanza analítica

Medidor de oxígeno disuelto

## **PROCEDIMIENTO**

Preparación de agua para dilución

Colocar el volumen requerido de agua en un frasco y añadir por cada litro de agua 1 ml de cada una de las siguientes disoluciones: disolución de sulfato de magnesio, disolución de cloruro de calcio, disolución de cloruro férrico y disolución amortiguadora de fosfatos. Preparar el agua de dilución diariamente.

Analizar y almacenar el agua de dilución como se describe anteriormente, de tal forma que siempre tenga a mano agua de calidad garantizada. Antes de usar el agua de dilución debe ponerse a una temperatura aproximada de 20°C. Saturar con oxígeno aireando con aire filtrado, libre de materia orgánica por lo menos durante 1 h.

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

Control del agua de dilución

Utilizar este procedimiento como una comprobación aproximada de la calidad del agua de dilución. Si la disminución de oxígeno disuelto del agua excede de 0,2 mg/L, obtener agua de mejor calidad mejorando la purificación o usar agua de otra fuente. Alternativamente, si se requiere inhibir la nitrificación, almacenar el agua de dilución sembrada en una habitación oscura a temperatura ambiente hasta que la captación de oxígeno disuelto se haya reducido lo suficiente para cumplir los criterios de comprobación del agua de dilución. No se recomienda su almacenamiento cuando la  $DBO_5$  se va a determinar sin inhibir la nitrificación ya que pueden desarrollarse microorganismos nitrificantes durante ese tiempo. Si el agua de dilución no ha sido almacenada para mejorar su calidad, añadir suficiente inóculo como para un consumo de OD de 0,05 mg/L a 0,1 mg/L en cinco días a 20°C. Al Incubar en un frasco Winkler lleno de agua de dilución durante cinco días a 20°C, el consumo no debe ser mayor a 0,2 mg/L y preferiblemente no menor a 0,1 mg/L.

#### Control de la glucosa-ácido glutámico

Comprobar en cada lote analítico la calidad del agua de dilución, la efectividad del inóculo y la técnica analítica mediante determinaciones de la  $DBO_5$  en muestras estándar de concentración conocida. Utilizar la disolución de glucosa-ácido glutámico como disolución madre de control. La glucosa tiene una tasa excepcionalmente alta y variable de oxidación, pero cuando se utiliza con ácido glutámico, dicha tasa se estabiliza y es similar a la obtenida en muchas aguas residuales municipales. Alternativamente, si un agua residual particular contiene un componente principal identificable que contribuya a la  $DBO_5$ , utilizar este compuesto en lugar de la glucosa-ácido glutámico. Determinar la  $DBO_5$  de una disolución al 2 % de la disolución de control patrón de glucosa-ácido glutámico utilizando las técnicas expuestas a continuación

#### Inóculo

#### Fuente de la siembra

Es necesario contar con una población de microorganismos capaces de oxidar la materia orgánica biodegradable de la muestra. El agua residual doméstica, los efluentes no clorados o sin desinfección, los efluentes de las plantas de tratamiento de desechos biológicos y las aguas superficiales que reciben las

descargas de aguas residuales que contienen poblaciones microbianas satisfactorias. Algunas muestras no contienen una población microbiana suficiente (por ejemplo, algunos residuos industriales no tratados, residuos desinfectados, residuos de alta temperatura o con valores de pH extremos). Para tales residuos, sembrar el agua de dilución añadiendo una población de microorganismos. La mejor siembra es la que proviene del efluente de un sistema de tratamiento biológico de aguas residuales. Cuando se usa como siembra el efluente de tratamiento biológico de sistema de aguas residuales, se recomienda la inhibición de la nitrificación. Cuando no se disponga de ésta, utilizar el sobrenadante del agua residual doméstica después de dejarlo reposar a temperatura ambiente durante al menos 1 h, pero no más de 36 h. Determinar si la población existente es satisfactoria haciendo la prueba de la siembra en una muestra para  $DBO_5$ . El incremento del valor de la  $DBO_5$  indica una siembra exitosa.

#### Control del inóculo

Determinar la  $DBO_5$  del material de siembra como para cualquier otra muestra (Esto es una siembra control). A partir de este valor y de uno conocido de la dilución del material de siembra (en el agua de dilución) determinar el consumo de OD de la siembra. Lo ideal es hacer diluciones de la siembra tales que la mayor cantidad de los resultados presenten una disminución de al menos el 50 % del OD. La representación de la disminución del OD (mg/L) con respecto a los mililitros de siembra, tiene que ser una línea recta cuya pendiente corresponde a la disminución de OD por mililitro del inóculo. La intersección del eje de las abscisas (OD) representa el consumo del oxígeno causado por el agua de dilución y debe ser inferior a 0,1 mg/L (ver inciso 10.8). Para determinar el consumo de OD de una muestra, se resta el consumo de OD de la siembra, del consumo total. La captación de OD total del agua de dilución sembrada debe oscilar entre 0,6 mg/L y 1,0 mg/L.

#### Pretratamiento de la muestra

#### Muestras con pH ácidos o básicos

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

dilución de la muestra.

#### Muestras que contienen cloro residual

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

Determinar el volumen requerido de disolución de sulfito de sodio cuantificando el cloro residual total. Añadir a la muestra neutralizada el volumen relativo de la disolución de sulfito de sodio determinada por la prueba anterior, mezclar y después de 10 min a 20 min, comprobar el cloro residual de la muestra.

La determinación de cloro residual se realiza de acuerdo a lo establecido en la norma mexicana NMX-AA-100.

#### Muestras sobresaturadas con OD

En aguas frías o en aguas donde se produce la fotosíntesis (aguas de embalses), es posible encontrar muestras que contienen más de 9,0 mg OD/L a 20°C. Para evitar la pérdida de oxígeno durante la incubación de tales muestras, reducir el OD por saturación, calentando la muestra aproximadamente a 20°C en frascos parcialmente llenos mientras se agitan con fuerza o se airean con aire limpio, filtrado y comprimido.

Ajustar la temperatura de la muestra a 20°C ± 1°C antes de hacer diluciones.

#### Inhibición de la nitrificación

Si se requiere inhibir la nitrificación adicionar 3,0 mg de 2-cloro-6 (triclorometil) piridina a cada uno de los frascos antes de recolectar o bien adicionar la cantidad suficiente de agua para tener una concentración de 10 mg/L aproximadamente.

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

#### Técnica de dilución

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

Diluciones preparadas directamente en frascos tipo Winkler. Utilizando una pipeta volumétrica, añadir el volumen de muestra deseado a frascos Winkler individuales de 300 mL. Añadir cantidades adecuadas del material de siembra a los frascos tipo Winkler o al agua de dilución. Llenar los frascos con suficiente agua de dilución, sembrada si es necesario, de forma que la inserción del tapón desplace todo el aire, sin dejar burbujas. No realizar diluciones mayores de 1:300 (1 mL de la muestra en un frasco). Determinar el OD inicial en uno de los frascos de cada una de las diferentes diluciones. En los frascos de los duplicados de cada una de las diluciones, Ajustar herméticamente el tapón, poner un sello hidráulico y la contratapa e incubar durante 5 días a 20°C.

## Determinación del OD inicial

### Método yodométrico

La determinación del OD inicial se realiza por medio del método yodométrico de azida modificado, de acuerdo a lo establecido en la norma mexicana NMX-AA-012-SCFI (ver 2 Referencias).

### Método electrométrico

La determinación del OD inicial se realiza por medio del método electrométrico con electrodo de membrana, de acuerdo a lo establecido en la norma mexicana NMX-AA-012-SCFI (ver 2 Referencias). Los aceites, grasas o cualquier sustancia que se adhiera a la membrana puede ser causa de baja respuesta en el electrodo.

Blanco del agua de dilución. Emplear un blanco del agua de dilución como un control aproximado de la calidad del agua de dilución no sembrada y de la limpieza de los frascos de incubación. Junto con cada lote de muestras, incubar un frasco de agua de dilución no sembrada. Determinar el OD inicial y final como se especifica en los incisos 10.7 y 10.10. El consumo de OD no debe ser mayor de 0,2 mg/L y preferentemente no menor a 0,1 mg/L.

### Incubación

Incubar a  $20^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$  las botellas de  $\text{DBO}_5$  que contengan las muestras con las diluciones deseadas, los controles de siembra, los blancos de agua de dilución y el control de glucosa-ácido glutámico. En caso de no contar con contratapas, diariamente se debe verificar que el sello hidráulico esté intacto en cada botella incubada, agregar agua si es necesario.

### Determinación del OD final

Después de 5 días de incubación determinar el OD en las diluciones de la muestra, en los controles y en los blancos. La medición del OD debe ser realizada inmediatamente después de destapar la botella de Winkler, para evitar la absorción de oxígeno del aire por la muestra.

## CÁLCULOS

### Cálculos de la DBO<sub>5</sub>

Cuando no se utiliza inóculo ni diluciones, emplear la siguiente fórmula

$$DBO_5 = OD_i - OD_5$$

donde:

OD<sub>i</sub>= oxígeno disuelto inicial, en (mg/L)

OD<sub>5</sub> = oxígeno disuelto al quinto día, en (mg/L).

Cuando se emplea una dilución, aplicar la siguiente expresión

$$DBO_5 = \frac{OD_i - OD_5}{\% \text{ de dilución}}$$

Cuando se utiliza inóculo sin disolución, aplicar la siguiente fórmula

$$DBO_5 = (OD_i - OD_5) - \frac{C_1 (B_1 - B_2) (V_t)}{C_2 (V_m)}$$

Cuando se utiliza inóculo con disolución, aplicar la siguiente fórmula

$$DBO_5 = [ (OD_i - OD_5) - \frac{C_1 (B_1 - B_2) (V_t)}{C_2 (V_m)} ]$$

$C_2(V_m)$ 

| P

donde:

$B_1$  = OD del inóculo antes de la incubación, en mg/L;

$B_2$  = OD del inóculo después de la incubación, en mg/L;

$C_1$  = volumen de inóculo en la muestra;

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

$V_t$  = volumen total del frasco Winkler, y

$V_m$  = volumen de muestra sembrada.

Expresar los resultados como  $CDBO_5$  si se inhibe la nitrificación.

Reportar los resultados en mg/L de  $DBO_5$  con dos cifras significativas con la precisión (media, desviación estándar) correspondiente.

## INTERFERENCIAS

El pH ácido o alcalino

Cloro residual

Nitritos: Es la interferencia más común en las muestras de  $DBO_5$  incubadas.

Sustancias inorgánicas y orgánicas reductoras.

## **SEGURIDAD**

No ha sido determinada la carcinogenicidad de todos los reactivos, por lo que cada sustancia química debe tratarse como peligro potencial a la salud. La exposición a estas sustancias debe reducirse al menor nivel posible. Se sugiere que el laboratorio realice inspecciones de higiene ocupacional de cada reactivo a los que pueda estar expuesto el analista y que dichos resultados estén a su disposición.

Este método puede no mencionar todas las precauciones de seguridad asociadas con su uso. El laboratorio es responsable de mantener un ambiente de trabajo seguro y un archivo de las normas de seguridad respecto a la exposición y manejo seguro de las sustancias químicas especificadas en éste método. Debe tenerse un archivo de referencia de las hojas de información de seguridad el cual debe estar disponible a todo el personal involucrado en estos análisis.

Cuando se trabaje con cualquiera de los compuestos químicos descritos en este método, debe usar todo el tiempo equipo de seguridad, tal como: batas, guantes de látex y lentes de seguridad.

La preparación de todos los reactivos usados en este método debe efectuarse bajo una campana de extracción. Consulte las hojas de seguridad sobre manipulación y disposición de éstos.

El ácido sulfúrico es un compuesto químico que debe manejarse con extremo cuidado. El adicionar ácido sulfúrico concentrado al agua produce una fuerte reacción exotérmica por lo cual, esto debe realizarse muy lentamente con agitación y enfriamiento externo.

## **MANEJO DE RESIDUOS**

Es responsabilidad del laboratorio cumplir con todos los reglamentos federales, estatales y locales referentes al manejo de residuos, particularmente las reglas de identificación, almacenamiento y disposición de residuos peligrosos.

Cada laboratorio debe contemplar dentro de su programa de control de calidad el destino final de los residuos generados durante la determinación.

Los desechos ácidos se deben neutralizar para su posterior desecho.

Todas las muestras que cumplan con la norma de descarga al alcantarillado pueden ser descargadas en el mismo.

### **CONCORDANCIA CON NORMAS INTERNACIONALES**

Esta norma mexicana no es equivalente a ninguna norma internacional por no existir referencia alguna al momento de su elaboración. **[5]**

### 3.2 Observaciones a la norma NMX-AA-028-SCFI-2001

#### **ANÁLISIS DE AGUA - DETERMINACIÓN DE LA DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXÍGENO EN AGUAS NATURALES, RESIDUALES (DBO<sub>5</sub>) Y RESIDUALES TRATADAS - MÉTODO DE PRUEBA (CANCELA A LA NMX-AA-028-1981)**

**Diluciones del residuo:** el analista tiene la responsabilidad real de decidir qué diluciones debe preparar para la determinación de la DBO. Generalmente es mejor hacer diluciones diferentes. Cuando se conoce con cierta seguridad la concentración de una muestra, pueden ser suficientes dos diluciones. Cuando no se conoce la concentración de la muestra, las diluciones deben cubrir un rango considerable, y en algunos casos es necesario tener hasta cuatro diluciones. En cualquier caso, debe existir superposición de los valores de la DBO susceptible de ser medida por diluciones sucesivas.

Se ha demostrado de la DBO no es afectada por concentraciones de oxígeno tan bajas como 0.5 mg/l. también se sabe que no es estadísticamente confiable basar los valores de la DBO en diluciones que producen una depleción de oxígeno menor que 2 mg/l. por lo tanto se acostumbra basar los cálculos de la DBO en muestras que produzcan depleción de oxígeno de al menos 2 mg/l y tengan una concentración mínima de 0.5 mg/l de oxígeno disuelto remanente al final del periodo de incubación. Esta restricción usualmente significa que el margen debe estar entre 2 y 7 mg/l. con esta información es posible construir una tabla que muestre el intervalo de DBO que se puede medir con diferentes diluciones. La Tabla # presenta esta información para diluciones preparadas con base en porcentajes, y también por mediciones directas con pipetas en recipientes de 300 ml de capacidad. Se acostumbra calcular la DBO de una muestra y preparar una dilución basada en este cálculo. También se preparan dos diluciones diferentes, una más alta y otra más baja.

