

01121
97



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO
FACULTAD DE INGENIERIA

MANUAL DE LABORATORIO
DE INGENIERIA SANITARIA Y AMBIENTAL

T E S I S
QUE PARA OBTENER EL TITULO DE
INGENIERO CIVIL
P R E S E N T A
PABLO JAVIER MONTERRUBIO LOPEZ

CIUDAD UNIVERSITARIA

MEXICO, D. F. 2003

A

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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



UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTÓNOMA DE
MÉXICO

FACULTAD DE INGENIERIA
DIRECCION
FING/DCTG/SEAC/UTIT/0108/01

Señor
PABLO JAVIER MONTEERRUBIO LÓPEZ
Presente

En atención a su solicitud me es grato hacer de su conocimiento el tema que propuso el profesor M.I. ALBA B. VÁZQUEZ GONZÁLEZ, que aprobó esta Dirección, para que lo desarrolle usted como tesis de su examen profesional de INGENIERO CIVIL.

"MANUEL DE PRÁCTICAS DEL LABORATORIO DE INGENIERÍA SANITARIA Y AMBIENTAL"

- INTRODUCCIÓN
- I. IMPORTANCIA DE LAS PRUEBAS DE LABORATORIO EN EL ESTUDIO DE LA INGENIERÍA SANITARIA Y AMBIENTAL
 - II. PRÁCTICAS PARA LA ASIGNATURA DE IMPACTO AMBIENTAL
 - III. PRÁCTICAS PARA LA ASIGNATURA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES
 - IV. PRÁCTICAS PARA LA ASIGNATURA DE ABASTECIMIENTO DE AGUA POTABLE Y ALCANTARILLADO
 - V. PRÁCTICAS PARA LA ASIGNATURA DE CONTAMINACIÓN DEL AGUA
 - VI. ESTIMACIÓN DEL COSTO POR ALUMNO POR SEMESTRE
 - VII. CONCLUSIONES
- BIBLIOGRAFÍA
ANEXOS: NORMAS OFICIALES MEXICANAS

Ruego a usted cumplir con la disposición de la Dirección General de la Administración Escolar en el sentido de que se imprima en lugar visible de cada ejemplar de la tesis el Título de ésta.

Asimismo le recuerdo que la Ley de Profesiones estipula que deberá prestar servicio social durante un tiempo mínimo de seis meses como requisito para sustentar Examen Profesional.

Atentamente
"POR MI RAZA HABLARA EL ESPIRITU"
Cd. Universitaria 20 de junio de 2001.
EL DIRECTOR

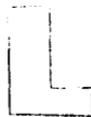
M. C. GERARDO FERRANDO BRAVO
GFB/GMPAnstg.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

B



anual de



laboratorio

Ingeniería Sanitaria y
Ambiental

Agradecimientos:

A Dios

Por la oportunidad de compartir este tiempo y este espacio y aprender un poco de la gente que me rodea. "Las coincidencias son milagros en los cuales Dios prefiere permanecer anónimo"

A mis amigos

"Los amigos son ángeles que levantan nuestros pies de la tierra cuando nuestras alas se han olvidado de cómo volar"

Yoyis, Roy, Richy, Lili, Lore, Mary, Paco, Daniel, Tere, Charly, Gery, Erick, Soco y Héctor. Por caminar a mi lado un momento de mi vida

A mis maestros:

Alba V., Enrique C., Miguel G., Víctor F., Víctor R., Pedro M., Sergio T., Gabriel M. Por que de ellos aprendí más que ingeniería.

Dedicatoria

A mis papas:

Pablo y Gloria, por que: "Educar no es dar una carrera para vivir, sino templar el alma par a las dificultades de la vida" (Pitágoras) Gracias.

**“Nunca dejes de soñar, si pones tu alma y tu corazón en un sueño
el universo entero conspira para ayudarte a conseguirlo.”**

**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**

Índice



	Introducción.....	i
I	Importancia de las pruebas de laboratorio en el estudio de la ingeniería sanitaria y ambiental	
	1. La participación del ingeniero civil	1-1
	2. Estudios de campo y análisis de laboratorio	1-6
II	Impacto ambiental	
	1. Aplicación del principio de conservación de la masa En la predicción de impactos: reactores	2-1
	2. Transferencia de gases: Ley de Henry	2-10
	3. Estratificación térmica	2-17
	4. Nutriente limitante y ósmosis	2-23
	5. Impacto ambiental de ruido en el entorno urbano	2-34
III	Tratamiento de aguas residuales	
	1. Caracterización del agua residual	3-3
	2. Sedimentación de partículas discretas	3-24
	3. Sedimentación de partículas floculentas	3-29
	4. Cloración del agua residual	3-36
IV	Abastecimiento de agua potable y alcantarillado	
	1. Características físicas y organolépticas	4-6
	2. Características químicas	4-15
	3. Exámenes bacteriológicos	4-24
	4. Coagulación - sedimentación	4-31
V	Contaminación del agua	
	1. Estudio de calidad del agua	5-2
VI	Estimación del costo por alumno por semestre	6-1
VII	Conclusiones	7-1
	Anexos	
	Bibliografía	

Índice

Introducción



TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

Introducción

Antecedentes Históricos de la Ingeniería Ambiental

El agua es probablemente el recurso natural más importante del mundo, ya que sin ella no podría existir la vida y la industria no funcionaría. A diferencia de muchas otras materias primas, el agua no tiene sustituto en muchas aplicaciones. El agua tiene un papel vital en el desarrollo de las comunidades, ya que es indispensable que su abastecimiento sea seguro para que una comunidad se establezca permanentemente. Sin embargo, los desechos líquidos y sólidos de una comunidad tienen un potencial considerable para contaminar el ambiente. En las civilizaciones primitivas el remedio para el problema de la contaminación era simplemente trasladar la comunidad a otro lugar; en las civilizaciones más avanzadas tal mudanza es impracticable y se deben tomar medidas para proteger y aumentar el abastecimiento de agua y para eliminar satisfactoriamente los materiales de desecho. El concepto del agua como recurso natural que debe administrarse cuidadosamente es muy necesario ya que las poblaciones en desarrollo y los complejos industriales tienen demandas de agua siempre crecientes.

En las civilizaciones antiguas se reconoció la importancia del abastecimiento de agua y de las medidas sanitarias para las aguas de desecho. Los hallazgos arqueológicos muestran la existencia de letrinas y drenes en las viviendas neolíticas; 2000 años a. C., la civilización minoica tenía ya tuberías de arcilla para el agua y el drenaje, además de retretes hidráulicos en las casas. Los romanos tenían sistemas muy avanzados para el abastecimiento del agua y su drenaje. Sus ciudades usaban grandes cantidades de agua con fuentes que surtían continuamente a la mayoría de la población, aunque las familias ricas tenían sus propios abastecimientos entubados. Se construyeron largos acueductos, algunos de los cuales todavía existen, que recorren hasta 80 km para que el abastecimiento de agua, de buena calidad a las ciudades fuera el adecuado. Los albañales de piedra en las calles desalojaban el agua superficial y recolectaban las descargas de las letrinas para conducirlas más allá de los límites de la ciudad.

Con la decadencia del Imperio Romano la mayoría de sus instalaciones de obras públicas cayeron en desuso y durante siglos las provisiones para el abastecimiento de agua y saneamiento virtualmente no existieron.

En la Edad Media comenzaron a desarrollarse pueblos en el cruce de los ríos importantes, los cuales constituían una fuente de agua adecuada y un medio aparentemente conveniente para la eliminación de desechos. Aunque en los pueblos más grandes se construyeron albañales, éstos estaban diseñados únicamente para el desalojo del agua superficial. Las medidas sanitarias eran mínimas: en 1579, una calle en Londres con sesenta casas tenía tres letrinas comunales. La descarga de desechos líquidos y sólidos desde las ventanas era común, por lo que no sorprende que la expectativa de vida fuera menos de la mitad de la cifra actual en el mundo desarrollado. En 1815, en el Reino Unido se prohibió por ley la descarga de agua residual hedionda en los albañales.

En un intento por mejorar las cosas, en 1847 se dictó en Londres una ley que hacía obligatoria la descarga de los desechos en los albañales. Los alcantarillados de Londres arrojaban los desechos en el Támesis, del cual se obtenía gran parte del agua para la ciudad; esto, aunado al deficiente estado de conservación de muchas de las alcantarillas permitía que su contenido se filtrara al acuífero, que era la otra fuente de abastecimiento de agua. Como consecuencia inevitable de esta situación las fuentes de agua se contaminaban cada vez más con el agua residual, el Támesis se hizo desagradable tanto a la vista como al olfato y lo que fue más serio, las enfermedades hídricas abundaron en la ciudad. El brote de cólera de Broad Street Pump, que en 1854 causó 10 000 muertes, proporcionó la evidencia al Dr. John Snow para que demostrara la conexión entre la contaminación del agua por agua residual y las enfermedades entéricas como el cólera y la tifoidea. El escándalo público dio lugar a que se ordenaran los primeros trabajos importantes de ingeniería de salud pública de los tiempos modernos: los drenajes interceptores de Bazalgette, que recolectaban las descargas de agua residual y las conducían aguas abajo de Londres para descargarse en el estuario, y la extracción de agua de Teddington, en la parte del río en que no ocurrían mareas. Así, para 1870 los brotes y las epidemias de origen hídrico en el Reino Unido habían sido controladas en su mayoría; trabajos similares se estaban desarrollando en ciudades de los Estados Unidos.

La Revolución Industrial aumentó en gran medida la demanda urbana de agua y las postrimerías del siglo diecinueve vieron la construcción de obras importantes de abastecimiento de agua que comprendían grandes almacenamientos en terrenos elevados, de los cuales son ejemplos: el Valle Elan para Birmingham y los vasos de Croton y Catskill que surten a Nueva York.

En la década de 1950 ya se realizaban evaluaciones de impacto ambiental de desarrollos importantes, en particular en Estados Unidos, Canadá, Europa y Japón. El objetivo principal era garantizar una protección adecuada a la seguridad y la salud pública. Se presentaron documentos por separado para cada uno de los organismos reguladores correspondientes (por ejemplo, para la autoridad hidráulica, para el área de control de la contaminación, etc.), y no se hicieron intentos por elaborar una perspectiva integral. Estos análisis fueron revisados por los organismos reguladores competentes, aunque no por la sociedad. En el caso de la industria de la energía nuclear, se exigieron investigaciones detalladas en campo como requisito para la autorización de permisos de operación.

El movimiento ambiental de la década de los años sesenta y principios de los años setenta dio por resultado que los grupos ambientales se tornaran políticamente activos en muchos países. Como respuesta parcial a estos grupos de presión, los gobiernos aceptaron el principio de que las organizaciones de ciudadanos deberían tener la oportunidad de participar en el proceso de toma de decisiones de los grandes desarrollos que podrían tener impactos ambientales significativos.

La primera legislación ambiental integral de Estados Unidos, la National Environmental Policy Act (NEPA; Ley de política ambiental nacional) entró en vigor el 1 de enero de 1970. Esta ley contiene tres secciones principales:

- ✓ Una declaración de política nacional y, con ella, una prescripción de metas ambientales que el gobierno federal estaba obligado a perseguir.
- ✓ Una especificación de que los organismos federales deberían elaborar un manifiesto de impacto ambiental respecto a las acciones federales que afectasen de manera significativa la calidad del ambiente humano.
- ✓ La institución del proceso de evaluación de impacto ambiental en la Oficina Ejecutiva del Presidente por medio del establecimiento del consejo para la calidad ambiental.

En Canadá, el gobierno federal estableció un proceso de evaluación y revisión ambiental en 1973 para asegurar que:

- ✓ Los efectos ambientales se tomen en cuenta en una etapa temprana de la planeación de nuevos proyectos, programas y actividades federales.
- ✓ Se lleve a cabo una evaluación ambiental antes de que se hagan compromisos o se tomen decisiones irrevocables para todos los proyectos que pudieran tener un efecto adverso en el ambiente.
- ✓ Los resultados de las evaluaciones sean utilizados para la planeación, la toma de decisiones y la puesta en práctica.

En México la Ley Federal de Protección al Ambiente fue derogada en marzo de 1988, cuando entró en vigor la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente (LGEPA), actualmente vigente, en donde se prevé el ordenamiento ecológico, definido como un proceso de planeación dirigido a evaluar y programar el uso del suelo y manejo de los recursos naturales en el territorio nacional y las zonas sobre las que la nación ejerce su jurisdicción y soberanía. Ésta misma ley en su Sección V trata sobre la evaluación del impacto ambiental considerándolo como un instrumento de planeación que permite predecir, evitar o en su caso atenuar el deterioro de los ecosistemas que conlleva la realización de obras o actividades de carácter público o privado.

La necesidad de llevar a cabo la evaluación del impacto ambiental ha sido aceptada por muchas otras jurisdicciones, entre ellas casi todos los estados de EUA, las provincias canadienses, Japón, Australia y la mayor parte de los países europeos. El proceso de la evaluación de impactos ambientales ha estado en evolución desde principios de la década de 1970, en esa época se ponía énfasis en los factores físicos medibles, en particular aquellos para los cuales existían estándares y códigos (por ejemplo: calidad del aire, calidad del agua, eliminación de residuos sólidos). Después de algunos años dichas evaluaciones de impacto ambiental comenzaron a incluir factores biológicos y ecológicos, no obstante que eran difíciles de cuantificar. En tiempos más recientes, se ampliaron aún más para incluir factores socioeconómicos (oportunidades de empleo, impactos culturales, factores recreativos, etc.) con lo cual fue posible hacer balances entre factores socioeconómicos y ambientales.

La Organización de las Naciones Unidas enfocó su atención en el problema, organizando una Conferencia sobre el ambiente humano en 1972 en Estocolmo. Posteriormente, conferencias de las Naciones Unidas dedicadas a la población, los alimentos, los derechos de la mujer, la desertificación, los asentamientos humanos, la ciencia y la tecnología y el tercer mundo continuaron poniendo énfasis en los problemas ambientales. Finalmente, en 1992 la ONU organiza en Río de Janeiro la conferencia “Cumbre de la Tierra” para abordar temas de ambiente y desarrollo. A esta reunión asistieron 201 jefes de estado de 182 países, sin embargo las expectativas para compartir los problemas globales no se materializaron ni tampoco se resolvieron cuestiones fundamentales, como el calentamiento planetario, la protección a los bosques, la contaminación de los océanos y el control de la población. Los mismos resultados se obtuvieron en 1994 en El Cairo en la conferencia “Población y desarrollo” de la ONU. Sin embargo más recientemente hemos ido observando un incremento en el interés mundial por los asuntos ambientales como se refleja en la “Cumbre mundial sobre desarrollo sostenible 2002” en Johannesburgo.

Puede decirse que solamente a partir de los años 60s, términos tales como contaminación del aire y del agua, protección del medio ambiente, ecología, etc., pasaron a ser palabras de uso común. Antes de estas fechas estos términos o bien pasaban desapercibidos para el ciudadano medio, o a cuando más eran base para ideas confusas. Desde entonces, el género humano ha sido bombardeado continuamente por los medios de comunicación con la terrible idea de que la humanidad estaba trabajando efectivamente para su destrucción, a través de procesos sistemáticos de contaminación del medio ambiente, con el fin de conseguir un progreso material.

En algunos casos la gente ha sido arrastrada hasta casi un estado de histeria de masas. Aunque la contaminación es un problema serio y es por supuesto deseable que el ciudadano sea consciente de ello, es dudoso que la histeria de masas sea en cualquier caso justificable. El instinto de conservación de las especies es una motivación básica para la humanidad, y el hombre está equipado para corregir el deterioro del medio ambiente antes de que sea demasiado tarde. De hecho, la corrección de la contaminación no es un problema técnico de gran dificultad comparado con otros, mucho más complejos, resueltos con éxito en esta década, tal como la exploración de la luna por el hombre.

Esencialmente, el conocimiento técnico requerido para resolver el problema de la contaminación está ya a disposición del hombre y, en la medida en que quiera pagar un precio razonable por conseguirlo, la pesadilla de la destrucción a través de la contaminación no se hará realidad.

La contribución de la Ingeniería a la reducción de la contaminación

El ingeniero civil con una base en el desarrollo de obras públicas, históricamente ha realizado actividades en lo que se refiere al control de la contaminación. El principal trabajo del técnico se centraba en los problemas constructivos e hidráulicos y naturalmente, la ingeniería de obras públicas era un requisito indispensable para el técnico que pretendía hacer un diseño

de estas instalaciones. Esta situación ha cambiado últimamente, en principio gradualmente y, más recientemente, de una forma acelerada con el incremento de la industrialización. Como resultado de la gran variedad de procesos industriales, se han comenzado a producir aguas residuales de muy diverso tipo, lo que requiere tratamientos más complejos que han ido apareciendo sucesivamente. El tratamiento de aguas residuales actualmente lleva consigo tantos procesos de tratamiento, equipos, operaciones unitarias y de proceso que se hizo evidente que, la ingeniería debería tener una participación prioritaria en la solución de los problemas de aguas residuales. El concepto de operaciones unitarias, desarrollado fundamentalmente en la ingeniería química a lo largo de los últimos 50 años, constituye la llave de la aproximación científica a los problemas de diseño que se encuentran en el tratamiento de aguas, por ejemplo.

Cuantificación de los problemas ambientales

Como futuro ingeniero, al estudiante no le basta con entender las causas y los efectos de los problemas ambientales en términos exclusivamente cualitativos. También debe ser capaz de expresar el problema que se percibe y su solución potencial de manera cuantitativa. Muchas cuestiones ambientales son muy complejas. Con frecuencia, el problema se puede dividir en varios componentes, que se pueden analizar llevando a cabo balances de materia o energía para cada componente, lo cual conduce a una solución para el sistema total.

En la actualidad los ingenieros civiles que se desempeñan en el área de sanitaria y ambiental se valen de muchas disciplinas que incluyen: química, física, biología, sociología, economía, derecho, por mencionar las más importantes. Los problemas ambientales de la actualidad son complejos y no se limitan a un medio particular, y la ingeniería sanitaria y ambiental no sólo estudia los efectos de proyectos de desarrollo en el ambiente, sino en cierto grado también los del ambiente en las obras civiles.

Una definición de ingeniería sanitaria y ambiental podría ser que se trata de *una disciplina en la que se aplican los fundamentos de matemáticas, física, química y biología con el propósito de proteger la salud humana y el medio ambiente.*

El presente trabajo desarrolla las actividades básicas prácticas necesarias para la formación del ingeniero civil en la ingeniería sanitaria y ambiental. En el capítulo 1 se presenta la importancia de las pruebas de laboratorio; los capítulos 2 al 5 incluyen las actividades de laboratorio para las asignaturas de: impacto ambiental*, tratamiento de aguas residuales*, abastecimiento de agua potable* y contaminación del agua**, respectivamente. Se incluye además el análisis del costo de las prácticas por alumno por semestre en el capítulo 6, y finalmente las conclusiones del trabajo en el capítulo 7.

*Asignaturas obligatorias del Plan de Estudios 1994 de la carrera de Ingeniería Civil.

**Tema Especial de Ingeniería Civil II del Plan de Estudios 1994 de la carrera de Ingeniería Civil.

PAGINACIÓN DISCONTINUA

Importancia de las pruebas de laboratorio en el estudio de la ingeniería sanitaria y ambiental



TESIS CON
FALLA DE ORIGEN



Capítulo Uno

La participación del Ingeniero Civil

Los ingenieros civiles tradicionalmente han participado en los trabajos para el abastecimiento de agua y la eliminación del agua residual. Esto se debe a que probablemente, la ingeniería de salud pública constituye la mayor actividad de la ingeniería civil. Sin embargo, la ciencia y la tecnología del agua es un tema interdisciplinario que comprende la aplicación de principios biológicos, químicos y físicos asociados con las técnicas de ingeniería. El ingeniero de salud pública en colaboración con sus colegas científicos tiene una participación importante en la reducción de la incidencia de muchas enfermedades hídricas.

Las responsabilidades del ingeniero comienzan con el desarrollo de fuentes de agua para proveer un abastecimiento suficiente de agua calificada como potable; esto es, que esté libre de materia suspendida visible, color excesivo, sabor, olor, materia disuelta desagradable, constituyentes agresivos y bacterias indicadoras de contaminación fecal. Es obvio que el agua para beber debe ser adecuada para el consumo humano, o sea, potable y agradable al paladar; es decir, estéticamente atractiva. Además, tanto como sea factible, debe ser adecuada para otros usos domésticos, como el lavado de ropa y otros.

Hay una vasta cantidad de agua presente en la tierra y la atmósfera circundante; cerca del 7% de la masa de la tierra es agua. Sin embargo, la mayor parte del agua del planeta está almacenada en los océanos como agua salada (97.39%) y en forma congelada en los casquetes polares o glaciales, (2.01%). Una gran parte del resto está contenida en las formaciones geológicas (0.54%). Solo 0.06% se encuentra como agua superficial, de la cual más de la mitad es salada, y por tanto, no potable. En realidad, el agua dulce disponible constituye menos de 0.02% de la hidrósfera. De esta agua superficiales, el 95% están almacenadas en lagos, dejando tan solo 0.001% para todos los ríos y arroyos.

No obstante, si tanto el agua como la población estuvieran distribuidas uniformemente sobre la superficie de la tierra, no habría escasez de agua, pero sí la hay porque la distribución en la superficie de la tierra del agua de lluvia es desigual y las áreas urbanas densamente pobladas consumen grandes cantidades de agua.

A pesar del enorme volumen de agua dulce que circula anualmente a través de los continentes, suficiente para satisfacer las necesidades de la humanidad, mucha gente en diversas partes del mundo no tienen acceso a este líquido vital. Hay varias razones para que ello ocurra. En primer lugar, a pesar de que el agua es abundante, el agua dulce utilizable solo existe en grandes volúmenes en pequeñas áreas del planeta. En segundo lugar, las aguas disponibles no son siempre adecuadas para el consumo humano, a veces por causas naturales, pero más frecuentemente como resultado de la degradación antrópica. En tercer lugar, no todos los recursos hídricos se renuevan a una tasa suficientemente apropiada como para su utilización a largo plazo. Finalmente, la demanda de agua está concentrada en unas pocas áreas densamente pobladas que no coinciden necesariamente con los lugares de mayor disponibilidad.

La ciencia de la hidrología, que trata de la administración del ciclo hidrológico y sus recursos hidráulicos, desempeña un papel importante en la satisfacción de las demandas siempre crecientes de agua en el mundo en vías de desarrollo. Se debe entender por qué en la evaluación de los recursos hidráulicos es esencial tomar en consideración tanto la cantidad como la calidad de la fuente.

Una vez que se obtiene agua de calidad y en cantidad adecuadas por el desarrollo de una fuente y la construcción de instalaciones para su potabilización, el paso siguiente es surtir el agua ya tratada a los consumidores por medio de un complejo sistema de distribución. Generalmente, los usos domésticos e industriales del agua producen un deterioro en su calidad y se hace necesario recolectar las aguas residuales para darles un tratamiento efectivo antes de devolverlas al ambiente. En muchos casos las aguas residuales tratadas se convierten en una parte importante del recurso hidráulico y pueden volver a utilizarse.

La contaminación creciente del agua superficial, que resulta de la falta de tratamiento de las aguas residuales, está transformándose gradualmente en un problema central en muchas zonas del mundo. En ciertas áreas densamente pobladas, varios tipos de aguas negras son vertidas o escurren en dirección a los sistemas hídricos naturales. Este problema es común en la mayor parte de las grandes urbes de los países de América Latina, África y Asia.

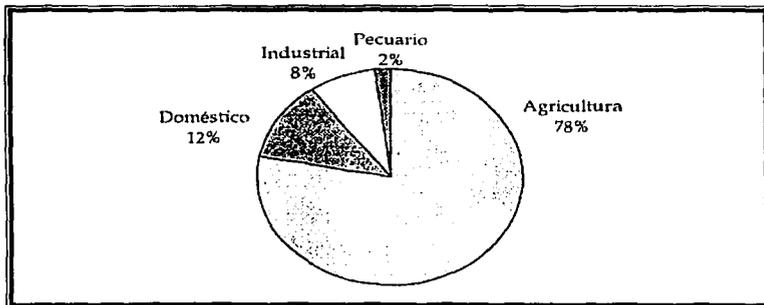
Se han propuesto proyectos e iniciativas para solucionar el problema en algunas de estas ciudades, pero los costos involucrados en corregir la situación son muy elevados, generalmente fuera del alcance de las economías urbanas e incluso nacionales. En resumen, hay dos limitaciones básicas que afectan el suministro de agua de las ciudades y otras áreas densamente pobladas del mundo. Una es la localización inapropiada de las ciudades en relación con los recursos hídricos y el otro es la creciente degradación de los recursos existentes en dichos lugares.

Uso y abuso del agua

El agua es la sustancia de consumo más común y generalizada. Se la utiliza para beber, en los hogares para la limpieza y la cocina, en las industrias como materia prima, para enfriamiento y lavado, en la producción agropecuaria para riego y limpieza y en otras actividades con diversos propósitos. Según el programa nacional hidráulico 2001-2006, se estima que en el año 2000 se extrajeron de los ríos, lagos y acuíferos del país 72 km³ para los principales usos consuntivos. Este volumen representa el 15% de la disponibilidad natural medio nacional de agua.

El uso predominante es el agrícola, ya que representa el 78% de la extracción, seguido por el uso público urbano con el 12%, el uso industrial con un 8% y finalmente el pecuario con el 2%. Estas cifras reflejan solo el agua que es efectivamente utilizada, sin embargo, grandes volúmenes que no son utilizados directamente son afectados por la acción humana. La figura 1.1 muestra los principales usos del agua en México.

Figura 1.1
Usos predominantes del agua



Fuente: CNA, Programa Nacional Hidráulico 2001-2006

La vulnerabilidad de los recursos hídricos a la contaminación antrópica, varía de lugar a lugar. Los ríos con gran caudal son menos vulnerables que los ríos con menor caudal. La misma lógica aplica con los cuerpos hídricos lacustres, aunque en este último caso, su vulnerabilidad tiende a ser mayor por su menor tasa de renovabilidad. Las fuentes de aguas superficiales se contaminan rápido, pero al mismo tiempo, son relativamente simples de limpiar cuando existe la voluntad política y social de hacerlo.

En general el agua subterránea, por el contrario, es menos vulnerable en el corto plazo. Dependiendo del estrato los contaminantes podrían tardar más en infiltrarse en las reservas subterráneas. En algunos casos, los mantos de agua pueden estar protegidos por estratos impermeables. Sin embargo, muchos acuíferos pueden ser fácilmente contaminados a partir de sus áreas de recarga o debido a perforaciones inapropiadas. Cuando esto ocurre, el daño puede ser difícil de corregir. En muchos casos la situación es irreversible.

a) Irrigación agrícola.

En la mayoría de los países, no son las poblaciones urbanas las que requieren los mayores volúmenes de agua, sino la agricultura. El riego agrícola utiliza enormes cantidades de agua. Los suelos que requieren agua para el cultivo, están frecuentemente situados en sitios donde las tasas de evaporación son elevadas. Ello es agudizado por el tipo de cultivos que se plantan, algunos de los cuales poseen altos índices de transpiración. Una hectárea de arroz irrigado evapora aproximadamente 20,000 metros cúbicos de agua por año.

En México los métodos aplicados son tradicionales en más del 80% de la superficie del país y la eficiencia promedio en el uso del agua se estima en 46%; con empleo de tecnologías e infraestructura avanzadas podría alcanzar el 60%.

Incluso en aquellos cultivos de riego que consumen menos agua el gasto por hectárea, promedio, es equivalente al de 40 hogares urbanos. Por ese motivo, la agricultura de irrigación es competitiva solo si se plantan cultivos de alto valor comercial o en los lugares donde el precio del agua es muy bajo.

A menudo el bajo precio del agua de irrigación no refleja los costos reales. En algunas zonas irrigadas, el agua se obtiene de sistemas cuyo costo no ha sido incorporado en el precio. Los precios artificialmente bajos del agua permiten el desarrollo o persistencia de las plantaciones de riego en áreas en donde, de otra forma, ello no sería rentable ni posible.

En esos casos, la agricultura logra sobrevivir solamente debido a estos subsidios proporcionados indirectamente por la institución o agencia que construyó o financió las obras hidráulicas, y que no está transfiriendo estos costos a los usuarios.

b) La demanda municipal de agua

Los problemas de abastecimiento no son los únicos que interesan a la gestión hídrica. En la realidad, el tema del agua tiene dos aspectos: la disponibilidad de los recursos (suministro) y la demanda existente.

Este último aspecto, es crucial en la gestión del recurso agua, ya que es frecuente e inapropiadamente subestimado. Muchos problemas de abastecimiento de agua no existirían, o serían mucho menos graves, si se formularan e implantaran políticas y estrategias que tuvieran más en cuenta el problema de la demanda.

En la mayoría de los países y ciudades, incluso en los países más pobres, hay problemas de consumo excesivo de agua. El derroche tiene lugar en todas las etapas de los sistemas de agua: pérdidas de las conducciones, fugas en las edificaciones, actitudes de consumo innecesario promovidas por la falta de contabilidad o inadecuadas políticas de precios, tecnologías de los artefactos de agua que promueven gastos innecesarios, etc. En México las pérdidas de agua por fugas oscila entre el 30 y 50%.

En las áreas urbanas, la obtención de recursos hídricos suficientes podría ser lograda por muchos años con un mejor mantenimiento del sistema y políticas de precios y contabilidad diseñadas con este propósito. Los enfoques que influyen directamente sobre la demanda son mucho más económicos que los que se basan exclusivamente en la planificación e implementación de nuevos embalses alejados y sistemas asociados. A la vez, este tipo de políticas tienden a reducir los efectos negativos sobre los sistemas de agua naturales.

Desafortunadamente, pocas ciudades en el mundo han puesto en práctica enfoques sustentables en el manejo de sus recursos hídricos. Esta situación se relaciona con el modelo de desarrollo adoptado en muchos países que tiende a priorizar el crecimiento económico sobre el crecimiento sustentable.

c) Uso industrial

La extracción de agua para uso industrial, a pesar de su volumen relativamente pequeño, se ha convertido en un factor importante debido a la gran competencia con otros usuarios por el abastecimiento de agua. También reviste importancia el uso industrial por la cantidad y diversidad de contaminantes que descargan algunas industrias.

Las industrias del país emplean del orden de $6\text{km}^3/\text{año}$ de agua y descargan $5.36\text{km}^3/\text{año}$ de aguas residuales.

d) La distribución del agua en los diversos sectores

Uno de los problemas de gestión hídrica más apremiantes se relaciona con los conflictos existentes entre los grupos y sectores agrícolas y urbanos para obtener el valioso y escaso recurso al menor precio posible.

Individualmente, los agricultores consumen mucha más agua que los habitantes de las ciudades (incluso cuando se tiene en cuenta los consumidores industriales urbanos). Por esta razón, la competitividad de las actividades agrícolas están estrechamente relacionadas con el costo del agua. Si el agua es cara el agricultor se ve imposibilitado de vender sus productos en el mercado a un precio competitivo. Los usuarios urbanos pueden permitirse pagar mucho más por unidad de agua porque el costo se comparte entre muchos y porque su consumo per cápita es mucho menor.

En la competencia entre agricultores y ciudades son éstas últimas las que tienden a imponerse. En algunos casos, ello puede ocurrir en detrimento de actividades agrícolas tradicionales de muchos pequeños granjeros que dependen de la irrigación. En otras situaciones, las políticas de agua especulativas pueden terminar en el despojo de los pequeños agricultores o comunidades indígenas, desviando el agua para grandes compañías dedicadas a la explotación agrícola comercial.

Por esa razón, cuando se definen las estrategias de agua es necesario tener en cuenta todos los elementos de la ecuación:

- ✓ ¿Cuanta agua hay disponible?
- ✓ ¿Quién la necesita más?
- ✓ ¿Qué parte le corresponde a cada usuario?
- ✓ ¿Quién tiene prioridad?
- ✓ ¿Cuál es la solución económica más lógica?

Estas preguntas deben ser respondidas en el marco de modelos de desarrollo sólidos y equitativos en los que la calidad de vida y el uso sostenible de los recursos sean prioritarios.

Estudios de campo y análisis de laboratorio

Para tener éxito en la administración de las aguas, es necesario conocer sus propiedades (susceptibles de cambio) y sus usos potenciales de acuerdo a sus características que determinarán en función de su uso la necesidad de modificación (potabilización y/o tratamiento). Por lo tanto, se examina el agua para identificar sus propiedades sobresalientes y, en caso necesario, saber si se pueden modificar.

Una forma de anticipar la probable composición de las muestras de agua en preparación para su análisis, y para aplicar los resultados analíticos obtenidos en el laboratorio, consiste en compenetrarse con las condiciones en que se encuentra la naturaleza. El alcance de los estudios de campo, lo dictan las circunstancias. Dichos estudios, según sus fines se pueden clasificar en: *estudios sanitarios* cuando identifican las condiciones de la cuenca que pueden afectar y poner en peligro la calidad del agua de abastecimiento; *estudios sobre contaminación* cuando determinan los efectos de las aguas residuales sobre las masas receptoras; y *estudios sobre residuos industriales* cuando establecen los volúmenes característicos de los efluentes que proceden de establecimientos industriales.

Los exámenes de laboratorio se relacionan con los análisis de las muestras tomadas en el campo, en las plantas de tratamiento, en los puntos de muestreo de los sistemas de distribución de agua, o en los sitios de interés para algún problema ambiental en particular, por ejemplo. Estas muestras esbozan solamente un modelo fragmentario de las características generales del problema completo, pero resultan de gran ayuda para analizar datos, características y/o problemas más complejos.

A fin de mantener estándares comunes en los diferentes laboratorios y que éstos sean comparables y tengan validez legal, debe existir un acuerdo entre los laboratorios respecto a los métodos adecuados para colección y análisis y la aceptación por parte del gobierno o las instituciones interesadas. Las normas de calidad de agua, por ejemplo, identifican la concentración de las propiedades componentes que la experiencia, o el juicio científico, demuestra que es seguro, aceptable y obtenible a partir de las fuentes con que se cuenta.

Con base en lo anterior, y considerando la necesidad de contar con un manual de prácticas de laboratorio de ingeniería sanitaria y ambiental que sirviera como material didáctico, se desarrolló el presente trabajo, el cual incluye las prácticas generadas a partir de 1988 y algunas prácticas nuevas. El objetivo del manual es servir como respaldo teórico, práctico y de procedimientos para el fortalecimiento de la formación de los estudiantes de la carrera de ingeniería civil.

Impacto Ambiental

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN



Capítulo dos

Construcción de modelos de calidad del ambiente



La ingeniería civil tiene como objetivo la transformación de la naturaleza en obras de servicio colectivo para el ser humano, lo que implica el uso de los recursos naturales. Una de las más importantes justificaciones para tratar de predecir las modificaciones ambientales como resultado de los proyectos de desarrollo es que, a pesar de los avances en la ciencia y la tecnología, seguimos dependiendo irrevocablemente de la energía de los sistemas naturales.

Estos sistemas suplen nuestras necesidades de alimento, respiración y fuentes de agua. La administración de recursos tales como la agricultura y los terrenos forestales, las aguas provenientes de ríos, lagos y otras fuentes, las regiones urbanas e industriales, etc. modifican la provisión de nutrientes, alteran el paisaje y ciclos biogénéticos, difunden contaminantes, alteran la dinámica de las poblaciones de especies, desde las formas más elementales de las plantas y animales hasta las comunidades humanas. Si no entendemos el funcionamiento y las interacciones entre los sistemas que en conjunto constituyen la Tierra, no será posible administrarlos aprovechando al máximo los beneficios que de ellos pueden derivarse.

La predicción de los impactos sobre el ambiente puede estar basada en el juicio profesional, experiencia, evidencia experimental o modelos cuantitativos. La predicción debe indagar la naturaleza, magnitud, duración, extensión, nivel de confianza y certidumbre de los impactos predichos.

Los modelos sirven además como elementos de comunicación, de gran valor para sintetizar los conocimientos de muchas personas de distintas especialidades, a fin de enfocar problemas de naturaleza interdisciplinaria. Finalmente, así como la construcción y cuantificación de un modelo teóricamente válido es indicio de que por lo menos se ha logrado cierta comprensión del sistema y de la dinámica de su comportamiento.

Los modelos físicos se desarrollan para predecir el transporte de contaminantes en el agua y aire bajo condiciones complejas, donde otros modelos no son confiables. El desarrollo de estos modelos puede resultar muy costoso y presentar problemas considerables al tratar de representar en forma acertada la situación real.

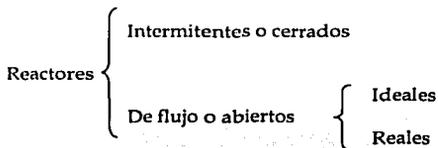
Para la construcción de modelos de calidad del ambiente se requiere delimitar el área específica de estudio o sistema. Un sistema se define como cualquier porción específica del universo que se selecciona para su estudio. El sistema puede ser la atmósfera de una ciudad, la porción de un río, un estrato de suelo, el volumen de material líquido contenido en el tanque de una planta de tratamiento, etc.

En el campo de la ingeniería ambiental se utilizan diversos métodos físicos (sedimentación, filtración, etc.), químicos (precipitación, coagulación, ablandamiento, etc.) y bioquímicos (lodos activados, digestión anaerobia, etc.), generalmente efectuados dentro de un tanque para la remoción de contaminantes. Cuando una reacción de naturaleza química o bioquímica se verifica en un tanque, éste se denomina como un reactor.

De manera general los reactores se dividen en dos tipos: reactores intermitentes (cerrados o tipo Batch) y reactores de flujo (abiertos). En el primero, los materiales se adicionan al tanque, se mezclan perfectamente, y se dejan el tiempo suficiente para que la reacción se lleve a cabo. Al final del tiempo establecido, la mezcla se saca del tanque. Como el material normalmente está bien mezclado, la composición dentro del reactor es uniforme en cualquier instante. Sin embargo, a medida que la reacción avanza, la composición cambia. Una *reacción intermitente* se describe por tanto como una operación en *estado no estacionario*.

En un reactor de flujo, el material entra al reactor, lo atraviesa y sale de él. De acuerdo con las condiciones de mezclado y los patrones de flujo dentro del tanque, hablamos de reactores ideales y reales. El reactor ideal se designa también como reactor de flujo tapón, reactor de flujo pistón o flujo tubular. El patrón de flujo del tanque se caracteriza como *uniforme*. Esto es, las partículas fluidas pasan a través del tanque y se descargan con la misma secuencia que entraron al tanque. Las partículas permanecen en el tanque durante un periodo igual al tiempo de retención teórico. La situación es equivalente a forzar a pasar un fluido por un tubo largo. El flujo no se mezcla en sentido longitudinal, aunque puede haber o no cierto mezclado lateral. La operación puede ser estacionaria, si el gasto es constante con el tiempo, o no estacionaria cuando cambia con el tiempo.

En el otro extremo tenemos a los llamados reactores de tanque completamente mezclado, o simplemente tanque agitado o reactor de contramezcla. Este tipo de reactor tiene como característica que el contenido del tanque se mezcla de manera tan completa que la composición es uniforme. Por consiguiente, la composición del efluente es igual a la del líquido del tanque.



Práctica No. 1
Aplicación del principio de conservación de la masa
a la predicción de impactos: reactores



Objetivo: Verificar la aproximación del modelo matemático de un sistema abierto conteniendo una sustancia conservativa, con respecto al modelo físico operado en el laboratorio, a partir del principio de conservación de la masa.



Introducción

Los ríos, lagos y mares recogen, desde tiempos inmemoriales los desechos producidos por la actividad humana. El ciclo natural del agua tiene una gran capacidad de autodepuración, pero esta misma facilidad de regeneración del agua y su aparente abundancia, hace que sea un vertedero habitual en el que arrojamamos los residuos producidos por nuestras actividades. Pesticidas, desechos químicos, metales pesados, residuos radioactivos, etc., se encuentran en cantidades crecientes al analizar las aguas de los lugares más remotos del mundo, muchas aguas están contaminadas hasta el punto de hacerlas peligrosas para la salud humana y dañinas para la vida.

Es por ello que surge la necesidad de contar con modelos que ayuden a determinar la concentración de un determinado contaminante en el cuerpo de agua, y de esta manera, conocer el comportamiento físico y químico del agua contaminada para poder prever efectos secundarios adversos.

En la mayoría de los casos los modelos se basan en el *principio de conservación de la masa*, y establece que en un sistema el flujo de masa entrante menos el flujo de masa saliente más o menos lo que se transforma, es igual a lo que se acumula en el sistema.

$$A = E - S \pm T$$

donde:

A = Acumulación

E = Entradas

S = Salidas

T = Transformaciones

(2.1)

Pero la acumulación es igual a:

$$A = \frac{\partial M}{\partial t}$$

(2.2)

Aunque también tenemos que:

$$\chi = \frac{\text{Masa}}{\text{Volumen}} = \frac{M}{V}$$

(2.3)

Por lo que en una dimensión tenemos:

$$A = \frac{dM}{dt} = \frac{d\chi V}{dt} \quad (2.4)$$

Y de este modo el principio de conservación de la masa queda:

$$\frac{d\chi V}{dt} = E - S \pm T \quad (2.5)$$

Sistema bien mezclado con sustancia conservativa

Considérese un sistema bien mezclado con las siguientes condiciones:

1. El volumen permanece constante, por lo tanto el gasto de entrada (Q_e) es igual al gasto de salida (Q_s)

$$Q_e = Q_s = \text{cte} = Q$$

2. Siendo un sistema bien mezclado podemos considerar que la concentración a la salida del sistema es igual a la concentración de todo el sistema

$$X_{\text{salida}} = X_{\text{sistema}}$$

3. Tratándose de una sustancia conservativa, no existen transformaciones ($T = 0$)

Por lo tanto, de $\frac{d\chi V}{dt} = Q_e \chi_e - Q_s \chi_s$ tenemos que:

$$V \frac{d\chi}{dt} = Q[\chi_e - \chi]$$

Definiendo el tiempo de retención como el tiempo que tarda el material desde la entrada hasta la salida del sistema sin renovarse, $\theta = \frac{V}{Q}$

$$\frac{d\chi}{dt} = \frac{1}{\theta}[\chi_e - \chi]$$

Al realizar la integración tenemos

$$\chi = \chi_e (1 - e^{-t/\theta}) + \chi_0 e^{-t/\theta}$$

(2.6)

y para las condiciones iniciales

$$t = 0$$

$$X = X_0$$



Material, equipo y reactivos

Cristalería

- ✓ Garrafones de plástico con despachador
- ✓ Vasos de precipitados de 20 ml
- ✓ Probeta de 1000 ml

Reactivos

- ✓ Cloruro de sodio (NaCl)

Material y equipo

- ✓ Balanza analítica
- ✓ Cronómetro
- ✓ Mezclador o agitador
- ✓ Conductivímetro



Procedimiento

1. Aforar 10 l de agua en un garrafón.
2. Medir 200 g de cloruro de sodio (sal, NaCl)
3. Adicionar el cloruro de sodio anteriormente pesado al garrafón y mezclar perfectamente.
4. Aforar el gasto de las salidas de los despachadores, midiendo un litro de agua en una probeta, y tomando el tiempo en que ésta se llena.

$$Q = \frac{V}{t}$$
5. Vaciar la solución de cloruro de sodio en el despachador superior.
6. Tomar una muestra del despachador superior y medir su concentración de sólidos disueltos totales, con ayuda del conductivímetro.
7. Colocar el mezclador en el despachador inferior para simular un sistema bien mezclado.
8. Colocar una cubeta en la parte inferior del segundo despachador, a la salida del agua.
9. Abrir ambas llaves de los despachadores.
10. Tomar muestras a cada 30 segundos en vasos de precipitados, y medir su concentración de sólidos disueltos totales con ayuda del conductivímetro, en cada medición enjuagar previa y posteriormente el electrodo del conductivímetro con agua destilada.

Resultados

- ✓ Elabore una tabla donde se registren los datos de la prueba:

Tiempo (min)	Concentración X (mg / l)

Análisis de resultados

1. Compare los datos obtenidos experimentalmente con los que proporciona el modelo matemático del sistema bien mezclado conteniendo sustancia conservativa y calcule el porcentaje de error de la prueba.

$$\%e = \left| \frac{X_{teórica} - X_{experimental}}{X_{teórica}} \right| \times 100$$

Tiempo	X teórica	Xexperimental	% e

Conclusiones

- ✓ Se cumplieron total o parcialmente los objetivos. ¿Por qué sí o por que no?
- ✓ Si los resultados experimentales difieren de los calculados con el modelo del sistema bien mezclado conteniendo una sustancia conservativa, explique a qué puede deberse la diferencia.

Actividades y problemas propuestos

1. En un sistema abierto con sustancia conservativa, determine el tiempo para el cual la concentración de salida es igual a la concentración de entrada del sistema.
2. Explique los conceptos de tiempo de vida media, tiempo de retención, estado estable o estacionario.
3. Explique el concepto de sustancia conservativa y no conservativa. Proporcione 3 ejemplos de cada tipo de sustancia.



Leyes de los Gases

Es necesario conocer el comportamiento de los gases y las mezclas gaseosas en diversas condiciones ambientales para el control de la contaminación del aire, el agua y el suelo. Por ejemplo, en la degradación anaerobia de aguas residuales se producen tres gases principales (CO_2 , CH_4 y H_2S), cada uno de los cuales es, respectivamente, corrosivo, rico en energía y venenoso. El gas que se desprende de la descomposición orgánica en zonas de confinamiento podría originar incendios y explosiones que son un peligro para cualquier desarrollo urbano en la zona o cercano a ella. Además, la disolución de gases en líquidos, así como la extracción de gases disueltos de líquidos, son de especial importancia para el ingeniero y el científico dedicados al campo ambiental.

Ley de Raoult y presión de vapor

La ley de Raoult se ocupa de la presión de vapor de una solución ideal (que se define como aquella cuyas propiedades son un promedio molar de los componentes de esa solución). Ésta ley establece que:

“Si una solución obedece la ley de Raoult, la presión parcial de cualquier componente dependerá, en primer término, de su volatilidad y, en segundo, de la calidad presente en la solución. La presión de vapor del componente mide la primera propiedad, en tanto que su fracción molar mide la segunda.”

Matemáticamente, esto lo podemos expresar como:

$$P_a = X_A P_A \quad (2.7)$$

donde:

P_a = presión parcial del componente A en equilibrio con la solución.

P_A = presión de vapor de la sustancia A pura a la temperatura de la solución.

X_A = fracción molar del componente A en la solución.

Hay que advertir que la ley de Raoult difiere de la de Dalton. La primera permite calcular las presiones parciales de la fase gaseosa con base en la composición del líquido. La ley de Dalton, por su parte, define la presión parcial con base en la composición de la fase gaseosa, la cual puede ser muy diferente de la líquida.

La separación de componentes con diferente presión de vapor por evaporación/distilación y condensación repetidas se lleva a cabo en diversas operaciones de procesamiento de residuos industriales. Esta técnica es un ejemplo práctico de la ley de Raoult.

Gases disueltos en líquidos.

Varias situaciones que se presentan en la ciencia y la ingeniería ambientales implican la transferencia de gases, hacia adentro o hacia fuera de los líquidos. Por ejemplo, en la aireación de ríos y lagos se transfiere oxígeno del aire al agua para así proveer el oxígeno disuelto indispensable para la vida acuática.

Además, la aireación para intercambio de gas en su forma más simple y directa tiene los siguientes objetivos:

1. Adición de oxígeno a las aguas subterráneas para oxidar hierro y manganeso disueltos y, en gran escala, para mantener la tensión descada de oxígeno en tratamiento y evacuación de aguas residuales.
2. Remoción de bióxido de carbono para reducir la corrosión e interferencia con el ablandamiento de cal-carbonato.
3. Remoción de ácido sulfhídrico para eliminar olores y sabores, disminuir la corrosión de los metales y la desintegración del cemento y concreto, y disminuir la interferencia de la cloración.
4. Remoción de metano para prevenir incendios y explosiones.
5. Remoción de aceites y otras sustancias volátiles similares productoras de olores y sabores, desprendidas por las algas y otros microorganismos.

La aireación es sólo una de las formas del intercambio de gases. Existen otras en las que el agua se encuentra expuesta no al aire natural, sino a:

- a) un gas específico
- b) el aire sobrecargado con un gas específico
- c) mezclas de aire-gas, a presiones superiores o inferiores a la atmosférica y posiblemente a temperaturas diversas.

Por ejemplo:

- ✓ Adición de bióxido de carbono procedente de gas de combustión o de generadores de bióxido de carbono para recarbonatar agua suavizada mediante cal.
- ✓ Adición de ozono o de cloro gaseoso, ya sea para la desinfección de aguas o para la destrucción de olores y sabores.
- ✓ Remoción de oxígeno y otros gases que producen la corrosión (desgasificación) mediante la aspersion del agua dentro de una cámara al vacío a temperaturas ordinarias o más altas.

El grado de solubilidad de un gas en un líquido depende de la clase de gas que se trate, de la naturaleza del líquido disolvente, así como de la presión y la temperatura. En muchas aplicaciones ambientales el líquido disolvente es agua. Entre los gases poco solubles se cuentan el N_2 , el H_2 , el O_2 y el He . Por otra parte el NH_3 , es un gas muy soluble. La naturaleza del disolvente es importante. Por ejemplo el N_2 , el O_2 y el CO_2 son mucho más solubles en alcohol etílico que en agua, en tanto que el H_2S y el NH_3 actúan de manera inversa.

Ley de Henry

Muchas soluciones que se presentan en el campo ambiental son mezclas bastante diluidas. La ley de Henry es un caso especial de la ley de Raoult aplicada a soluciones de este tipo. En las soluciones diluidas la presión parcial del soluto, presente en pequeña cantidad, puede ser molar (esto es, de tener una relación lineal con ella) Supongamos que estamos tratando con una solución de una pequeña cantidad de una gas ideal B en un disolvente ideal A, como, por ejemplo, oxígeno disuelto en agua. La Ley de Henry se expresa matemáticamente como:

$$P_B = X_B K_{H1}(A, B) \quad (2.8)$$

donde:

P_B = presión parcial del soluto B en el gas.

X_B = fracción molar de B en la solución.

$K_H = K_{H1}(A, B)$ = constante de Henry, que depende de las propiedades del soluto B y del disolvente A.

De tal forma que puede expresarse como:

$$P_B = K'_H P_B \quad (2.9)$$

donde: $K_H(A, B) = 1/K'^H$

y en ocasiones se expresa como:

$$C_B = K^{**}_H P_B \quad (2.10)$$

en donde C_B es la concentración del gas disuelto en el líquido en el equilibrio (en ml/l o mg/l) y K^{**}_H es numérica y dimensionalmente diferente de K'^H y $K_H(A, B)$. Al buscar valores de la constante de Henry en los manuales, es importante saber a cuál de las tres ecuaciones se aplican los valores.

La constante de Henry depende también de la temperatura, y las temperaturas que aparecen en las tablas están en el intervalo que normalmente se presentan en el campo ambiental.

Práctica No. 2 Transferencia de gases: Ley de Henry



Objetivo: Corroborar el comportamiento de la ley de Henry, y observar el efecto de la presión parcial, la temperatura y la salinidad sobre la solubilidad de un gas en el agua.



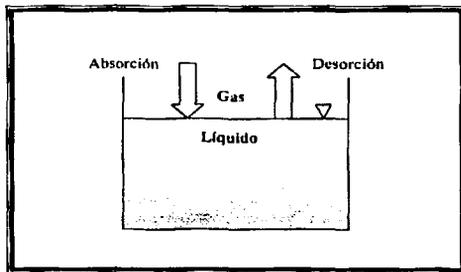
Introducción

La solubilidad de un gas en agua depende de:

- su presión parcial en la atmósfera que se encuentra en contacto con el agua.
- de la temperatura del agua.
- de la concentración de las impurezas en el agua.

La transferencia de gases dentro y fuera del agua es una parte importante de los procesos naturales de purificación. Considerando un sistema simple como el mostrado en la Figura 2.1 en la cual un recipiente con líquido es sellado con un gas sobre él. Si el líquido es inicialmente puro con respecto al gas, las moléculas de gas migrarán a través de la interfase gas-líquido y se disolverán en el líquido. Aunque algunas moléculas de gas comenzarán a dejar el líquido regresando a la fase gaseosa, la reacción neta será hacia el líquido hasta que se alcance un estado de equilibrio.

Figura 2.1
Transferencia de partículas entre la interfase gas-líquido



Fuente: "Impacto ambiental" de Vázquez & César

En este punto, el número de moléculas que salen del líquido es igual al número de moléculas que entran otra vez, y se dice que el líquido está saturado del gas. El equilibrio en este caso implica un estado estacionario dinámico, no un estado estático en el que todo movimiento de moléculas de gas se detendría una vez alcanzada la saturación.

La solubilidad de un gas en equilibrio con un líquido se cuantifica con la ley de Henry; "La cantidad de gas disuelta en un líquido a una temperatura determinada es directamente proporcional a la presión parcial que ejerce ese gas sobre el líquido" y se expresa matemáticamente por:

$$\chi = \frac{P}{H} \quad (2.11)$$

donde:

χ es la concentración del gas en el líquido

P es la presión parcial del gas sobre el líquido

H es el coeficiente de absorción (constante de Henry)

Los coeficientes de absorción o coeficientes de Henry son función del gas, el líquido y la temperatura.

Cuanto mayor sea la presión parcial de un gas sobre un líquido, mayor cantidad de gas absorberá el líquido. A menor temperatura la capacidad del gas para absorber gases aumenta, por el contrario con el aumento de temperatura el líquido disminuirá su capacidad para absorber gases. También la naturaleza de los líquidos es un factor importante, ya que unos son capaces de absorber más gas que otros.

Así según en que estado esté el proceso de absorción de gases se pueden establecer los siguientes estados en los líquidos:

- ✓ Insaturado: Cuando el líquido es capaz de absorber más gas. La presión parcial que el gas ejerce sobre el líquido es mayor que la tensión (presión del gas disuelto en el líquido) de ese gas.
- ✓ Saturado: Existe un equilibrio en la cantidad de gas que absorbe el líquido es la misma que elimina. La presión parcial del gas es igual a la tensión.
- ✓ Sobresaturado: La cantidad de gas contenida en el líquido es superior a la que puede absorber y por tanto libera el exceso de gas. La presión parcial del gas es menor que la tensión del mismo.

Si el espacio arriba del líquido es ocupado por una mezcla de gases, cada gas tendrá su propia fracción molar en equilibrio.



Material, Equipo y Reactivos

Cristalería

- ✓ Vasos de precipitados de 1 litro (4)
- ✓ Matraces de 500 ml (4)
- ✓ Probeta de 1000 ml
- ✓ Bureta

Reactivos

- ✓ Carbonato de sodio
- ✓ Cloruro de sodio
- ✓ Fenolftaleína

Material y Equipo

- ✓ Autoclave
- ✓ Tanque de CO₂



Procedimiento

1. Colocar en cada uno de los vasos de precipitados un litro de los siguientes tipos de aguas:
 - Agua fría
 - Agua caliente
 - Agua a temperatura ambiente
 - Agua salada a temperatura ambiente
2. Colocar los 4 vasos de precipitados dentro del autoclave, cerrando perfectamente ésta.
3. Abrir la llave del tanque de CO₂ y esperar a que la presión dentro del autoclave sea de 1.6 atm.
4. Esperar 10 min a la presión conseguida, para que se realice la inclusión del gas en el agua.
5. Sacar los vasos de precipitados del autoclave.
6. Medir la temperatura de cada vaso de precipitados y registrarla.
7. Transferir 100 ml de agua de muestra a un vaso de precipitados de 500 ml y agregarle 10 gotas de fenolftaleína.
8. Titular cada una de las muestras con carbonato de sodio.



Resultados

- ✓ Elabore una tabla donde se registren los datos experimentales de la prueba:

Muestra	Temperatura (°C)	ml de NaCO	Concentración de CO ₂ (mg / l)
Agua fría			
Agua caliente			
Agua ambiente			
Agua salada			

- ✓ Calcule la concentración teórica de CO₂ disuelta en el agua usando el modelo de Henry

$$z = \frac{P}{H} C$$

P = presión parcial del CO₂ en el aire = (1.6 × 0.007) [atm]

H = constante de Henry obtenida de la Tabla 2.1 [atm/fracción molar]

C = factor de conversión de moles de CO₂ a mg/l

$$C = \frac{\text{moles de soluto}}{\text{moles de solvente}}$$

$$C = \frac{\text{moles de CO}_2}{\text{moles de H}_2\text{O}} \left[\frac{44.1 \text{ g CO}_2}{1 \text{ mol CO}_2} \right] \left[\frac{1 \text{ mol H}_2\text{O}}{18 \text{ g H}_2\text{O}} \right] \left(\frac{1000 \text{ mg CO}_2}{1 \text{ g CO}_2} \right) \left(\frac{1000 \text{ g H}_2\text{O}}{1 \text{ l H}_2\text{O}} \right)$$

$$C = 2'445,000 \text{ mg/l}$$

Tabla 2.1
Coefficientes de absorción

T (°C)	× 10 ⁴ (atm / fracción molar)			
	aire	CO ₂	N ₂	O ₂
0	4.32	0.073	5.29	2.55
10	5.49	0.104	6.68	3.27
20	6.64	0.142	8.04	4.01
30	7.71	0.186	9.24	4.75
40	8.70	0.233	10.40	5.35
50	9.46	0.283	11.30	5.88
60	10.10	0.341	12.00	6.29

Fuente: "Impacto ambiental" de Vázquez & César



Análisis de resultados

- ✓ Compare los datos obtenidos experimentalmente con los que proporciona el modelo matemático de la Ley de Henry y calcule el porcentaje de error de la prueba.

$$\%e = \frac{X_{\text{teórica}} - X_{\text{experimental}}}{X_{\text{teórica}}} \times 100$$

Muestra	χ teórica	χ experimental	% e



Conclusiones

Los líquidos pueden llevar gases disueltos en su seno, es decir que esta unión es tan íntima que a simple vista no distinguimos la forma gaseosa de la forma líquida. Así la cantidad de gas que puede albergar un líquido dependerá de la temperatura, de la presión a la que está sometido el sistema líquido - gas, de la naturaleza del gas para ser absorbido (solubilidad) y la capacidad del gas para absorber gases.