Por ejemplo, se calcula que una muestra tiene una DBO de 1000 mg/l. la tabla muestra que se debe utilizar una mezcla al 0.5%, si se incluye una mezcla al 0.2% y otra al 1%, el intervalo de la DBO que se puede medir se extiende desde 200 hasta 3500 mg/l, que debe compensar cualquier error en el cálculo original. [3]

**Tabla 8 Medición de DBO con muestras de diferentes diluciones. [3]**

| <b>Empleando mezclas porcentuales</b> |                                       | <b>Por pipeteo directo a botellas de 300 ml</b> |                                       |
|---------------------------------------|---------------------------------------|---|---------------------------------------|
| <b>% mezcla</b>                       | <b>Intervalo de valores de la DBO</b> | <b>ml</b>                                       | <b>Intervalo de valores de la DBO</b> |
| 0.01                                  | 20000-70000                           | 0.02  | 30000-105000                          |
| 0.02                                  | 10000-35000                           | 0.05  | 12000-42000                           |
| 0.05                                  | 4000-14000                            | 0.10  | 6000-21000                            |
| 0.10                                  | 2000-7000                             | 0.20  | 3000-10500                            |
| 0.20                                  | 1000-3500                             | 0.50  | 1200-4200                             |
| 0.50                                  | 400-1400                              | 1.00  | 600-2100                              |
| 1.00                                  | 200-700                               | 2.00  | 300-1050                              |
| 2.00                                  | 100-350                               | 5.00  | 120-420                               |
| 5.00                                  | 40-140                                | 10.00   | 60-210                                |
| 10.00                                 | 20-70                                 | 20.00   | 30-105                                |
| 20.00                                 | 10-35                                 | 50.00   | 12-42                                 |
| 50.00                                 | 4-14                                  | 100.00  | 6-21                                  |
| 100.00                                | 0-7                                   | 300.00  | 0-7                                   |

### 3.3 NMX-AA-030-SCFI-2001

## **ANÁLISIS DE AGUA - DETERMINACIÓN DE LA DEMANDA QUÍMICA DE OXÍGENO EN AGUAS NATURALES, RESIDUALES Y RESIDUALES TRATADAS - MÉTODO DE PRUEBA (CANCELA A LA NMX-AA-030-1981)**

### **INTRODUCCIÓN**

Se entiende por demanda química de oxígeno (DQO), la cantidad de materia orgánica e inorgánica en un cuerpo de agua susceptible de ser oxidada por un oxidante fuerte.

El método que involucra el uso de dicromato es preferible sobre procedimientos que utilizan otros oxidantes debido a su mayor potencial redox y su aplicabilidad a una gran variedad de muestras.

Se describen dos métodos para la determinación de DQO con dicromato. El método a reflujo abierto es conveniente para aguas residuales en donde se requiera utilizar grandes cantidades de muestra. El método a reflujo cerrado es más económico en cuanto al uso de reactivos, pero requiere una mayor homogeneización de las muestras que contienen sólidos suspendidos para obtener resultados reproducibles.

### **OBJETIVO Y CAMPO DE APLICACIÓN**

Esta norma mexicana especifica dos métodos para la determinación de la demanda química de oxígeno en aguas naturales, residuales y residuales tratadas.

### **PRINCIPIO DEL MÉTODO**

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

## **DEFINICIONES**

Para los propósitos de esta norma se establecen las siguientes definiciones:

### **Aguas naturales**

Se define como agua natural el agua cruda, subterránea, de lluvia, de tormenta, residual y superficial.

### **Aguas residuales**

Las aguas de composición variada provenientes de las descargas de usos municipales, industriales, comerciales, agrícolas, pecuarias, domésticos y similares, así como la mezcla de ellas.

### **Bitácora**

Cuaderno de laboratorio debidamente foliado e identificado, en el cual los analistas anotan todos los datos de los procedimientos que siguen en el análisis de una muestra, así como todas las informaciones pertinentes y relevantes a su trabajo en el laboratorio. Es a partir de dichas bitácoras que los inspectores pueden reconstruir el proceso de análisis de una muestra tiempo después de que se lleva a cabo.

### Blanco analítico o de reactivos

Agua reactivo o matriz equivalente que no contiene, por adición deliberada, la presencia de ningún analito o sustancia por determinar, pero que contiene los mismos disolventes, reactivos y se somete al mismo procedimiento analítico que la muestra problema.

### Calibración

Conjunto de operaciones que establecen, bajo condiciones específicas, la relación entre los valores de una magnitud indicados por un instrumento o sistema de medición, o los valores representados por una medida materializada y los valores correspondientes de la magnitud, realizados por los patrones, efectuando una corrección del instrumento de medición para llevarlo a las condiciones iniciales de funcionamiento.

### Descarga

Acción de verter, infiltrar o depositar o inyectar aguas residuales a un cuerpo receptor en forma continua, intermitente o fortuita, cuando éste es un bien del dominio público de la Nación.

### Desviación estándar experimental

Para una serie de n mediciones del mismo mensurando, es la magnitud s que caracteriza la dispersión de los resultados, dado por la siguiente fórmula:

$$s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n - 1}}$$

en donde  $x_i$  es el resultado de la i-ésima medición y  $\bar{x}$  es la media aritmética de los n resultados considerados.

### Disolución estándar

Disolución de concentración conocida preparada a partir de un patrón primario.

Disolución madre

Corresponde a la disolución de máxima concentración en un análisis. Es a partir de esta disolución que se preparan las disoluciones de trabajo.

Material de referencia

Material o sustancia en el cual uno o más valores de sus propiedades son suficientemente homogéneas y bien definidas, para ser utilizadas para la calibración de aparatos, la evaluación de un método de medición, o para asignar valores a los materiales.

Material de referencia certificado

Material de referencia, acompañado de un certificado, en el cual uno o más valores de las propiedades están certificados por un procedimiento que establece la trazabilidad a una realización exacta de la unidad en la cual se expresan los valores de la propiedad, y en el que cada valor certificado se acompaña de una incertidumbre con un nivel declarado de confianza.

Medición

Conjunto de operaciones que tiene por objeto determinar el valor de una magnitud.

Mensurando

Magnitud particular sujeta a medición.

Muestra compuesta

La que resulta de mezclar un número de muestras simples. Para conformar la muestra compuesta, el volumen de cada una de las muestras simples debe ser proporcional al caudal de la descarga en el momento de su toma.

Muestra simple

La que se tome en el punto de descarga, de manera continua, en día normal de operación que refleje cuantitativa y cualitativamente él o los procesos más representativos de las actividades que generan la descarga, durante el tiempo necesario para completar cuando menos, un volumen suficiente para que se lleven a cabo los análisis necesarios para conocer su composición, aforando el caudal descargado en el sitio y en el momento de muestreo.

## Parámetro

Variable que se utiliza como referencia para determinar la calidad del agua.

## Patrón (de medición)

Material de referencia, instrumento de medición, medida materializada o sistema de medición destinado a definir, realizar, conservar o reproducir una unidad o uno o más valores de una magnitud para utilizarse como referencia.

## Patrón de referencia

Patrón, en general de la más alta calidad metrológica disponible en un lugar dado, o en una organización determinada, del cual se derivan las mediciones realizadas en dicho lugar.

## Patrón de trabajo

Patrón que es usado rutinariamente para calibrar o controlar las medidas materializadas, instrumentos de medición o los materiales de referencia.

## Patrón nacional (de medición)

Patrón reconocido por una decisión nacional en un país, que sirve de base para asignar valores a otros patrones de la magnitud concerniente.

## Patrón primario

Patrón que es designado o reconocido ampliamente como un patrón que tiene las más altas cualidades metrológicas y cuyo valor es aceptado sin referencia a otros patrones de la misma magnitud.

## Patrón secundario

Patrón cuyo valor es establecido por comparación con un patrón primario de la misma magnitud.

## Precisión

Es el grado de concordancia entre resultados analíticos individuales cuando el procedimiento analítico se aplica repetidamente a diferentes alícuotas o porciones de una muestra homogénea. Usualmente se expresa en términos del intervalo de confianza o incertidumbre:

$$x = \bar{x} \pm t_{\alpha/2} \frac{s}{\sqrt{n}}$$

donde:

$\bar{x}$  es la media calculada a partir de un mínimo de tres mediciones independientes;

$t_{\alpha/2}$  es el valor de la  $t$  de Student para un nivel de significancia del 95 %;

$s$  es la desviación estándar de la muestra;

$n$  es el número de réplicas, y

$x$  es el resultado que incluye el intervalo de confianza.

#### Trazabilidad

Propiedad del resultado de una medición o del valor de un patrón por la cual pueda ser relacionado a referencias determinadas, generalmente patrones nacionales o internacionales, por medio de una cadena ininterrumpida de comparaciones teniendo todas las incertidumbres determinadas.

#### Verificación de la calibración

Una verificación periódica de que no han cambiado las condiciones del instrumento en una forma significativa.

### REACTIVOS Y PATRONES

Todos los productos químicos usados en este método deben ser grado reactivo, a menos que se indique otro grado.

Agua: Debe entenderse agua que cumpla con las siguientes características:

- a) Resistividad: megohm-cm a 25°C:0,2 min.;
- b) Conductividad:  $\mu\text{S}/\text{cm}$  a 25°C: 5,0 máx., y

c) pH: 5,0 a 8,0.

### **Método reflujo cerrado / método espectrofotométrico**

Ácido sulfúrico concentrado ( $\text{H}_2\text{SO}_4$ )

Dicromato de potasio ( $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ )

Sulfato mercúrico ( $\text{HgSO}_4$ )

Sulfato de plata ( $\text{Ag}_2\text{SO}_4$ )

Biftalato de potasio patrón primario ( $\text{HOOC}_6\text{H}_4\text{COOK}$ )

Disolución estándar de biftalato de potasio (1 ml = 1 mg de DQO)\*. Deshacer los grumos y secar el biftalato de potasio a 120°C. Pesar aproximadamente y con precisión 0,851 g de biftalato de potasio, disolver en agua y aforar a 1 L. Es estable hasta por 3 meses cuando se mantiene en refrigeración y si no se observa crecimiento biológico.

Disolución de sulfato de plata en ácido sulfúrico. Pesar aproximadamente y con precisión 15 g de sulfato de plata y disolver en 1 L de ácido sulfúrico concentrado. El sulfato de plata requiere un tiempo aproximado de dos días para su completa disolución. La disolución formada debe mantenerse en la obscuridad para evitar su descomposición.

Disolución de digestión A (alta concentración). Pesar aproximadamente y con precisión 10,216 g de dicromato de potasio, previamente secado a 103°C por 2 h, y añadirlos a 500 mL de agua, adicionar 167 mL de ácido sulfúrico concentrado y aproximadamente 33,3 g de sulfato mercúrico. Disolver y enfriar a temperatura ambiente. Aforar a 1 L con agua.

Disolución de digestión B (baja concentración). Pesar aproximadamente y con precisión 1,021 g de dicromato de potasio, previamente secado a 103°C por 2 h, y añadirlos a 500 mL de agua. Adicionar 167 mL de ácido sulfúrico concentrado y

33,3 g de sulfato mercúrico. Disolver y enfriar a temperatura ambiente. Aforar a 1 L con agua.

### **Método reflujo abierto / método de titulación**

Dicromato de potasio ( $K_2Cr_2O_7$ )

Sulfato ferroso amoniacal hexahidratado ( $Fe(NH_4)_2(SO_4)_2 \cdot 6H_2O$ )

Ácido sulfúrico concentrado ( $H_2SO_4$ )

Sulfato de plata ( $Ag_2SO_4$ )

1,10 fenantrolina ( $C_{12}H_8N_2$ )

Sulfato mercúrico ( $HgSO_4$ )

Biftalato de potasio patrón primario ( $HOOC C_6H_4 COOK$ )

Sulfato ferroso heptahidratado ( $FeSO_4 \cdot 7 H_2O$ )

Disolución estándar de dicromato de potasio (para concentraciones altas),

Pesar aproximadamente y con precisión 12,259 g de dicromato de potasio previamente secado durante 2 h a  $105^\circ C \pm 1^\circ C$ , disolver y aforar a 1 L con agua y homogeneizar.

Disolución estándar de dicromato de potasio (para concentraciones bajas),

Pesar aproximadamente y con precisión 12,259 g de dicromato de potasio previamente secado durante 2 h a  $105^\circ C \pm 1^\circ C$ , disolver y aforar a 1L con agua y homogeneizar.

Disolución de sulfato ferroso amoniacal; disolver en aproximadamente 800 mL de agua aproximadamente 98,0 g de sulfato ferroso amoniacal hexahidratado, agregar cuidadosamente 20 mL de ácido sulfúrico concentrado, enfriar, llevar a 1 L con agua y homogeneizar.

Normalización de la disolución de sulfato ferroso amoniacal. Tomar una alícuota de 10 mL de la disolución estándar de dicromato de potasio 0,041 7 M. Diluir con agua hasta 100 mL, agregar cuidadosamente 30 mL de ácido sulfúrico concentrado y homogeneizar, enfriar y valorar con la disolución de sulfato ferroso amoniacal 0,25 M, utilizando 3 gotas de 1,10-fenantrolina como indicador, hasta el cambio de color de azul verdoso a café rojizo. Esta disolución debe normalizarse cada vez que se utilice.

Disolución de sulfato ferroso amoniacal (0,025 M). Diluir 100 mL de la disolución de sulfato ferroso amoniacal 0,25 M a 1 L. Valorar con la disolución de dicromato de potasio 0,004 17 M.

Disolución de ácido sulfúrico-sulfato de plata. Disolver cristales o polvo de sulfato de plata, en ácido sulfúrico concentrado en una relación 5,5 g  $\text{Ag}_2\text{SO}_4$  /Kg  $\text{H}_2\text{SO}_4$ . Se requieren de 1 a 2 días para que se disuelva completamente el sulfato de plata.

Disolución indicadora de 1,10-fenantrolina. Pesar aproximadamente y con precisión 1,485 g de 1,10-fenantrolina y aproximadamente 0,695 g de sulfato ferroso heptahidratado, diluir y aforar a 100 mL con agua y homogeneizar.

Disolución estándar de biftalato de potasio (500 mg  $\text{O}_2$ /mL). Pesar aproximadamente y con precisión 0,425 g de biftalato de potasio patrón primario previamente secado a 120°C durante 2 h, disolver y aforar a 1 L con agua. El biftalato tiene una DQO teórica de 1,176 mg  $\text{O}_2$ /mg de Biftalato, por lo que la DQO teórica de esta disolución es de 500 mg  $\text{O}_2$ /mL. Esta disolución es estable hasta por 3 meses si se mantiene en refrigeración y en ausencia de crecimiento biológico visible.

## **EQUIPO Y MATERIALES**

Sólo se mencionan los equipos y materiales que son de relevancia para este método.

### **Método de reflujo cerrado / método espectrofotométrico**

#### Equipo

Placa de calentamiento con horadaciones para los tubos de reacción de DQO que alcance una temperatura de  $150^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$ .

Espectrofotómetro. Disponible para utilizarse de 190 nm a 900 nm y equipado con celdas de 1 cm de paso óptico de luz o tubos de 16 mm x 100 mm de calidad espectro.

#### Material

Todo el material volumétrico utilizado en este método debe ser de clase A con certificado, o en su caso debe estar calibrado.

Tubos para digestión, 16 mm x 100 mm con tapa con cubierta interior de TPF.

Barras magnéticas cubiertas de TPF.

### **Método de reflujo abierto / método de titulación**

#### Equipo

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

#### Material

Todo el material volumétrico utilizado en este método debe ser de clase A con certificado, o en su caso debe estar calibrado.

#### Bureta

## RECOLECCIÓN, PRESERVACIÓN Y ALMACENAMIENTO DE MUESTRAS

La muestra se debe analizar inmediatamente después de su toma, en caso contrario debe conservarse en refrigeración a 4°C, además de la adición de ácido sulfúrico hasta  $\text{pH} < 2$ .

El tiempo máximo de almacenamiento previo al análisis es de 28 días.