- ✓ ¿Los resultados experimentales difieren de los calculados con el modelo matemático (Ley de Henry)?, explique a qué puede deberse la diferencia.



Actividades y problemas propuestos

Calcule la concentración de saturación del oxígeno en agua a una temperatura de 35°C, cuando el agua está expuesta a una presión atmosférica de 0.75 atm.

Efectos de los cambios de temperatura sobre la vida



Los procesos de la vida implican reacciones químicas, y las velocidades de estas reacciones son muy sensibles a los cambios de temperatura, por ejemplo; sabemos que si la temperatura de nuestro cuerpo sube 5°C , lo que daría una temperatura de 42°C , la fiebre sería fatal. Pero ¿qué le sucede a nuestro sistema, cuando la temperatura del aire exterior sube o baja en aproximadamente 10°C ? Nos ajustamos por medio de mecanismos reguladores internos que mantienen una temperatura constante. Esta capacidad es característica de los animales de sangre caliente, tales como los mamíferos y las aves. En contraste los organismos acuáticos no mamíferos, tales como los peces, son de sangre fría, esto es, son incapaces de regular sus temperaturas en forma tan eficaz como los animales de sangre caliente.

En términos generales, no solo los peces, sino los ecosistemas acuáticos enteros se ven afectados en forma relativamente sensible por los cambios de temperatura. Cualquier ruptura de la cadena alimenticia, por ejemplo, podrá trastornar el sistema entero. Si un cambio de temperatura modifica las variaciones estacionales de los tipos y la abundancia de organismos inferiores, a los peces podrá faltarles acaso el alimento adecuado en el momento propicio.

La vida está fuertemente influida en el ecosistema acuático por el crecimiento de las algas. La combinación de la contaminación térmica con un aumento de elemento nutritivo puede conducir a un crecimiento rápido y excesivo de las algas, con la aceleración consiguiente del efecto eutrófico y de otros efectos indeseables.

También los productos tóxicos fabricados por el hombre se hacen más peligrosos para los peces a medida que sube la temperatura del agua. En primer lugar, todos los efectos bioquímicos, incluidos los que se manifiestan en forma de toxicosis, resultan acelerados a temperaturas superiores. En segundo lugar, el agua caliente favorece el crecimiento acelerado de diversidades de plantas, tales como algas, y si éstas han de destruirse por medio de herbicidas, como resulta a menudo necesario en las fuentes de agua industrial o doméstica, se necesitarán más productos tóxicos para ello. Así pues, en el agua más caliente, no sólo tienen los peces más probabilidades de resistir menos a los tóxicos, sino que es además más probable que se vean expuestos a ellos en mayor grado.

Algunas obras de ingeniería y actividades humanas en general descargan agua caliente en los cuerpos receptores, cuyo impacto en la vida acuática es preciso evitar o mitigar, y su evaluación debe considerarse en los estudios de impacto ambiental.

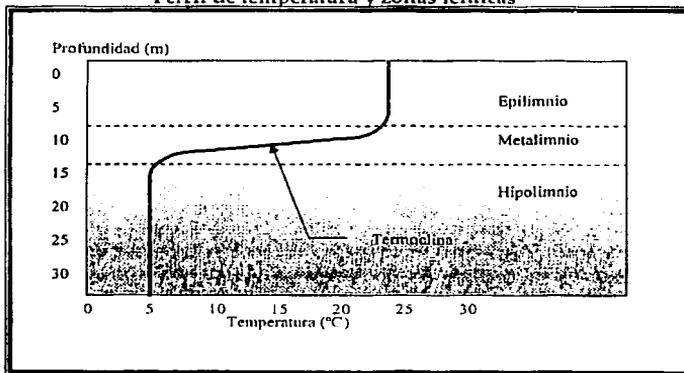
Estratificación térmica

En las corrientes de flujo turbulento, en las cuales las aguas se mezclan de manera continua, no se crean gradientes de temperatura en los meses de verano. En los ríos profundos de movimiento lento, y en especial en los lagos, el agua de la superficie en el verano tiende a calentarse con mayor rapidez que el agua que está debajo de ella. Cuando los vientos y las

corrientes son insuficientes para mezclar de arriba hacia abajo las aguas del lago, lo cual es común en los cuerpos de agua más profundos, se crea un marcado gradiente de temperatura.

La radiación térmica se absorbe en muy alta proporción en los primeros dos metros superiores de agua. Esta capa más cálida se llama *epilimnio*, y la capa inferior más densa y fría que llega hasta el fondo del lago es el *hipolimnio*. Entre ambas se encuentra una capa de transición llamada *metalimnio*. En esta zona de transición, la temperatura varía con gran rapidez de acuerdo con la profundidad. La presencia de este rápido cambio vertical de temperatura en la columna estratificada se conoce como *termoclinal* o *termoclina*. La figura 2.2 presenta el perfil de temperatura en zonas lénticas.

Figura 2.2
Perfil de temperatura y zonas lénticas



Fuente: "Fundamentos de ingeniería ambiental" de Mihelcic James

La estratificación térmica y el mezclado estacional afectan de manera directa la productividad de un lago. Los lagos de la zona templada se estratifican térmicamente durante el invierno y el verano y circulan en primavera y otoño.

En invierno la superficie está cubierta por hielo a cerca de 0° C, en tanto que el agua más densa a 4° C (con más precisión, 3.94° C, temperatura a la cual la densidad del agua es máxima) se hunde hacia el fondo.

La baja temperatura y la reducida penetración de la luz inhiben la productividad biológica. Durante el verano, a medida que las aguas superficiales se calientan y los vientos primaverales se calman, se forma una capa de agua superficial menos densa. Este epilimnio se mezcla de manera continua durante el verano y favorece el crecimiento del fitoplancton.

Práctica No. 3 Estratificación Térmica



Objetivo: Observar el fenómeno de estratificación térmica en un ambiente léntico, y comprender su influencia en la ecología de los ecosistemas acuáticos.



Introducción

Una diferencia entre lagos y ríos es la característica del transporte de masas. La interacción de la temperatura, densidad y viento durante las diferentes estaciones del año produce una secuencia de modelos característicos en la *estratificación térmica* de lagos y depósitos. En latitudes templadas, los lagos experimentan una estratificación térmica dos veces al año, misma que divide al sistema en capas y restringe el transporte de masas. Los periodos de estratificación alternan con periodos de mezcla completa en los que el transporte de masas alcanza su máximo.

La restricción del transporte de masa durante la estratificación influye en la circulación de muchas especies químicas (por ejemplo: hierro, oxígeno y fósforo) y tiene efectos marcados en la calidad del agua.

La causa del proceso de estratificación térmica es la relación entre la temperatura y la densidad del agua. De particular importancia es el hecho de que la densidad máxima del agua ocurre a 3.94°C en vez de a 0°C. De esta manera, el hielo flota y los lagos se congelan de arriba hacia abajo, en vez del fondo hacia arriba, como sucedería si la densidad máxima fuera de 0°C.

Durante la estratificación del verano, una capa superior de agua tibia menos densa flota sobre una capa inferior de agua fría más densa. A las capas se les asignan nombres especiales: *epilimnio*, la capa tibia superficial que se halla bien mezclada con respecto a la temperatura; *metalimnio*, la región de transición donde la temperatura cambia 1°C por cada metro de profundidad; y el *hipolimnio*, la capa fría del fondo que también está bien mezclada con respecto a la temperatura. El plano del metalimnio donde el gradiente de temperatura - profundidad es más pronunciado se denomina la *termoclina*.

La estratificación y el mezclado siguen un patrón estacional predecible. En el invierno, el lago presenta estratificación térmica y las aguas densas más calientes (2 - 4°C) se localizan en el fondo. Cuando las aguas superficiales se acercan a una temperatura de 4°C en la primavera, se hacen más densas y se hunden, lo que trae a las aguas más frías a la superficie para que se calienten. El proceso de mezclado por convección, ayudado por la energía del viento, hace circular la columna de agua y aparece una condición isotérmica conocida como *cambio de primavera*.

Conforme las aguas del lago continúan calentándose a más de 4°C, el lago se estratifica térmicamente. Durante este periodo de *estratificación de verano* las aguas superficiales se hacen notablemente más calientes y menos densas que las aguas inferiores. En el otoño, la temperatura del aire disminuye y el lago pierde calor con mayor rapidez que lo que lo gana por entrada de energía solar.

Cuando las aguas de la superficie se enfrían, se hacen menos densas, se hunden y promueven la circulación por convección, otra vez con la ayuda del viento. Este fenómeno se conoce como *cambio de otoño* y otra vez lleva a condiciones isotérmicas.

Por último, cuando el lago se enfría más, las aguas frías poco densas se juntan en la superficie y el lago vuelve a entrar en la estratificación invernal. Los lagos con dos periodos de estratificación (invierno y verano) y mezclado (otoño y primavera) cada año se dice que son *dimicticos* o *de mezclado dual*.

La producción interna de materia orgánica de los lagos se ve afectada por éste fenómeno. Dicha materia orgánica se produce en las aguas superiores bien iluminadas y se va al fondo, donde se descompone. En condiciones de estratificación (transporte de masa limitado), el oxígeno que se consume en las aguas del fondo por la descomposición no es vuelto a suministrar a un ritmo importante. Si la producción y la descomposición de la materia orgánica sobrepasan a los recursos del hipolimnio, el oxígeno se reducirá.

Los recursos de oxígeno de los lagos estratificados productivos y no productivos difieren considerablemente, por lo que hay contrastes muy notables. El agotamiento del oxígeno acelera la circulación de los contaminantes que residen en los sedimentos lacustres (en particular el fósforo), la generación de varias especies químicas potencialmente tóxicas que por lo general están asociadas con ambientes anaerobios (NH_3 , H_2S , CH_4) y la muerte de peces y macroinvertebrados que habitan en el fondo.

La reducción del oxígeno es uno de los problemas de calidad del agua más importantes y que más comúnmente se observan en los lagos. También es importante en los depósitos donde se colocan las tomas de agua potable a varias profundidades, lo que da a los operadores la oportunidad de seleccionar la mejor calidad de agua y evitar el crecimiento de algas cerca de la parte superior y la acumulación de compuestos nocivos cerca del fondo.

La estratificación térmica controla los movimientos estacionales de las masas, en aguas que de otra manera permanecerían estáticas. Como resultado, el agua produce gradientes en la calidad del agua que son imágenes del gradiente térmico mismo (por ejemplo el oxígeno disuelto). Existe por consiguiente, una variación vertical estacional en la calidad del agua dentro de un depósito o masas similares de agua, así como una variación estacional en la temperatura del agua. Es por esto que la profundidad de las tomas de agua puede cambiar para seleccionar agua de la mejor calidad disponible según los propósitos que debe cumplir.



Material, equipo y reactivos

Cristalería

- ✓ Vasos de precipitados de 1 litro
- ✓ Pipetas volumétricas

Material y equipo

- ✓ Anilina
- ✓ Caolín
- ✓ Parrilla
- ✓ Termómetros



Procedimiento

1. Colocar 800 ml de agua de la llave en un vaso de precipitados de 1000 ml y registrar su temperatura.
2. Preparar una solución de caolín disuelto en agua fría y medir su temperatura. Esta solución simulará los sedimentos y los nutrientes presentes en el lago (bentos).
3. Tomar con ayuda de una pipeta volumétrica 50 ml de solución con caolín.
4. Agregar en la parte del fondo del vaso de precipitados con agua de la llave la solución con caolín lentamente.

En este punto se puede observar una marcada estratificación en el vaso de precipitados.

Caso de invierno

5. Agregar 2 hielos con anilina al vaso de precipitados con cuidado de no crear turbulencia o agitación en éste.
6. Observar el transporte de materia que se genera.

Caso de verano

7. Precalentar la parrilla un poco y apagarla.
 8. Colocar el vaso de precipitados sobre la parrilla tibia, con cuidado de no generar turbulencia o mezclado.
 9. Observar el transporte de materia que se genera.
10. Registrar las temperaturas finales de los vasos de precipitados después de la mezcla.



Resultados

- ✓ Realice una tabla comparativa de las temperaturas alcanzadas durante la prueba.
- ✓ Elaborar un informe de lo observado en la práctica, ilustrar y explicar.



Análisis de resultados

1. Describa lo observado en la prueba y analice los diferentes tipos de mezcla que se generan en cada caso.
2. Calcular la temperatura de la mezcla con el modelo de dilución y comparar este resultado con la temperatura medida en el experimento.



Conclusiones

La estratificación térmica influye en la calidad del agua. El epilimnio sustenta un abundante crecimiento de algas mientras que el contenido de oxígeno disuelto del hipolimnio de los lagos eutróficos disminuye. Como resultado de la anaerobiosis los sedimentos del fondo pueden desprender ácido sulfhídrico, compuestos orgánicos odoríferos y hierro reducido. Durante la estratificación térmica el agua de gran calidad se encuentra exactamente debajo de la termoclina.

- ✓ Observe los objetivos de la práctica y haga las conclusiones pertinentes.



Actividades y problemas propuestos

Calcule la temperatura de la mezcla del modelo de la práctica con el modelo de dilución, y compare éste resultado con el de la temperatura medida en el experimento.

Nutrición Vegetal



La nutrición consiste en un intercambio de sustancias que realizan los seres vivos con el medio en que habitan. El objetivo de tal intercambio consiste en proporcionar a las células las sustancias que necesitan para formar su materia fundamental, el protoplasma, y al mismo tiempo la energía necesaria para realizar su correspondiente trabajo fisiológico. En definitiva, son las células las que exigen para su funcionamiento del complejo mecanismo de nutrición.

En el proceso se señalan dos fases claramente diferenciadas. La primera tiene como finalidad elaborar materia viviente; es de tipo constructivo, consistiendo en la síntesis de las complejas sustancias que forman el protoplasma celular, a esta fase se le llama *asimilación* o *anabolismo*. La segunda fase la constituye la destrucción de la materia orgánica y en ella se produce la *oxidación* o combustión biológica de diversas sustancias que desprenden una buena cantidad de energía, imprescindible para la actividad vital de la célula. Además tiene lugar la destrucción del protoplasma, que a causa del propio funcionamiento celular se va desgastando. Esta segunda fase se denomina *desasimilación* o *catabolismo*.

Como puede verse, asimilación y desasimilación son dos procesos antagónicos, extraordinariamente complejos, constituidos por reacciones químicas que tienen lugar simultánea y permanentemente y cuyo conjunto recibe el nombre de *metabolismo*, que es un fenómeno eminentemente celular.

Los seres vivientes, por lo tanto, necesitan tomar del medio sustancias imprescindibles para los procesos metabólicos. Pero unos, como las plantas llamadas *autótrofas*, toman sustancias puramente minerales o inorgánicas, con las que construyen los materiales del protoplasma. Por el contrario, los hongos, los animales y el hombre, deben tomar del medio sustancias orgánicas (vegetales o animales) para su nutrición, y por ello se denominan *heterótrofos*.

Las plantas encuentran en el suelo, agua y atmósfera los constituyentes necesarios para su nutrición. El agua es fundamental en la materia viva y forma parte del protoplasma celular en cantidad muy elevada. Cuando el agua falta los seres vivos mueren. Pero, además, las plantas necesitan el agua como uno de los materiales fundamentales de la fotosíntesis, con la cual forman su propia materia viva.

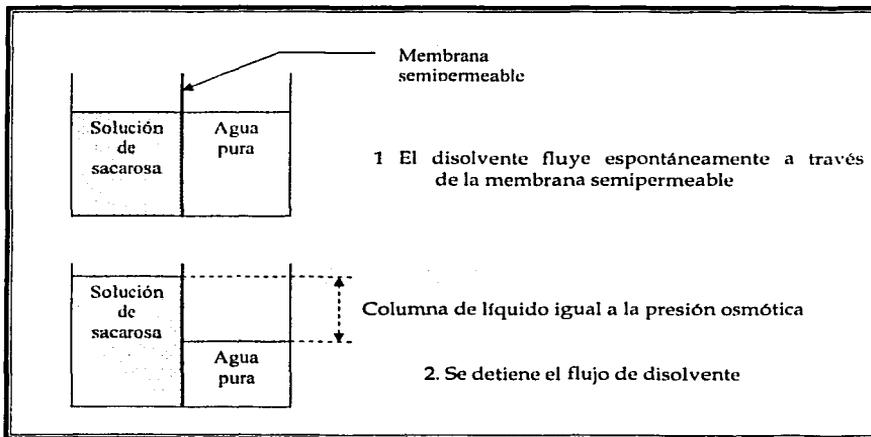
Ósmosis

El agua con las sales minerales (nitratos, sulfatos y fosfatos) forma una disolución en el suelo, de escasa concentración que puede penetrar en las plantas únicamente por vía de los pelos absorbentes. Estos son células de gran tamaño, de forma alargada, cuya base ensanchada se inserta en la epidermis de la raíz. Tales células tienen una pared celular que permite el paso del agua y sales minerales que lleva disueltas. Este fenómeno de paso a través de una membrana se llama *ósmosis*.

Parece que las paredes celulares de los pelos absorbentes, tienen un poder selectivo sobre las sales minerales del suelo, permitiendo el paso de unas y rechazando a otras. Esto explica, entre otras cosas, el por qué las plantas no toman del suelo sustancias orgánicas allí presentes, que están formadas por moléculas muy gruesas que no pueden atravesar las paredes celulares de los pelos absorbentes. También es factor importante la concentración que alcanzan las sales minerales en el agua del suelo; ya que debe ser débil, de lo contrario se producirían graves trastornos en las células.

Aunque los fenómenos osmóticos se conocen desde hace más de 200 años, los primeros experimentos relacionados con la presión osmótica, la temperatura y concentración del soluto se llevaron a cabo al final del siglo XIX por Pfeffer. La figura 2.3 presenta un esquema del mecanismo del fenómeno de ósmosis.

La Figura 2.3
Esquema relativo al mecanismo del fenómeno de ósmosis



TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

Práctica No. 4

Nutriente limitante y ósmosis



Objetivo: Observar el crecimiento de plantas con diferentes nutrientes, así como la influencia del nitrógeno y fósforo en el crecimiento de las malezas acuáticas, y observar el fenómeno de la ósmosis.



Introducción

Las plantas verdes necesitan para su nutrición de unos cuantos elementos químicos llamados *biogénicos*, con los cuales sintetizan toda su sustancia orgánica. Estos elementos penetran en las plantas en forma de compuestos muy sencillos, transformándose en las células, en compuestos orgánicos tan variados y complejos, que la mayor parte de ellos no pueden ser sintetizados por el hombre.

Los compuestos químicos, alimentos de las plantas, se encuentran en el suelo, agua y en el aire. Del suelo toman agua y sales minerales en disolución, fundamentalmente nitratos, fosfatos y sulfatos de ciertos metales. Así toman hidrógeno, oxígeno, nitrógeno, fósforo, azufre, calcio, potasio, magnesio y hierro.

Del aire toman anhídrido carbónico con el que adquieren un elemento fundamental, el carbono, eje de toda la química orgánica. Además de la atmósfera toman el oxígeno que necesitan para la respiración y que es una fase del metabolismo.

Hoy poseemos amplios conocimientos sobre la nutrición mineral de las plantas, pero su adquisición ha sido una tarea larga, lenta y difícil. El físico suizo De Saussure fue el primero que estableció claramente la dependencia en que las plantas se hallan respecto de las sustancias minerales absorbidas por las raíces, hecho que expuso en un libro publicado en 1804. Aunque demostró que lo mismo que el nitrógeno de la planta, los elementos que quedan en las cenizas resultantes de la combustión del vegetal proceden del suelo, no llegó a establecer detalladamente cuáles fueron los elementos necesarios.

A partir de la publicación de la obra de Liebig sobre este asunto, en 1840, se aceptó de un modo general que el suelo contribuye al crecimiento vegetal con los elementos calcio, potasio, azufre y fósforo.

El método que se utiliza en la actualidad para la determinación experimental de los elementos requeridos por las plantas fue ideado y perfeccionado por Sachs y Knop, respectivamente, hacia el año de 1860. El principio en que se fundaron estos investigadores es que la planta se cultiva de tal modo que sus raíces se encuentren sumergidas en un medio nutritivo líquido formado por una solución acuosa de una sal determinada o de una mezcla de ellas.

La finalidad de Sachs y Knop fue descubrir el menor número de elementos o de iones necesarios para sostener indefinidamente el desarrollo normal de la planta. Sachs descubrió que los vegetales se desarrollan satisfactoriamente en una solución nutritiva de KNO_3 , $\text{Ca}(\text{PO}_4)_2$, MgSO_4 , CaSO_4 , NaCl , y FeSO_4 , y Knop comprobó que el NaCl no era esencial y que el medio podía reducirse a $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$, KNO_3 , KH_2PO_4 , MgSO_4 , y FePO_4 .

Hoy día resulta claro que Sachs y Knop señalaron correctamente aquellos elementos que las plantas necesitan en cantidades relativamente grandes. Son los llamados elementos esenciales abundantes de la nutrición vegetal: calcio, magnesio, potasio, nitrógeno (en forma de nitratos en las sales citadas) azufre (en forma de sulfatos) y fósforo (en forma de fosfatos).

Los caldos nutritivos de Sachs y Knop, si bien resultan satisfactorios para lograr el desarrollo de las plantas, no son, ni mucho menos, los más sencillos ni producen necesariamente un desarrollo óptimo. Los fitofisiólogos norteamericanos Tottingham y Shive dieron en los años siguientes a 1914 un notable impulso al estudio sistemático de los efectos que resultan de variar la composición de una solución nutritiva de: KH_2PO_4 , MgSO_4 , $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$.

En 1940 el fitofisiólogo norteamericano Hamner, basado en la alteración independiente de los aniones y de los cationes, en las cuales las soluciones patrón de Tottingham y Shive se reemplazan por otras cuyos aniones y cationes se pueden variar por separado, obtuvo una nueva solución nutriente que aún se usa actualmente. El cuadro 2.1 presenta la composición de caldos nutritivos propuestos por diversos investigadores.

Cuadro 2.1
Caldos nutritivos

Sachs	(g/l)	Knop	(g/l)
KNO_3	1.0	$\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$	0.8
$\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$	0.5	KNO_3	0.2
$\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$	0.5	KH_2PO_4	0.2
CaSO_4	0.5	$\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$	0.2
NaCl	0.25	FePO_4	indicios
FeSO_4	indicios		
Shive	(g/l)	Hoagland	(g/l)
$\text{Ca}(\text{NO}_3)_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$	1.23	$\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$	0.95
KH_2PO_4	2.45	KNO_3	0.61
$\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$	3.70	$\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$	0.49
FePO_4	0.005	$\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$	0.12
		Tartrato férrico	0.005

Fuente: "La botánica en experimentos" de Arroyo José Antonio

Ósmosis proveniente del griego "osmos", que significa acción de empujar, impulso. Fenómeno de difusión de dos soluciones a través de un tabique o membrana semipermeable que los separa, de modo que sólo algunos componentes de dichas soluciones pasan de un lugar a otro. Los procesos de ósmosis tienen gran importancia en la alimentación de plantas y animales, que de este modo seleccionan para su asimilación las moléculas convenientes.



Material, Equipo y Reactivos

Cristalería

- ✓ Vasos de precipitados de 1 litro (3)
- ✓ Vasos de precipitados de 250 ml (3)
- ✓ Probeta de 1000 ml
- ✓ Vidrios de reloj (6)
- ✓ Matraz aforado (3)
- ✓ Cubre y porta objetos

Reactivos

- ✓ Agua destilada (1 litro)
- ✓ Nitrato de sodio (1 g)
- ✓ Sulfato magnésico (0.5 g)
- ✓ Fosfato monopotásico (0.25 g)
- ✓ Sulfato de hierro (cantidades traza)
- ✓ Cloruro de sodio

Material y Equipo

- ✓ Algodón
- ✓ Semillas de lenteja
- ✓ Balanza analítica
- ✓ Microscopio



Procedimiento

Nutriente Limitante

1. Colocar en los vasos de precipitados semillas de lenteja, frijol, tomate, etc. procurando que sean plantas herbáceas anuales que puedan germinar en algodón humedecido.
2. Llenar uno de los vasos anteriores con solución KNOP completa y marcarlo para su posterior identificación.
3. Llenar otro vaso de solución KNOP sin sulfato magnésico y marcarlo para su posterior identificación.

4. Llenar el último vaso con la solución salina y marcarlo de igual manera.

Las raíces de las plantas deben quedar bien impregnadas en las soluciones, que se renovarán periódicamente para compensar la evaporación del agua y la cantidad absorbida por la propia planta.

Los tarros deben colocarse en lugares de buena iluminación, cuidando de envolverlos en un cilindro de papel negro, para evitar que la luz perjudique a las raíces y para que no se desarrollen algas en el líquido.

Preparación de la solución nutritiva de KNOP (completa)

- Aforar un litro de agua destilada con ayuda de una probeta graduada y se colocar en el matraz aforado.
- Agregar al agua destilada los siguientes reactivos en las cantidades correspondientes, pesados en la balanza analítica:
 - 1.0 g de Nitrato de sodio
 - 0.5 g de Sulfato magnésico
 - 0.25 g de Fosfato monopotásico
 - cantidades traza de Sulfato de hierro

Preparación de la solución nutritiva de KNOP (con ausencia de sulfato magnésico)

- Realizar el mismo procedimiento que para la solución completa pero se omite el sulfato magnésico.

Preparación de la solución salina

- Colocar en 100 ml de agua destilada 5 gr de sal común (cloruro de sodio)
- Agitar bien la mezcla y colocarla en un matraz.

Ósmosis

5. Realizar algunos cortes finos de la raíz de remolacha común.
6. Preparar dos vidrios de reloj, uno con agua destilada y otro con solución salina.
7. Colocar un corte en el primer vidrio y otro en el segundo, dejándoles allí de cinco a diez minutos.
8. Montar el primer corte con una gota de agua de su propio recipiente en un porta objetos y observar al microscopio con el objetivo de media potencia.

Se observan células cuyo protoplasma de color rojo oscuro parece llenar todo el espacio dentro de sus paredes celulares, como si estuvieran hinchadas. Tal estado se llama "turgencia" y se produce por que el agua destilada penetra fácilmente en el protoplasma celular, de mayor concentración que ella, para equilibrar ambos líquidos, el protoplasma y el agua.

9. Observar del mismo modo el segundo corte, montando con una gota de agua salada.

Ahora notaremos que el citoplasma se ha contraído, separándose de las paredes celulares y quedando reducido a una especie de globulito interior arrugado. Este fenómeno se denomina “plasmólisis” y es debido a que ahora el agua salada tiene una concentración mayor que el protoplasma, que pierde agua saliendo al exterior de la célula.

Este fenómeno de paso a través de una membrana situada entre líquidos de diferente concentración se llama “osmosis”. El líquido de mayor concentración se llama “hipertónico” y el de menor concentración se llama “hipotónico”. Cuando ambos líquidos se encuentran en equilibrio osmótico se dice que son isotónicos.



Resultados

Nutriente Limitante

- ✓ Realice una bitácora para registrar los cambios en el desarrollo de las plantas.
- ✓ Anote y describa la evolución del crecimiento de las plantas usando esquemas que los representen, o con un registro fotográfico.

Ósmosis

- ✓ Investigue más información sobre el fenómeno de ósmosis.
- ✓ Haga esquemas de los diversos casos observados en el microscopio.



Análisis de resultados

1. Explique si el crecimiento de las plantas se presentó como se esperaba.
2. Además del nutriente limitante, explique qué otros factores están involucrados en el crecimiento de las plantas.



Conclusiones

Nutriente Limitante

Las plantas verdes son autótrofas, no necesitan nada más que agua, sales minerales y anhídrido carbónico atmosférico para su vida. Observe que además del H y el O₂ del agua las plantas necesitan los siguientes elementos N, P, S, Ca, K, Mg y Fe y que forman la base del protoplasma. En el experimento la eliminación del Mg es fundamental, porque forma parte de la clorofila. Su ausencia en la solución nutriente impide la formación de tan importante sustancia verde de las plantas, que sufre una enfermedad que puede ser fatal (clorosis)

Ósmosis

Con esto se explica por qué las sales disueltas en el agua del suelo están en una concentración pequeña, aproximadamente 0.3 gramos de sales por litro de agua, pudiendo así penetrar al interior de los pelos absorbentes de las plantas.

- ✓ Diga si el objetivo de la práctica se cumplió total o parcialmente, explique.
- ✓ ¿Cuál es la utilidad de esta práctica para su formación como ingeniero civil?