## CONTROL DE CALIDAD

Cada laboratorio que utilice este método debe operar un programa de control de calidad (CC) formal.

El laboratorio debe mantener los siguientes registros:

- Los nombres y títulos de los analistas que ejecutan los análisis y el encargado de control de calidad que verifica los análisis, y
- Las bitácoras manuscritas del analista y del equipo en los que se contengan los siguientes datos:
  - a) Identificación de la muestra;
  - b) Fecha del análisis;
  - c) Procedimiento cronológico utilizado;
  - d) Cantidad de muestra utilizada;
  - e) Número de muestras de control de calidad analizadas;
  - f) Trazabilidad de las calibraciones de los instrumentos de medición;
  - g) Evidencia de la aceptación o rechazo de los resultados, y

- h) Además el laboratorio debe mantener la información original reportada por los equipos en disquetes o en otros respaldos de información.

De tal forma que permita a un evaluador externo reconstruir cada determinación mediante el seguimiento de la información desde la recepción de la muestra hasta el resultado final.

Cada vez que se adquiera nuevo material volumétrico debe de realizarse la verificación de la calibración de éste tomando una muestra representativa del lote adquirido.

## **CALIBRACIÓN**

Se debe contar con la calibración de los equipos y materiales siguientes:

Material volumétrico

Balanza analítica

Bureta

Calibrar el espectrofotómetro de acuerdo a las especificaciones del fabricante.

Curva de calibración: Preparar por lo menos cinco disoluciones de biftalato de potasio con DQO equivalentes de 20 mg O<sub>2</sub>/L a 900 mg O<sub>2</sub>/L, ajustar el volumen con agua destilada. Utilizar los mismos volúmenes de reactivo y procedimiento de digestión que para las muestras.

## **PROCEDIMIENTO**

## **Método a reflujo cerrado/ método espectrofotométrico**

Precalentar a 150°C el digestor de DQO

Colocar en los tubos de reacción 1,5 mL de la disolución de digestión A o B

Tomar cuidadosamente 2,5 mL de muestra previamente homogeneizada dentro de los tubos de reacción. Cerrar inmediatamente para evitar que se escapen los vapores, asegurarse de que están herméticamente cerrados. Suavemente invertir los tubos varias veces destapando después de cada inversión para liberar la presión.

**NOTA.-** La disolución es fuertemente ácida y el tubo se calienta en este proceso, trabajar con guantes aislantes.

Añadir cuidadosamente 3,5 mL de la disolución de digestión respectiva.

Colocar 2,5 mL de agua en un tubo para la determinación del blanco de reactivos.

Colocar todos los tubos en el digestor previamente calentado a 150°C y refluja por 2 horas.

Retirar los tubos del digestor y dejar que los tubos se enfríen a temperatura ambiente, permitiendo que cualquier precipitado se sedimente.

Medir la absorbancia en el espectrofotómetro, previamente calibrado o cuantificar por titulación.

Para aguas que contengan una DQO baja (5 mg/L a 75 mg/L), utilizar la disolución de digestión B. Si el valor de la DQO determinado es más alto que 75 mg/L después de usar estos reactivos, reanalizar la muestra, utilizando la disolución A.

### **Método de reflujo abierto / método de titulación**

Para niveles mayores de 50 mg/L de demanda química de oxígeno:

Transferir una muestra de 50 mL (o dilución) al matraz Erlenmeyer de 500 mL. Agregar una cantidad adecuada de sulfato mercúrico (aproximadamente 1 g, la relación de sulfato mercúrico/cloruros debe ser 10 a 1) y algunas perlas de vidrio. Adicionar una alícuota de 25,0 mL de la disolución estándar de dicromato de potasio 0,041 7 M y mezclar mediante un movimiento circular. Se pueden utilizar cantidades menores de muestra conservando la proporción de los reactivos.

Conectar el matraz erlenmeyer al condensador tipo Friedrich y hacer circular el agua de enfriamiento.

Por el extremo superior del condensador agregar lentamente 75 mL de la disolución de ácido sulfúrico-sulfato de plata y agitar con movimiento circular para homogeneizar.

Calentar el matraz que contiene la mezcla y mantener a reflujo durante 2 h a partir del momento en que empieza la ebullición. Dejar enfriar y lavar el condensador con 25 mL de agua.

Añadir agua por el extremo superior del condensador hasta completar un volumen aproximado de 300 mL, retirar el matraz del condensador y enfriar a temperatura ambiente.

Agregar 3 gotas de disolución Indicadora de 1,10 fenantrolina como indicador y titular con la disolución de sulfato ferroso amoniacal 0,25 M. Tomar como punto final el primer cambio de color de azul verdoso a café rojizo.

Llevar simultáneamente un testigo preparado con agua y todos los reactivos que se utilizan en el procedimiento.

Para niveles menores de 5 mg/L de demanda química de oxígeno:

Transferir una muestra de 50 mL al matraz Erlenmeyer de 500 mL. Agregar una cantidad adecuada de sulfato mercúrico (aproximadamente 1 g) y algunas perlas de vidrio. Añadir 25,0 mL de la disolución estándar de dicromato de potasio 0,004 17 M y mezclar mediante un movimiento circular.

Conectar el matraz Erlenmeyer al condensador tipo Friedrich y hacer circular el agua de enfriamiento.

Por el extremo superior del condensador agregar lentamente 75 mL de la disolución de ácido sulfúrico-sulfato de plata y agitar con movimiento circular para homogenizar.

Calentar el matraz que contiene la mezcla y mantener a reflujó durante dos horas a partir del momento en que empieza la ebullición. Dejar enfriar y lavar el condensador con 25 mL de agua.

Añadir agua por el extremo superior del condensador hasta completar un volumen aproximado de 300 mL, retirar el matraz del condensador y enfriar a la temperatura ambiente.

Agregar 3 gotas de disolución indicadora de 1,10-fenantrolina como indicador y titular con la disolución de sulfato ferroso amoniacal 0,025 M. Tomar como punto final el primer cambio de color de azul verdoso a café rojizo.

Llevar simultáneamente un testigo preparado con 50 mL de agua y todos los reactivos que se utilizan en el procedimiento.

## CÁLCULOS

### Método de reflujo cerrado / método espectrofotométrico:

Calcular la DQO en la muestra en miligramos por litro (mg/L) directamente de la curva de calibración, con la ecuación 1.

$$Y = mX + b \quad \text{Ecuación 1}$$

Reportar los resultados en mg/L.

### Método de reflujo abierto / método de titulación

La demanda química de oxígeno, expresada en mg O<sub>2</sub> /L, se calcula con la ecuación 2.

$$DQO = \frac{V_1 - V_2 \times M \times 8\,000}{V_3} \quad \text{Ecuación 2}$$

donde,

- $V_1$  es el volumen en mL de la disolución de sulfato ferroso amoniacal requerido para la valoración del testigo;
- $V_2$  es el volumen en mL de la disolución de sulfato ferroso amoniacal requerido para la valoración de la muestra;
- $V_3$  es el volumen en mL de la muestra, y
- M es la molaridad de la disolución de sulfato ferroso amoniacal utilizada en la determinación.

## **INTERFERENCIAS**

El método no oxida uniformemente todos los materiales orgánicos. Algunos compuestos son muy resistentes a la oxidación, mientras que otros tales como los carbohidratos son fácilmente oxidables.

Los compuestos alifáticos volátiles de cadena abierta no se oxidan.

## **SEGURIDAD**

No ha sido determinada la carcinogenicidad de todos los reactivos, por lo que cada sustancia química debe tratarse como peligro potencial a la salud. La exposición a estas sustancias debe reducirse al menor nivel posible. Se sugiere que el laboratorio realice inspecciones de higiene ocupacional de cada reactivo a los que pueda estar expuesto el analista y que dichos resultados estén a su disposición.

Este método puede no mencionar todas las precauciones de seguridad asociadas con su uso. El laboratorio es responsable de mantener un ambiente de trabajo seguro y un archivo de las normas de seguridad respecto a la exposición y manejo seguro de las sustancias químicas especificadas en éste método. Debe tenerse en un archivo de referencia las hojas de información de seguridad, el cual debe estar disponible a todo el personal involucrado en estos análisis.

Cuando se trabaje con cualquiera de los compuestos químicos descritos en este método, debe usar todo el tiempo equipo de seguridad, tal como: batas, guantes de látex y lentes de seguridad.

La preparación de todos los reactivos usados en este método debe efectuarse bajo una campana de extracción. Consulte las hojas de seguridad sobre manipulación y disposición de éstos.

El ácido sulfúrico es un compuesto químico debe manejarse con extremo cuidado. El adicionar ácido sulfúrico concentrado al agua produce una fuerte reacción exotérmica por lo cual esto debe realizarse muy lentamente con agitación y enfriamiento externo.

Cuando se adiciona ácido sulfúrico al agua el punto de ebullición de la mezcla resultante es considerablemente más bajo que el del ácido sulfúrico solo (338°C). Si la mezcla se coloca en la parrilla de digestión a una temperatura significativamente alta, pueden presentarse problemas de proyecciones dando como resultado la pérdida de muestra y contaminación además de posibles daños corporales. Siempre debe usarse una careta mientras se trabaje en las proximidades de la parrilla de digestión, especialmente durante el monitoreo de ésta.

El sulfato de plata es tóxico, evitar el contacto con el producto así como con sus disoluciones.

El sulfato mercúrico es muy tóxico, evitar el contacto con los productos químicos así como con sus disoluciones.

## MANEJO DE RESIDUOS

Es la responsabilidad del laboratorio cumplir con todos los reglamentos federales, estatales y locales referentes al manejo de residuos, particularmente las reglas de identificación, almacenamiento y disposición de residuos peligrosos.

### Desecho de residuos

Para los residuos de mercurio, diluir todo el residuo ácido en aproximadamente dos veces su volumen original.

Ajustar el pH a un valor mayor de 7 adicionando lentamente disolución de hidróxido de sodio (40 % a 50 %, peso/volumen) con agitación, pudiendo también combinar este residuo con desechos alcalinos. Los residuos combinados deben tener un pH de 10 o mayor; en caso contrario, agregar hidróxido de sodio hasta que el pH alcance un valor de 10 a 11.

Agitar con pequeñas cantidades de disolución de tiosulfato de sodio (40 % a 50 % peso/volumen) mientras el residuo alcalino está aún tibio y hasta que no ocurra ninguna precipitación.

Dejar que sedimente el precipitado y drenar unos cuantos mililitros de la disolución sobrenadante asegurando que el pH esté aún arriba de 10, adicionar un volumen igual de disolución de tiosulfato de sodio. Si el sobrenadante aún contiene mercurio disuelto, se forma rápidamente un precipitado, indicando que debe adicionarse más tiosulfato de sodio.

Decantar o sifonear el sobrenadante y descartar después que el precipitado se ha sedimentado.

Lavar el precipitado dos veces con agua que contenga trazas de hidróxido de sodio, dejar sedimentar y descartar los lavados.

Secar el precipitado, primero con aire y después en una estufa a temperatura no mayor de 110°C.

Almacenar los sólidos secos hasta que haya una cantidad suficiente acumulada para justificar el envío a algún sitio de reproceso. El mercurio metálico y los desechos organomercuriales deben almacenarse en contenedores herméticos hasta su reproceso comercial.

Cada laboratorio debe contemplar dentro de su programa de Control de Calidad (CC) el destino final de los residuos generados durante la determinación.

Todas las muestras que cumplan con la norma de descarga al sistema de alcantarillado pueden ser descargadas en el mismo.

## **CONCORDANCIA CON NORMAS INTERNACIONALES**

Esta norma mexicana no es equivalente a ninguna norma internacional por no existir referencia alguna al momento de su elaboración. **[6]**

### 3.4 Observaciones a la norma NMX-AA-030-SCFI-2001

#### ANÁLISIS DE AGUA - DETERMINACIÓN DE LA DEMANDA QUÍMICA DE OXÍGENO EN AGUAS NATURALES, RESIDUALES Y RESIDUALES TRATADAS - MÉTODO DE PRUEBA (CANCELA A LA NMX-AA-030-1981)

En base a la experimentación se concluye que la norma antes mencionada presenta algunos errores y deficiencias.

En el apartado de REACTIVOS Y PATRONES requeridos, específicamente para el método de reflujó cerrado, la norma contiene un error ya que indica la siguiente preparación para una solución patrón:

“Disolución estándar de biftalato de potasio (1 ml = 1 mg de DQO)\*. Deshacer los grumos y secar el biftalato de potasio a 120°C. Pesar aproximadamente y con precisión 0,851 g de biftalato de potasio, disolver en agua y aforar a 1 L. Es estable hasta por 3 meses cuando se mantiene en refrigeración y si no se observa crecimiento biológico”.

Para las cantidades que se indican, la concentración será:

1 ml = 1000 mg de DQO y **NO** (1 ml = 1 mg de DQO)\*.

En la sección de CALIBRACIÓN, la norma NO ofrece detalles o especificaciones, siendo el procedimiento de la calibración fundamental para éste método

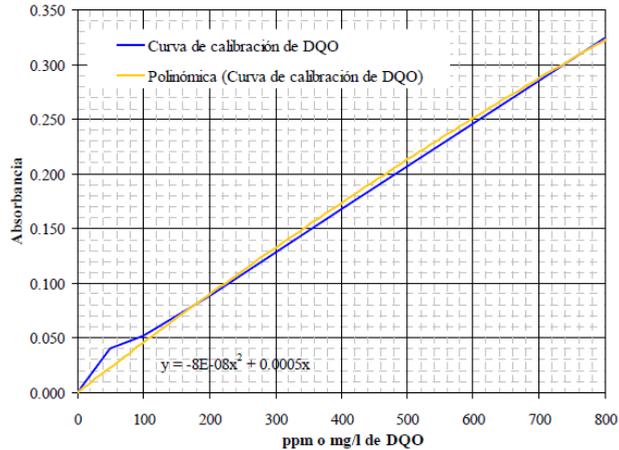
#### Elaboración de la curva de calibración

Con los datos de la tabla 9, es necesario graficar la concentración de la solución patrón expresada en ppm o mg/l vs la absorbancia (%) de dicha solución, para así obtener la curva de calibración.

Tabla 9: Datos para la elaboración de la curva de calibración.

| ppm o mg/l      | 0     | 50    | 100   | 200   | 400   | 800   |
|-----------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Absorbancia (%) | 0.000 | 0.040 | 0.052 | 0.088 | 0.168 | 0.324 |

Una vez graficado los datos anteriores, se elabora un ajuste a la curva de calibración (figura 8) por algún método matemático, para así determinar de manera rápida la concentración de una muestra problema. [7]



**Figura 8. Curva de calibración de la solución patrón de DQO**

**CAPÍTULO 4.**

**CASO PRÁCTICO DE ESTUDIO.**

**CONTAMINACIÓN EN EL RÍO CUPATITZIO**

**TRAMO RODILLA DEL DIABLO- ENTRADA A**

**LA PRESA CUPATITZIO**

## **4. CASO PRÁCTICO DE ESTUDIO. CONTAMINACIÓN EN EL RÍO CUPATITZIO TRAMO RODILLA DEL DIABLO- ENTRADA A LA PRESA CUPATITZIO**

### **4.1 Cuenca del Río Cupatitzio.**

En la cuenca del río Cupatitzio, los nuevos retos derivados de la explosión demográfica, los cambios en los usos del suelo, la extensión de las fronteras agrícolas y la contaminación del agua, que han sometido a fuertes presiones los recursos naturales, entre ellos el agua, han motivado a los tres órdenes de gobierno, los usuarios del agua, instituciones académicas y sociedad organizada, a afrontar de manera conjunta la problemática, creando para ello la Comisión de Cuenca del Río Cupatitzio, como un órgano auxiliar del consejo de cuenca del Río Balsas.