El ruido

La intensidad del ruido y su escala

Generalmente relacionamos la intensidad del ruido con la energía. Por ejemplo si consideramos una máquina que convierte energía en sonido, como una sirena de 50 vatios, ésta consumirá tanta energía en un tiempo determinado, como otro aparato cualquiera de 50 vatios, tal como una bombilla eléctrica de dicha intensidad. La factura de corriente eléctrica se establece sobre la base de la energía eléctrica que consumimos, será la misma para nuestra bombilla de 50 vatios prendida todo el mes como para la sirena de 50 vatios aullando todo el mes. Pero la bombilla es mas eficaz produciendo luz y la sirena es más eficaz produciendo sonido.

De los dos, la sirena realiza mejor su labor, por que la energía que emite en realidad como sonido por segundo es de aproximadamente 10 vatios, en tanto que los otros 40 se gastan en calor. En contraste la energía emitida realmente por segundo de la bombilla de 50 vatios como luz visible es sólo de aproximadamente 1 vatio. Esta diferencia explica, en parte, por que la bombilla de luz se percibe como más caliente que las sirenas. Así que a partir de estos hechos podemos concluir que sería correcto expresar la intensidad de sonido en vatios. Por ejemplo, se sabe que un piano tiene una intensidad de sonido de 0.1 vatio; que una orquesta sinfónica tiene una intensidad de sonido como la de una sirena de 10 vatios, y que un gran motor de retropropulsión emite un sonido equivalente al de una sirena de 10 millones de vatios.

Lo notable a cerca de la intensidad del sonido es su amplio margen, un susurro de una voz humana tiene una intensidad de sonido equivalente sólo a una mil millonésima de vatio; por consiguiente, si pudiéramos expresar la intensidad sonora en vatios, nos encontraríamos con el inconveniente de tener que utilizar números muy bajos y muy grandes. Además, la escala sería poco práctica, porque no partiría de cero, sino de algún número que representaría el sonido audible más bajo.

Para obviar estos efectos y simplificar la medición de la intensidad sonora, se procede como sigue:

- a) Se considera una nueva unidad de medición de intensidad sonora llamada *decibel* (deci que significa diez, o sea una referencia a la base de los logaritmos comunes; bel, en honor de Alexander Graham Bell), y la definimos en términos de la razón de la intensidad de un sonido con respecto a otro.
- b) Se establece que el sonido más bajo perceptible para el oído tendrá el valor de cero decibeles (dB) y constituirá el punto de partida de nuestra escala de medición de sonido.
- c) Se usan los logaritmos de las razones de los sonidos de intensidades distintas para expresar los grados de intensidad sonora.

d) Se usa una ecuación que define la intensidad de sonido como sigue:

$$I = 10 \times \log_{10} \left(\frac{F}{f} \right) \quad (2.12)$$

donde:

I = Intensidad de decibeles de un sonido dado

F = Presión acústica de un sonido dado

f = Presión acústica del sonido de referencia

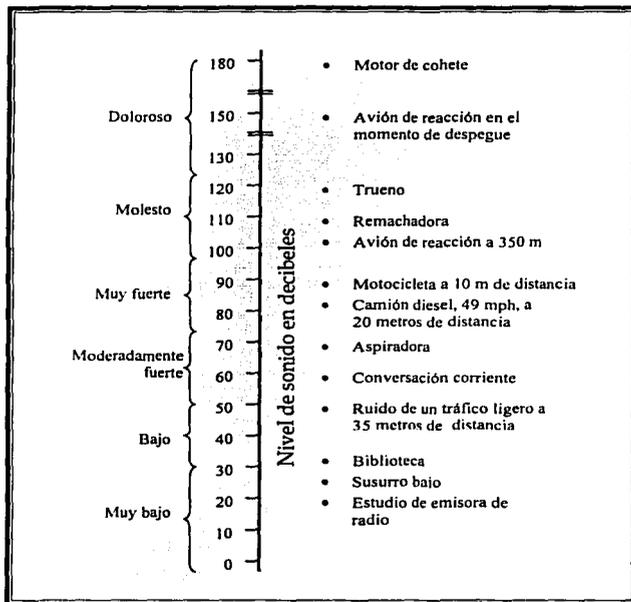
Esto podrá parecer un caso muy sencillo, pero existen algunas complicaciones. Un oído mecánico, tal como un micrófono, convierte sonido en energía eléctrica, y esta energía puede expresarse en vatios o en decibeles. El aparato que realiza semejante tarea se designa como "medidor de decibeles" ó "decibelímetro", y es insensible a la altura o tono; en efecto, solo mide la fuerza del sonido. Los seres humanos, cuando se les pide realizar esta tarea, suelen introducir en sus apreciaciones cierto elemento de subjetividad. En efecto, la gente tiende a considerar como más intensos sonidos más altos que los sonidos más bajos de la misma intensidad. Así, pues, una escala de intensidad, tal como la gente la concibe, dependería de la frecuencia y sería distinta, por consiguiente, de la del medidor de decibeles.

Para conciliar esta diferencia entre el hombre y la máquina, se ha desarrollado una escala de intensidad subjetiva. Esta escala se basa en la comparación de cualquier sonido dado con un sonido puro que tenga una frecuencia de 1000 golpes (ciclos por segundo). Digamos deseamos apreciar la intensidad sonora subjetiva de un sonido determinado - por ejemplo de una motocicleta a distancia de 10 m - A una determinada persona se le ofrece una selección de sonidos puros, de 1000 ciclos, de diferentes intensidades, y se le invita a escoger aquel de los sonidos que sea exactamente tan fuerte como el de la motocicleta. Supongamos que elige un sonido de 90 decibeles como el que mejor concuerda en su oído con aquel. Si dicha elección representa la respuesta típica o promedio de muchas personas, entonces se dice que la motocicleta a 10 m de distancia tiene un "nivel de intensidad" de 90 *fonos*, aún si la intensidad real del sonido en término de decibeles fuera otro número, como, por ejemplo 88 decibeles. Así, pues, el *fon* es una unidad de intensidad de sonido subjetiva, que se equipara, en la escala de decibeles, a un sonido puro de 1000 ciclos.

Por supuesto necesitamos considerar la descripción subjetiva de la intensidad sonora. En efecto, si dijéramos a alguien que no estuviera familiarizado con las escalas de intensidad del sonido, por ejemplo: que una motocicleta tenía un nivel de intensidad de sonido de 90 fonos, o producía un sonido de 88 decibeles, esto no le dirá absolutamente nada. Sería más informativo, aunque menos preciso, decirle que una motocicleta suena "muy fuerte". Por consiguiente, resulta conveniente yuxtaponer a lo largo de una escala de intensidad sonora

en decibeles una escala de descripción puramente verbal, tal como "bajo" o "muy fuerte", etc. La figura 2.4 muestra los niveles decibel y las descripciones verbales de la intensidad de sonido de algunos de éstos. El nivel superior es aproximadamente de 120 decibeles, o un poco más; semejantes sonidos saturan efectivamente nuestro sentido del oído, y las intensidades mayores de sonido ya no se perciben como más intensas. Por supuesto, podrán ser más perjudiciales, pero aquí sólo estamos hablando de sensaciones.

Figura 2.4
Niveles de ruido



Fuente: "Ecología, contaminación, medio ambiente"
de Turk-Turk-Wittes y modificada por el autor.

Obsérvese que el margen extremo de la escala, esto es el sonido de 120 decibeles, es un billón de veces más intenso que el sonido de cero decibeles.

Los efectos del ruido

El ruido puede impedir nuestra comunicación, reducir nuestro oído y afectar nuestra salud y nuestra conducta

- **Obstáculo para la comunicación.** Hemos definido el ruido como un sonido indeseable. Pensemos por un momento en algunos sonidos que nos gustan: la voz humana o la música, directas o en grabación; advertencias de peligro, tales como el llanto de un bebé en un cuarto distante, o el castañear de una serpiente de cascabel; sonidos naturales agradables, como el trino de un pájaro o el rumor de las hojas movidas por un viento suave. Queremos oír estos ruidos al nivel apropiado - ni demasiado fuerte ni demasiado bajo - y sin intromisión alguna. El ruido nos distrae de lo que queremos oír, con el resultado de que no oímos tan bien, o no oímos en absoluto; o que el sonido que deseamos percibir es desagradablemente fuerte para que nosotros percibamos el mensaje.
- **Pérdida del oído.** El ruido ocasional se combina con sonidos indeseables, pero nos recuperamos inmediatamente al restablecerse la quietud. En cambio, si la exposición al ruido fuerte se prolonga, cierta pérdida de oído podrá permanecer. El nivel general del ruido de la ciudad, por ejemplo, es suficientemente fuerte para ensordecernos gradualmente a medida que vamos envejeciendo. En ausencia de semejante ruido, la capacidad del oído no deberá deteriorarse necesariamente con los años. Así, pues, los habitantes de sociedades quietas, tales como los individuos de las tribus en el Sudán, oyen tan bien a los 70 años de edad como los neoyorquinos en sus veintes.

Por regla general, los niveles de ruido de aproximadamente 80 decibeles, o más altos, pueden producir pérdida permanente del oído, aunque por supuesto, el efecto es más rápido en el caso de ruidos más intensos y depende también hasta cierto punto, de la frecuencia. A la frecuencia de 2000 ciclos, por ejemplo, se calcula que la exposición a un ruido de 95 decibeles (aproximadamente tan fuerte como una cortadora de césped eléctrica) reducirá nuestra capacidad auditiva en aproximadamente 25 decibeles en 10 años. El ruido laboral tal como el que producen las rasadoras, los martinets, los camiones diesel y los aviones, está ensordeciendo a muchos millones de trabajadores. El hecho de que en las sociedades técnicamente desarrolladas las mujeres oigan mejor que los hombres se relaciona indudablemente con el hecho de que aquellas están menos expuestas al ruido laboral, ya que en las sociedades subdesarrolladas, las mujeres y los hombres oyen igualmente bien. Esta diferencia entre los sexos, en las sociedades desarrolladas, podrá disminuir a medida que se realicen mayores esfuerzos para que la industria sea menos ruidosa, y que un mayor número de mujeres estén expuestas a los aparatos domésticos ruidosos o puedan oírse pese a la aspiradora. Los ruidos de las batallas, tales como los que hacen los tanques, los helicópteros, los aviones de retropropulsión y la artillería, son tan ensordecedores que más de la mitad de los soldados americanos sometidos al entrenamiento de combate sufren una pérdida de oído suficiente para poder ser considerados como físicamente ineptos para el combate.

→ Otros efectos sobre la salud y la conducta. El ser humano es muy complejo, y los efectos de tensión o trastorno siguen caminos muy intrincados que a veces resultan difíciles de descubrir. En efecto muchos investigadores creen que la pérdida del oído no es la consecuencia más grave del ruido excesivo. Los primeros efectos son reacciones de ansiedad y tensión, o en casos extremos, de miedo. Estas reacciones suelen acompañar un cambio en el contenido de hormonas de la sangre, lo que a su vez produce cambios en el organismo, tales como velocidad aumentada del latido del corazón, constricción de los vasos sanguíneos, espasmos digestivos y dilatación de las pupilas de los ojos. Resulta difícil apreciar los efectos a largo plazo de semejante sobre estimulación, pero sabemos que en los animales, daña el corazón, el cerebro y el hígado, y produce trastornos emocionales. Los efectos emocionales sobre la gente son, por supuesto, difíciles también de medir. Se sabe además que la eficiencia del trabajo disminuye al aumentar el sonido.

Control del ruido

El ruido es transmitido desde su lugar de origen a un receptor. Por consiguiente, para controlar el ruido podemos reducir la fuente, interrumpir la vía de transmisión o proteger al receptor.

Reducción de la fuente ⇔ La reducción más obvia de la fuente es sencillamente la reducción de la intensidad del sonido. No peguemos tan fuerte al tambor, o no toquemos tan fuerte la campana, o no hagamos correr tantos camiones o motocicletas. Por supuesto, esta clase de solución tiene limitaciones manifiestas; por ejemplo, si hacemos correr menos camiones, nos serán entregados menos alimentos y menos cosas indispensables. Inclusive si no reducimos la fuerza del sonido, podremos reducir acaso el ruido, cambiando la fuente en alguna forma. Nuestro propósito cuando empujamos un cochecito de bebé que chirría, no es el de hacer ruido, sino el de trasladar al bebé. Por consiguiente, podemos lubricar las ruedas para reducir el chirrido. Además las máquinas deberán concebirse de tal modo, que las partes no peguen o rocen innecesariamente unas con otras. Debería ser posible modificar los métodos tecnológicos, de forma que los objetos pudieran ser mas silenciosos. Deberían emplearse sierras circulares en vez de martinets, para abrir el pavimento de las calles. Martillos pilones ultrasónicos deberán reemplazar a los de golpe, de vapor, que son más ruidosos.

Podríamos cambiar nuestros procedimientos, si hay que abrir una acera en la ciudad por medio de una perforadora neumática, sería mejor no empezar tan temprano, cuando mucha gente está durmiendo todavía, sino más tarde durante el día, cuando muchas personas se han trasladado al lugar de trabajo. Los despegues de aviones podrían hacerse pasar preferentemente por zonas menos densamente habitadas.

Interrupción de la vía. ⇔ Sabemos que el sonido se desplaza a través del aire mediante compresiones y expansiones. Se traslada también a través de otros medios elásticos, incluidos algunos sólidos como la madera. Estos sólidos vibran en respuesta al sonido y, por

consiguiente, no interrumpen eficazmente la transmisión, como muchos residentes de viviendas multifamiliares pueden atestiguarlo. Sin embargo podríamos servirnos de diversos materiales que vibran muy poco, tales como lana, absorber la energía del sonido, convirtiéndola en calor. (El calor que interviene es muy poco; por ejemplo, la intensidad de sonido de una orquesta sinfónica calentaría una habitación aproximadamente tanto como un calentador eléctrico de 10 vatios.) Se han desarrollado extensamente diversos medios absorbentes del sonido; se los designa como materiales acústicos. Podríamos incorporar también interrupción mecánica de las ondas sonoras en muchas clases de máquinas; los dispositivos que funcionan en esta forma se designan como silenciadores. Finalmente, podríamos desviar la vía del sonido con respecto al receptor, dirigiendo mecánicamente el sonido de escape de los aviones de reacción por ejemplo, hacia arriba en lugar de hacia abajo. Semejante desviación constituye efectivamente, una interrupción entre el lugar de origen y el receptor.

Protección del receptor. ⇒ Nos protegemos instintivamente a nosotros mismos cuando nos tapamos los oídos con los dedos. En forma alternativa, podemos utilizar tapones con manguitos para los oídos, por ejemplo: el ponerse un poco de algodón en las orejas puede reducir el ruido en 40 ó 50 decibeles, lo que haría que el ruido de un avión de reacción no se oyera más fuerte que una aspiradora. Semejante protección podrá prevenir la sordera causada por el entrenamiento para el tiro deportivo. Podemos también protegernos a nosotros mismos de una fuente de ruido alejándonos de ella. En una fábrica, semejante reducción de exposición podría adoptar la forma de rotación de tareas, de modo que trabajadores diferentes fueran realizando las tareas ruidosas por turnos.

Práctica No. 5 Impacto Ambiental del Ruido en el entorno urbano.



Objetivo: Determinar la importancia del ruido en el entorno urbano y su impacto en las actividades humanas, así como sus métodos de mitigación. Efectuar mediciones del nivel de presión acústica, con y sin barreras, y comparar las mediciones con los resultados de aplicar modelos matemáticos.



Introducción

El primer paso en la evaluación del impacto por ruido es hacer un inventario del ruido ambiental existente. Se usan mediciones presentes y modelos matemáticos. Es importante la consulta de la normatividad en la materia, en nuestro país existe un reglamento en materia de ruido, que es reglamentario de la Ley General de Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente (LGEEPA). Enseguida, deben predecirse los niveles de ruido esperados debidos al proyecto propuesto, tanto en la fase de construcción como en la de operación. Finalmente, deben identificarse algunas medidas de mitigación para la reducción del ruido, para su posible implantación.

Nivel de Presión Acústica

Es la relación logarítmica de la presión acústica con respecto a la presión de referencia. La presión de referencia es la frontera de la audición humana 0.0002 microbares. Y la ecuación que la caracteriza es:

$$NPA = 10 \log \left(\frac{P}{P_0} \right)^2 \quad (2.13)$$

donde:

NPA es el nivel de presión acústica

P es la presión sonora en microbares

P₀ es la presión de referencia, 0.0002 microbares

Las unidades del NPA son los decibeles (dBA). La medición del NPA se hace mediante un filtro o sistema de filtros que representan la respuesta de frecuencia del oído.

Los niveles sonoros a partir de la fuente se disipan rápidamente con la distancia, como se muestra en la ecuación:

$$NPA_2 = NPA_1 - 20 \log \frac{D_2}{D_1} \quad (2.14)$$

donde:

NPA₂ es el nivel de presión acústica recibida a la distancia D₂, a partir de la fuente.

NPA₁ es el nivel de presión acústica recibida a la distancia D₁, a partir de la fuente

Decibelímetros o sonómetros

Son aparatos para medidas acústicas, que responden al sonido de forma parecida a como lo hace el oído humano, dando una indicación objetiva y reproducible del nivel sonoro. Los decibelímetros o sonómetros tienen una malla electrónica calibrada para simular automáticamente la respuesta auditiva humana cuando miden niveles de presión sonora en unidades dBA.



Material y equipo

- ✓ Sonómetro
- ✓ Longímetro
- ✓ Equipo ruidoso (mezcladora de concreto, sierra cortadora, martillo neumático, etc)



Procedimiento

1. Localizar la posición del equipo ruidoso en un croquis (revolvedora, bomba, etc)
2. Hacer funcionar uno de los equipos y medir con el sonómetro la magnitud del ruido que éste ocasiona, para varias distancias respecto a la fuente y registrarlo en un croquis.
3. Realizar el procedimiento anterior con los diferentes equipos funcionando por separado.
4. Encender dos o más equipos al mismo tiempo y registrar los niveles de presión acústica, a diferentes distancias respecto a la fuente.
5. Verificar los resultados obtenidos experimentalmente utilizando las ecuaciones 2.13 y 2.14 que modelan este fenómeno.

Cuando se tienen varios sonidos independientes, debido a la definición de Nivel de Presión Acústica (NPA), no pueden simplemente sumarse los valores de dBA. Primero se deben convertir los dBA a presiones acústicas (en microbares) usando la ecuación 2.13, despejando los niveles de presión acústica:

$$NPA = 10 \log \left(\frac{P}{P_0} \right)^2 \qquad \left(\frac{P}{P_0} \right)^2 = \text{invlog} \frac{NPA}{10}$$

Obteniendo así un valor de P_n para cada maquina, y de esta manera podemos obtener la presión acústica combinada usando la ecuación 2.15

$$P_{\text{combinada}} = \sqrt{P_1^2 + P_2^2 + \dots + P_n^2} \qquad (2.15)$$



Resultados

- ✓ Preparar un esquema mostrando la localización del equipo utilizado en la práctica.
- ✓ Elaborar una tabla donde se registren los niveles de presión acústica y la distancia a la cual se midieron.

Equipo	Distancia (m)	Sonido	
		(dBA)	(microbares)



Análisis de resultados

1. Compare los resultados experimentales con los teóricos y calcule el porcentaje de error.



Conclusiones

El ruido se define comúnmente como un sonido no deseado o desagradable. Esto implica que el ruido causa disturbios o tiene efectos adversos a los humanos, animales domésticos, o a la vida salvaje. El ruido es casi siempre una mezcla de una multitud de sonidos, compuesto de muchas frecuencias a diferentes niveles de sonoridad. La sensibilidad de las personas difiere, y la distinción entre ruido y sonido es subjetivo y algunas veces muy difícil de hacer.

En cuanto a la molestia con que el ruido es percibido, son factores importantes la variación en el tiempo (estático o intermitente), su duración (corto o largo), su localización (cerca o lejos), y la hora del día en la que ocurre.

El oído humano puede escuchar sonidos en un muy amplio ámbito de presión sonora, desde 0.0002 microbares hasta aproximadamente 10,000 microbares. Sin embargo la respuesta auditiva no es lineal con respecto a presiones y frecuencias.

- ✓ Revise el objetivo de la práctica y comentar si éste se cumplió total o parcialmente.
- ✓ Establezca conclusiones adicionales.

Tratamiento de Aguas Residuales

.....

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

3

Capítulo tres

Contaminación del Agua



La contaminación del agua implica la presencia de materia extraña indeseable en el agua, "pura" o "natural". Sin embargo el concepto del agua pura es muy distinto al del aire puro, ya que el aire es una mezcla de diversos componentes, y el "aire puro" se considera, por consiguiente, como una mezcla particular que representa una especie de atmósfera terrestre ideal. El agua, en cambio, es un compuesto simple, y no una mezcla. Por consiguiente, el químico concibe el "agua pura" como una sustancia que consta de moléculas de un solo tipo, esto es, las moléculas representadas por la fórmula H_2O . Es el caso, sin embargo, que la mayoría del agua contiene pequeñas cantidades de sales minerales disueltas, y estas sustancias contribuyen a menudo a darle gusto. Así, hablamos, por ejemplo, de "agua pura de manantial", en el sentido de una mezcla natural de agua y una pequeña cantidad de materia mineral inofensiva y tal vez de buen sabor.

Así pues, la contaminación del agua es la adición a la misma de materia extraña indeseable que deteriora su calidad. La calidad del agua puede definirse como su aptitud para los usos benéficos a que se ha venido dedicando en el pasado, esto es, para bebida del hombre y de los animales, para soporte de una vida acuática sana, para riego de la tierra y para recreación. La materia extraña contaminante podrá ser o materia inerte, como la de los compuestos de plomo o mercurio, o materia viva como la de los microorganismos.

Contaminantes	{	Inertes
		Vivos

En su susceptibilidad de contaminación los líquidos son intermedios entre los gases y los sólidos. Las fuerzas atractivas entre moléculas del estado líquido son bastante fuertes para que la muestra de líquido se mantenga junta. En cambio, las fuerzas atractivas no son tan fuertes para prevenir que las moléculas se deslicen unas junto a otras. Estos desplazamientos moleculares se manifiestan en el fenómeno familiar de la corriente de los líquidos. Ahora bien, si una molécula de líquido se desplaza, deja tras sí un sitio vacío, o un "hueco". Este vacío puede ser ocupado por otras moléculas, ya sea del mismo tipo o por una molécula de una sustancia extraña.

El agua no es un líquido típico. El aceite de maíz es más parecido al aceite de la semilla de algodón; el queroseno es más parecido a la gasolina, y el alcohol de los granos es más parecido al alcohol de madera de lo que cosa alguna es parecida al agua. Una de las consecuencias de estas propiedades físicas y químicas únicas del agua es que admite o acepta la contaminación fácilmente, en ocasiones aún a través de mecanismos que son totalmente insospechados. Por supuesto, el agua es el medio líquido universal para la materia viva y, por consiguiente, es también propensa en forma excepcional a la contaminación.

Características de las aguas residuales

Las aguas residuales son las aguas ya usadas, junto con los sólidos que llegan a las atarjeas y son transportados mediante el sistema de alcantarillado.

En general, se consideran como aguas residuales domésticas, los líquidos provenientes de las viviendas o residencias, edificios comerciales e institucionales. Se denominan aguas residuales municipales, a los residuos líquidos transportados por el alcantarillado de una ciudad o población. Y se llaman aguas residuales industriales, a las aguas residuales provenientes de las descargas de industrias de manufactura.

Aguas residuales {
domésticas
municipales
industriales

Las aguas de lluvia transportan la carga contaminante de techos, calles y demás superficies por donde circula; sin embargo, en ciudades modernas se recogen en alcantarillas separadas, sin mezclarse con aguas residuales domésticas o industriales y, en general, se descargan directamente al curso de agua natural más próximo. En ciudades que poseen un sistema de alcantarillado combinado se acostumbra captar el caudal de tiempo seco mediante un alcantarillado interceptor y conducirlo a la planta de tratamiento para su procesamiento. Sin embargo, durante los aguaceros, el caudal en exceso de la capacidad de la planta y del alcantarillado interceptor se desvía directamente al curso natural de agua. En este caso se pueden presentar riesgos serios de contaminación y de violación de las normas de descarga, los cuales sólo se pueden evitar reemplazando el sistema de alcantarillado combinado por uno separado.

La expresión de las características de un agua residual puede hacerse de muchas maneras, dependiendo del propósito específico de la caracterización. Sin embargo, vale la pena anotar que toda caracterización de aguas residuales implica un programa de muestreo apropiado para asegurar representatividad de la muestra y un análisis de laboratorio de conformidad con las normas estándar que aseguren precisión y exactitud en los resultados.

La cantidad y concentración de las aguas residuales es función de su origen y de sus componentes, por ello las cargas equivalentes o contribuciones per cápita por día varían de una ciudad a otra y de un país a otro.

Dadas las características y variaciones en la descarga de aguas residuales, el tipo o sistema de alcantarillado usado, la diferencia entre las costumbres de la comunidad aportante, el régimen de operación de las industrias servidas, el clima, etc., los caudales de aguas residuales oscilan ampliamente durante el año, cambian de un día a otro y fluctúan de una hora a otra. Todos los factores anteriores, entre otros, deben tenerse en cuenta en la predicción de las variaciones del caudal y, por consiguiente, de la concentración de las aguas residuales influentes a una planta de tratamiento.

Práctica No. 1

Caracterización del agua residual (primera sesión)



Objetivo: Determinar los principales parámetros de calidad del agua residual municipal, proveniente de la planta de tratamiento de Ciudad Universitaria y compararlos con los septados.

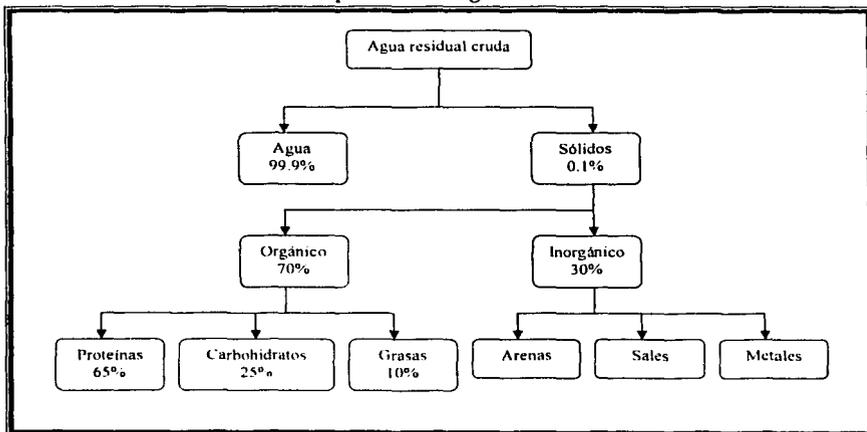


Introducción

Contaminación del agua es un término poco preciso que nada nos dice del tipo de material contaminante ni de su fuente. El modo de atacar el problema de los residuos depende de si los contaminantes demandan oxígeno, favorecen el crecimiento de algas, son infecciosos, tóxicos o simplemente de aspecto desagradable. La contaminación de nuestros recursos hidráulicos puede ser consecuencia directa del desagüe de aguas negras o de descargas industriales (fuentes puntuales), o indirecta de la contaminación del aire o de desagües agrícolas o urbanos (fuentes no puntuales).

Las aguas residuales municipales, también llamadas "aguas negras", son una mezcla compleja que contiene agua (por lo general más del 99%) mezclada con contaminantes orgánicos e inorgánicos tanto en suspensión como disueltos. El diagrama 3.1 muestra la composición del agua residual.

Diagrama 3.1
Composición del agua residual



Fuente: "Fundamentos de control de la calidad del agua" de Tebbutt

La concentración de estos contaminantes normalmente es muy pequeña, y se expresa en mg/l, esto es, miligramos de contaminante por litro de la mezcla. Esta es una relación de peso/volumen que se emplea para indicar concentraciones de componentes en agua, aguas residuales, desperdicios industriales y otras soluciones diluidas. Puesto que la densidad relativa de estas soluciones diluidas es similar a la del agua, las concentraciones también se pueden considerar relaciones de peso/peso, como mg/kg o ppm (partes por millón). Sin embargo, cuando la densidad relativa de la mezcla no es 1.0, los mg/l y ppm son términos distintos.

Características físicas

Las propiedades físicas son en muchos casos relativamente fáciles de medir, algunas otras se las puede observar rápidamente.

1. Temperatura. Importante básicamente por su efecto en otras propiedades, por ejemplo, aceleración de reacciones químicas, reducción en la solubilidad de los gases, intensificación de sabores y olores, etc.
2. Sabor y olor. Se atribuyen a las impurezas disueltas, frecuentemente de naturaleza orgánica, por ejemplo, fenoles y clorofenoles. Son propiedades subjetivas que son difíciles de medir.
3. Color. Aún el agua pura no es incolora; tiene un tinte azul verdoso pálido en grandes volúmenes. Es necesario diferenciar entre color verdadero debido al material en solución y el color aparente debido a la materia suspendida.
4. Turbiedad. La presencia de sólidos coloidales le da al líquido una apariencia nebulosa que es poco atractiva y puede ser dañina. La turbiedad en el agua pueden causarla partículas de arcilla y limo, descargas de agua residual, desechos industriales o a la presencia de numerosos microorganismos.
5. Conductividad eléctrica. La conductividad de una solución depende de la cantidad de sales disueltas presentes.

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 la materia orgánica biodegradable, bajo condiciones aerobias, en un período de 5 días y a 20 °C.

En aguas residuales domésticas, el valor de la DBO a 5 días representa en promedio un 65 a 70 % del total de la materia orgánica oxidable. Para las aguas residuales la DBO, representa aproximadamente las dos terceras partes de la demanda que sería ejercida si se oxidara toda la materia orgánica por vía biológica. El ensayo de DBO es un proceso de oxidación húmeda en la cual los microorganismos 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.

En la realización de la prueba deben considerarse dos aspectos importantes: primero, el agua puede tener un inóculo adecuado de bacterias, pero si se trata de agua residual industrial poco cargada de bacterias, entonces habrá que añadir inóculo. El segundo, la solubilidad del oxígeno en el agua es muy limitada, por lo que para valores altos de DBO deben hacerse diluciones. El agua de dilución se prepara conteniendo los nutrientes necesarios para la actividad biológica, además se aerea para saturarla de oxígeno, antes de mezclarla con el agua residual. El cuadro 1.1 muestra las diluciones recomendadas para la determinación de la DBO.

Cuadro 3.1
Diluciones propuestas para la prueba de DBO

0.1 - 1.0 %	Desechos industriales concentrados
1 - 5 %	Aguas negras crudas o sedimentadas
5 - 25 %	Efluentes oxidados
25 - 100 %	Aguas fluviales



Material, equipo y reactivos

Cristalería

- ✓ Frascos Winkler (4)
- ✓ Vasos de precipitados (4)
- ✓ Pipetas (8)
- ✓ Bureta
- ✓ Probetas

Reactivos

- ✓ Agua destilada
- ✓ Solución amortiguadora
- ✓ Sulfato de Magnesio
- ✓ Cloruro de Calcio
- ✓ Cloruro Férrico
- ✓ Sulfato Manganoso
- ✓ Alkali - Yoduro - Nitruro
- ✓ Ácido Sulfúrico concentrado
- ✓ Tiosulfato de Sodio (0.025 N)
- ✓ Almidón

Equipo

- ✓ Aireador
- ✓ Incubadora
- ✓ Parrilla agitadora



Procedimiento

La DBO₅ se obtiene como el cociente de la diferencia de oxígeno disuelto en el agua de muestra en el primer día menos el oxígeno disuelto al quinto día, sobre el porcentaje de dilución (en forma decimal) al cual se realiza la prueba.

$$DBO_5 = \frac{OD_{inicial} - OD_{final}}{\% \text{ de dilución}}$$

Para la elaboración del agua de dilución se requiere airearla hasta la saturación y agregar 1 ml de cada uno de los nutrientes por cada litro de agua de dilución. En la práctica se correrá la prueba de DBO para 2 diluciones. Por lo tanto, se requiere preparar 2 litros de agua de dilución.

Para formar 2 litros de agua de dilución

1. Aforar 2 litros de agua destilada, colocar en un recipiente y agregar:
 - ✓ 2 ml de solución amortiguadora.
 - ✓ 2ml de Sulfato de Magnesio
 - ✓ 2ml de Cloruro de Calcio
 - ✓ 2ml de Cloruro Férrico.
2. Mezclar perfectamente.
3. Instalar el aireador en el recipiente conteniendo el agua destilada con nutrientes.

Se recomienda usar dos diluciones diferentes, para prepararlas seguir el procedimiento que se indica a continuación:

4. Con ayuda de una probeta, colocar en un vaso de precipitados las cantidades correspondientes según sea el caso:

Dilución al 0.5%	Dilución al 1%	Dilución al 5%
5 ml de agua de muestra	10 ml de agua de muestra	50 ml de agua de muestra
995 ml de agua de dilución	990 ml de agua de dilución	950 ml de agua de dilución

5. Llenar 2 frascos Winkler de 300ml con cada una de las diferentes diluciones, rotular (con fecha y % de dilución)
6. Guardar uno de cada dilución en la incubadora a 20°C, para su análisis posterior.
7. Con los 2 frascos Winkler restantes se determinará el oxígeno disuelto inicial.
8. Con ayuda de una pipeta graduada, agregar a cada frasco Winkler:
 - ✓ 2ml de Sulfato Manganoso (Mn₂SO₄)
 - ✓ 2ml de Alkali-Yoduro-Nitruro
9. Tapar el frasco derramando el excedente y mezclar invirtiéndolo 15 veces. Se formará un precipitado

- {

Precipitado blanco indica ausencia de oxígeno

Precipitado café o amarillo indica presencia de oxígeno

10. Esperar a que sedimente el precipitado hasta el hombro de la botella, y vuelva a mezclar nuevamente.
11. Añadir 2ml de Ácido Sulfúrico 0.2N (H_2SO_4) tapar y mezclar. El precipitado se disolverá y el oxígeno quedará fijado.
12. Con ayuda de una probeta medir 200 ml de la muestra y colgarlos en un matraz Erlen Meyer.
13. Agregar 2 gotas del indicador Almidón.
14. Llenar una bureta con Tiosulfato de Sodio 0.025N ($Na_2S_2O_3$) hasta la marca de cero.
15. Colocar el vaso de precipitados en la parrilla agitadora (debajo de la bureta) coloque una pastilla agitadora y encienda el agitador.
16. Dosificar el Tiosulfato de Sodio hasta que la muestra regrese al color original, (frasco Winkler), cuantificar la cantidad necesaria de Tiosulfato para el cambio de color.

La cantidad en ml de Tiosulfato utilizado corresponde directamente a los mg/l de oxígeno disuelto en dicha muestra.

El valor obtenido con este procedimiento corresponde al valor de OD inicial, repetir este procedimiento a los 5 días de incubación de las muestras para obtener el valor de OD final.

En caso de realizar la prueba para otro periodo de incubación hay que corregir éste valor y transformarlo a $DBO_{5,20}$. Si se tiene un valor determinado de DBO para un tiempo de incubación t y una temperatura T , hay que obtener la DBO última (L)

$$L = \frac{DBO_{t,T}}{1 - e^{-k(T)t}}$$

A partir de la DBO última se ajusta al valor de $DBO_{5,20}$

$$DBO_{5,20} = L(1 - e^{-k(20)5})$$

Temperatura

La determinación exacta de la temperatura es importante para diferentes procesos de tratamiento y análisis de laboratorio, puesto que, por ejemplo, el grado de saturación de OD, la actividad biológica y muchos otros fenómenos que ocurren en el agua, se relacionan con la temperatura.

La temperatura debe tomarse en el sitio de muestreo. Normalmente, la determinación de la temperatura se hace con un termómetro de mercurio de buena calidad. El termómetro debe sumergirse en el agua, preferiblemente con el agua en movimiento, y la lectura debe hacerse después del tiempo que permite la estabilización del nivel del mercurio.

Conductividad

La conductividad del agua es una expresión numérica de su habilidad para trasportar una corriente eléctrica. La conductividad del agua depende de la concentración total de sustancias disueltas ionizadas en el agua y de la temperatura a la cual se haga la determinación. Por lo tanto, cualquier cambio en la cantidad de sustancias disueltas, en la movilidad de los iones disueltos y en su valencia, implica un cambio en la conductividad. Por ello, el valor de la conductividad es muy usado en análisis de aguas para obtener una estimación rápida del contenido de sólidos disueltos.

La forma más usual de medir la conductividad del agua es mediante instrumentos comerciales de lectura directa en $\mu\text{mho/cm}$ a 25°C con un error menor del 1%. La conductividad leída es igual a la conductividad eléctrica de la muestra medida entre caras opuestas de un cubo de 1 cm, como se muestra en seguida.

La resistencia específica de un conductor es función de sus dimensiones y puede expresarse como:

$$C = \frac{RA}{L}$$

donde: C = resistencia específica [ohmio x cm]
R = resistencia [ohmio]
A = área de la sección transversal del conductor [cm^2]
L = longitud del conductor [cm]

La conductancia específica de un conductor es igual al inverso de su resistencia específica:

$$K = \frac{1}{C} = \frac{L}{RA}$$

donde K = conductancia específica [mho/cm]

En otras palabras, la conductancia específica, es la conductancia de un conductor de 1 cm de longitud y una sección transversal de 1 cm^2 , por lo tanto, numéricamente es igual a la conductividad. Como en aguas el valor de la conductividad es muy pequeño, se expresa en $\mu\text{mho/cm}$ o en unidades del sistema internacional $\mu\text{siemens/cm}$

$$1 \text{ mho} = 1 \text{ siemens}$$

Sólidos

Incluye toda la materia, excepto el agua contenida en los materiales líquidos. En ingeniería sanitaria es necesario medir la cantidad del material sólido contenido en una gran variedad de sustancias líquidas y semilíquidas que van desde agua potable, aguas contaminadas, aguas residuales, residuos industriales, hasta lodos producidos en los procesos de tratamiento.

Sólidos Totales

Se define como sólidos totales a la materia que permanece como residuo después de la evaporación y secado a 103°C. El valor de los sólidos totales incluye material disuelto y no disuelto. Para su determinación, la muestra se evapora en una cápsula a peso constante previamente pesada, sobre un baño María, y luego se seca a 103 - 105 °C en un horno. El incremento de peso, sobre el peso inicial dividido entre el volumen de la muestra, representa el contenido de sólidos totales en mg/l.

Sólidos Disueltos

También llamados residuo filtrable, son determinados directamente o por diferencia entre los sólidos suspendidos y los sólidos totales. Si la determinación es directa, se filtra la muestra a través de un filtro de asbesto o de fibra de vidrio, en un crisol Gooch; el filtrado se evapora en una cápsula de peso conocido sobre un baño María y el residuo de la evaporación se seca a 103 - 105°C. El incremento de peso sobre el de la cápsula vacía dividido entre el volumen de muestra, representa los sólidos disueltos o residuo filtrable en mg/l.

Sólidos Suspendidos

También denominados residuo no filtrable o material no disuelto, son determinados por filtración a través de un filtro de asbesto o de fibra de vidrio, en un crisol Gooch previamente pesado. El crisol con su contenido se seca a 103 - 105°C; el incremento de peso, sobre el peso inicial, representa el contenido de sólidos o residuo no filtrable.

Sólidos Sedimentables

La denominación se aplica a los sólidos en suspensión que se sedimentan, bajo condiciones tranquilas, por acción de la gravedad. La determinación se hace llenando un cono Imhoff de un litro y registrando el volumen de material sedimentado en el cono al cabo de una hora, en ml/l. La determinación de sólidos sedimentables es básica para el diseño de tanques de sedimentación, y en la operación para cuantificar su eficiencia.

Sólidos Fijos y Sólidos Volátiles

En aguas residuales y lodos, se acostumbra hacer esta determinación con el fin de obtener una medida de la cantidad de materia orgánica presente. El procedimiento estándar consiste en someter las cápsulas con el residuo retenido después de completar el ensayo para sólidos totales, al calcinamiento en una mufla, a una temperatura de 550°C, durante 15 a 20 minutos. La pérdida de peso se registra como mg/l de sólidos volátiles y el residuo como mg/l de sólidos fijos.

El contenido de sólidos volátiles se interpreta en términos de materia orgánica, teniendo en cuenta que a 550°C la materia orgánica se oxida formando CO₂ y H₂O que se volatilizan.



Material, Equipo y Reactivos

Equipo

- ✓ Conductímetro
- ✓ Horno
- ✓ Mufla
- ✓ Balanza analítica

Cristalería

- ✓ Conos Imhoff (3)
- ✓ Cápsulas de porcelana
- ✓ Crisoles Gooch
- ✓ Papel filtro
- ✓ Desecador



Procedimiento

El conductímetro determina directamente los parámetros de: conductividad eléctrica, temperatura y sólidos suspendidos; éste es un aparato electrónico que al introducir su electrodo en la muestra nos proporciona directamente las lecturas de dichos parámetros con solo accionar el botón correspondiente a ellos, mostrando en una pantalla digital los valores con sus unidades.

1. Introduzca el electrodo del conductímetro dentro de la muestra y haga las lecturas correspondientes de: temperatura, conductividad eléctrica y sólidos suspendidos y registre los valores en las unidades adecuadas. Enjuagar el electrodo con agua destilada al finalizar las pruebas.
2. Colocar un litro de agua residual, previamente agitada, en cada uno de los 3 conos especiales para esta prueba, denominados conos Imhoff. Los cuales cuentan con una graduación en su parte inferior en ml/l.
3. Esperar 45 minutos a que los sólidos presentes en la muestra se sedimenten.
4. Al cumplirse el tiempo golpear las paredes de los conos propiciando la precipitación de los sedimentos adheridos a las paredes de los mismos, esperar 15 minutos más.
5. Medir en la parte inferior de los conos la cantidad de sedimentos en ml/l.
6. Realizar un promedio entre las tres lecturas de los conos, reportar el resultado de sólidos sedimentables en ml/l.
7. Poner una cápsula de porcelana a peso constante, registrar su peso con la balanza analítica y añadir 20 ml de agua de muestra.

Cápsula a peso constante ⇒ Significa que previamente se introduce dicha cápsula al horno y se espera a que pierda toda la humedad presente en ella, hasta que al pesarla en la balanza

analítica su peso sea constante (W_0). Esperar a que la cápsula se enfríe dentro de un desecador que permite el enfriado sin adquirir humedad nuevamente, gracias a una sustancia higroscópica que absorbe la humedad.

8. Colocar la cápsula en baño María, para que el calor evapore el agua de muestra dejando únicamente los sólidos contenidos en el agua, ésto tardará aproximadamente 1 hora.
9. Una vez seca la cápsula de porcelana, introducirla dentro del horno durante una hora a 103°C , para que pierda totalmente la humedad que se encuentra en el recipiente.
10. Para finalizar, volver a pesar la cápsula en la balanza analítica (W_1), y de la diferencia de pesos del peso final y el peso inicial, divididos entre el volumen de la muestra analizada, obtener los sólidos totales en mg/L, registrar el resultado.

$$S_T = \frac{W_1 - W_0}{V}$$

11. Poner la cápsula de porcelana usada en los numeros del 7 al 10 dentro de la mufla, a 550°C durante 1 hora.
12. Pesarse la cápsula, en la balanza analítica (W_2), y de la diferencia de peso entre esta lectura y la del número 7, obtener el parámetro de sólidos volátiles. Los sólidos fijos se obtienen directamente con el peso final de la cápsula dividido entre el volumen empleado en el numero 7.

$$S_F = \frac{W_2}{V}$$

$$S_V = S_T - S_F$$

Color

Las causas más comunes del color del agua son la presencia de hierro y manganeso coloidal o en solución; el contacto del agua con desechos orgánicos, hojas, madera, raíces, etc., en diferentes estados de descomposición, y la presencia de taninos, ácido húmico y algunos residuos industriales. El color natural en el agua existe principalmente por efecto de partículas coloidales cargadas negativamente; debido a esto, su remoción puede lograrse con ayuda de un coagulante de una sal de ion metálico trivalente como el Al^{+++} o el Fe^{+++}

Dos tipos de color se reconocen en el agua: el color verdadero, o sea el color de la muestra una vez que su turbiedad ha sido removida, y el color aparente que incluye no solamente el color de las sustancias en solución y coloidales sino también el color debido al material suspendido. El color aparente se determina sobre la muestra original sin filtración o centrifugación previa.

En general, el término color se refiere al color verdadero del agua y se acostumbra medirlo conjuntamente con el pH, pues la intensidad del color depende del pH. Normalmente el color aumenta con el pH.

La unidad de color es el color producido por un mg/l de Platino, en la forma de ion cloroplatinato; y se denominan Unidades de Color en la escala Platino-Cobalto (UC Pt-Co). La determinación del color se hace por comparación visual de la muestra con soluciones de concentración de color conocida o con discos de vidrio de colores adecuadamente calibrados. Antes de determinar el color verdadero es necesario remover la turbiedad; para ello, el método recomendado es la centrifugación de la muestra. Para el caso de aguas residuales industriales el color se determina usando el método espectrofotométrico.

Una vez centrifugada la muestra, se determina su color por la comparación con una serie de estándares de color preparados a partir de una solución K_2PtCl_6 , la cual contiene 500 mg/l de Pt y 250 mg/l de cobalto para darle una tonalidad adecuada.



Material, Equipo y Reactivos

- ✓ Colorímetro



Procedimiento

1. Aforar agua residual hasta la marca del tubo del colorímetro.
2. Aforar hasta la marca con agua destilada en otro de los tubos del colorímetro.
3. Introducir ambos tubos en los orificios correspondientes del colorímetro. (orificio externo con agua destilada y el interno con agua de muestra)
4. Girar el disco de color hasta que ambas celdas tengan un color similar, y tomar la lectura en la parte inferior del disco. (Se sugiere iniciar la comparación con el agua a partir de la escala de 0 uc Pt-Co para facilitar la identificación de los colores. La comparación debe hacerse en un lugar bien iluminado y con un fondo blanco de preferencia)

Práctica No. 1
Caracterización del agua residual
(Segunda sesión)



Objetivo: Determinar los principales parámetros de calidad del agua residual municipal, proveniente de la planta de tratamiento de Ciudad Universitaria y compararlos con los esperados.



Introducción

Características Químicas

Las características químicas tienden a ser más específicas en su naturaleza que algunos de los parámetros físicos y por eso son más útiles para evaluar las propiedades de una muestra de inmediato.

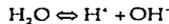
1. pH. El grado de acidez o basicidad de una muestra de agua se mide en la escala de pH, que en realidad mide la concentración de iones de Hidrógeno presentes. El pH controla muchas reacciones químicas y la actividad biológica normalmente se restringe a una escala bastante estrecha de pH entre 6 y 8. Las aguas muy ácidas o muy alcalinas son indeseables debido a que son corrosivas o presentan dificultades en su tratamiento.
2. Alcalinidad. Es debida a la presencia de bicarbonatos HCO_3^- , carbonatos CO_3^{2-} , o hidróxidos OH^- . La alcalinidad es útil en el agua natural y en las aguas residuales porque proporciona un amortiguamiento para resistir los cambios de pH.
3. Oxígeno disuelto (OD). El oxígeno es un elemento muy importante en el control de la calidad del agua. Su presencia es esencial para mantener las formas superiores de vida biológica y el efecto de una descarga de desechos en un río se determina principalmente por el balance de oxígeno del sistema.
4. Demanda de oxígeno. Los compuestos orgánicos por lo regular son inestables y pueden oxidarse biológicamente o químicamente para obtener productos finales estables, relativamente inertes, tales como CO_2 , NO_3^- , H_2O . La indicación del contenido orgánico de un desecho se obtiene al medir la cantidad de oxígeno que se requiere para su estabilización.
5. Nitrógeno. Es un elemento importante ya que las reacciones biológicas sólo pueden efectuarse en presencia de suficiente nitrógeno, además las concentraciones de los compuestos de Nitrógeno nos proporcionan información relativa al grado de oxidación o reducción de los compuestos orgánicos.
6. Cloruros. Responsables por el sabor salobre en el agua, se encuentran en mayores concentraciones en el agua residual debido al contenido de cloruro de la orina

Las aguas residuales industriales tienen también otras características químicas especializadas que se pueden evaluar, por ejemplo, la presencia de metales tóxicos, cianuro, fenoles, grasas y aceites, etc.

pH

La intensidad de acidez o basicidad de una muestra se mide en la escala de pH, que en realidad mide la concentración de iones de Hidrógeno presentes.

El agua está ionizada débilmente:



Su constante de disociación será:

$$K_w = \frac{(\text{H}^+)(\text{OH}^-)}{(\text{H}_2\text{O})}$$

Ya que sólo cerca de 10^{-7} concentraciones molares de $[\text{H}^+]$ y $[\text{OH}^-]$ están presentes en equilibrio, se puede tomar, $[\text{H}_2\text{O}]$ como la unidad.

$$K_w = \frac{(1 \times 10^{-7})(1 \times 10^{-7})}{(1)}$$

El agua pura tiene como producto iónico:

$$[\text{H}^+][\text{OH}^-] = K = 1.01 \times 10^{-14} \text{ moles/l a } 25^\circ\text{C}$$

A esta relación se le conoce como el producto iónico del agua, y debe satisfacerse para todas las soluciones acuosas diluidas, la naturaleza ácida o básica de la solución se puede especificar por un parámetro: la concentración de los iones Hidrógeno. Dado que las concentraciones de los iones H^+ y OH^- son a menudo números muy pequeños y por tanto inconvenientes para trabajar con ellos, el Bioquímico Danes, Soren Peer Lauritz Sorensen, propuso en 1909 una medida más práctica basada en la función pH.

$$\text{pH} = -\log_{10}[\text{H}^+] = \log_{10} \frac{1}{[\text{H}^+]}$$

lo que resulta en una escala de 0 a 14 con 7 como neutralidad, siendo ácido por debajo de 7 y alcalino por arriba de 7. El cuadro 3.2 muestra los valores de pH para algunos fluidos.

En la neutralidad:

$$[\text{H}^+] = [\text{OH}^-] = \sqrt{K_w}$$

En una solución ácida:

$$[\text{H}^+] > \sqrt{K_w}$$

En una solución básica:

$$[\text{OH}^-] > \sqrt{K_w} \quad \text{ó} \quad [\text{H}^+] < \sqrt{K_w}$$

Cuadro 3.2
Valores de pH de algunos fluidos comunes

	Muestra	Valor de pH
Ácido	Jugo gástrico en el estómago	1.0 - 2.0
	Jugo de limón	2.4
	Vinagre, Coca Cola	3.0
	Jugo de toronja	3.2
	Jugo de naranja	3.5
	Vino	4.0
	Orina	4.8 - 5.0
	Saliva	6.4 - 6.9
	Leche	6.5
Neutro	Agua pura	7.0
	Sangre	7.3 - 7.4
Básico	Lágrimas	7.4
	Clara de huevo	8.5
	Leche de magnesia	10.6
	Limpiador doméstico a base de amoníaco	11.5
	Blanqueador casero	12.5

Fuente: "Química" de Raymond Chang y modificada por el autor.

Alcalinidad

La alcalinidad de un agua puede definirse como su capacidad para neutralizar ácidos, como su capacidad para reaccionar con iones Hidrógeno, como su capacidad para aceptar protones o como la medida de su contenido total de sustancias alcalinas. La determinación de la alcalinidad total y de las distintas formas de alcalinidad es importante en los procesos de coagulación química, ablandamiento, control de corrosión y evaluación de la capacidad tampón de un agua.

En aguas naturales la alcalinidad es debida generalmente a la presencia de tres clases de iones:

- $$\left\{ \begin{array}{l} \text{Bicarbonatos (HCO}_3^-) \\ \text{Carbonatos (CO}_3^{--}) \\ \text{Hidróxidos (OH}^-) \end{array} \right.$$

En algunas aguas es posible encontrar otras clases de compuestos (boratos, silicatos, fosfatos, etc.) que contribuyen a su alcalinidad; sin embargo, en la práctica la contribución de éstos es insignificante y puede ignorarse. La alcalinidad del agua se determina por titulación con ácido sulfúrico 0.02N y se expresa como mg/l de carbonato de calcio equivalente a la alcalinidad determinada. Los iones H^+ procedentes de la solución 0.02N de ácido neutralizan los iones OH^- libres y los disociados por concepto de la hidrólisis de carbonatos y bicarbonatos.

La fenolftaleína y el metil naranja o el metacresol púrpura y el bromocresol verde son los indicadores usados para la determinación de la alcalinidad. La fenolftaleína da un color rosado a pH mayores de 8.3 y vira a incolora por valores de pH menores de 8.3; el metil naranja es de color amarillo en presencia de las formas de alcalinidad, o sea a pH mayor de 4.5, y vira a color naranja en condiciones ácidas; el metacresol púrpura cambia de color a pH de 8.3 y el bromocresol a verde a pH de 4.5.



Material, Equipo y Reactivos

Cristalería

- ✓ Vaso de precipitados
- ✓ Pipetas (2)
- ✓ Bureta
- ✓ Probeta

Reactivos

- ✓ Fenolftaleína
- ✓ Anaranjado de metilo
- ✓ Ácido Sulfúrico (0.02 N)



Procedimiento

1. Medir 50 ml de agua de muestra con ayuda de una probeta y colocarlos en un matraz Erlen Meyer.
2. Agregar 3 gotas de Fenolftaleína.

3 gotas de fenolftaleína $\left\{ \begin{array}{l} \text{Incolora (HCO}_3\text{)} \\ \text{Rosa (OH, CO}_3\text{)} \end{array} \right.$

- a) Si la muestra permanece incolora, nos indica que solo hay alcalinidad debida a la presencia de ácido carbónico (HCO₃). Siga con el paso no. 3
- b) Si la muestra se torna rosa, hay presencia de Hidróxidos y Carbonatos. En ese caso titule con Ácido sulfúrico 0.02N hasta que la muestra vire a incolora de nuevo.

Los ml de ácido sulfúrico utilizados por mil entre los ml de muestra nos dan la alcalinidad a la Fenolftaleína, en mg/l de CaCO₃:

$$AF = \frac{\text{ml H}_2\text{SO}_4 \times 1000}{\text{ml (muestra)}}$$

3. Agregar 3 gotas de anaranjado de metilo. (La muestra se tornará amarilla)

4. Titular con ácido sulfúrico 0.02N, hasta que la muestra vire a color canela, para obtener la alcalinidad total.

$$AT = \frac{\text{mlH}_2\text{SO}_4 \times 1000}{\text{ml(muestra)}}$$

Los resultados de la titulación nos permiten determinar las concentraciones de OH, CO₃ y HCO₃, mediante el cuadro 3.3, donde:

F = volumen de reactivo necesario para hacer virar la fenolftaleína de rosado a incoloro.

M = volumen de reactivo necesario para hacer virar el naranja de metilo. (alcalinidad Total)

Cuadro 3.3
Relaciones de alcalinidad

Relación	Condición	Valores de alcalinidad			
		OH	CO ₃	HCO ₃	TOTAL
F = M	OH	F = M	0	0	M
F > M/2	OH y CO ₃	2F - M	2(M - F)	0	M
F = M/2	CO ₃	0	2F = M	0	M
F < M/2	CO ₃ y HCO ₃	0	2F	M - 2F	M
F = 0	HCO ₃	0	0	M	M

Fuente: "Calidad del Agua" de Jairo Alberto Romero Rojas

Nitrógeno

Los compuestos del nitrógeno son de gran interés para los ingenieros ambientales debido a su importancia en los procesos vitales de todas las plantas y animales. La química del nitrógeno es compleja debido a los varios estados de valencia que puede asumir este elemento y al hecho de que los cambios en la valencia pueden ser efectuados por organismos vivos. Para añadir aun más interés, los cambios de valencia efectuados por las bacterias pueden ser positivos o negativos, según se tenga la condición aerobia o anaerobia.

Las formas de mayor interés, son:

- ✓ Nitrógeno amoniacal
- ✓ Nitrógeno de nitritos
- ✓ Nitrógeno de nitratos
- ✓ Nitrógeno orgánico

Se considera como nitrógeno amoniacal todo el nitrógeno que existe como ion amonio o en el equilibrio:



Es posible obtener una medida de la cantidad de nitrógeno amoniacal mediante el reactivo Nessler, (K₂HgI₄) el cual es una solución alcalina fuerte de yoduro mercuríco de potasio. El reactivo de Nessler se combina con el NH₃, en solución alcalina, para formar una solución, amarillo carmelita, cuya intensidad de color es directamente proporcional a la cantidad de NH₃ originalmente presente.

Cloruros

El ión cloruro es una de las especies de cloro de importancia en aguas. Las principales formas del cloro en aguas y su correspondiente número de oxidación se muestran en el cuadro 3.4

Cuadro 3.4
Principales formas del cloro en las aguas

Compuesto	Nombre	No. de oxidación
HCl	Ácido clorhídrico	-1
Cl ⁻	Ion cloruro	-1
Cl ₂	Cloro molecular	0
HOCl	Ácido hipocloroso	1
OCl ⁻	Ion hipoclorito	1
HClO ₂	Ácido cloroso	3
ClO ₂ ⁻	Ion clorito	3
HClO ₃	Ácido clórico	5
ClO ₂	Dióxido de cloro	4
ClO ₃ ⁻	Ion clorato	5

Los cloruros aparecen en todas las aguas naturales en concentraciones que varían ampliamente. En las aguas de mar el nivel de cloruros es muy alto, en promedio de 19000 mg/l; constituye el anión predominante. En aguas superficiales, sin embargo, su contenido es generalmente menor que el de los bicarbonatos y sulfatos.

Los desechos humanos, principalmente la orina, contienen cloruros en una cantidad casi igual a la de los cloruros consumidos con los alimentos y el agua. Esta cantidad es en promedio unos 6 gramos de cloruros por persona por día, e incrementa el contenido de Cl⁻ en las aguas residuales en unos 20 mg/l por encima del contenido propio del agua. Por consiguiente, los efluentes de aguas residuales añaden cantidades considerables de cloruros a las fuentes receptoras.