La Comisión de cuenca del Río Cupatitzio, se creó como un órgano colegiado con el propósito de definir programas y crear las estructuras operativas que promuevan la gestión integrada de los recursos hídricos, con el fin de maximizar el bienestar social y económico equitativamente sin comprometer la sustentabilidad de los ecosistemas vitales.

El manejo y preservación del agua y del medio ambiente es un imperativo estratégico para el desarrollo de cualquier país; por ello, es necesario reconocer que se trata de un recurso finito y vulnerable. Sin embargo, en años recientes se ha notado un detrimento paulatino del medio ambiente en general y del agua en particular, resultado de la sobreexplotación de los recursos naturales así como de su mal manejo.

El creciente deterioro de la calidad del agua, así como su cada vez mayor escasez, obligan a poner más atención en mejorar su administración para evitar posibles riesgos para el desarrollo tanto económico como social.

Ante esta compleja situación, poco optimista, se ha manifestado y extendido la idea de que los recursos naturales: agua, aire, suelo, flora y fauna, deben ser protegidos con el fin de sostener, ahora y en el futuro, las condiciones de vida humana en el planeta. Este cometido sólo se puede alcanzar si se logra un equilibrio entre la satisfacción de las necesidades humanas y la capacidad de regeneración de tales recursos en los ecosistemas.

El concepto de desarrollo sustentable considera indispensable lograr una gestión integral del vital líquido para lograr un crecimiento económico exitoso, y a la vez conseguir una distribución equitativa entre los distintos grupos sociales involucrados sin comprometer la calidad de vida de las generaciones futuras. Al mismo tiempo, se reconoce que el desarrollo sustentable depende de una profunda transformación de los actuales modelos para el uso de los recursos por la sociedad, así como la manera en que se utilizan y distribuyen los productos resultantes de su aprovechamiento. Por ello, en los próximos años existirá la necesidad de realizar mayores esfuerzos y cambios estructurales y operativos en las instituciones y organizaciones públicas y privadas, así como en las actitudes y comportamientos de la sociedad respecto la preservación y sustentabilidad de su fuente primordial de vida: El Agua.

Así, cada vez se comprende mejor que el agua forma parte de un sistema natural complejo, que se encuentra íntimamente vinculado y en interacción permanente con otros sistemas ambientales, económicos, políticos y sociales, lo que significa que para lograr su aprovechamiento integral y eficaz administración, es decir sin afectar su calidad ni la eficiencia del ciclo que la recircula en la naturaleza, es indispensable tomar en cuenta todas sus relaciones de interdependencia, así como las múltiples y complejas funciones que desempeña en las actividades humanas y en los sistemas y procesos naturales.

Por otra parte, el uso y aprovechamiento sustentable del agua depende, además de las buenas prácticas de manejo, de múltiples factores entre los que destacan: el interés de la sociedad con relación al agua; las formas de organización, características y eficacia de las instituciones que atienden los asuntos hídricos; las modalidades y alcances de las políticas públicas relacionadas con el agua; la participación organizada y responsable de los usuarios y de la sociedad en su cuidado y preservación; los sistemas de información, administración y planificación que se ponen en práctica para ordenar sus usos; los recursos financieros que se destinan a su aprovechamiento y manejo y la calidad de los recursos humanos que participan en estas actividades.

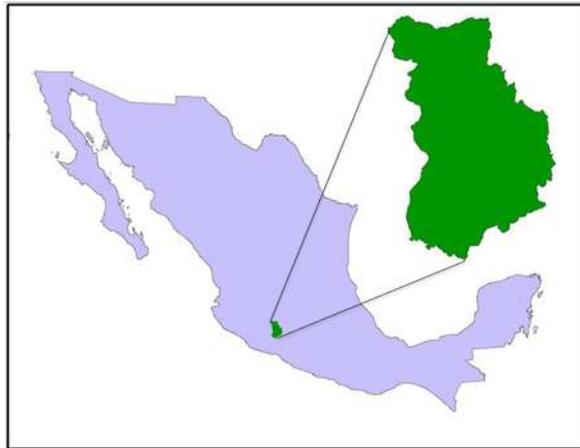
El agua tiene un valor económico, social y ambiental en todos los usos a que se destina, ya sean de carácter público y privado, y por tanto la gestión integrada de este recurso debe contemplar las relaciones existentes entre economía, sociedad y medio ambiente, en el marco geográfico de las cuencas hidrológicas.

La situación crítica del agua no es problema exclusivo del estado de Michoacán o del país, sino que rebasa fronteras.

## DIAGNÓSTICO DE LA CUENCA DEL RÍO CUPATITZIO

### Localización geográfica

La cuenca del río Cupatitzio forma parte de la Sub-región Bajo Balsas y se localiza en la porción centro-occidente del Estado de Michoacán, entre las coordenadas geográficas 18° 38' 14" y 19°45'24" latitud norte y 101°36'15" y 102°17'30" longitud oeste (Figura 9).



**Figura 9. Localización de la Cuenca del Río Cupatitzio**

La extensión territorial de la cuenca es de 2,851.73 Km<sup>2</sup> (285,173.23 Ha). La integran parcial o totalmente 22 municipios del Estado de Michoacán, entre los que destacan: Ario, Gabriel Zamora, La Huacana, Múgica, Nuevo Parangaricutiro, Nuevo Urecho, Paracho, Parácuaro, Salvador Escalante, Tacámbaro, Taretan, Tingambato, Turicato, Uruapan y Ziracuaretiro. En la figura 10 se muestran las áreas que ocupan los diferentes municipios dentro de la Cuenca.

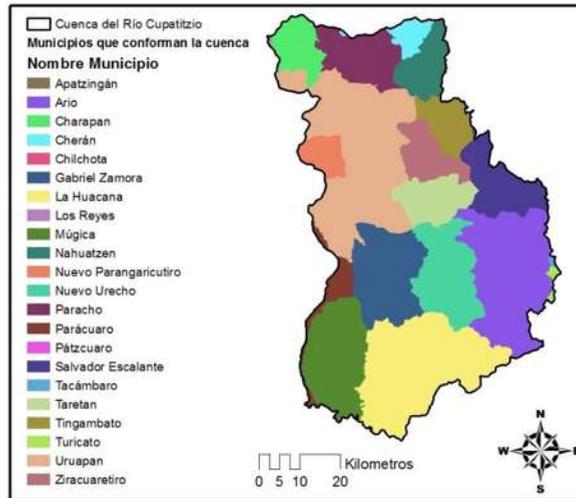


Figura 10 Municipios que ocupan la superficie de la cuenca del Río Cupatitzio

Es de señalar, que si bien es cierto que son 22 los municipios que comparten territorio de la cuenca, no todos tienen una participación trascendente al no contar con superficie y poblaciones significativas dentro de ella. Por lo tanto, el enfoque es hacia el municipio de Uruapan por ser éste el de mayor superficie dentro de la cuenca (65803.7 Ha es decir, el 23.1 % respecto a la superficie total de la cuenca), además de ser el municipio de Uruapan donde se ubica el río Cupatitzio.

La cuenca del río Cupatitzio se localiza en su mayor parte en la provincia fisiográfica del Sistema Volcánico Transversal, el cual se caracteriza por presentar un gran número de aparatos volcánicos; por ejemplo, el Parícutín.

La cuenca del río Cupatitzio, presenta desniveles topográficos de casi 2,831 m, ya que desciende desde los 3,300 metros sobre el nivel del mar a los 469 msnm.

La cuenca del río Cupatitzio tiene como límite en la parte alta a las cuencas cerradas de Paracho-Nahuatzen y lago de Zirahuen, las cuales se ubican en el mismo Sistema Volcánico Transversal. A la fecha existen evidencias de que las actividades humanas realizadas en las cuencas cerradas de Paracho-Nahuatzen y lago de Zirahuen tiene repercusiones significativas en la cuenca del río Cupatitzio, particularmente sobre el comportamiento de los recursos hídricos subterráneos.

## **Características Físicas de la Cuenca**

### **Fisiografía**

Como se ha mencionado, la cuenca del río Cupatitzio se encuentra en la provincia fisiográfica denominada Sistema Volcánico Transversal o Cordillera Neovolcánica, que atraviesa la República Mexicana entre los 19 y 21 grados de Latitud Norte y está caracterizada por un vulcanismo activo que se ha manifestado desde la época Terciaria, el cual ha venido rejuveneciendo el relieve topográfico y transformando el paisaje desde entonces. La fisiografía la forman edificios volcánicos, montañas, lomeríos y planicies.

En términos generales presenta una fisiografía típica de las zonas de sierra, en la que existe importante número de accidentes orográficos, aunque por formar parte de la transición hacia los valles de la zona de Tierra Caliente, existen planicies con pendientes regulares. Esta topografía accidentada es originada por la existencia de una gran cantidad de volcanes cuya altura varía entre 3,600 y 1,800 msnm, como el Tancitaro y el Cerro Prieto. Hacia el suroeste del área se pueden apreciar una serie de mesetas a una altitud promedio de 1,400 msnm, cortadas por cañadas labradas por tributarios del río Cupatitzio, principal escurrimiento superficial de la cuenca.

### **Geomorfología.**

Según un estudio realizado por la Gerencia de Aguas Subterráneas de la Comisión Nacional del Agua en el año 2002, “los principales rasgos fisiográficos del área referida se hallan representados por topoformas de carácter volcánico monogenético, lomeríos ondulados y valles intramontanos de carácter aluvial, aparatos adyacentes típicos de la Meseta Purépecha”.

### **Geología y estratigrafía.**

Las rocas volcánicas son las más abundantes en la región de estudio, representadas por derrames de lava y productos piroclásticos. Las rocas más representativas son principalmente ígneas extrusivas basálticas, piroclásticos y brechas, y en menor extensión intrusivas gráficas.

### **Tipo y uso del suelo.**

Los suelos de la cuenca se han originado como resultado de la acción combinada del transporte fluvial de arcillas lateríticas y del depósito de productos piroclásticos provenientes de algunos de los volcanes que en diferentes ocasiones han venido haciendo erupción dentro de la época cuaternaria; predominando en superficie los Andosol, Litosol, Vertisol y Acrisol.

Por lo que respecta al uso del suelo, en general predomina la agricultura de temporal con cultivos anuales, así como una amplia superficie con bosque de pino-encino y el bosque de pinoencino acompañado de vegetación secundaria. El riego agrícola destaca sobre todo en la parte media y baja de la cuenca.

Sin embargo, quizás es de esperarse un acelerado cambio en el uso del suelo, consecuencia de la sustitución del bosque por un uso agrícola, enfocado a la siembra y producción de aguacate.

Con el pasar de los años, grandes áreas de vegetación natural han sido modificadas o sustituidas por actividades agrícolas, destacando principalmente el aguacate, maíz, mango, sorgo, avena, caña de azúcar y frijol, cultivos que ocupan el 95.85 % del total de cultivos agrícolas registrados por SAGARPA en 2002.

Los cambios de la cubierta vegetal no sólo afectan al bosque directamente, sino que conllevan a la reducción de la biodiversidad, aumento de la erosión, pérdida en la captación de agua, entre otros.

### **Climatología**

En la cuenca del río Balsas predomina un clima semicálido-subhúmedo, con temperatura media anual entre 18 y 22°C, lluvias en verano, porcentaje de

lluvia invernal menor que el 5%, poca oscilación en la temperatura media mensual entre 5 y 7 °C.

En la cuenca del río Cupatitzio, se identifican una diversidad de climas debido a que la cuenca presenta una prolongada pendiente del terreno, del orden 3 al 4%. En la zona norte de la cuenca, predomina el clima templado-húmedo-semifrío (según Köppen) representado por la estación climatológica de Uruapan. En la porción intermedia y sur de la cuenca se definen climas de los tipos seco, semiseco-semicálido, cálidos semihúmedos y cálidos subhúmedos. Los tipos de climas que se definen en la cuenca del río Cupatitzio forman cinturones climáticos con orientación de Este a Oeste, los cuales son poco oscilantes a lo largo del año. De acuerdo con las temperaturas medias anuales que se tienen en esta zona, se definen cinturones con climas: semifrío, templado, semicálido y cálido. Los climas semifrío y templado se localizan en la porción Norte de la cuenca y el clima semicálido y cálido al centro y sur de la cuenca, respectivamente.

### **Temperatura**

Las temperaturas medias anuales registradas en la cuenca del Río Cupatitzio oscilan entre 14 a 28°C. Para definir la distribución mensual de la temperatura media en la cuenca del río Cupatitzio, se seleccionaron las estaciones climatológicas de Charapan, Barranca del Cupatitzio, Taretan, Zirizcuaro y La Pastoría.

En la cuenca del río Cupatitzio, en la estación climatológica de la Barranca del Cupatitzio, se define un clima templado durante todo el año con una temperatura que fluctúa entre 12 a 18°C.

El clima semicálido, con temperaturas medias mensuales que fluctúan entre 18 y 22°C, se define para la zona donde se ubica la estación climatológica de Taretan, en la porción central de la cuenca, entre la zona de transición de las sierras ubicadas en la porción Norte con el valle de Lombardia.

El clima cálido se encuentra en las partes más bajas de la cuenca, característico del valle de Nueva Italia, donde se presenta temperaturas medias mensuales superiores a los 22 °C. Las estaciones características fueron las de Zirizcuaro y La Pastoría al sur de Nueva Italia.

### **Precipitación**

En la región del Balsas se registra una precipitación media anual de 929 mm, con lluvias en los meses de junio a octubre, lo que dificulta su aprovechamiento dado su carácter torrencial en la generalidad de los casos.

Por lo que respecta a la cuenca del río Cupatitzio, la precipitación pluvial registrada oscila entre los 600 mm a los 1600 mm de lluvia durante el año. Las mayores precipitaciones se registran en las partes altas al norte de la cuenca y

las menores hacia las porciones bajas al sur de la cuenca. Durante el año las precipitaciones se concentran durante los meses de mayo a octubre, con lluvias ocasionales durante el mes de enero.

La mayor precipitación incide en las porciones norte y oriente de la cuenca del río Cupatitzio, hacia el municipio de Uruapan, con precipitaciones acumuladas anuales superiores a los 1,600 mm al año. Las precipitaciones que inciden durante los meses de mayo y octubre en dicha zona oscilan entre 80 a 120 mm, mientras que las registradas durante los meses de junio, julio, agosto y septiembre se presentan entre 250 a 360 mm.

La precipitación que incide en el valle de Lombardía se encuentra entre 900 a 1200 mm, la estación climatológica de Taretan es representativa de esta zona. La precipitación que incide hacia las partes más bajas de la cuenca, en lo que es el valle de Nueva Italia, presentan precipitaciones pluviales que oscilan entre los 900 a 500 mm.

### **Evaporación**

La evaporación media anual registrada para la cuenca del Cupatitzio oscila entre los 1000 mm registrados hacia las partes altas de la cuenca en la zona colindante con la cuenca cerrada de Paracho, y que progresivamente aumentan conforme disminuye la elevación del terreno, hasta evaporaciones del orden de los 2200 mm hacia las partes más bajas de la cuenca como es la zona sur del valle de Nueva Italia.

La distribución de la evaporación media mensual a lo largo del año presenta dos patrones marcados para la cuenca del río Cupatitzio. El primero de ellos definido para las porciones alta y media de la cuenca, con evaporaciones entre 75 a 150 mm mensual, con máximas en los meses de marzo, abril y mayo.

El segundo patrón de comportamiento de la evaporación media mensual en la cuenca del río Cupatitzio se define hacia las partes bajas de la cuenca, en los valles de Lombardía y Nueva Italia, con evaporaciones entre 150 a 320 mm, con máximos en los meses de marzo, abril y mayo.

### **Hidrografía**

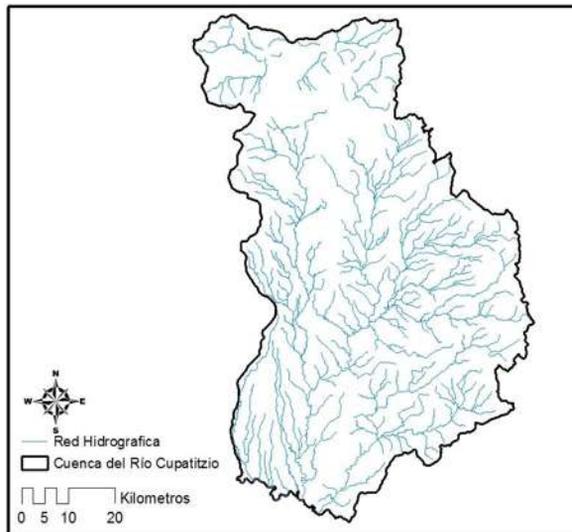
La cuenca del río Cupatitzio puede considerarse que está formada por tres sistemas hidrográficos, correspondientes al río Cupatitzio y sus tributarios los ríos Jicalán y Acúmbaro.

En la unión de los ríos Cupatitzio y Acúmbaro (Cajones), la corriente principal recibe el nombre El Marqués, al pasar por la población del mismo nombre. También se le conoce como el río La Pastoría. El Marqués vierte sus escurrimientos a la margen izquierda del río Tepalcatepec, a 26 km. de la estación hidrométrica los Panches. A partir de este punto, el río Tepalcatepec está ahogado dentro del vaso de la presa El Infiernillo.

El río Cupatitzio tiene sus orígenes al Noroeste de la Ciudad de Uruapan, Mich., en el cerro de El Pario, a una altura de 2750 msnm. A unos 10 Km. aguas abajo, aproximadamente, recibe importantes aportaciones al cruzar por el Parque Nacional “Eduardo Ruiz”, a través de una serie de manantiales entre los cuales destaca el conocido como “La Rodilla del Diablo” el cual brota a una elevación de 1700 msnm, y otras no menos importantes como la Yerbabuena, el Revelero y Garandillas, entre otros, siendo estos los que le dan al río características caudalosas de régimen permanente. Más adelante recibe aportaciones por la margen izquierda del arroyo Santa Bárbara, y por la derecha del río Los Conejos, un poco antes de la cascada La Tzararacua. En la porción suroeste destacan los arroyos Mata de Plátano, Chumbisto y las Barrancas, formadores del Jicalán Viejo, que descarga sus aguas en el río Cupatitzio a la altura del poblado de Charapendo.

Al oriente de la zona de Uruapan, la corriente superficial más relevante es el río Acúmbaro y sus tributarios, los ríos El Cóbano, Tahuejo, Chupangio, San Cayetano, Tepenahua, Santa Casilda y Tomendán, que con dirección sur pasa por la población de Taretan, para descargar sus aguas al río Cupatitzio. El origen del río Acúmbaro está representado por el manantial El Ortigal.

En la Figura 11 se muestra la red hidrográfica de la Cuenca del Cupatitzio.



**Figura 11 Red Hidrográfica de la cuenca del Río Cupatitzio**

En la carretera Uruapan-Pátzcuaro, a la altura del poblado de San Andrés Corú, se localizan 2 manantiales que se aprovechan para el abastecimiento de

agua potable a esta población. También se han identificado manantiales en Santiago Tingambato. Sobre la carretera Uruapan – Taretan se localizan 2 manantiales en los alrededores de Zirimícuaro, utilizándose parte de las aportaciones en el abastecimiento de este poblado. Así mismo, se localizan 2 manantiales a la altura de la población de Caracha, teniendo gran importancia uno de ellos conocido como El Ortígal, por ser origen del río Acúmbaro. Finalmente, en los alrededores de Taretan existen 6 manantiales.

El aprovechamiento de estos escurrimientos se lleva a cabo principalmente para la generación de energía eléctrica como un uso no consuntivo, seguido en su importancia por el uso agrícola, dada la magnitud del volumen requerido.

**Parque Nacional “Barranca del Cupatitzio”.** Considerando que en el lugar conocido como “Rodilla del Diablo” tiene su nacimiento el río Cupatitzio, que es el más importante que se encuentra en el municipio de Uruapan, cuyas aguas son aprovechadas en la producción de energía eléctrica, en las industrias, abastecimiento urbano y en el riego de huertas y terrenos de cultivo, el 2 de noviembre de 1938 se decretó ANP al **Parque Nacional “Barranca del Cupatitzio”**. Se declararon los terrenos que a continuación se mencionan: Terrenos de Casanapiro; Potrero de Mendoza; Los Jazmines; Encino Gacho; El Guayabo, Palo Alto, Rancho La Mora, Rodilla del Diablo y Huerta Quinta Ruiz, hasta colindar con la capilla de Santiago; terrenos que están considerados en un plano levantado en octubre de 1935 por el personal de la Dirección de Bienes Nacionales.

Comprende además la zona federal del río Cupatitzio, desde el mismo parque hasta el Vivero de Árboles localizado en el sitio conocido por el Popo (Ubicación geográfica —coordenadas— 19° 25´ y 19° 26´ 19" de latitud norte. 102° 04´ 06" y 102° 07´ 07" de longitud oeste).

La problemática en esta ANP son los asentamientos humanos irregulares (70 hectáreas). Dentro del parque nacional se encuentran dos colonias con una población de 4,232 habitantes (Colonias 28 de Octubre y Plan de Ayala). En la zona aledaña hay 11 colonias con una población de 199,260 habitantes.

**El parque urbano ecológico de Uruapan** se declara ANP el 12 de enero de 1995. El predio denominado Santa Catarina, área que cobra especial importancia por los yacimientos de agua que conforman el río Santa Bárbara, ya que parte de esta agua se capta para abastecer a la ciudad; además de contener un importante acervo de especies animales, como aves migratorias, anfibios, roedores, insectos, reptiles y crustáceos cuya reproducción, alimentación y refugio dependen de las condiciones ecológicas existentes en los terrenos del Parque Urbano.

El ANP cubre una superficie aproximada de 52 hectáreas, propiedad del Gobierno del Estado de Michoacán. En este parque urbano sólo se pueden realizar actividades recreativas, de investigación, educación ecológica, restablecimiento de la vegetación nativa mediante programas de reforestación y en general aquellas tendientes a la conservación de los ecosistemas y sus elementos.

### **Calidad del Agua**

En la cuenca del río Cupatitzio, la ciudad de Uruapan es la principal fuente de contaminación debido a que vierte parte de sus aguas residuales en forma directa y sin ningún tratamiento previo, sobre corrientes y cauces naturales que cruzan la mancha urbana, como son los ríos Riyitos, Revelero y Tarecho, además de una serie de barrancas que confluyen al río Cupatitzio. Estas últimas constituyen fuertes sitios para tiraderos de desechos sólidos y domésticos.

En 1992, la Comisión Nacional del Agua realizó un estudio especial para determinar el comportamiento de la calidad del agua en el río Cupatitzio, mediante muestreo en 8 estaciones ubicadas a lo largo del río y en 5 ubicadas en los principales afluentes. En el informe final de dicho estudio, se incluyen solamente los promedios, sin existir discriminación alguna entre las temporadas de estiaje y lluvias, por lo que su análisis puede tener un sesgo por la influencia de los acarrees y a la vez dilución por las escorrentías provocadas por las lluvias. [8]

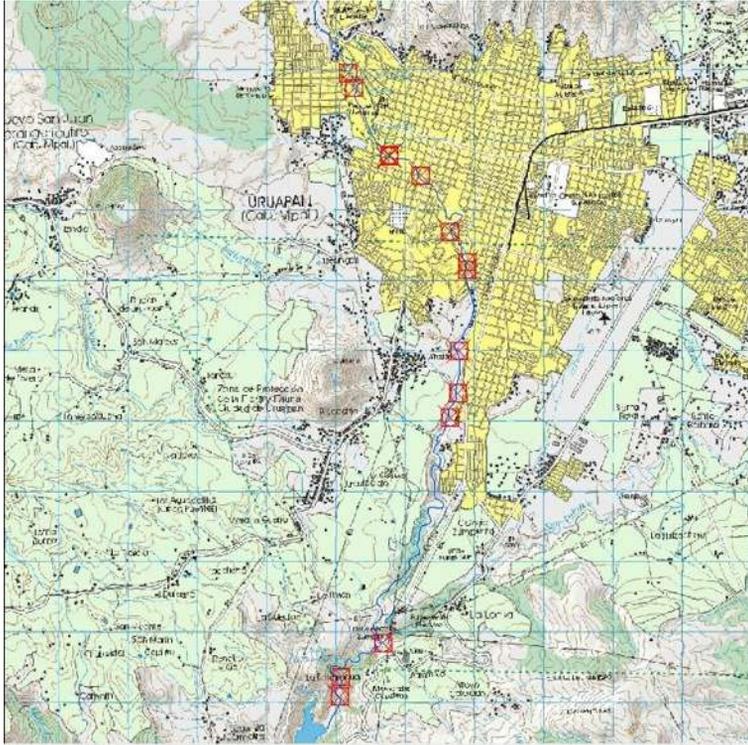
La zona urbana de la ciudad de Uruapan, Mich. Cuenta con la planta de tratamiento de aguas residuales "Sta. Bárbara", la cual fue construida en el año 1999 y en el año 2010 inició la construcción de otra planta al sur de la ciudad, la PTAR "San Antonio" proyectada para dar tratamiento a un volumen de 300 litros por segundo, ambas por proceso de Lodos Activados; sin embargo, con ambas plantas funcionando al 100%, estas parecieran insuficientes para depurar las aguas residuales que la población genera.

En el presente trabajo de tesis se incluyen los resultados de muestreos realizados sobre el río Cupatitzio, tanto en la época de lluvia como de estiaje para el año 2010. Los datos aquí presentados corresponden a 11 muestras simples y 3 muestras compuestas tomadas de sitios anteriormente descritos, pero en general se ubican dentro de la zona metropolitana de la ciudad de Uruapan, donde se considera que la contaminación por las actividades humanas se incrementa drásticamente con el crecimiento de la población, es decir, la explosión demográfica.

Se presentan los principales parámetros de calidad del agua en los mismos sitios muestreados en ambas épocas, pero se analizarán de manera más estricta los resultados de Demanda Química de Oxígeno (DQO) y Demanda

Bioquímica de Oxígeno (DBO<sub>5</sub>), a fin de señalar la importancia de estos parámetros como indicador de la calidad del recurso hídrico que se analiza, y la relación que existe entre ambos. Además se describe el procedimiento seguido tanto en el Laboratorio como en el campo al momento de la toma de muestras.

En la Figura 12 se ubican los puntos analizados sobre el río Cupatitzio y en la Tabla 10, se incluyen sus coordenadas y una breve descripción de cada sitio de muestreo.



**Figura 12. Localización de los 14 sitios de muestreo**

**Tabla 10 Ubicación y descripción de los puntos de muestreo sobre el Río Cupatitzio**

| <b>Nº DE MUESTR A</b> | <b>COORDENADAS X, Y (UTM)</b> |         | <b>DESCRIPCIÓN DE LA UBICACIÓN</b>                                    |
|-----------------------|-------------------------------|---------|---|
| 1                     | 807180                        | 2150987 | Rodilla del Diablo  |
| 2                     | 807218                        | 2150928 | Puente del Recuerdo   |
| 3                     | 807822                        | 2149566 | Puente entre Salón los Telares y Hotel Los Cedros, calle Jesús García |

| <b>Nº DE MUESTRA</b> | <b>COORDENADAS X,Y (UTM)</b> |         | <b>DESCRIPCIÓN DE LA UBICACIÓN</b>                              |
|----------------------|------------------------------|---------|---|
| 4                    | 808286                       | 2149266 | Aguas abajo de Puente Cupatitzio, Calle Abigail Patiño          |
| 5                    | 808710                       | 2148482 | Puente La Tamacua   |
| 6                    | 808927                       | 2147961 | Aguas abajo del Puente del Terror                               |
| 7                    | 808796                       | 2146824 | Puente Jicalán  |
| 8                    | 808785                       | 2146213 | Aguas abajo de unión con Río Infiernillo                        |
| 9                    | 808662                       | 2145821 | Aguas arriba de la obra de toma del canal Zumpimito (La Pinera) |
| 10                   | 807687                       | 2142657 | Aguas arriba de la unión con canal Zumpimito                    |
| 11                   | 807111                       | 2142017 | Entrada Presa Cupatitzio  |
| C-1                  | 808924                       | 2148053 | Aguas arriba del Puente del Terror                              |
| C-2                  | 807830                       | 2149559 | Salida del Parque Nacional, calle Jesús García                  |
| C-3                  | 807041                       | 2142205 | Tzararacua  |

A continuación se muestran los datos de campo y los resultados de Laboratorio tanto del análisis de DQO como de DBO<sub>5</sub> (Tablas 11-15) para cada muestra en particular; así mismo se muestra una figura con la ubicación del punto de muestreo (figura 13-66) seguido de un breve análisis de los resultados presentados.