Los cloruros en concentraciones razonables no son peligrosos para la salud y son un elemento esencial para las plantas y los animales. En concentraciones por encima de 250 mg/l producen un sabor salado en el agua.



Material, Equipo y Reactivos

Material

- ✓ Papel tornasol
- ✓ Kit de campo para determinación de Nitrógeno Amoniacal
- ✓ Kit de campo para determinación de Cloruros

Reactivos

- ✓ Cromato de Potasio
- ✓ Nitrato de Plata



Procedimiento

Potencial Hidrógeno (pH)

1. Cortar un pequeño trozo de papel tornasol e introducirlo en un poco de agua de muestra.
2. Escurrir y esperar unos segundos a que tome color.
3. Comparar el color del papel con el colorímetro de pH e identificarlo con un color del patrón correspondiente a un valor de pH.

Nitrógeno Amoniacal

Utilizando el kit de campo para determinación de Nitrógeno Amoniacal.

1. Colocar 5ml de agua de muestra en el tubo (incluido en el kit)
2. Agregar 4 gotas de la sustancia 1
3. Agregar 8 gotas de la sustancia 2 (el agua de muestra se tornará amarilla)
4. Comparar con la serie de tubos con diferentes tonalidades de amarillo a los cuales se les asigna un determinado valor de Nitrógeno Amoniacal (incluidos en el kit)

Cloruros

Utilizar el kit de campo para determinación de cloruros.

1. Sacar el frasco del kit y llenarlo a la marca de 20 ml, con agua de muestra.
2. Añadir un sobre de Cromato de Potasio (la muestra cambiara de color a amarillo intenso)
3. Titular con Nitrato de Plata hasta que la muestra vire a naranja.
4. El número de gotas de Nitrato de Plata multiplicada por 5 nos proporciona directamente el valor de Cloruros como Cl, en mg/l. El valor de cloruros como NaCl se obtiene de multiplicar por 1.6 el valor de cloruros como Cl.



Resultados

- ✓ Elabore un cuadro de resultados donde se registren los datos de la prueba:



Análisis de resultados

1. Comparar con el cuadro 3.5 los resultados obtenidos.

Cuadro 3.5
Análisis Típico del Agua Residual Municipal

Constituyente mg/l *	Concentración		
	Fuerte	Media	Débil
Sólidos Totales	1200	720	350
Sólidos Disueltos	850	500	250
Sólidos Sedimentables (ml/l)	20	10	5
DBO _{5,20}	400	220	110
Nitrógeno Amoniacal	50	25	12
Cloruros	100	50	30
Alcalinidad (como CaCO ₃)	200	100	50

* A menos que se especifique otra Fuente: "Ingeniería de los sistemas de tratamiento y disposición de aguas residuales" de Metcalf & Eddy Y modificada por el autor.



Conclusiones

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

Es importante decir que el agua a analizar proviene del influente de la planta de tratamiento de Ciudad Universitaria, la cual recibe un tercio de su gasto de agua de la colonia Copilco el Alto, y dos tercios provenientes de las diversas facultades, escuelas, institutos, laboratorios y comedores de CU, por lo que hay que aclarar que el agua en análisis no resulta ser una agua típicamente municipal.

- ✓ Observe los objetivos de la práctica y haga los comentarios correspondientes.

Sedimentación



La erosión que sufre la tierra cada año por efecto del escurrimiento y las tormentas, arrastra cantidades considerables de suelo y restos de rocas a las corrientes y otras masas acuáticas. A las suspensiones resultantes de suelo mineral y restos orgánicos, se agregan los desechos de los municipios e industrias, los cuales se transportan mediante sus sistemas colectores: drenajes pluviales y sistemas combinados de alcantarillado.

Algunas de las partículas erosionadas y desechos humanos y animales son lo suficientemente pesados para sedimentarse y con frecuencia son levantados nuevamente durante las crecientes de los ríos, para ser depositados agua abajo para llegar finalmente al océano. De esta manera, los bancos de limo y lodos se forman, se destruyen y se arrastran aguas abajo. Cuando las aguas de los ríos entran en reposo en los estanques, lagos y depósitos la gravitación arrastra hacia el fondo las partículas finas y ligeras, en donde se acumulan.

Todos los depósitos del fondo reducen la capacidad de almacenamiento de los embalses naturales y de los construidos por el hombre, pero el agua incrementa su claridad aun cuando no pueda despojarse de los sólidos más finamente divididos o más ligeros, que son responsables de la turbiedad persistente. Sin embargo, en ciertas ocasiones, las corrientes entrantes cargadas de limo o las de aguas frías, se sumergen al fondo de los almacenamientos y se mueven por debajo de la masa principal de agua caliente o más ligera. En relación con otros aspectos, la clarificación natural del agua por sedimentación de la materia tanto orgánica como mineral, es un componente importante dentro de la autpurificación del agua.

Tal vez la operación más usada en tratamiento de agua y aguas residuales, es la de *sedimentación* o remoción por medio de asentamiento gravitacional, de las partículas en suspensión más pesadas que el agua.

La sedimentación es un proceso de separación sólido - líquido, que se utiliza en el tratamiento del agua para bajar la concentración o carga de sólidos en los filtros, a fin de que estos operen mejor, por mas largo tiempo y con menos uso de agua para retrolavado.

De manera mas formal, también podemos decir, que es una operación unitaria en la que, en el seno de un líquido, las partículas mas pesadas que el líquido se separan debido a la acción de la gravedad y precipitan al fondo.

La sedimentación se usa para remover partículas suspendidas hasta de 50 μm , lo que depende de su densidad, pero con partículas más pequeñas, que tienen velocidades de sedimentación muy bajas, no es factible utilizar la sedimentación para removerlas. El cuadro 3.6 muestra las velocidades de sedimentación de partículas con diferente diámetro.

Cuadro 3.6
Velocidades de sedimentación para partículas de varios diámetros

Tamaño de la partícula en μm	Velocidad de sedimentación en m/h
1000	6×10^2
100	2×10^1
10	3×10^{-1}
1	3×10^{-3}
0.1	1×10^{-5}
0.01	2×10^{-7}

Para el fenómeno de sedimentación se definen los siguientes tipos de partículas:

- Discretas: No cambian de forma ni de dimensión al desplazarse, y mantienen su densidad específica.
- Floculentas: Cambian de forma, tamaño y densidad específica al chocar en su desplazamiento.

Quando las impurezas se separan de un fluido que las mantiene en suspensión sólo mediante la acción de las fuerzas naturales (por ejemplo la gravitación y la agregación natural de partículas asentadas), la operación recibe el nombre de *sedimentación simple*.

Quando se agregan productos químicos o de otra naturaleza para provocar o favorecer la agregación y asentamiento de la materia finamente dividida, sustancias coloidales y moléculas grandes, la operación se denomina *coagulación*.

Quando los productos químicos se agregan para separar de la solución las impurezas disueltas, la operación se describe como *precipitación química*.

En el tratamiento de aguas residuales domésticas e industriales, la sedimentación se presenta en las siguientes unidades:

- Los desarenadores que separan los sólidos minerales pesados o de otro tipo, del líquido que fluye, por medio de sedimentación diferencial y arrastre.
- Los tanques sedimentadores primarios, o preliminares, que colectan gran parte de la carga de sólidos en suspensión o de la carga de sólidos que se han unido con otros sólidos y que permiten su sedimentación antes de la descarga del efluente clarificado.
- Los tanques sedimentadores secundarios o finales que colectan las sustancias convertidas en sólidos sedimentables, o que se han acondicionado como tales en alguna otra forma, mediante procesos de tratamiento físicos, químicos, biológicos u otros procesos afines.

La sedimentación puede clasificarse en varios tipos, dependiendo de las características y concentración de los materiales suspendidos:

- Sedimentación Tipo I

Es el tipo de sedimentación de partículas discretas en suspensiones diluidas. Las partículas discretas son aquellas cuyo tamaño, forma y densidad específica no cambian con el tiempo.

- Sedimentación Tipo II

Es el tipo de sedimentación que incluye a las partículas floculentas en suspensiones diluidas. Las partículas floculentas son aquellas cuya superficie tiene propiedades tales que se agregan con otras partículas con las que entran en contacto.

- Sedimentación Tipo III

Una sedimentación concentrada es aquella en la que las partículas están tan cercanas entre sí que sus campos de velocidades se traslapan con los de las partículas vecinas y se produce un desplazamiento significativo del agua hacia arriba conforme las partículas se sedimentan.

Práctica No. 2 Sedimentación de partículas discretas



Objetivo: Observar la influencia de la temperatura del agua en la sedimentación y comprobar experimentalmente la Ley de Newton y la ecuación de Stokes, a partir de pruebas de sedimentación en una columna de acrílico.



Introducción

Desarenadores y Sedimentación

Los desarenadores se ubican después de las rejillas. Cuando es necesario bombear el influente de agua residual se recomienda localizar el cárcamo a continuación de los desarenadores. El propósito es el de separar la arena del material orgánico susceptible de putrefacción, evitar depósitos de arena en los tanques de aireación, obstrucción de tuberías, desgaste de rastras en sedimentadores, bombas, etc. El equipo mecánico y electromecánico se desgasta con mayor rapidez debido a la arena. Durante la época de lluvias se arrastra gran cantidad de este material, por lo que es necesario que su diseño considere el manejo eficiente del agua en esta época, ya que es cuando más se requiere de los desarenadores.

Se diseñan para separar del agua partículas minerales de hasta 0.2 mm de diámetro; sin embargo, existen restos de alimentos que tienen diámetro grande, con velocidad de sedimentación semejante a la de la arena, por lo que el material extraído del desarenador contiene partículas orgánicas y debe manejarse adecuadamente para prevenir el mal olor.

Principios Fundamentales

La sedimentación puede clasificarse en varios tipos dependiendo de las características y concentraciones de los materiales suspendidos. En el desarrollo de esta práctica se estudiará la sedimentación de "partículas discretas".

Una partícula discreta es aquella que, durante la sedimentación, no altera su tamaño, forma o peso. Al caer libremente a través de un líquido en reposo, esta partícula se acelera hasta que la resistencia de fricción o arrastre, del fluido equilibra a la fuerza impulsora que actúa sobre la partícula. De ahí en adelante, la partícula se asienta a una velocidad uniforme (terminal), esto constituye un atributo o característica hidráulica importante de la partícula.

Sobre una partícula suspendida en el agua actúan inicialmente dos fuerzas: la gravedad y la de flotación



Donde:

$$F_F = \rho_w g V_P \quad (3.1)$$

$$F_G = \rho_P g V_P \quad (3.2)$$

ρ_w = densidad del agua
 g = constante gravitacional
 V_P = volumen de la partícula
 ρ_P = densidad de la partícula

Como las fuerzas actúan en dirección opuesta y la densidad de la partícula es diferente a la del agua, se ejerce una fuerza neta sobre la partícula y ésta se acelera en dicha dirección.

$$F_{\text{neta}} = (\rho_P - \rho_w)gV_P \quad (3.3)$$

Esta fuerza neta se transforma en la fuerza de traslación de la partícula.

Una vez que el movimiento se ha iniciado, aparece una tercera fuerza debida a la fricción viscosa, esta fuerza se denomina "Fuerza de Arrastre" y se cuantifica por:

$$F_A = C_A A_P \rho_w \frac{v^2}{2} \quad (3.4)$$

donde:

C_A = Coeficiente de arrastre.

v = velocidad de la partícula.

A_P = área de la sección transversal de la partícula, perpendicular a la dirección del movimiento.

De tal forma que al igualar las ecuaciones (3.3) y (3.4) se tiene:

$$(\rho_P - \rho_w)gV_P = C_A A_P \rho_w \frac{v^2}{2} \quad (3.5)$$

Y haciendo la suposición de partículas esféricas:

Área transversal de la partícula: $A_P = \frac{\pi D^2}{4} \quad (3.6)$

Volumen de la partícula: $V_P = \frac{\pi D^3}{6} \quad (3.7)$

Donde D es el diámetro de la partícula

y despejando la velocidad de la partícula tenemos:

$$v^2 = \frac{4}{3} g \frac{(\rho_p - \rho_w)D}{C_A \rho_w} \quad (3.8)$$

A la ecuación (3.8) se le conoce como la Ley de Newton, que describe la sedimentación de partículas esféricas discretas.

v = velocidad final de sedimentación (L/T)
 ρ_p = densidad de la partícula (M/L³)
 ρ_w = densidad del fluido (M/L³)
 g = aceleración de la gravedad (L/T²)
 D = diámetro de la partícula (L)
 C_A = coeficiente de arrastre (adimensional)

Para flujo laminar, el coeficiente de arrastre es: $C_A = \frac{24\mu}{vD\rho_w}$ (3.9)

μ = viscosidad dinámica (kg seg/m²)

De tal forma que al sustituirla en la Ley de Newton tenemos:

$$v = \frac{g}{18\mu} (\rho_p - \rho_w) D^2 \quad (3.10)$$

que es conocida como la ecuación de Stokes.

La materia en suspensión en el agua y aguas residuales rara vez tiene forma esférica. Las partículas irregulares que por lo general componen las suspensiones poseen una mayor área superficial por unidad de volumen que la correspondiente a las esferas, y a causa de ello se sedimentan, además tienen mayor fricción lo que cambia la orientación de la partícula con relación a la dirección del movimiento. Sin embargo, cuando las velocidades de sedimentación son bajas, el efecto de la forma irregular de las partículas no es importante. La mayoría de los sistemas de sedimentación están proyectados para eliminar partículas de tamaño pequeño y velocidad de sedimentación baja. Las partículas de gran tamaño, las cuales sedimentan a mayores velocidades, serán eliminadas en cualquier caso.



Material, Equipo y Reactivos

Cristalería

✓ Vasos de precipitados

Equipo

- ✓ Columna sedimentadora
- ✓ Vernier
- ✓ Termómetro
- ✓ Cronómetro
- ✓ Parrilla



Procedimiento

1. Llenar una de las columnas de sedimentación de acrílico con 4.5 litros de agua fría.
2. Colocar 4.5 litros de agua caliente en la otra columna de sedimentación.
3. Obtener el diámetro de 10 muestras de arena (eligiendo las de forma más esférica posible)
4. Tomar un termómetro e introducirlo en cada una de las columnas de sedimentación para verificar la temperatura del agua.
5. Soltar una de las partículas de arena desde la parte superior de la columna de sedimentación y tomar el tiempo que le toma a ésta cruzar la marca de un metro.
6. Repetir la operación anterior usando otras cuatro muestras, y posteriormente usar las otras cinco en la otra columna de sedimentación.



Resultados

- ✓ Llenar una tabla como la siguiente y obtenga la velocidad de sedimentación experimental.

Muestra	Diámetro (mm)	Temperatura (°C)	Tiempo (seg)	Velocidad (m/s)
1				
2				
3				
...				

- ✓ Obtener la velocidad de sedimentación teórica utilizando la ecuación (3.10)



Análisis de resultados

- 1 Comparar los datos obtenidos experimentalmente con los que proporciona la Ley de Stokes y calcule el porcentaje de error de la prueba.

$$\%e = \left| \frac{V_{exp} - V_{teorica}}{V_{exp}} \right| \times 100$$

Muestra	V teorica	V exp	% e



Conclusiones

Cuando una partícula discreta se sedimenta a través de un líquido en caída libre, el líquido desplazado por la partícula se mueve hacia arriba a través de un área suficientemente grande para no interponer una fricción. Por el contrario, en la sedimentación disturbada, las partículas se encuentran colocadas a distancias reducidas, en que el líquido desplazado se confina como dentro de un tubo, y la velocidad aumenta conforme interfieren los campos situados alrededor de las partículas individuales. En observaciones de laboratorio sobre las velocidades alcanzadas, las paredes de los recipientes cilíndricos de diámetro reducido, en los que se encuentra en sedimentación una sola partícula, pueden tener un efecto disturbante similar.

Sin embargo este efecto de pared se convierte en despreciable a números altos de Reynolds o cuando el diámetro de la partícula es, aproximadamente menor que el 1% del diámetro del cilindro.

- ✓ Revise el objetivo de la práctica y realice las conclusiones correspondientes.

Práctica No. 3

Sedimentación de Partículas Floculentas



Objetivo: Observar la sedimentación tipo II en una columna de acrílico y obtener las gráficas de porcentaje de remoción.



Introducción

La velocidad de sedimentación de partículas individuales se puede determinar al cronometrar su caída a una profundidad conocida de fluido, pero para suspensiones graduadas es más útil el análisis en una columna de sedimentación. Una columna de sedimentación es un tubo de 2 a 3 m de profundidad con puntos de muestreo espaciados, con un diámetro cuando menos cien veces mayor que el tamaño de la partícula más grande para evitar el efecto de pared.

Para este análisis, se mezcla totalmente la suspensión en la columna y se determina la concentración inicial de Sólidos Suspendedos (SS) como SS_0 en mg/l. Se toma una muestra a una profundidad h_1 después del tiempo t_1 y se encuentra que la concentración de SS es SS_1 en mg/l. Todas las partículas con una velocidad de sedimentación mayor que $v_1 = \frac{h_1}{t_1}$; se habrán sedimentado más allá del punto de muestreo y las partículas restantes, esto es SS_1 , deben tener una velocidad de sedimentación menor que v_1 . Así la proporción de partículas P_1 que tienen una velocidad de sedimentación menor que v_1 está dada por:

$$P_1 = \frac{SS_1}{SS_0}$$

Se repite el procedimiento en intervalos t_2, t_3, \dots , y así se determinan proporciones de partículas P_2, P_3, \dots , que tienen velocidades de sedimentación menores que v_2, v_3, \dots . La gráfica de estos datos da la curva característica de sedimentación para la suspensión.



Material, equipo y reactivos

Cristalería

- ✓ Vasos de precipitados
- ✓ Filtros Gooch
- ✓ Cápsulas de porcelana
- ✓ Probetas graduadas
- ✓ Desecador

Equipo

- ✓ Tubo sedimentador de acrílico con paletas
- ✓ Cronómetro
- ✓ Agitador mecánico
- ✓ Horno

Material

- ✓ Garrafrones o cubetas
- ✓ Papel filtro de 0.7 μm

Reactivos

- ✓ Caolín
- ✓ Leche en polvo
- ✓ Carbonato de Sodio
- ✓ Cloruro de Calcio
- ✓ Sulfato de Aluminio



Procedimiento

Formación de la suspensión

1. Colocar 10 litros de agua en un recipiente.
2. Con ayuda de la balanza analítica, pesar las cantidades correspondientes a los siguientes reactivos:
 - ✓ 16 g de Caolín
 - ✓ 8 g de Carbonato de Sodio
 - ✓ 8 g de Cloruro de Calcio
 - ✓ 8 g de Leche en polvo
3. Añadir los reactivos anteriormente pesados uno a uno y mezcle perfectamente hasta tener una mezcla homogénea.

Prueba

4. Elabore 20 litros de suspensión.
5. Verificar que todas las llaves del tubo sedimentador estén cerradas y colocar 8 litros de agua en él.
6. Agregar los 20 litros de suspensión antes elaborada.
7. Agregar 300 ml de Sulfato de Aluminio a la columna sedimentadora.
8. Con ayuda del agitador mecánico, iniciar una agitación rápida, durante 1 minuto a 125 rpm (número 5).
9. Disminuir la velocidad del agitador a 50 rpm (número 2) durante 15 minutos.
10. Apagar el agitador mecánico.
11. Inmediatamente después de apagar el agitador, tomar una muestra de 20 ml de muestra del sedimentador.

12. De la muestra anterior utilizar 10 ml para determinar Sólidos Suspendidos (SS₀).
13. Tomar muestras cada 10 minutos a diferentes alturas y realizar las determinaciones de SS.

Determinación de sólidos suspendidos

- a. Usando la balanza analítica, pesar un filtro Gooch de porcelana a peso constante, que contenga un filtro.
- b. Colocar el filtro en un equipo de filtración, y pasar a través de él 10 ml de muestra.
- c. Retirar el filtro del equipo de filtración con ayuda de unas pinzas.
- d. Introducir el filtro Gooch dentro del horno durante una hora a 103°C, para que seque.
- e. Colocar el filtro en el desecador para que pierda totalmente la humedad que se encuentra en él.
- f. Volver a pesar filtro en la balanza analítica, y de la diferencia de pesos del peso final y el peso inicial, divididos entre el volumen de la muestra analizada, se obtiene el parámetro de sólidos suspendidos en mg/l.



Resultados

- ✓ Elaborar una tabla donde se registren para los diferentes tiempos y tomas del sedimentador, los valores de los sólidos suspendidos.

Muestra	Toma A			Toma B		
	Peso inicial (mg)	Peso final (mg)	SS	Peso inicial (mg)	Peso final (mg)	SS

- ✓ Obtenga los valores de los sólidos suspendidos

$$SS = \frac{W_{\text{final}} - W_{\text{inicial}}}{V}$$



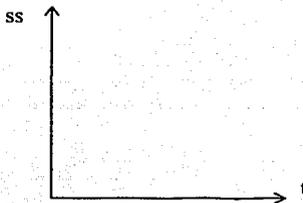
Análisis de resultados

- 1 Obtenga los porcentajes de remoción, para los diversos tiempos y tomas.

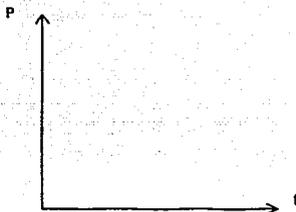
$$P_n = \frac{SS_n}{SS_0}$$

2 Realice las graficas correspondientes a:

I. Sólidos suspendidos Vs Tiempo



II. Porcentaje de remoción Vs Tiempo.



Conclusiones

La mayor parte de los agregados de flóculos formados en las aguas y aguas residuales, son relativamente frágiles. Conforme crecen en tamaño, aumentan los gradientes de velocidad a través de ellos. Esto los puede romper hasta un determinado tamaño límite. Como regla, las suspensiones floculentas que entran a los tanques de sedimentación en las plantas de tratamiento de aguas no han alcanzado todavía este límite, y la sedimentación se mejora materialmente mediante un crecimiento adicional de los flóculos.

- ✓ Revise el objetivo y haga las conclusiones correspondientes.

Desinfección



Debido a lo pequeño de muchos microorganismos, no es posible garantizar que su remoción sea completa con los tratamientos de coagulación o filtrado. Por esa razón, es necesario efectuar una desinfección para asegurar la eliminación de microorganismos potencialmente dañinos en las aguas. La mayoría de las aguas residuales y efluentes tratados contienen gran cantidad de microorganismos por lo que es necesario desinfectar tales líquidos. La desinfección de un efluente antes de la descarga tenderá a retardar las reacciones de autopurificación en el agua receptora; asimismo, la formación de productos de reacción que resultan de las interacciones de compuestos orgánicos y desinfectantes suele ser indeseable en aguas que se usan como fuentes de abastecimiento potable.

Es importante observar la diferencia entre la esterilización, que es la muerte de todos los organismos, que rara vez se practica o se necesita; y la desinfección, que es la muerte de organismos potencialmente dañinos, que es el requerimiento normal.

En general, la tasa de mortalidad de los microorganismos obedece una ley donde intervienen: el número de microorganismos viables (N), la constante de velocidad de reacción para un desinfectante determinado (K), y el tiempo de contacto (t); de tal forma que la variación de la mortalidad de los microorganismos en el tiempo es proporcional al número de ellos:

$$\frac{dN}{dt} = -KNt \quad (3.11)$$

a esta ley se le conoce como la ley de Chick.

La importancia del control de enfermedades transmisibles por el agua es hoy en día evidente; sin embargo, fue sólo hasta 1856 que se demostró la importancia del agua como vehículo de transmisión de algunas enfermedades. Durante el siglo XIV una enfermedad llamada en esa época "peste negra", exterminó aproximadamente el 25% de la población de Europa. En Londres, durante el invierno de 1664, una epidemia produjo 70 000 decesos. Con la industrialización y la aglomeración resultante de población, la frecuencia de epidemias aumentó. En 1854, gracias al estudio cuidadoso de los señores Snow y York sobre las causas de una epidemia de cólera en Londres, se pudo demostrar que la fuente de infección había sido el agua; posteriormente se demostró que un pozo de suministro de agua había sido contaminado con aguas residuales provenientes de una casa en la cual habitaba un individuo enfermo de cólera. Luego, con el desarrollo de la bacteriología, Koch, pudo probar que el agua podía servir como vehículo principal de transmisión de enfermedades.

Cloración

Los productos químicos basados en el cloro han sido los desinfectantes preferidos para tratar el agua durante casi un siglo. En realidad el 98% de todos los sistemas en los Estados Unidos que tratan el agua, emplean desinfectantes basados en cloro. En las instalaciones se emplea el cloro porque ha resultado sumamente bueno, es seguro de usar cuando se maneja adecuadamente y es muy eficaz en función de costos.

Los compuestos basados en cloro son los únicos desinfectantes principales que presentan propiedades residuales duraderas. La protección residual previene un nuevo crecimiento microbiano y la contaminación del agua, dado que pasa de la planta de tratamiento a los grifos domésticos.

Los atributos más importantes del cloro son su potencia y persistencia gemicida de amplio espectro en los sistemas de distribución de agua. Además, su capacidad para abordar eficiente y económica otros muchos sistemas de tratamiento de agua, también ha contribuido a su amplio uso.

En 1846 el doctor Ignaz Semmelweis introdujo uno de los primeros usos del cloro como desinfectante. Mientras trabajaba en un hospital de Viena, determinó que la fiebre de los niños y otras infecciones eran transmitidas a los pacientes por los doctores que no se lavaban las manos después de cada examen. Así que insituyó un procedimiento de desinfección que requería que los médicos se lavasen con jabón y agua de cloro.

Uno de los primeros usos conocidos del cloro para la desinfección del agua se dio en 1854, cuando el Dr. John Snow intentó desinfectar el abastecimiento de agua de bombas de la calle Broad en Londres, después de un brote de cólera. Posteriormente se dio un brote de tifoidea; Sims Woodhead usó "solución de lejía" como una medida temporal para esterilizar las cañerías de distribución de agua potable en Maidstone, Kent (Inglaterra).

Actualmente el cloro puede introducirse en forma de gas, de solución acuosa, o en forma de hipoclorito, ya sea de sodio o de calcio, los cuales, al disolverse en agua desprenden cloro. Debido a que el cloro gaseoso es más económico que el que se obtiene a partir de los hipocloritos, es el que se usa generalmente para tratar las aguas, salvo en las ocasiones en las que se necesita una cantidad de cloro relativamente pequeña, su aplicación a las aguas se controla por medio de dispositivos especiales que se conocen con los nombres de cloradores o clorinizadores.

No se conoce el mecanismo exacto de la acción desinfectante. Según ciertas teorías, el cloro ejerce una acción directa contra la célula bacteriana, destruyéndola. Una teoría más reciente admite que el cloro, debido a su carácter tóxico, inactiva a las enzimas de los cuales dependen los microorganismos para la utilización de sus alimentos, lo cual da por resultado que los organismos mueran por inanición.

El monto de las sustancias reductoras, tanto orgánicas como inorgánicas, varía en las diferentes aguas residuales, y por lo tanto la cantidad de cloro que tiene que suministrarse varía también. El cloro que consumen esas sustancias reductoras orgánicas e inorgánicas, se define como *demanda de cloro*. Es igual a la demanda que se agrega, menos la que permanece como cloro combinado después de un cierto tiempo. La cantidad que queda después de satisfacer la demanda de cloro es la que lleva a cabo la desinfección. Esta cantidad de cloro en exceso sobre la demanda de cloro se define como *cloro residual*.

Visto desde el aspecto bacteriológico, este proceso parece ideal. Sin embargo, las investigaciones indican que la cloración de las aguas residuales, aunque reduce el número total de bacterias, aumenta la proporción de bacterias resistentes a antibióticos, las cuales son potencialmente patógenas.

El cloro, más allá de su actividad desinfectante, sufre un número de reacciones químicas que deben ser consideradas, ya que éstas tienen entre sus productos compuestos organoclorados indeseables.

Podríamos agrupar dichas reacciones del siguiente modo:

- a) *Las provocadas por la radiación solar*. Se producen debido a la acción de la radiación ultravioleta que provee de energía para que se produzca la reacción entre el cloro y el agua.
- b) *Las que se producen entre el cloro activo y los compuestos inorgánicos*. Estas reacciones se producen con compuestos inorgánicos reducidos, por ejemplo, Mn(II), Fe(II), NO₂⁻, S(-II). En general estas reacciones son rápidas.
- c) *Las reacciones del cloro activo con el amoníaco y el nitrógeno orgánico*. El cloro activo cuando reacciona con el amonio genera los compuestos denominados cloraminas y eventualmente a una variedad de productos libres de cloro que contienen nitrógeno, los mecanismos de reacción son complejos y los productos varían según las condiciones de pH, concentración del Cl₂, nivel de amonio y tiempo de contacto.
- d) *Las producidas entre el cloro activo y los compuestos orgánicos*. Son las que consideramos de mayor interés en el proceso de desinfección de aguas residuales. Las aguas residuales tienen un alto contenido de materia orgánica. Esta tiene una enorme variedad de estructuras químicas las cuales dependen del origen de la misma. Aún así, se espera la presencia de ciertos tipos de materia orgánica. Por ejemplo, se espera encontrar carbohidratos, ácidos grasos y proteínas, a diferentes niveles de biodegradación y otras materias de origen vegetal y animal; aceites y grasas, insecticidas, surfactantes y otros residuos sintéticos.