### Muestra 1 “Rodilla del Diablo”

**Tabla 11 Datos de la Muestra tomada en la Rodilla del Diablo**

| MUESTRA No. 1 |         |                     |           |                     |                     |               |              |     |                                |                               |  |
|---------------|---------|---------------------|-----------|---------------------|---------------------|---------------|--------------|-----|--------------------------------|-------------------------------|--|
| COORDENADAS   |         | PARÁMETROS DE CAMPO |           |                     |                     |               |              |     |                                | RESULTADOS LABORATORIO        |  |
| X             | Y       | ELEVACIÓN<br>(m)    | FECHA     | HORA DE<br>MUESTREO | SALINIDAD<br>(0/00) | SDT<br>(mg/l) | OD<br>(mg/l) | PH  | GASTO<br>(m <sup>3</sup> /seg) | DQO<br>(mg O <sub>2</sub> /l) | DBO <sub>5</sub><br>(mg O <sub>2</sub> /l) |
| 807180        | 2150987 | 1713                | 09-ago-10 | 15:00               | 0.1                 | 113.4         | 7.39         | 23  | 0.366                          | 1                             | 0.38                                       |
| 807180        | 2150987 | 1713                | 16-nov-10 | 10:10               | 0.1                 | 99.8          | 3.07         | 8.7 | 1.24                           | 9                             | 0.18                                       |



Figura 13 Ubicación del punto de muestreo No. 1

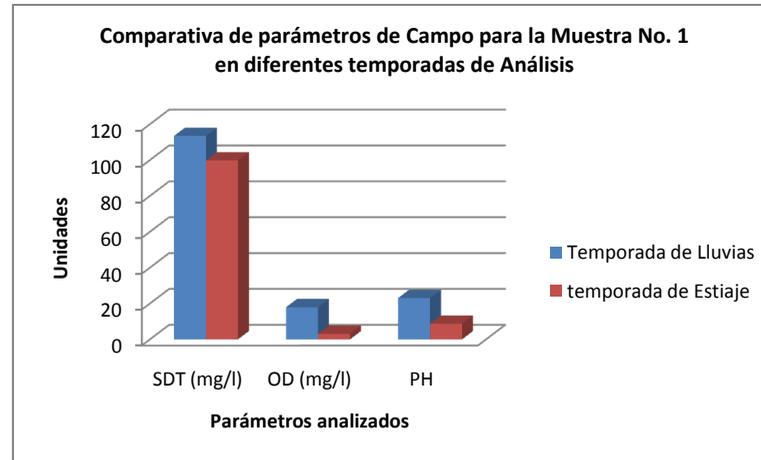
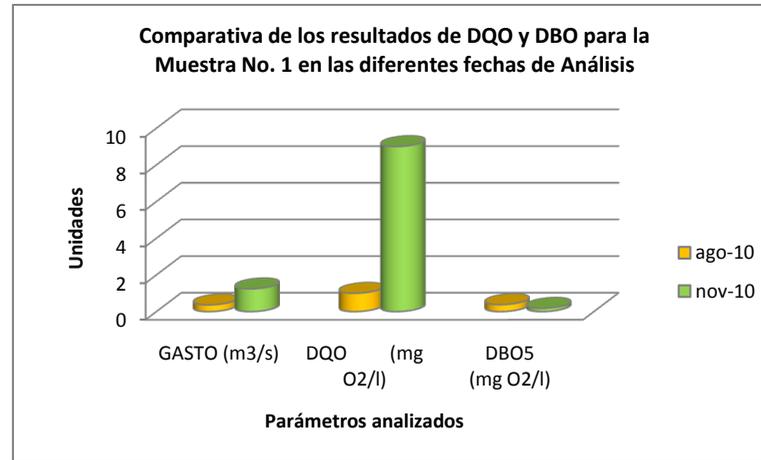


Figura 14 Resultados de campo para la muestra 1



**Figura 15 Resultados de Laboratorio para la muestra 1**

**Muestra 2. Puente del Recuerdo**

| MUESTRA No. 2        |         |                     |               |                     |                     |               |              |      |                                |                               |  |
|----------------------|---------|---------------------|---------------|---------------------|---------------------|---------------|--------------|------|--------------------------------|-------------------------------|--|
| COORDENADAS<br>(UTM) |         | PARÁMETROS DE CAMPO |               |                     |                     |               |              |      |                                | RESULTADOS<br>LABORATORIO     |  |
| X                    | Y       | ELEVACIÓN<br>(m)    | FECHA         | HORA DE<br>MUESTREO | SALINIDAD<br>(0/00) | SDT<br>(mg/l) | OD<br>(mg/l) | PH   | GASTO<br>(m <sup>3</sup> /seg) | DQO<br>(mg O <sub>2</sub> /l) | DBO <sub>5</sub><br>(mg O <sub>2</sub> /l) |
| 807218               | 2150928 | 1710                | 09-ago-<br>10 | 16:00               | 0.1                 | 98.6          | 7.27         | 7.27 | 1.544                          | 0                             | 1.06                                       |
| 807218               | 2150928 | 1710                | 19-nov-<br>10 | 10:40               | 0.1                 | 152           | 4.92         | 8.82 | 2.53                           | 7                             | 0.11                                       |

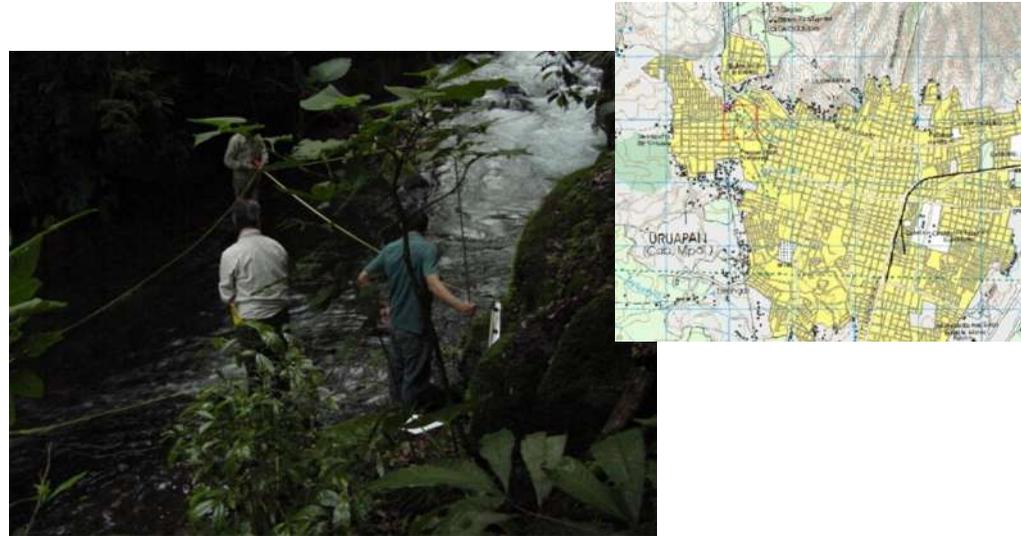


Figura 16 Ubicación y fotografía del punto de muestreo 2

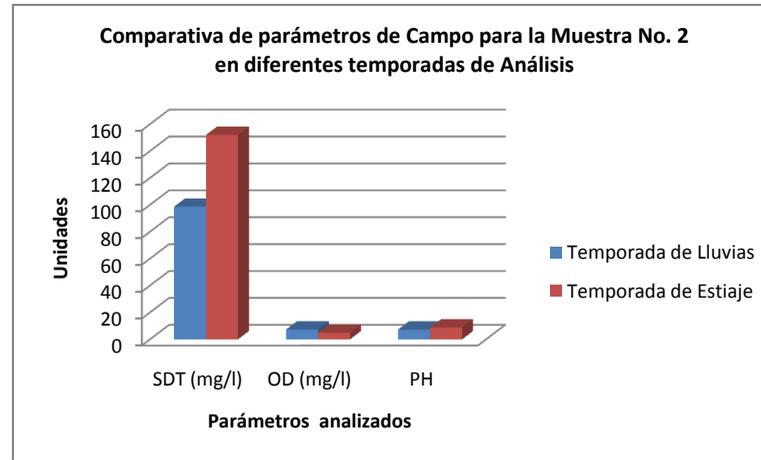
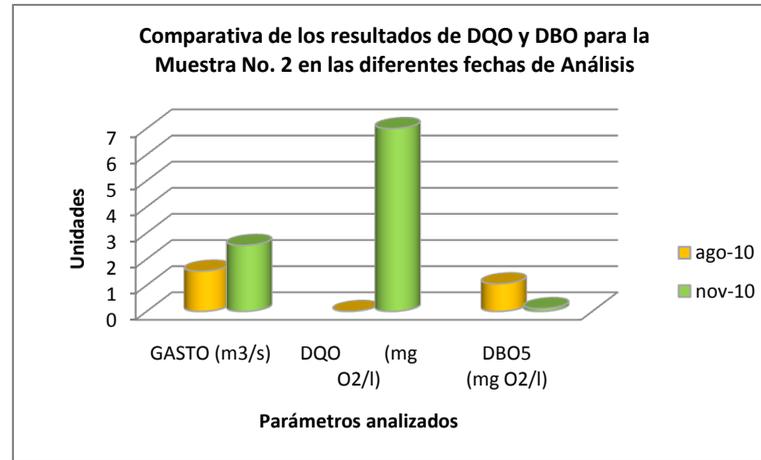


Figura 17 Parámetros de Campo muestra 2



**Figura 18 Resultados de Laboratorio muestra 2**

**Muestra 3. Puente entre Salón los Telares y Hotel Los Cedros, calle Jesús García**

| MUESTRA No. 3 |         |                     |           |                  |                  |            |           |      |                           |                            |   |
|---------------|---------|---------------------|-----------|------------------|------------------|------------|-----------|------|---------------------------|----------------------------|---|
| COORDENADAS   |         | PARÁMETROS DE CAMPO |           |                  |                  |            |           |      |                           | RESULTADOS LABORATORIO     |   |
| X             | Y       | ELEVACIÓN (m)       | FECHA     | HORA DE MUESTREO | SALINIDAD (0/00) | SDT (mg/l) | OD (mg/l) | PH   | GASTO (m <sup>3</sup> /s) | DQO (mg O <sub>2</sub> /l) | DBO <sub>5</sub> (mg O <sub>2</sub> /l) |
| 807822        | 2149566 | 1649                | 09-ago-10 | 17:23            | 0.1              | 186.1      | 7.91      | 7.16 | 4.78                      | 11                         | 0.73                                    |
| 807822        | 2149566 | 1649                | 16-nov-10 | 12:20            | 0.1              | 140.8      | 5.69      | 8.85 | 8.24                      | 18                         | 0.18                                    |



**Figura 19 Ubicación y fotografía del punto de muestreo 3**

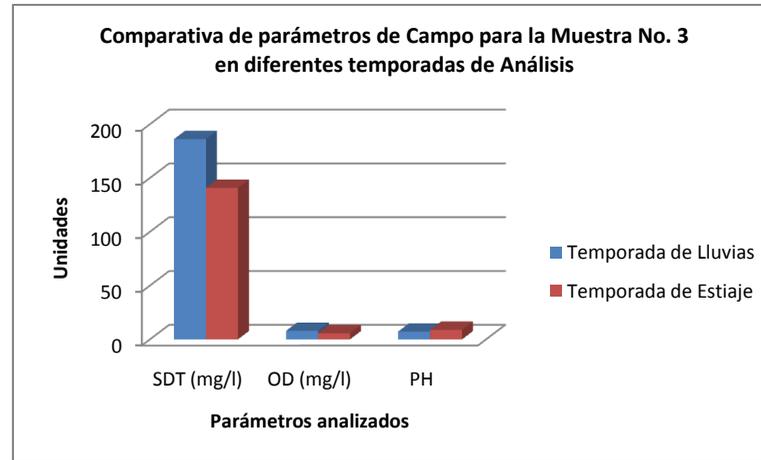
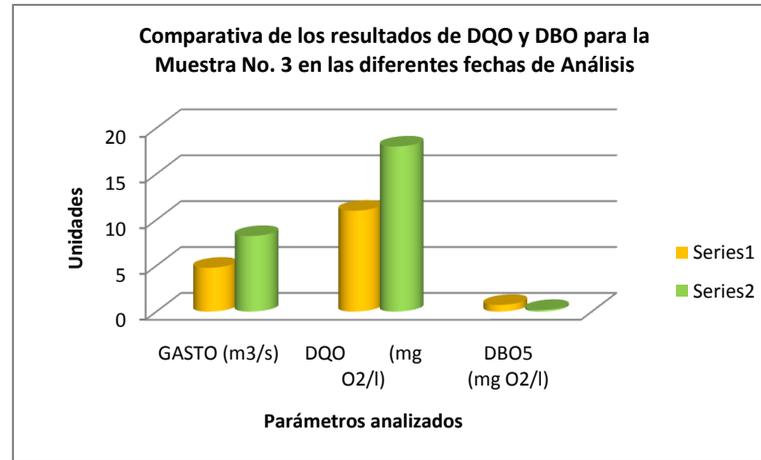


Figura 20 Parámetros de campo muestra 3



**Figura 21 Resultados de Laboratorio muestra 3**

**Muestra 4. Aguas abajo Puente Cupatitzio, calle Abigail Patiño**

| MUESTRA No. 4 |         |                     |           |                  |                  |            |           |      |                           |                            |   |
|---------------|---------|---------------------|-----------|------------------|------------------|------------|-----------|------|---------------------------|----------------------------|---|
| COORDENADAS   |         | PARÁMETROS DE CAMPO |           |                  |                  |            |           |      |                           | RESULTADOS LABORATORIO     |   |
| X             | Y       | ELEVACIÓN (m)       | FECHA     | HORA DE MUESTREO | SALINIDAD (0/00) | SDT (mg/l) | OD (mg/l) | PH   | GASTO (m <sup>3</sup> /s) | DQO (mg O <sub>2</sub> /l) | DBO <sub>5</sub> (mg O <sub>2</sub> /l) |
| 808286        | 2149266 | 1625                | 10-ago-10 | 13:30            | 0.1              | 106.3      | 7.55      | 7.34 | 3.72                      | 5                          | 1.62                                    |
| 808286        | 2149266 | 1625                | 16-nov-10 | 13:30            | 0.1              | 139.8      | 6.29      | 8.84 | 4.82                      | 9                          | 1.67                                    |



**Figura 22 Ubicación del punto de muestreo 4**

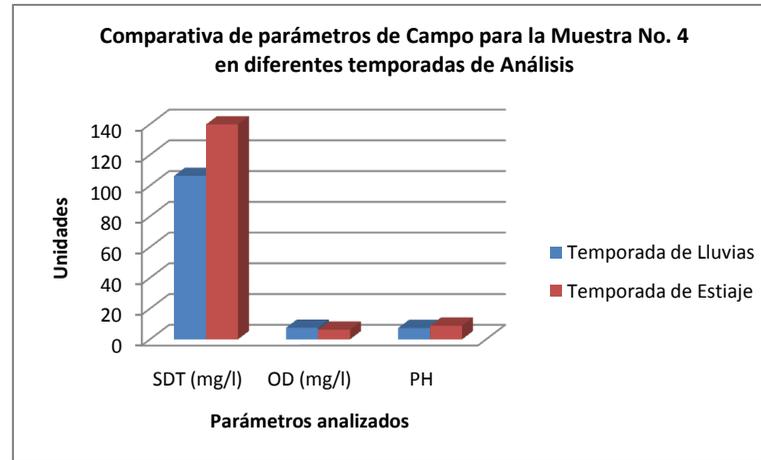
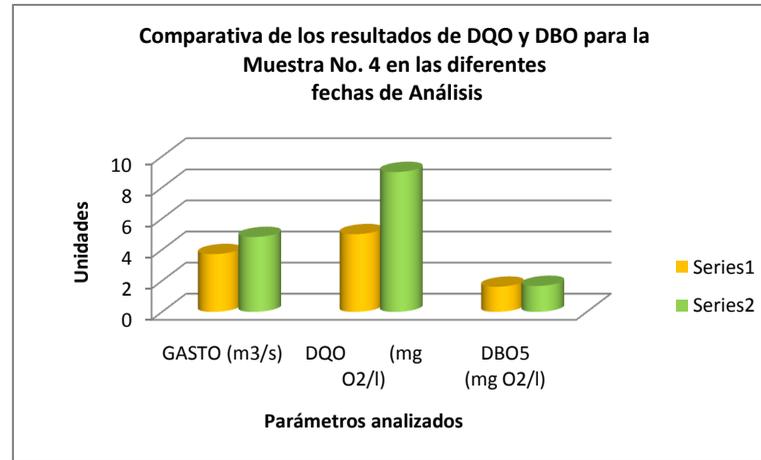