Práctica No. 4 Cloración del Agua Residual



Objetivo: Analizar la importancia de la desinfección en el proceso de tratamiento de un agua; observar los principales parámetros de la cloración y obtener la demanda de cloro y el punto de quiebre para una muestra de agua residual cruda.



Introducción

Desinfección es el término aplicado a aquellos procesos en los cuales los microorganismos patógenos pero no sus esporas, son destruidos.

El cloro ha sido usado principalmente como desinfectante para el control de microorganismos en aguas de consumo, aguas residuales, piscinas, lodos, etc., para control de olores y sabores, oxidación de sulfuros, hierro, cianuro y manganeso, remoción de amoníaco y color orgánico.

La popularidad del cloro como desinfectante se debe a las razones siguientes:

- ✓ Existe disponible como gas, líquido o en forma granular.
- ✓ Es relativamente barato.
- ✓ Es fácil de aplicar, debido a su alta solubilidad.
- ✓ Tiene una alta toxicidad para los microorganismos causantes de enfermedades hídricas.
- ✓ Deja un residual en solución, el cual provee protección sanitaria en el sistema de distribución.

Sin embargo, entre sus desventajas podemos señalar:

- ✓ Es un gas venenoso que requiere manejo cuidadoso.
- ✓ Es altamente corrosivo en solución.
- ✓ Forma con los fenoles clorofenoles, los cuales dan origen a problemas serios de olores.
- ✓ Forma con algunas sustancias orgánicas trihalometanos, de los cuales se sospecha son agentes cancerígenos.

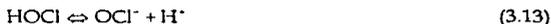
En purificación y tratamiento de aguas el cloro se usa como gas generado a partir de la vaporización de cloro líquido almacenado bajo presión en cilindros; como líquido, comúnmente hipoclorito de sodio (NaOCl), y como sólido, comúnmente hipoclorito de alto grado (HTH) o hipoclorito de calcio ($\text{Ca}(\text{OCl})_2$)

Tanto el cloro elemental gaseoso como el líquido reaccionan con el agua de la siguiente forma:



Para concentraciones de cloro menores de 1000 mg/l, caso general en la práctica, la hidrólisis es prácticamente completa si el pH es mayor de 3. Como puede observarse en la ecuación 4.2, la adición de cloro gaseoso al agua bajará su alcalinidad y consecuentemente su pH debido a la producción del ácido fuerte, HCl, y del ácido hipocloroso HOCl.

El ácido hipocloroso se ioniza par formar ion hipoclorito:



Como es evidente, la disociación del ácido hipocloroso depende de la concentración del ion hidrógeno, o sea del pH.

pH	Residual predominante
Menor de 6	HOCl
7.7	HOCl y OCl ⁻
Mayor de 9	OCl ⁻

Las especies HOCl y OCl⁻ en el agua constituyen lo que se denomina *cloro libre disponible o residual libre*.

Si el cloro se dosifica como hipoclorito de sodio se tiene:



y



Finalmente si el cloro se agrega como hipoclorito de calcio:



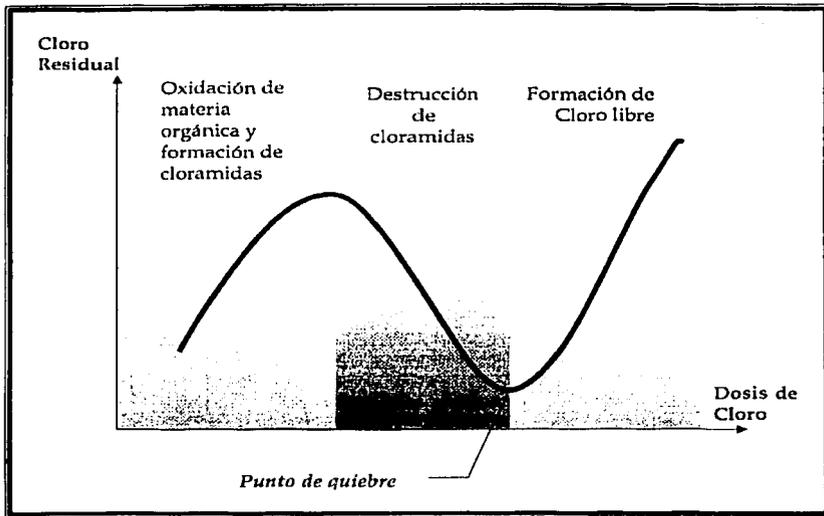
y



Al aplicar cloro a un agua que contiene agentes reductores, amoniaco y aminas orgánicas, si se mide y se construye una gráfica de la dosis aplicada contra los residuales obtenidos resulta una curva conocida como curva de demanda de cloro. En dicha curva se observa un incremento inicial en los residuales de cloro seguido de una declinación y luego, finalmente, de otro incremento a partir de un punto conocido como *punto de quiebre*.

Inicialmente se satisface la demanda inmediata de cloro, y éste reacciona con los agentes reductores presentes y no forma un residual detectable; una vez satisfecha la demanda ejercida por los agentes reductores, éste reacciona con todo el amoniaco y las aminas orgánicas presentes; a continuación se presenta la destrucción de las cloraminas, que reduce el cloro residual y es acompañada por la formación de óxido nitroso, nitrógeno y tricloruro de nitrógeno. Una vez completa la oxidación de los compuestos susceptibles de ser oxidados por cloro, todo el cloro agregado desarrolla un residual de cloro libre. La figura 3.1 muestra la curva de demanda de cloro.

Figura 3.1
Curva de demanda de cloro



Fuente: "Fundamentos de control de la calidad del agua" y modificada por el autor.



Material, Equipo y Reactivos

Cristalería

- ✓ Vasos de precipitados
- ✓ Pipetas graduadas
- ✓ Bureta

Equipo

- ✓ Parrilla agitadora
- ✓ Cronómetro

Reactivos

- ✓ Hipoclorito de sodio
- ✓ Agua residual cruda
- ✓ Ácido acético
- ✓ Yoduro de potasio
- ✓ Almidón
- ✓ Tiosulfato de sodio 0.025 N

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN



Procedimiento

Para esta prueba usaremos de 10 a 12 muestras de agua residual cruda, con diferentes dosificaciones de cloro.

1. Con ayuda de una pipeta graduada medir dosis crecientes de hipoclorito de sodio (NaOCl), (10, 12, 14, 16... ml)
2. Colocar 250 ml de agua residual cruda en matraces Erlen Meyer.
3. Con ayuda del cronómetro aplicar a cada matraz una dosis diferente de hipoclorito de sodio, en un intervalo de tiempo de 1 minuto entre cada aplicación, y registrar el tiempo de ésta.

Una vez aplicada la dosis de cloro (hipoclorito de sodio) hay que esperar un tiempo de contacto de 30 min, para que éste reaccione con los compuestos correspondientes. Se determinará luego el cloro residual libre. Hay que hacer énfasis en que el proceso requiere mucha precisión en el tiempo de aplicación de los reactivos.

4. Al terminar el tiempo de contacto (30 min), agregar inmediatamente a cada matraz con teniendo la muestra:
 - ✓ 2.5 ml de ácido acético.
 - ✓ 0.5 g de yoduro de potasio.
 - ✓ 5 gotas de almidón.
5. Titular inmediatamente con Tiosulfato de sodio (0.025N)

Para obtener el Cloro residual o cloro libre aplique la siguiente ecuación:

$$\text{Cloro Libre} = \frac{(\text{ml de Tiosulfato})(35450)N}{\text{ml de muestra}} \quad (3.18)$$

donde N es la normalidad del Tiosulfato de sodio.

$$\text{demanda de cloro} = \text{dosis de cloro} - \text{cloro residual}$$

Evidentemente, la demanda de cloro varía para diferentes aguas; aun para la misma agua depende de la dosis de cloro aplicada, de la magnitud y tipo de residual deseado, del tiempo de contacto, del pH y de la temperatura del agua. En general, a mayor tiempo de contacto y mayor temperatura del agua, más efectiva es la desinfección; por el contrario, a pH alto disminuye la concentración de ácido hipocloroso y por consiguiente disminuye la efectividad de la cloración.



Resultados

- ✓ Realice una tabla resumen de los resultados obtenidos en la prueba

Muestra	Dosis de cloro (ml)	tiempo Inicial	tiempo Final	ml de tiosulfato utilizado	Cloro libre (mg/l)



Análisis de resultados

1. Elabore una gráfica donde se represente Dosis de cloro Vs Cloro residual, e identifique en ésta el punto de quiebre.
2. Obtenga la demanda de cloro óptima para éste tipo de agua residual.



Conclusiones

En ingeniería ambiental se utilizan diferentes procesos de desinfección del aire, del agua, de alimentos y bebidas. En el tratamiento del agua, el cloro y los compuesto de cloro, hipoclorito de calcio y de sodio, son los desinfectantes más populares.

La tasa de desinfección con cloro es función del tiempo de contacto, del número y clase de organismos, de la dosis de cloro, del tipo de residual de cloro, del pH y de la temperatura, principalmente.

La cantidad de cloro necesaria para obtener un residual determinado, después de un tiempo de contacto específico, es un parámetro muy importante en el diseño de plantas de purificación y tratamiento de aguas. La determinación de la demanda de cloro permite cuantificar el número y la capacidad de los cloradores requeridos para la desinfección del agua, así como para decidir el tipo de agente desinfectante, recipientes, cantidades de cloro, etc.

- ✓ Revisar el objetivo y hacer las conclusiones pertinentes.

Abastecimiento de Agua Potable



TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

4

Capítulo cuatro

Marco legal e institucional de las aguas nacionales



La Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos en su artículo 27 establece que la propiedad de las aguas comprendidas dentro de los límites del territorio nacional corresponde originalmente a la Nación y sólo por excepción, cuando se demuestre que las aguas no tienen tal carácter, se considerarán de propiedad privada. Por tanto, las aguas nacionales son bienes del dominio público, son inalienables, imprescriptibles e inembargables.

La explotación, uso o aprovechamiento de aguas nacionales, sólo podrá realizarse por los particulares mediante concesiones que otorgue el Ejecutivo Federal, de acuerdo con las reglas y condiciones estipuladas en las leyes.

El marco jurídico que regula la materia de aguas en el país queda representado fundamentalmente por:

- ✓ La Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos, artículos 27, 28 y 115.
- ✓ La Ley de Aguas Nacionales (LAN), la cual es una ley reglamentaria del artículo 27 constitucional en materia de aguas nacionales.
- ✓ El Reglamento de la Ley de Aguas Nacionales.
- ✓ La Ley Federal de Derechos.
- ✓ La Ley de Contribución de Mejoras por Obras Públicas Federales de Infraestructura Hidráulica
- ✓ Las Leyes estatales en materia de agua promulgadas en las entidades federativas.
- ✓ La Ley General del Equilibrio Ecológico y Protección del Ambiente.

La Ley de Aguas Nacionales, da sustento a la evolución del marco institucional y la instrumentación de los elementos de la política hidráulica, en un horizonte de mediano y largo plazos.

La CNA, es un órgano desconcentrado de la Semarnat, y es la autoridad federal responsable de definir la política hidráulica del país y administrar las aguas nacionales.

El titular de la CNA informa a un Consejo Técnico presidido por el titular de la Semarnat e integrado por los titulares de las Secretarías de Hacienda y Crédito Público; de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación; de Desarrollo Social; de Salud; de Energía; y de Contraloría y Desarrollo Administrativo. Una de las facultades del Consejo es llevar a cabo la programación y la acción coordinada entre las dependencias de la Administración Pública Federal que deben intervenir en asuntos del agua.

En 1948, la entonces Secretaría de Recursos Hidráulicos (SRH) asume la responsabilidad de administrar los servicios de abastecimiento de agua potable y alcantarillado a través de las Juntas Federales de Agua Potable; en ellas se alcanzó un cierto grado de descentralización y participación ciudadana por lo que la SRH intentó entonces la entrega de las obras a los usuarios.

A finales de 1976, las funciones y los recursos humanos de la SRH y de la Comisión Constructora de la Secretaría de Salubridad y Asistencia (SSA), abocada hasta entonces a la realización de las obras en el medio rural pasaron a la Secretaría de Asentamientos Humanos y Obras Públicas (SAHOP), conservando la Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos (SARH) aquellas obras cuya magnitud y complejidad técnica requerirían de su atención directa. Se creó así una división artificial entre lo que se llamó "obras de abastecimiento de agua en bloque" y el resto de las que componen un sistema de agua potable y alcantarillado.

En 1980, el Ejecutivo por medio de la SAHOP, entregó la responsabilidad de la operación de los sistemas a los gobiernos estatales: éstos a su vez, en algunos casos la pasaron a los municipios.

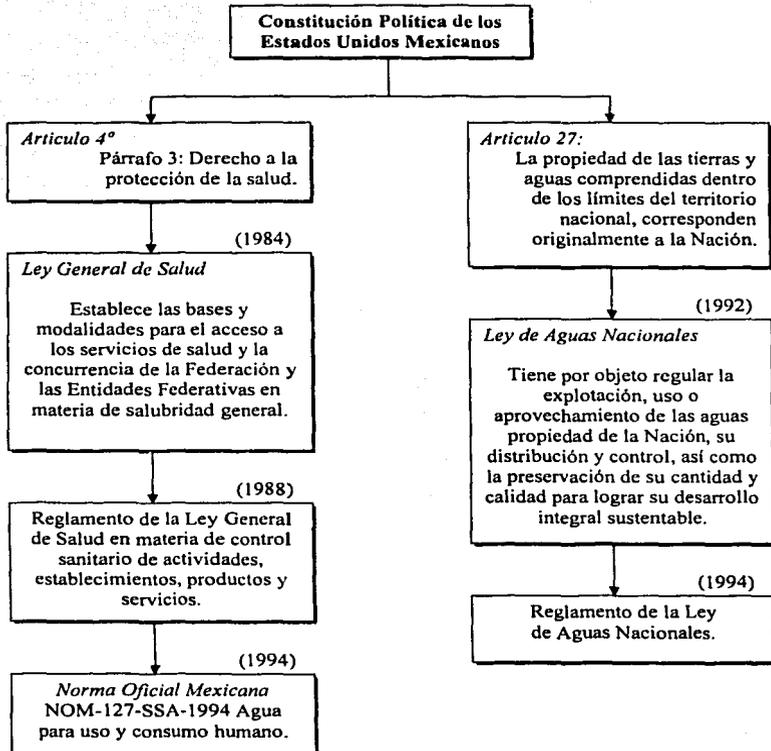
A partir de 1982, la responsabilidad de la intervención federal pasó a la Secretaría de Desarrollo Urbano y Ecología (SEDUE), la cual descentralizó también la construcción de las obras, cumpliendo las funciones de agente técnico en las obras realizadas con créditos internacionales. La SARH continuó encargada de las obras de abastecimiento de agua en bloque.

Desde 1983, las reformas y adiciones al Artículo 115 Constitucional establecen la responsabilidad de los municipios en la prestación de los servicios. Como responsable a nivel nacional de la administración integral de los recursos hidráulicos y el cuidado de la conservación de su calidad, en enero de 1989 se creó la Comisión Nacional del Agua (CNA) como órgano administrativo desconcentrado de la Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos (SARH). La CNA tiene además a su cargo las actividades de planeación y excepcionalmente construcción, operación y conservación de obras hidráulicas, así como fundamentalmente de apoyo técnico a las autoridades estatales, locales y organismos operadores de los sistemas de abastecimiento de agua potable y alcantarillado.

Por su parte la Secretaría de Salud como dependencia responsable de la salud de los mexicanos, ejerce una coordinación con dependencias federales y estatales en materia de sanidad. De acuerdo con la legislación nacional, corresponde a la Secretaría de Salud emitir las normas técnicas para el tratamiento del agua, establecer criterios sanitarios para el uso, tratamiento y disposición de aguas residuales. Finalmente, corresponde a la Secretaría de Desarrollo Social entre otras atribuciones, formular y conducir la política de saneamiento ambiental, y regular el alojamiento de las aguas residuales.

La figura 4.1 presenta el marco jurídico en materia de abastecimiento de agua potable.

Figura 4.1
Marco jurídico en materia de abastecimiento de agua potable



La Ley de Aguas Nacionales

La Ley de Aguas Nacionales aparece el 1° de diciembre de 1992 y sustituye a la Ley Federal de Aguas, promulgada en 1972, y tiene como objetivo hacer un uso eficiente de los recursos naturales, así como preservar su calidad y cantidad. Y tiene su fundamento en el Artículo 27 de la Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos, reiterando, ante todo, el dominio de la nación sobre las aguas, así como su carácter de inalienable e imprescriptible.

El Reglamento de Ley de Aguas Nacionales fue publicado en el Diario Oficial de la Federación el 22 de enero de 1994.

NOM-127-SSA-1994

El 31 de mayo de 1994, se presenta la Norma Oficial Mexicana NOM-127-SSA1-1994, "Salud ambiental, agua para uso y consumo humano - Límites permisibles de calidad y tratamientos a que debe someterse el agua para su potabilización". Esta Norma Oficial Mexicana es de observancia obligatoria en todo el territorio nacional para los organismos operadores de los sistemas de abastecimiento públicos y privados o cualquier persona física o moral que distribuya agua para uso y consumo humano.

La vigilancia del cumplimiento de esta Norma corresponde a la Secretaría de Salud y a los gobiernos de las entidades federativas en coordinación con la Comisión Nacional del Agua.

El abastecimiento de agua para uso y consumo humano con calidad adecuada es fundamental para prevenir y evitar la transmisión de enfermedades gastrointestinales y otras similares, para lo cual se requiere establecer límites permisibles en cuanto a sus características bacteriológicas, físicas, organolépticas, químicas y radiactivas; con el fin de asegurar y preservar la calidad de dicha agua en los sistemas, hasta la entrega al consumidor.

Características

- ⇒ Bacteriológicas: Son aquellas debidas a microorganismos nocivos a la salud humana. Para efectos de control sanitario se determina el contenido de indicadores generales de contaminación microbiológica, específicamente organismos coliformes totales y organismos coliformes fecales.
- ⇒ Físicas y organolépticas: Son aquellas que se detectan sensorialmente. Para efectos de evaluación, el sabor y olor se ponderan por medio de los sentidos y el color y la turbiedad se determinan por medio de métodos analíticos de laboratorio.
- ⇒ Químicas: Son aquellas debidas a elementos o compuestos químicos, que como resultado de investigación científica se ha comprobado que pueden causar efectos nocivos a la salud humana.
- ⇒ Radiológicas: Son aquellas resultantes de la presencia de elementos radiactivos.

Calidad del agua

El agua contiene diversas sustancias químicas, físicas y biológicas disueltas o suspendidas en ella. Desde el momento en que se condensa en forma de lluvia, el agua disuelve los componentes químicos de sus alrededores a medida que cae a través de la atmósfera, corre sobre la superficie del suelo y se filtra a través del mismo. Además, el agua contiene organismos vivos que reaccionan con sus elementos físicos y químicos. Por estas razones suele ser necesario tratarla a fin de hacerla adecuada para su uso.

Los requisitos para la calidad del agua se establecen de acuerdo con el uso al que se destina la misma. Por lo común su calidad se juzga como el grado en el cual el agua se ajusta a los estándares físicos, químicos y biológicos que fija el usuario.

La calidad no es tan fácil de medir como la cantidad de agua en virtud de las múltiples pruebas que se necesitan para verificar que se alcanzan estos estándares. Es importante conocer los requisitos de calidad para cada uso a fin de determinar su se requiere un tratamiento del agua y, de ser así, qué procesos se deben aplicar para alcanzar la calidad deseada.

En el abasto público de agua se tiene especial cuidado con los sabores, olores, colores y también con la turbidez del agua, en parte porque dan mal sabor al agua potable, pero también a causa de su uso en la fabricación de bebidas, el procesamiento de alimentos y la fabricación de textiles.

Los sabores y olores se deben a la presencia de sustancias químicas volátiles y a la materia orgánica en descomposición. Las mediciones de los mismos se hacen con base en la dilución necesaria para reducirlos a un nivel apenas detectable por observación humana.

El color del agua se debe a la presencia de minerales como hierro y manganeso, materia orgánica y residuos coloridos de las industrias. El color en el agua doméstica puede manchar la ropa y opacar los accesorios. Las pruebas se llevan a cabo por comparación con un conjunto estándar de concentraciones de una sustancia química que produce un color similar al que presenta el agua.

La turbidez, además de que es objetable desde el punto de vista estético, causa preocupación en cuanto a la salud porque las partículas en cuestión pueden albergar agentes patógenos. El agua con suficientes partículas de arcilla en suspensión (10 unidades de turbidez) se aprecia turbia a la vista. Las fuentes de agua superficial varían en cuanto a turbidez desde 10 hasta 1000 unidades; los ríos muy opacos pueden tener hasta 10 000 unidades de turbidez. Las mediciones de turbiedad se basan en las propiedades ópticas de la suspensión que causan que la luz se disperse o se absorba en vez de transmitirse en línea recta a través de la muestra. Los resultados se comparan con lo que se obtienen de una suspensión estándar.

Práctica No. 1 Características físicas y organolépticas



Objetivo: El alumno conocerá la NOM-127-SSA-1994 relativa al agua para uso y consumo humano, además comprenderá la importancia sanitaria de la turbiedad, olor, sabor y color, las causas de su presencia en las fuentes naturales de agua y determinará el color y la turbiedad en diferentes muestras.



Introducción

Las características físicas y organolépticas son aquellas que se detectan sensorialmente. Para efectos de evaluación, el sabor y olor se ponderan por medio de los sentidos y el color y la turbiedad se determinan por medio de métodos analíticos de laboratorio.

Olor y sabor

Los olores y sabores en el agua frecuentemente ocurren juntos y en general son prácticamente indistinguibles. Muchas pueden ser las causas de olores y sabores en el agua; entre las más comunes se encuentran materia orgánica en solución, H_2S (Sulfuro de hidrógeno), cloruro de sodio, sulfato de sodio y magnesio, hierro y manganeso, fenoles, aceites, productos de cloro, diferentes especies de algas, hongos, etc. Un observador experimentado puede detectar la presencia de sales metálicas disueltas de Fe, Zn, Mn, Cu, K, y Na, por medio del sabor; sin embargo, debe recordarse siempre que la sensibilidad es diferente de persona a persona y que, incluso, con el mismo individuo no se obtendrán resultados consistentes de un día para otro.

La determinación del olor y del sabor en el agua es útil para evaluar su calidad y su aceptación por parte del consumidor, para el control de los procesos de una planta y para determinar en muchos casos la fuente de una posible contaminación.

Tanto el olor como el sabor pueden describirse cualitativamente y eso es muy útil especialmente en casos de reclamos por parte del consumidor; en general los olores son más fuertes a altas temperaturas. El ensayo del sabor sólo debe hacerse con muestras seguras para consumo humano.

Existen diferentes métodos cuantitativos para expresar la concentración de olor y de sabor. El método más usado consiste en determinar la relación de dilución a la cual el olor o sabor es apenas detectable. El valor de dicha relación se expresa como *número detectable de olor o de sabor*. Así, por ejemplo, el procedimiento para determinar el olor consiste en diluir muestras del agua a analizar, de 200 ml, con agua destilada libre de olor. Quiere decir que si la mayor dilución a la cual se alcanzó a percibir el olor fue de 5 ml a 200, el número detectable de olor será $200/5 = 40$.

En general, el número detectable puede calcularse así:

$$ND = \frac{\mu + \alpha}{\mu}$$

donde: μ = ml de muestra
 α = ml de agua libre de olor

* La NOM-SSA1-1994 establece que en lo referente a los parámetros de olor y sabor se aceptarán aquellos que sean tolerables para la mayoría de los consumidores, siempre que no sean resultado de condiciones objetables desde el punto de vista biológico o químico.

Color

Las causas más comunes del color del agua son la presencia de hierro y manganeso coloidal o en solución; el contacto del agua con desechos orgánicos, hojas, madera, raíces, plancton, etc., en diferentes estados de descomposición, y la presencia de taninos, ácido húmico y algunos residuos industriales. El color natural en el agua existe principalmente por efecto de partículas coloidales cargadas negativamente; debido a esto, su remoción puede lograrse con ayuda de un coagulante de una sal de ion metálico trivalente como el Al^{+++} o el Fe^{+++} .

Dos tipos de color se reconocen en el agua: el *verdadero*, o sea el color de la muestra una vez que su turbiedad ha sido removida, y el *aparente* que incluye no solamente el color de las sustancias en solución y coloidales sino también el debido al material suspendido. El color aparente se determina sobre la muestra original sin filtración o centrifugación previa.

En general, el término color se refiere al verdadero del agua y se acostumbra medirlo conjuntamente con el pH, pues la intensidad del color depende del pH. Normalmente el color aumenta con el pH.

La unidad de color es el color producido por un mg/l de Platino, en la forma de ión cloroplatinato; y se denominan *unidades de color* en la escala Platino-Cobalto (UC Pt-Co). La determinación del color se hace por comparación visual de la muestra con soluciones de concentración de color conocida o con discos de vidrio de colores adecuadamente calibrados. Antes de determinar el color verdadero es necesario remover la turbiedad; para ello, el método recomendado es la centrifugación de la muestra.

Una vez centrifugada la muestra, se determina su color por la comparación con una serie de estándares de color preparados a partir de una solución K_2PtCl_6 , la cual contiene 500 mg/l de Pt y 250 mg/l de cobalto para darle una tonalidad adecuada.

* La NOM-SSA1-1994 establece 20 unidades de color verdadero, en la escala de platino-cobalto como límite permisible.



Material, Equipo y Reactivos

- ✓ Colorímetro



Procedimiento

1. Coloque hasta la marca el agua de muestra en una de las celdas del colorímetro.
2. Coloque agua destilada en otra de las celdas.
3. Introduzca en la caja del colorímetro las celdas, en el orificio interno la muestra y en el externo el agua destilada.
4. Gire el disco del aparato hasta que ambas celdas tengan un color similar y tome la lectura en la parte inferior del disco. (La comparación debe hacerse en un lugar bien iluminado y con un fondo blanco de preferencia)

Turbiedad

La turbidez o turbiedad es la expresión de la propiedad óptica de una muestra de agua que causa que los rayos de luz sean dispersados y absorbidos en lugar de ser transmitidos en línea recta a través de la muestra.

La turbiedad en el agua puede ser causada por la presencia de partículas suspendidas y disueltas de gases, líquidos y sólidos tanto orgánicos como inorgánicos, con un ámbito de tamaños desde el coloidal hasta partículas macroscópicas, dependiendo del grado de turbulencia. En lagos la turbiedad es debida a dispersiones extremadamente finas y coloidales, en los ríos, es debido a dispersiones normales. La eliminación de la turbiedad, se lleva a cabo mediante procesos de coagulación, sedimentación y filtración.

La turbiedad, es un parámetro de calidad del agua útil para determinar el tipo de potabilización requerida, ya que comúnmente la turbiedad se utiliza para cuantificar la eficiencia en el proceso de coagulación - floculación.

La determinación de la turbiedad del agua debe realizarse el mismo día que fue muestreada. Si esto no es posible, las muestras se pueden conservar en la oscuridad hasta por 24 horas, refrigeradas a 4 °C. Para tiempos de almacenamientos más prolongados, la muestra se puede preservar con la adición de 1 g de cloruro mercuríco por litro (no es recomendable)

La turbiedad es de importante consideración en las aguas para abastecimiento público por tres razones:

- Estética: Cualquier turbiedad en el agua para beber, produce en el consumidor un rechazo inmediato y pocos deseos de ingerirla y utilizarla en sus alimentos.
- Filtrabilidad: La filtración del agua se vuelve más difícil y aumenta su costo al aumentar la turbiedad.
- Desinfección: Un valor alto de la turbiedad, es una indicación de la probable presencia de materia orgánica y microorganismos que van a aumentar la cantidad de cloro u ozono que se utilizan para la desinfección de las aguas para abastecimiento de agua potable.

La unidad de turbiedad, fue definida como "la obstrucción óptica de la luz, causada por una parte por millón de sílice en agua destilada",

1 unidad de turbiedad nefelométrica (UTN) = 7.5 ppm de SiO₂

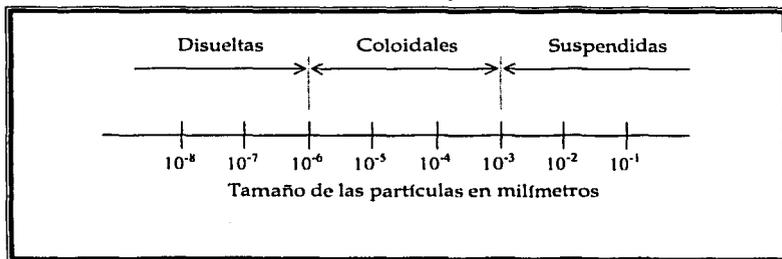
Actualmente, la unidad utilizada es la UTN, *unidad de turbiedad nefelométrica* y que equivale a:

1 UTN = 1 ppm de formazina estandar

La turbiedad es una expresión de la propiedad o efecto óptico causado por la dispersión e interferencia de los rayos luminosos que pasan a través de una muestra de agua; en otras palabras, la turbiedad es la propiedad óptica de una suspensión que hace que la luz sea reemitida.