Figura 23 Parámetros de campo muestra 4



**Figura 24 Resultados de campo muestra 4**

**Muestra 5. Puente La Tamacua**

| MUESTRA No. 5 |         |                     |           |                  |                  |            |           |      |                           |                            |   |
|---------------|---------|---------------------|-----------|------------------|------------------|------------|-----------|------|---------------------------|----------------------------|---|
| COORDENADAS   |         | PARÁMETROS DE CAMPO |           |                  |                  |            |           |      |                           | RESULTADOS LABORATORIO     |   |
| X             | Y       | ELEVACIÓN (m)       | FECHA     | HORA DE MUESTREO | SALINIDAD (0/00) | SDT (mg/l) | OD (mg/l) | PH   | GASTO (m <sup>3</sup> /s) | DQO (mg O <sub>2</sub> /l) | DBO <sub>5</sub> (mg O <sub>2</sub> /l) |
| 808710        | 2148482 | 1608                | 11-ago-10 | 10:57            | 0.2              | 159.8      | 7.74      | 7.2  | 8.43                      | 33                         | 1.68                                    |
| 808710        | 2148482 | 1608                | 17-nov-10 | 11:00            | 0.2              | 164        | 5.33      | 9.53 | 10.16                     | 15                         | 9.81                                    |



**Figura 25** Ubicación del punto de muestreo 5

**Muestra 6. Aguas abajo del Puente del Terror**

| MUESTRA No. 6 |         |                     |           |                  |                  |            |           |      |                           |                            |   |
|---------------|---------|---------------------|-----------|------------------|------------------|------------|-----------|------|---------------------------|----------------------------|---|
| COORDENADAS   |         | PARÁMETROS DE CAMPO |           |                  |                  |            |           |      |                           | RESULTADOS LABORATORIO     |   |
| X             | Y       | ELEVACIÓN (m)       | FECHA     | HORA DE MUESTREO | SALINIDAD (0/00) | SDT (mg/l) | OD (mg/l) | PH   | GASTO (m <sup>3</sup> /s) | DQO (mg O <sub>2</sub> /l) | DBO <sub>5</sub> (mg O <sub>2</sub> /l) |
| 808927        | 2147961 | 1614                | 11-ago-10 | 11:30            | 0.1              | 144.8      | 7.92      | 7.48 | 3.797                     | 11                         | 4.53                                    |
| 808927        | 2147961 | 1614                | 17-nov-10 | 11:20            | 0.2              | 181.3      | 5.1       | 9.35 | 5.36                      | 9                          | 3.73                                    |



**Figura 26 Ubicación del punto de muestreo 6**

**Muestra 7. Puente Jicalán**

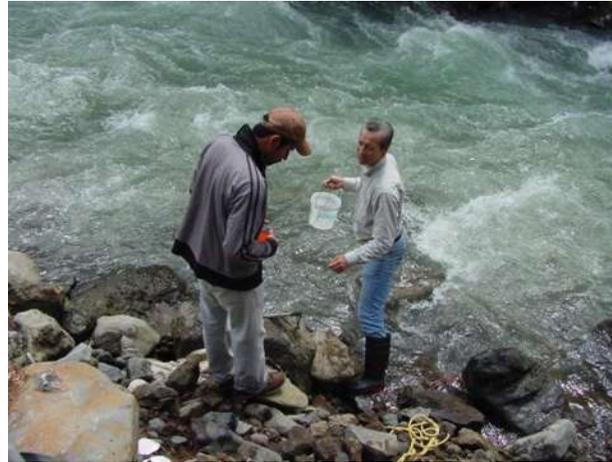
| MUESTRA No. 7 |         |                     |           |                  |                  |            |           |      |                           |                            |   |
|---------------|---------|---------------------|-----------|------------------|------------------|------------|-----------|------|---------------------------|----------------------------|---|
| COORDENADAS   |         | PARÁMETROS DE CAMPO |           |                  |                  |            |           |      |                           | RESULTADOS LABORATORIO     |   |
| X             | Y       | ELEVACIÓN (m)       | FECHA     | HORA DE MUESTREO | SALINIDAD (0/00) | SDT (mg/l) | OD (mg/l) | PH   | GASTO (m <sup>3</sup> /s) | DQO (mg O <sub>2</sub> /l) | DBO <sub>5</sub> (mg O <sub>2</sub> /l) |
| 808796        | 2146824 | 1580                | 11-ago-10 | 14:30            | 0.2              | 189.4      | 7.28      | 7.36 | 7.27                      | 9                          | 6.76                                    |
| 808796        | 2146824 | 1580                | 17-nov-10 | 12:30            | 0.2              | 192        | 5.2       | 9.46 | 8.936                     | 27                         | 13.98                                   |



Figura 27 Ubicación del punto de muestreo 7

**Muestra 8. Aguas abajo de unión con Río Infiernillo**

| MUESTRA No. 8 |         |                     |           |                  |                  |            |           |      |              |                        |                |
|---------------|---------|---------------------|-----------|------------------|------------------|------------|-----------|------|--------------|------------------------|----------------|
| COORDENADAS   |         | PARÁMETROS DE CAMPO |           |                  |                  |            |           |      |              | RESULTADOS LABORATORIO |                |
| X             | Y       | ELEVACIÓN (m)       | FECHA     | HORA DE MUESTREO | SALINIDAD (0/00) | SDT (mg/l) | OD (mg/l) | PH   | GASTO (m3/s) | DQO (mg O2/l)          | DBO5 (mg O2/l) |
| 808785        | 2146213 | 1551                | 12-ago-10 | 11:40            | 0.3              | 323        | 7.48      | 7.93 | 16.77        | 5                      | 3.42           |
| 808785        | 2146213 | 1551                | 17-nov-10 | 14:10            | 0.3              | 197.5      | 5.45      | 9.24 | 26.97        | 9                      | 5.1            |



**Figura 28 Ubicación del punto de muestreo 8**

**Muestra 9. Aguas arriba de la obra de toma del canal Zumpimito (La Pinera)**

| MUESTRA No. 9 |         |                     |           |                  |                  |            |           |      |                           |                            |   |
|---------------|---------|---------------------|-----------|------------------|------------------|------------|-----------|------|---------------------------|----------------------------|---|
| COORDENADAS   |         | PARÁMETROS DE CAMPO |           |                  |                  |            |           |      |                           | RESULTADOS LABORATORIO     |   |
| X             | Y       | ELEVACIÓN (m)       | FECHA     | HORA DE MUESTREO | SALINIDAD (0/00) | SDT (mg/l) | OD (mg/l) | PH   | GASTO (m <sup>3</sup> /s) | DQO (mg O <sub>2</sub> /l) | DBO <sub>5</sub> (mg O <sub>2</sub> /l) |
| 808662        | 2145821 | 1561                | 12-ago-10 | 14:00            | 0.2              | 225        | 7.45      | 7.6  | 11.9                      | 7                          | 3.91                                    |
| 808662        | 2145821 | 1561                | 18-nov-10 | 10:40            | 0.2              | 173        | 5.91      | 9.12 | 13.996                    | 12                         | 3.84                                    |



**Figura 29 Ubicación del punto de muestreo 9**

**Muestra 10. Aguas arriba de la unión con canal Zumpimito**

| MUESTRA No. 10 |         |                     |           |                  |                  |            |           |      |                           |                            |   |
|----------------|---------|---------------------|-----------|------------------|------------------|------------|-----------|------|---------------------------|----------------------------|---|
| COORDENADAS    |         | PARÁMETROS DE CAMPO |           |                  |                  |            |           |      |                           | RESULTADOS LABORATORIO     |   |
| X              | Y       | ELEVACIÓN (m)       | FECHA     | HORA DE MUESTREO | SALINIDAD (0/00) | SDT (mg/l) | OD (mg/l) | PH   | GASTO (m <sup>3</sup> /s) | DQO (mg O <sub>2</sub> /l) | DBO <sub>5</sub> (mg O <sub>2</sub> /l) |
| 807687         | 2142657 | 1424                | 16-ago-10 | 12:20            | 0.3              | 291        | 7.66      | 7.49 | 1.199                     | 0.58                       | 0                                       |
| 807687         | 2142657 | 1424                | 18-nov-10 | 12:20            | 0.2              | 177        | 6.19      | 9.13 | 3.264                     | 21                         | 6.51                                    |



**Figura 30 Ubicación del punto de muestreo 10**

**Muestra 11. Entrada Presa Cupatitzio**

| MUESTRA No. 11 |         |                     |           |                  |                  |            |           |      |                           |                            |   |
|----------------|---------|---------------------|-----------|------------------|------------------|------------|-----------|------|---------------------------|----------------------------|---|
| COORDENADAS    |         | PARÁMETROS DE CAMPO |           |                  |                  |            |           |      |                           | RESULTADOS LABORATORIO     |   |
| X              | Y       | ELEVACIÓN (m)       | FECHA     | HORA DE MUESTREO | SALINIDAD (0/00) | SDT (mg/l) | OD (mg/l) | PH   | GASTO (m <sup>3</sup> /s) | DQO (mg O <sub>2</sub> /l) | DBO <sub>5</sub> (mg O <sub>2</sub> /l) |
| 807111         | 2142017 | 1383                | 19-ago-10 | 12:30            | 0.2              | 251        | 8.71      | 7.85 | 18.33                     | 31                         | 12.84                                   |
| 807111         | 2142017 | 1383                | 18-nov-10 | 12:30            | 0.2              | 161.5      | 7.32      | 9.33 | 58.729                    | 31                         | 6.78                                    |



Figura 31 Ubicación del punto de muestreo 11

## CAPÍTULO 5. CONCLUSIONES

-Debido a la importancia que adquiere un centro poblacional urbano como la ciudad de Uruapan es necesaria la proyección de nuevas plantas de tratamiento que tengan la capacidad de depurar las aguas contaminadas que se generan en el área urbana de dicha población. Así como considerar la creación de colectores que conduzcan las aguas contaminadas producto de descargas municipales y/o industriales directamente a las plantas de tratamiento y evitar así verter dichas aguas directamente al río Cupatitzio.

-Tanto el Método de la DQO como el de la DBO se utilizan como indicadores de la presencia de contaminantes en aguas naturales y aguas residuales tanto industriales como civiles y dada su importancia debe considerarse la exactitud y confiabilidad que sus normas metodológicas proyectan, así como incluir en el caso de la DQO a este parámetro dentro de las Normas Oficiales Mexicanas con Límites máximos permisibles ya que no está incluido y que pudiera considerarse equivalente a la DBO.

-En los procesos diarios de una planta de tratamiento de agua residual se utiliza más comúnmente el análisis de DQO por la rapidez del procedimiento y de la obtención de resultados; para monitorizar la eficiencia de los procesos de depuración en las instalaciones de tratamiento de los vertidos: el valor de DQO se mide tanto en el agua de entrada como de salida. La eficiencia del proceso de tratamiento se expresa normalmente como DQO Eliminado, en forma de porcentaje de la materia orgánica purificada durante el ciclo. Por tal motivo es el mencionado análisis de gran importancia en los dictámenes o evaluaciones de eficiencia para el caso de las plantas de tratamiento.

-Los dos parámetros concretamente estudiados en este trabajo de tesis llegan a ser de gran utilidad en el análisis y tratamiento de aguas residuales. En primer lugar por la información que ofrecen con relación a la calidad del recurso, y en segundo lugar por las conclusiones y aplicaciones derivadas de su análisis, ya que prácticamente informan sobre el proceso de saneamiento de las aguas durante su tratamiento. Sin embargo se debe tener en cuenta que no son los únicos ni los más importantes al momento de llevar a cabo un análisis y una caracterización del agua, si no que en ese proceso hay que considerar otros parámetros de gran importancia: pH, temperatura, sólidos en todas sus formas, oxígeno disuelto, la presencia de algún compuesto tóxico, entre otros, lo que nos lleva a concluir que sólo una visión conjunta de todas esas características y sus interacciones conducirán hasta un análisis completo y correcto de las aguas en estudio, el cual es indispensable para su eficiente depuración y reutilización.

-Mediante este trabajo de tesis se ha podido verificar que la mayor dificultad surge de definir y concluir el concepto de parámetros útiles para la determinación de la contaminación del agua en general, y en el caso de la DBO. y la DQO. en particular. Debido a la imposibilidad que involucra la detección de problemas invisibles a nuestros ojos, así como su exacta medición. Es necesario comentar también la limitación que supone verificar ciertos valores, ocasionada por la necesidad de ciertos aparatos especializados, las instalaciones adecuadas, el personal calificado, y ciertas condiciones muy concretas y controladas, así como contar con las normas o bases más confiables y ciertas, etc.

-La ventaja principal de utilizar el análisis de DQO es el corto tiempo que se requiere para su determinación, en comparación con los 5 días que son necesarios para el análisis de DBO, y por tal razón la DQO se usa en ocasiones en sustitución de la prueba de DQBO, para una estimación empírica e indirecta del contenido de materia orgánica en una muestra de agua.

-La técnica de reflujo cerrado es preferible y más conveniente en comparación con la técnica de reflujo abierto, ya que ésta última requiere hacerse a una escala macro y como es de esperarse genera un mayor volumen de contaminantes además de que el proceso de oxidación de los compuestos orgánicos volátiles resulta más ineficiente ya que, al evaporarse, no se mantienen por un periodo más prolongado en contacto con el oxidante como en el caso del método que en este trabajo de tesis se aplica y analiza, es decir el método de reflujo cerrado (escala micro).

-La principal limitación de la utilidad de la DQO es que en general no permite diferenciar entre la fracción de materia orgánica biológicamente oxidable y la biológicamente inerte. Es decir que éste análisis no proporciona información de la velocidad a la cual esa materia orgánica biológicamente activa podría ser estabilizada y/o degradada en condiciones naturales normales.

-Los valores de correlación confiables entre los resultados de la DQO y la DBO pueden ser tan variables como las características de las muestras y los casos que se analizan, sin embargo, dichos factores son posibles de establecerse una vez que se han acumulado suficientes experiencias que conlleven a establecer esa relación directa entre los datos de la DQO y la DBO; para que sea posible interpretar así uno en términos de correspondencia con el otro.

-Las normas, especialmente aquellas en materia de análisis controlados de laboratorio deben ser revisadas y corregidas con base a un trabajo de investigación y experimentación; por otro lado, las adaptaciones de otras metodologías deben ser adaptadas a las condiciones y características de la zona del mundo donde se pretende la aplicación ya que cada zona posee

características, condiciones y posibilidades únicas. Se debe tomar en cuenta que las interpretaciones pueden ser tan diversas como subjetivas y es conveniente hacer cuantas modificaciones y aclaraciones sea pertinente como resultado del estudio y las repeticiones especializadas, a fin de obtener los mejores y más confiables resultados.

## CAPÍTULO 6. ANEXOS

**Tabla 12 Promedio y carga de DQO y SST de acuerdo al giro. [1]**

| GIRO INDUSTRIAL       | NÚMERO DE INDUSTRIAS | DQO (mg/L) | SST (mg/L) | CARGA     |      |
|-----------------------|----------------------|------------|------------|-----------|------|
|                       |                      | PROMEDIO   | PROMEDIO   | TON DQO/d | %    |
| Celulosa y papel      | 39                   | 940        | 514        | 3 71.2    | 1.3  |
| Metálicas básicas     | 10                   | 1 285      | 123        | 5 66.2    | 2.0  |
| Textil                | 37                   | 793        | 162        | 222.0     | 0.8  |
| Curtiduría            | 11                   | 2 978      | 320        | 10.3      | 0.04 |
| Productos metálicos   | 33                   | 902        | 365        | 67.0      | 0.2  |
| Química-petroquímica  | 105                  | 1 546      | 338        | 1 823.3   | 6.3  |
| Beneficio de café     | 153                  | 1 407      | 560        | 187.2     | 0.7  |
| Azucarera             | 67                   | 1 900      | 942        | 10 642.5  | 36.9 |
| Explotación mineral   | 63                   | 811        | 900        | 63.1      | 0.2  |
| Alimentaria           | 172                  | 2 208      | 658        | 1 045.4   | 3.6  |
| Vitivinícola          | 18                   | 4 842      | 235        | 16.7      | 0.06 |
| Petrolera (PEMEX)     | 85                   | 1 064      | 219        | 533.2     | 1.9  |
| Termoeléctricas (CFE) | 41                   | 491        | 154        | 11 066.7  | 38.4 |
| Otras manufactureras  | 229                  | 2 032      | 882        | 1 473.0   | 5.1  |
| Servicios             | 230                  | 773        | 196        | 183.0     | 0.6  |
| Pecuaría              | 116                  | 3 957      | 2225       | 174.4     | 0.6  |
| Cervecera             | 11                   | 1 656      | 535        | 200.3     | 0.7  |
| Pesquera              | 23                   | 947        | 240        | 157.1     | 0.6  |

Tabla 13 Productos nocivos para los peces. [1]

| PARAMETRO                                     | DOSIS LIMITE. mg/L |             | DOSIS MINIMAL LETAL. mg/L |             |
|---|--------------------|-------------|---------------------------|-------------|
|   | AGUA DULCE         | AGUA SALADA | AGUA DULCE                | AGUA SALADA |
| HCl   | 3                  | 50-150      | 5                         | 200         |
| HNO <sub>3</sub>                              |                    | 200         |                           | 750         |
| H <sub>2</sub> S                              | 0.2 a 1            | 0.2 a 1     | 2 a 5                     | 2 a 5       |
| NH <sub>3</sub>                               | 5 a 10             | 10 a 17     | 14                        | 26          |
| NH <sub>4</sub> Cl                            |                    |             | 700 a 800                 | 700 a 800   |
| NH <sub>4</sub> NO <sub>3</sub>               |                    |             | 800                       | 800         |
| Ca(OH) <sub>2</sub>                           | VARIABLE           | VARIABLE    | 70                        | 70          |
| CaCl <sub>2</sub>                             | 10                 | 10          | 30                        | 30          |
| KOH   | 28                 |             | 56                        |             |
| NaOH  | 20 a 50            | 400         |                           | 96          |
| Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>               |                    |             | 250 a 500                 | 250 a 500   |
| Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>               |                    | 1,000       |                           |             |
| Na <sub>2</sub> S                             | 0.8                | 40          | 50                        |             |
| CuSO <sub>4</sub>                             | 2.5                | 50          | 25                        | 100         |
| FeCl <sub>2</sub>                             | 500                | 500         | 500 a 1,000               | 500 a 1,000 |
| FeCl <sub>3</sub>                             | 250                | 250         | 100 a 500                 | 100 a 500   |
| FeSO <sub>4</sub>                             | 300                | 100 a 250   |                           | 1,000       |
| KCN   |                    |             | 0.1 a 0.5                 | 0.1 a 0.5   |
| Formol  |                    | 1           |                           | 10          |
| As  |                    |             | 25                        |             |
| K <sub>2</sub> Cr <sub>2</sub> O <sub>7</sub> |                    |             | 0.5                       | 0.5         |

Adaptado de: Colas, 1977

**Tabla 14 Contaminantes tóxicos prioritarios listados por la EPA y recomendaciones para el tratamiento y disposición de los lodos que generan durante su tratamiento. [1]**

|  |   |  |   |   |
|--|---|--|---|---|
| <b>Plaguicidas</b>   |   |  | <b>Hidrocarburos aromáticos monocíclicos</b>            |   |
| 1. 4,4'-DDD(2,2-bis 4-clorofenil-1,1- dicloroetano)  | A |  | 64. 1,2-diclorobenceno                                  | B |
| 2. 4,4'-DDE (2,2-bis 4-clorofenil-1,1- dicloroetileno)   | A |  | 65. 1,3-diclorobenceno                                  | A |
| 3. 4,4'-DDT (1,1-bis 4-clorofenil-2,2-tricloroetano)   | A |  | 66. 1,4-diclorobenceno                                  | B |
| 4. Aldrin (Isodrin; 1,2,3,4,10,10-hexacloro-1,4,4a,5,8,8 hexahidro-endo,endo-1,4:5,8 dimetano naltaleno) | A |  | 67. 2,4-dinitrotolueno                                  | B |
| 5. Alfa-BHC  | A |  | 68. 2,6-dinitrotolueno                                  | D |
| 6. Alfa-endosulfano (endosulfano)  | A |  | 69. Benceno   | D |
| 7. Beta-BHC  |   |  | 70. Clorobenceno  | O |
| 8. Beta-endosulfano  |   |  | 71. Etilbenceno   | A |
| 9. Clordano  | A |  | 72. Hexaclorobenceno                                    | C |
| 10. Delta-BHC  | A |  | 73. Nitrobenceno  | D |
| 11. Dieldrin   | A |  | 74. Tolueno   | A |
| 12. Endosulfano sulfato  |   |  | <b>Fenoles</b>  |   |
| 13. Endrin   | A |  | 75. 2,4,6-triclorofenol                                 |   |
| 14. Endrin aldehído  | A |  | 76. 2,4 diclorofenol                                    |   |
| 15. Gamma-BHC  | A |  | 77. 2,4 dimetil fenol (2,4- Xilenol)                    |   |
| 16. Heptacloro   |   |  | 78. 2,4-dinitrofenol                                    |   |
| 17. Heptacloro hepáico   |   |  | 79. 2-clorofenol  |   |
| 18. Toxaleno(geranilicloruro;trans-1-cloro-3,7-dimetil-2, 8-octadieno)                                   |   |  | 80. 2-nitrofenol  | A |
| <b>Bifenilos policlorados (PCBs)</b>   |   |  | 81. 4,6-dinitro-o-cresol                                | A |
| 19. PCB 1016   | E |  | 82. 4-nitrofenol  | A |
| 20. PCB 1221   | E |  | 83. Fenol   | A |
| 21. PCB 1232   | E |  | 84. p-cloro-m-cresol (4-cloro-2-metilo,4-cloro-o-fenol) | A |
| 22. PCB 1242   | E |  | 85. Pentaclorofenol                                     | H |
| 23. PCB 1248   | E |  | <b>Hidrocarburos aromáticos policíclicos</b>            | A |
| 24. PCB 1254 (aróclor)   | E |  | 86. 1,2-difenilhidrazina (Hidrozobenceno)               | A |
| 25. PCB 1260   | E |  | 87. 2-cloronaftaleno                                    | A |
| <b>Hidrocarburos alifáticos halogenados</b>  |   |  | 88. 3,3-diclorobencidina (metil- biogenedicloro)        | A |
| 26. 1,1,2,2-tetracloroetano  | A |  | 89. 3,4benzo fluoranteno                                | A |
| 27. 1,1,1-tricloroetano (metil cloroformo)   | A |  | 90. Acenafieno  | A |
| 28. 1,1,2-tricloroetano  | B |  | 91. Acenafitieno  | A |
| 29. 1,1-dicloroetano   | D |  | 92. Antraceno   | A |
| 30. 1,1 dicloroetileno (cloruro de vinilideno)   | D |  | 93. Bencidina   | A |
| 31. 1,2-dicloroetano   | D |  | 94. Benzo(a)antraceno                                   | A |
| 32. 1,2-dicloropropano   | D |  | 95. Benzo(a)pireno                                      | A |
| 33. 1,2-dicloropropileno (1,3-dicloropropeno)  | D |  | 96. Benzo(b)fluoranteno, benz(e)acetantrifieno)         | A |
| 34. 1,2-trans-dicloroetileno (cloruro de vinilideno)   | D |  | 97. Benzo(g)hiperleno                                   | C |
| 35. Bromoformo   | A |  | 98. Cisano  | A |
| 36. Bromometano (bromuro de metilo)  | H |  | 99. Dibenzo(a,h)antraceno                               | A |
| 37. Dibromoclorometano   | A |  | 100. Fenantreno   | A |
| 38. Cloroetano (cloruro de etilo)  | H |  | 101. Fluoranteno  | A |
| 39. Triclorometano (cloroformo)  | B |  | 102. Fluoreno   | A |
| 40. Cloruro de metileno (diclorometano)  | B |  | 103. Indeno(1,2,3-cd)pirino                             | G |
| 41. Clorometano  | H |  | 104. Naftaleno  | G |
| 42. Cloroetano (cloruro de vinilo)   | A |  | 105. Pireno   | A |
| 43. Bromodichlorometano  | A |  | <b>Metales</b>  | G |
| 44. Hexaclorobutadieno (hexacloro-1,3-butadieno)   | A |  | 106. Antimonio  | G |
| 45. Hexaclorociclopentadieno   | A |  | 107. Arsénico   | G |
| 46. Hexacloroetano   | A |  | 108. Asbesto  | G |
| 47. Tetracloroetileno  | A |  | 109. Berilio  | G |
| 48. Tetraclorometano (tetracloruro de carbono)   | B |  | 110. Cadmio   | G |
| 49. Tricloroetileno  | A |  | 111. Cesario  | G |
| <b>Éteres halogenados</b>  |   |  | 112. Cobre  | G |
| 50. 2,3,7,8-tetraclorodibenceno-p-dioxina  |   |  | 113. Cromo  |   |
| 51. 2-cloroetil vinil éter   | D |  | 114. Mercurio   | A |
| 52. 4-bromofenil fenil éter (4-bromobifenil éter)  | A |  | 115. Niquel   | C |
| 53. 4-clorofenil fenil éter (4-clorodifenil éter)  | A |  | 116. Plata  |   |
| 54. Bis(2-cloroetil) éter  | C |  | 117. Plomo  |   |
| 55. Bis(2-cloroetoxi)metano  |   |  | 118. Selenio  |   |
| 56. Bis(2-cloropropil)éter   |   |  | 119. Talio  | D |
| <b>Esteres del ácido ftálico</b>   |   |  | 120. Zinc   | D |
| 57. Bis(2-etilhexil-ftalato (dipil ftalato)  | A |  | <b>Nitrosaminas</b>                                     |   |
| 58. Butilbencilftalato   |   |  | 121. N-nitroso di n-propil amina                        |   |
| 59. Di-n-butilftalato  | A |  | 122. Dimetilnitrosamina                                 |   |
| 60. Di-n-octilftalato  | A |  | 123. Dimetilnitrosamina                                 |   |
| 61. Dietilftalato  | A |  | <b>Otros compuestos</b>                                 |   |
| 62. Dimetilftalato   | A |  | 124. Acrilonitrilo                                      |   |
| <b>Hidrocarburos aromáticos monocíclicos</b>   |   |  | 125. Acroleína  |   |
| 63. 1,2,4-triclorobenceno  | A |  | 126. Isolorona  |   |

Tratamiento del lodo y disposición.

- A: Quema con un solvente combustible con control de gases
- B: Quema con carbonato de sodio
- C: Quema con un incinerador con control de gases
- D: Quema con control de gases (material flamable)

Fuente: Jiménez et al., 1994.

E: Adición de ácido sulfúrico, remoción de compuestos insolubles y enterrío en confinamiento

F: Dilución y disposición en un confinamiento

G: Material que puede ser recuperado

H: Incineración con un método apropiado

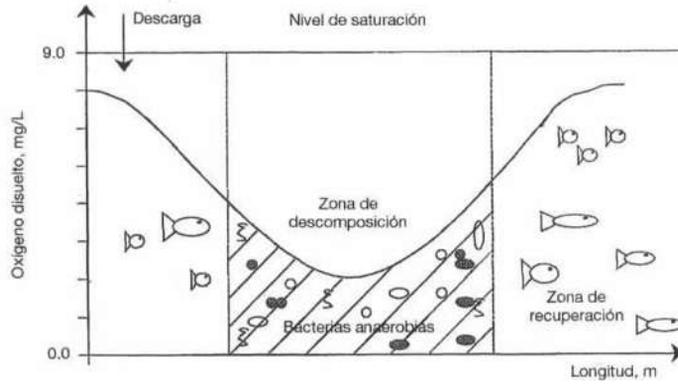


Figura 32 Curva de Pandeo del Oxígeno Disuelto. [1]

## Fuentes Consultadas:

- 1 Blanca Elena Jiménez Cisneros, "*La contaminación ambiental en México, causas, efectos y tecnología aplicada*", Editorial Limusa, Primera Edición 2008, contiene información sobre la distribución, la depuración y la calidad del agua en México.
- 2 Jairo Alberto Romero Rojas, "Calidad del Agua", Editorial Alfaomega, Segunda Edición 2000, contiene descripciones de procedimientos y conceptos de los parámetros de DQO y DBO<sub>5</sub>.
- 3 Clair N. Sawyer, Perry L. McCarty, Gene F. Parkin, "Química para Ingeniería Ambiental", Editorial McGraw Hill, Cuarta Edición 2001, contiene información sobre las aplicaciones y la utilidad de los parámetros de DQO y DBO<sub>5</sub>.
- 4 [www.rincondelvago.com/calidad-del-agua.html](http://www.rincondelvago.com/calidad-del-agua.html), fecha de consulta 06 de junio de 2011. Contiene información sobre aplicaciones de los parámetros de DQO y DBO<sub>5</sub>, así como la relación que existe entre ambos.
- 5 Norma Oficial Mexicana NMX-AA-028-SCFI-2001." Análisis de Agua, Determinación de Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO<sub>5</sub>) en aguas naturales, residuales y residuales"
- 6 Norma Oficial Mexicana NMX-AA-030-SCFI-2001."Determinación de la Demanda Química de Oxígeno (DQO) en aguas naturales, residuales y residuales tratadas".
- 7 R. Ruiz Chávez, J. A. Rodríguez Castro, R. García Acevedo, J. A. Chávez Cárdenas, M. Serrano Medrano, "Determinación de la Demanda Química de Oxígeno y su importancia en la Ingeniería Ambiental", Segundo Foro Académico Nacional de Ingenierías y Arquitectura 2006, contiene información sobre la curva de calibración y la solución patrón.
- 8 Comisión Nacional del Agua (CNA), "Plan de Gestión integral de los Recursos Hídricos de la Cuenca del Río Cupatitzio", Comisión de Cuenca del Río Cupatitzio 2006, contiene información detallada sobre la cuenca del Río Cupatitzio.