La turbiedad en el agua puede ser causada por una gran variedad de materias en suspensión, que varían en tamaño desde dispersiones coloidales hasta partículas gruesas, entre otros; arcillas, limo, materia orgánica e inorgánica finamente dividida, organismos planctónicos, microorganismos, etc. La figura 4.2 muestra la clasificación de las partículas de acuerdo con su tamaño.

Figura 4.2
Clasificación de las partículas



Fuente: Peavy y Tchobanoglous

Algunos de los instrumentos que miden la turbiedad dependen de comparaciones visuales, otros utilizan una celda fotoeléctrica que mide la luz dispersada a 90° de la trayectoria del rayo de luz en la muestra (nefelometría). Dichos aparatos son los que actualmente se están usando, por su mayor precisión.

Los valores de turbiedad pueden variar desde cero hasta varios miles de unidades en aguas altamente turbias, consecuentemente no hay un método de determinaciones que abarque tan amplio intervalo. Existen tres métodos comúnmente empleados:

- A) Método Turbidimétrico de Bujía de Jackson
- B) Método del Turbidímetro Hellige.
- C) Método del Nefelómetro Fotoeléctrico

En el pasado, la expresión estándar de turbiedad más usada fue la unidad de turbiedad Jackson, UTJ, la cual es una cantidad empírica basada en un turbidímetro de bujía de Jackson. El aparato consta de un tubo de vidrio calibrado para obtener lecturas directas de turbiedad, una vela especial (de esperma de ballena, que proporciona una intensidad de luz fija) y un soporte que alinea la vela y el tubo. La turbiedad de la muestra se determina añadiendo despacio la muestra de agua hasta lograr que la imagen de la llama de la vela justamente desaparezca. Sin embargo la turbiedad más baja que puede medirse con dicho aparato es de 25 UTJ.

El turbidímetro de Hellige, es del tipo nefelométrico y esta basado en el efecto de Tyndall. Se compara un rayo de luz que se hace pasar hacia arriba por la muestra, con la luz dispersada hacia arriba por las partículas suspendidas de la solución turbia, la cual es iluminada lateralmente a 90° .

Actualmente el método mas usado para determinar la turbiedad es el método nefelométrico en el cual se mide la turbiedad mediante un nefelómetro y se expresan los resultados en unidades de turbiedad nefelométricas, UTN. Con este método se compara la intensidad de luz dispersada por la muestra con la intensidad de luz dispersada por una suspensión estándar de referencia, bajo las mismas condiciones de medida. Entre mayor sea la intensidad de luz dispersada mayor será la turbiedad.

Como suspensión estándar de referencia se usa una suspensión de un polímero de formacina, la cual es fácil de preparar y de mejores características reproducibles que las suspensiones de arcilla y otros materiales. Las unidades nefelométricas de turbiedad, basadas en el estándar de formacina, son aproximadamente iguales a las unidades de turbiedad Jackson.

El cuadro 4.1 muestra los factores de equivalencia de turbiedad determinada por diferentes métodos.

Cuadro 4.1
Factores de equivalencia de turbiedad

Unidad	1 UTJ	1 UTN	1 mg/l de SiO ₂
UTJ	1.0	19	2.5
UTN	0.053	1.0	0.13
mg/l de SiO ₂	0.4	7.5	1.0

La determinación de la turbiedad es de gran importancia en aguas para consumo humano, y en gran cantidad de industrias procesadoras de alimentos y bebidas.

Los grados de turbiedad sirven para determinar el grado de tratamiento requerido por una fuente de agua cruda, su filtrabilidad, consecuentemente, la tasa de filtración más adecuada, la efectividad de los procesos de coagulación, sedimentación y filtración, así como para la potabilidad del agua.

* La NOM-127-SSA1-1994 establece como límite máximo permisible para este parámetro 5 unidades de turbiedad nefelométricas (UTN) o su equivalente en otro método.



Material, Equipo y Reactivos

Cristalería

- ✓ Tubos de vidrio para turbidímetro Jackson
- ✓ Celdas para turbidímetro nefelométrico

Material y Equipo

- ✓ Turbidímetro Jackson
- ✓ Nefelómetro



Procedimiento

Turbidímetro Jackson

1. Colocar el tubo graduado de vidrio en la base del turbidímetro.
2. Encender la vela y colóquela en la parte inferior del aparato, 7.6 cm debajo del tubo de vidrio.
3. Empezar a llenar el tubo con agua de muestra cuidadosamente, hasta que la flama de la vela ya no se distinga; en ese momento deje de añadir agua.
4. Leer en la graduación del tubo y registre el resultado.
5. Repita el paso 3 y 4 en dos ocasiones y obtenga la turbiedad Jackson como un promedio de las tres mediciones.

Nefelómetro Hach

1. Encender el aparato 30 min previos a su uso para calentamiento.
2. Todo el material introducido al nefelómetro debe ser limpiado con la tela especial, para evitar el sesgo de la lectura debido a la grasa de las manos. Al momento de realizar las lecturas debe tapar la muestra con el capuchón, para evitar la entrada externa de luz.
3. Estando el aparato apagado ajustar el cero mecánico con el tornillo negro.
4. Observar el agua de muestra y comparar con los 4 patrones proporcionados por el fabricante del equipo, (0-1, 0-10, 0-100, 0-1000 UTN); para seleccionar el patrón con el que se calibrará el equipo.
5. Con el patrón elegido calibrar al valor indicado en éste, colocando el selector de ámbito en ese valor (perilla izquierda) y ajustando la aguja indicadora con la perilla derecha del nefelómetro. Tapar el patrón con el capuchón. En caso de turbiedades de 100 y 1000 UTN deberá introducirse el elevador de celdas.
6. Introducir la celda conteniendo el agua de muestra a analizar, dentro del aparato, y tapar con el capuchón.
7. Leer en la escala correspondiente el valor de turbiedad en UTN y regístrelo.



Resultados

- ✓ Presente en forma tabular los resultados obtenidos



Análisis de resultados

1. Comparar los resultados obtenidos con los límites máximos permisibles para el color y turbiedad establecidos en la NOM-127-SSA1-1994.
2. Explique la importancia sanitaria del olor, color y turbiedad del agua.
3. Con el valor de las turbiedades nefelométricas y el cuadro 1.1 calcular las turbiedades Jackson, ¿Se obtienen los valores determinados experimentalmente?
4. Comparar los resultados de turbiedad obtenidos con el turbidímetro Hach y el Hach



Conclusiones

La determinación de turbiedad es aplicable a cualquier muestra de agua que libre basuras y partículas gruesas que puedan asentarse con rapidez. Se obtienen resultados falsos debido al uso de vidrio sucio, por la presencia de burbujas y por los efectos de vibración que puedan alterar la visibilidad en la superficie de la muestra de agua.

Adicionalmente, con respecto al agua embotellada se tiene la norma oficial mexicana,
NOM-041-SSA1-1993. Bienes y servicios. Agua purificada envasada.

Y con respecto al hielo.

NOM-042-SSA1-1993. Bienes y servicios. Hielo potable y hielo purificado.

- ✓ El objetivo se cumplió total o parcialmente.
- ✓ ¿Qué errores se tuvieron en las determinaciones?
- ✓ Indicar si los valores obtenidos con los 2 modelos de turbidímetro Hach fueron iguales, explique por que.

Características típicas de las aguas



Como las aguas naturales varían mucho en sus características no es realmente posible dar detalles de lo que se podría llamar características normales de una muestra dada. En el caso del agua para uso potable, es práctica común evaluar su calidad en relación con lineamientos o normas específicos. Como la formulación de tales valores guía requiere la evaluación crítica de las propiedades de los diferentes constituyentes, es común que se les clasifique en cinco grupos.

1. **Parámetros organolépticos:** sus características son rápidamente aparentes para el consumidor pero normalmente tienen poco significado para la salud, por ejemplo, color, turbiedad, sabor y olor.
2. **Parámetros naturales físico-químicos:** son las características normales del agua, tal como pH, conductividad, sólidos, alcalinidad, dureza, oxígeno disuelto, etc. Algunos de estos parámetros tienen importancia para la salud, pero en general, el objetivo de establecer lineamientos es evitar el abastecimiento de aguas excesivamente desbalanceadas.
3. **Sustancias indeseables en cantidades excesivas:** este grupo incluye una amplia variedad de sustancias; algunas son directamente dañinas en altas concentraciones, otras causan problemas de sabor y olor y otras pueden no ser problemáticas por ellas mismas, pero son indicadores de contaminación. En este grupo se incluyen las siguientes sustancias: nitratos, fluoruros, fenoles, hierro y manganeso, cloruros, COT.
4. **Sustancias tóxicas:** una amplia variedad de sustancias químicas inorgánicas y orgánicas pueden tener efectos tóxicos sobre el hombre; la severidad de los efectos de un material particular depende de la dosis recibida, el período de exposición y otros factores ambientales. La principal preocupación en el abastecimiento del agua es el efecto a largo plazo de la exposición crónica a niveles bajos de compuestos tóxicos. Fijar las concentraciones permisibles en estas circunstancias es difícil, de modo que se emplean factores de seguridad altos. Entre los constituyentes que se pueden considerar tóxicos están el arsénico, el cianuro, el plomo, el mercurio, los hidrocarburos aromáticos policíclicos, los compuestos organoclorados y los organofosforados.
5. **Parámetros microbiológicos:** en la mayor parte del mundo estos parámetros son con mucho los más importantes para determinar la calidad del agua para uso potable. Las normas de calidad microbiológica se basan esencialmente en la necesidad de asegurar la ausencia de bacterias indicadoras de contaminación por desechos humanos.

Práctica No. 2 Características químicas



Objetivo: El alumno comprenderá la importancia de los límites máximos permisibles de las características químicas y determinará la concentración de algunos constituyentes químicos en diferentes muestras de agua.



Introducción

Los abastecimientos de agua deben ser tomados de la mejor fuente disponible. Si no se puede proteger adecuadamente a la fuente contra la contaminación; entonces el agua se deberá tratar para asegurar su potabilidad. Los posibles riesgos para la salud se deberán identificar mediante exploraciones sanitarias y eliminarse.

La aprobación de los sistemas de agua está sujeta a las siguientes condiciones:

- ✓ estricta aplicación de las reglas y precauciones sanitarias
- ✓ operación apropiada por personal calificado
- ✓ capacidad adecuada para satisfacer la demanda máxima
- ✓ registro confiable de los resultados analíticos
- ✓ apego a las normas de calidad

Al abastecedor se le hace responsable de la calidad del agua, desde la fuente hasta la conexión de servicio; de ahí en adelante, al dueño de la propiedad y a la oficina correspondiente del gobierno local.

Las características químicas importantes deberán determinarse por lo menos dos veces al año de acuerdo con el criterio de las agencias informantes y de las autoridades encargadas de la certificación. Se requieren análisis más frecuentes cuando existen dudas razonables sobre la estabilidad de los valores registrados o cuando el abastecimiento se trata con fluoruros. El muestreo específico puede ser menos frecuente cuando existe buena evidencia de invariabilidad en las sustancias que interesan.

Los múltiples compuestos químicos disueltos en el agua pueden ser de origen natural o industrial y ser benéficos o dañinos de acuerdo con su composición y concentración. Por ejemplo, las cantidades pequeñas de hierro y manganeso no sólo causan color, también se oxidan para formar depósitos de hidróxido férrico y óxido de manganeso en tuberías de agua y equipos industriales. Estos depósitos reducen la capacidad de los tubos y su remoción es costosa.

Cobre

El cobre se puede encontrar presente después del tratamiento de las aguas con sulfato de cobre, para el control del plancton y de otras formas acuáticas. También lo puede disolver el agua a su paso a través de tuberías y accesorios de cobre o bronce. Se ha conocido de casos en los cuales pequeñas cantidades de cobre presentes en el agua, han impartido manchas verdes a los recipientes de porcelana.

Cloro libre

El cloro ha sido usado principalmente como desinfectante para el control de microorganismos en aguas de consumo, aguas residuales, piscinas, lodos, etc., así como oxidante para el hierro y manganeso; para el control de olores y sabores, oxidación de sulfuros, remoción de amoníaco y color y oxidación de cianuros.

Tanto el cloro elemental gaseoso como el líquido reaccionan con el agua de la siguiente forma:



El ácido hipocloroso se ioniza par formar ion hipoclorito:

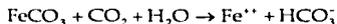


Las especies HOCl y OCl en el agua constituyen lo que se denomina cloro libre disponible o residual de cloro libre

Hierro y Manganeso

Tanto el hierro como el manganeso crean problemas en suministros de agua. En general estos problemas son más comunes en aguas subterráneas y en aguas del hipolimnio de lagos estratificados; en algunos casos también en aguas superficiales provenientes de algunos ríos y embalses.

El hierro existe en suelos y minerales principalmente como óxido férrico insoluble y sulfuro de hierro, FeS₂, pirita. En algunas áreas se presenta también como carbonato ferroso o siderita, la cual es muy poco soluble. Como las aguas subterráneas contienen cantidades apreciable de CO₂, producidas por la oxidación bacterial de la materia orgánica con la cual el agua entra en contacto, se pueden disolver cantidades apreciables de carbonato ferroso mediante la siguiente reacción:



de la misma manera que se disuelven carbonatos de calcio y magnesio. Sin embargo, los problemas con el hierro predominan cuando éste está presente en el suelo como compuestos

férricos insolubles. Si existe oxígeno disuelto en el agua, la solución del hierro de tales suelos con el agua no ocurre, aun en presencia de suficiente CO_2 , pero, en condiciones anaerobias, el hierro férrico es reducido a hierro ferroso y la solución ocurre sin ninguna dificultad.

Las aguas con hierro y manganeso al ser expuestas al aire, por acción del oxígeno, se hacen turbias e inaceptables estéticamente debido a la oxidación del hierro y manganeso solubles en Fe^{++} y Mn^{++} , los cuales forman precipitados coloidales. La tasa de oxidación es lenta y por ello el hierro y el manganeso solubles pueden persistir por algún tiempo en aguas aireadas; esto es generalmente válido para el hierro cuando el pH es menor de 6 y para el manganeso cuando el pH es menor de 9.



La conversión anterior del hierro al estado férrico remueve alcalinidad reemplazándola por CO_2 y puede tener un efecto pronunciado sobre el pH del agua. De la misma manera, puede presentarse un efecto similar por la oxidación del manganeso:



En aguas superficiales las concentraciones de hierro son generalmente bajas, menores de 1 mg/l. Las aguas subterráneas, por el contrario, pueden contener cantidades apreciables de hierro, comúnmente hasta 10 mg/l, raras veces hasta 50 mg/l en aguas anóxicas con baja alcalinidad.

El hierro en bajas concentraciones imparte sabores metálicos al agua. Hasta donde se conoce, el consumo humano de aguas con hierro no tiene efectos nocivos para la salud. En estudios de nuevas fuentes de abastecimiento de agua, especialmente de aguas subterráneas, la determinación de hierro es muy importante. Contenidos de hierro en exceso de 0.3 mg/l son objetables. La determinación del hierro es también útil en el control de la corrosión de tuberías de hierro fundido o de hierro galvanizado, en las que aguas corrosivas producen problemas de enrojecimiento o coloración.

El manganeso produce problemas de manchas en la ropa, similares a las del hierro, excepto que las manchas y los depósitos son más oscuros y con frecuencia más persistentes.

El manganeso existe en el suelo principalmente como dióxido de manganeso, el cual es muy insoluble en aguas que contienen dióxido de carbono. Bajo condiciones anaerobias, el manganeso en la forma de dióxido es reducido de una valencia +4 a una valencia +2 y se presenta en solución de la misma manera que con los óxidos férricos. Los problemas se acentúan porque el manganeso rara vez se presenta en forma aislada, pero sí por lo general en aguas de pozos.

El contenido de manganeso es normalmente bajo, en general menor de 0.2 mg/l, aunque en aguas subterráneas es común encontrar concentraciones hasta de 1 mg/l. Resulta

indispensable su eliminación cuando éste alcanza un nivel molesto, que puede ser tan bajo como 0.1 mg/l.

Tanto el hierro como el manganeso interfieren las operaciones de lavado, imparten tinciones indeseables a los muebles y aparatos sanitarios, causan incrustaciones en las tuberías y dificultades en los sistemas de distribución al soportar crecimientos de bacterias del hierro: *Crenothrix*, *Leptothrix*, *Galionella*, y del manganeso: *Sphaerotilus*, *Leptothrix*; también ocasionan una demanda alta de cloro.

El hierro y el manganeso, además, en bajas concentraciones, imparten sabores metálicos al agua. Hasta donde se conoce, el consumo de aguas con éstos elementos no tiene efectos nocivos para la salud.



Material, Equipo y Reactivos

- ✓ Espectrofotómetro, Spectronic 20
- ✓ Estuches para determinación de cobre, cloro, hierro y manganeso.



Procedimiento

Método colorimétrico instrumental usando el spectronic 20.

Calibración del espectrofotómetro

1. Encender el aparato y dejarlo calentar durante 30 minutos.
2. Colocar el aparato en la longitud de onda correspondiente para el parámetro a determinar:

Parámetro	Longitud de onda (nm)
Cloro libre	530
Cobre	560
Hierro	510
Manganeso	525

3. Colocar una celda vacía en el aparato y ajustar a infinito en la escala de absorbancia. (botón izquierdo)
4. Colocar una celda con agua sin reactivos en el aparato y ajustarlo a cero en la escala de absorbancia. (botón derecho)

Determinación de algunos constituyentes químicos del agua

Cobre

1. Llenar el frasco de vidrio con agua de muestra hasta los 10 ml.
2. Añadir una ampolleta de bicinonato a la muestra de agua y agitar para disolver.
3. Esperar 2 minutos. (Si la muestra se torna púrpura indica la presencia de cobre en el agua)
4. Calibrar el espectrofotómetro.
5. Introducir la muestra con el reactivo y leer en la escala de absorbancia del aparato.
6. Entrar con el valor del numeral 5 a la curva patrón y hacer la lectura en mg/l.
* La NOM-127-SSA1-1994 marca como límite máximo permisible 2.0 mg/l

Cloro libre

7. Llenar el frasco de vidrio con agua de muestra hasta los 10 ml.
8. Añadir una ampolleta de reactivo DPD a la muestra de agua y agitar para disolver.
9. Esperar 1 minuto. (Si la muestra se torna rosa indica la presencia de cloro en el agua)
10. Calibrar el espectrofotómetro.
11. Introducir la muestra con el reactivo y leer en la escala de absorbancia del aparato.
12. Entrar con el valor del numeral 11 a la curva patrón y hacer la lectura en mg/l.
* La NOM-127-SSA1-1994 marca como límite máximo permisible 0.5 - 1.0 mg/l después de un tiempo de contacto mínimo de 30 min.

Hierro

13. Llenar el frasco de vidrio con agua de muestra hasta los 10 ml.
14. Añadir el contenido de una ampolleta de fenantrolina a la muestra de agua y agitar para disolver.
15. Esperar 2 minutos. (Si la muestra se torna ¿purpura? indica presencia de hierro en el agua)
16. Calibrar el espectrofotómetro.
17. Introducir la muestra con el reactivo y leer en la escala de absorbancia.
18. Entrar con el valor del numeral 17 a la curva patrón y hacer la lectura en mg/l.
* La NOM-127-SSA1-1994 marca como límite máximo permisible 0.3 mg/l

Manganeso

19. Llenar el frasco de vidrio con agua de muestra hasta los 10 ml.
20. Añadir una ampolleta de amortiguador de citrato a la muestra de agua y agitar para disolver.
21. Esperar 10 minutos. (Si la muestra se torna violeta indica presencia de manganeso en el agua)
22. Calibrar el espectrofotómetro.
23. Introducir la muestra con el reactivo y leer en la escala de absorbancia.
24. Entrar con el valor del numeral 23 a la curva patrón y hacer la lectura en mg/l.
* La NOM-127-SSA1-1994 marca como límite máximo permisible 0.1 mg/l



Resultados

- ✓ Presente en forma tabular los resultados obtenidos.



Análisis de resultados

1. Comparar los resultados obtenidos con los límites máximos permisibles establecidos en la NOM-127-SSA1-1994, y en el caso de que sea necesario proponer el tren de potabilización para reducir los límites máximos permisibles.



Conclusiones

Las características químicas tienden a ser más específicas en su naturaleza que algunos de los parámetros físicos y por eso son más útiles para evaluar las propiedades de una muestra de inmediato.

- ✓ ¿El objetivo se cumplió total o parcialmente Explique.
- ✓ Explique la importancia sanitaria de 8 parámetros químicos que fija la NOM-127-SSA1-1994 que no incluyan los analizados en la práctica.



Actividades y problemas propuestos

- ✓ Investigue que constituyentes del agua pueden causar interferencia con el método colorimétrico instrumental usando en la práctica.

Microbiología y Bacteriología



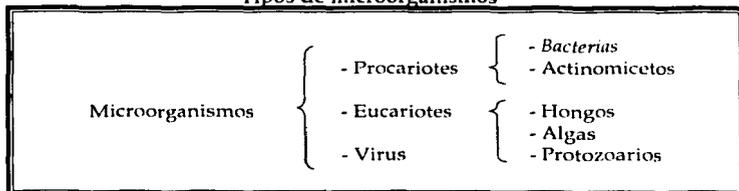
Una característica de las aguas naturales es que contienen una amplia variedad de microorganismos que forman un sistema ecológico balanceado. Los tipos y números de los diferentes grupos de microorganismos presentes están relacionados con la calidad del agua y otros factores ambientales. La mayoría de las especies que se encuentran en el agua natural son inocuas para el hombre. Sin embargo, ciertos microorganismos causan varias enfermedades y su presencia en el agua representa un problema de salud. Por esta razón, es necesario conocer los principios básicos de la microbiología y comprender también cómo participan los microorganismos en el control de la calidad del agua.

Por definición, los microorganismos son aquellos organismos muy pequeños para ser vistos a simple vista; un gran número de organismos acuáticos quedan comprendidos en esta categoría. Los organismos superiores se identifican como plantas o animales. Las plantas tienen paredes celulares rígidas, son fotosintéticas y no se mueven en forma independiente. Los animales tienen paredes celulares flexibles, requieren alimento orgánico y tienen movimiento independiente. La aplicación de tal diferenciación para identificar a los microorganismos es difícil debido a las estructuras simples de sus células y se ha convenido denominarlos protistas. Los protistas se dividen a su vez en dos tipos:

- Procariotes, aquellos con estructuras simples y pequeñas ($< 5 \mu\text{m}$) con núcleo rudimentario y un cromosoma. Su reproducción normalmente es por fisión binaria. Se incluyen en este grupo las bacterias, los actinomicetos y las algas verde-azules.
- Eucariotes, son células más grandes ($> 20 \mu\text{m}$) con una estructura más compleja y que contienen varios cromosomas. Su reproducción puede ser asexual o sexual y tienen ciclos de vida muy complejos. En esta clase de microorganismos se incluyen los hongos, la mayoría de las algas y los protozoarios.

Hay un grupo adicional de microorganismos: los virus, que no pueden ser clasificados en ninguna de las dos clases anteriores y, por tanto, se consideran por separado. La figura 4.3 muestra la clasificación de los microorganismos.

Figura 4.3
Tipos de microorganismos



Fuente: "Fundamentos de control de calidad del agua" de Tebbutt

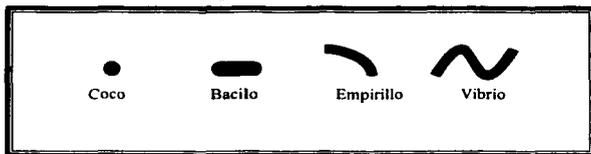
Las bacterias son las unidades básicas de vida de las plantas; son organismos unicelulares que pueden vivir como autótrofos o como heterótrofos y aprovechar el alimento soluble. Varían en tamaño de 0.5 a 5 μm . Su reproducción es por fisión binaria y el tiempo de generación de algunas especies puede tomar sólo 20 min en condiciones ambientales favorables. Algunas bacterias forman esporas resistentes que pueden permanecer latentes por períodos prolongados en condiciones ambientales hostiles pero que pueden reactivarse al retornar las condiciones favorables.

La mayoría de las bacterias se desarrollan en condiciones de pH más o menos neutras, aunque algunas especies pueden existir en un ambiente altamente ácido. Las bacterias desempeñan una función vital en los procesos naturales de estabilización y se utilizan ampliamente en el tratamiento de aguas residuales orgánicas. Se conocen alrededor de 1500 especies que se clasifican en relación con criterios tales como: tamaño, forma y agrupamiento de células; características de la colonia; reacción a la tinción; requerimientos de crecimiento; movilidad, reacciones químicas específicas, etc. Se encuentran formas aerobias, anaerobias y facultativas.

El término *facultativo* se aplica a aquellos organismos que tienen capacidad de vivir bajo más de un conjunto específico de condiciones ambientales; así por ejemplo, facultativos anaerobios son aquellos microorganismos que pueden sobrevivir tanto en presencia como en ausencia de oxígeno libre.

Morfológicamente los microorganismos son diversos. Sin embargo, es muy común encontrar en bacterias las formas esférica, cilíndrica y espiral. A las formas esféricas se les denomina *cocos* y si se asocian por parejas, diplococos; cuando constituyen una especie de racimos, estafilococos, y cuando adoptan la forma de una cadena, estreptococos; cuando los cocos adoptan forma ovalada se les llama cocobacilos. Las bacterias de conformación cilíndrica reciben el nombre de *bacilos*; si se presentan por parejas se les denomina diplobacilos y cuando ocurren en cadena, estreptobacilos. Las bacterias que adoptan una figura o forma espiral bien definida reciben el nombre de espirillas o espiroquetas; aquellas con forma más semejante a una coma se les califica como vibriones. La figura 4.4 muestra las características básicas de las bacterias.

Figura 4.4
Tipos de bacterias



Fuente: "Fundamentos de control de calidad del agua" de Tebbutt

Las aguas no potabilizadas pueden contener microorganismos patógenos (capaces de producir enfermedad). Las bacterias coliformes que, de por sí, no son patógenas se relacionan, a menudo, con los organismos patógenos y son un buen índice del grado de seguridad bacteriológica de un agua.

Las bacterias coliformes se encuentran normalmente en los intestinos de los humanos y de otros animales de sangre caliente, por lo que se descargan en gran número en las heces humanas o animales. En aguas contaminadas, las bacterias coliformes se encuentran en densidades que son proporcionales al grado de contaminación fecal. Cuando se tienen presentes miembros del grupo coliforme, también se pueden encontrar otras clases de microorganismos capaces de producir enfermedades.

Las bacterias coliformes son más resistentes que las bacterias patógenas o productoras de enfermedades; por lo tanto, si se encuentran ausentes del agua, hay una indicación de que el agua es bacteriológicamente segura para el consumo humano. Por otra parte, la presencia de bacterias coliformes es una indicación de que se pueden encontrar presentes también bacterias patógenas y de que el agua para bebida es insegura.

En nuestro país la NOM-127-SSA1-1994 establece los límites permisibles de calidad microbiológica que debe cumplir el agua para uso y consumo humano. Las características microbiológicas consideradas son: organismos coliformes totales y *E. coli* o coliformes fecales u organismos termotolerantes, los que deben estar ausentes o no detectables.

Las muestras rutinarias para los exámenes bacteriológicos deben recolectarse de puntos representativos en el sistema de distribución. El número de muestras que se examine, por mes, debe determinarse con base en el total de la población servida por el abastecimiento de agua. Con base en dicha población servida.

Cuando el agua ensayada no llega a satisfacer las normas bacteriológicas, se exige que se recolecten muestras diarias del mismo punto de muestreo hasta que se demuestre una calidad bacteriológica satisfactoria, cuando menos en dos días consecutivos.

La frecuencia con la que se tomen muestras de la fuente de abastecimiento y de las diversas etapas del proceso de potabilización del agua, depende de las condiciones de operación del sistema.

Práctica No. 3

Exámenes Bacteriológicos



Objetivo: Comprender porqué se utilizan los organismos coliformes como indicadores de la calidad del agua, y determinar los coliformes totales y fecales en diferentes muestras de agua.



Introducción

El análisis bacteriológico del agua es vital en la prevención de epidemias como resultado de la contaminación del agua. El examen bacteriológico de abastecimientos de agua no implica la búsqueda directa de los gérmenes patógenos. El ensayo se basa en el supuesto de que todas las aguas contaminadas con desechos humanos o animales son potencialmente peligrosas. Por consiguiente, el control sanitario del agua se hace con métodos bacteriológicos para determinar la presencia de contaminación fecal. Las pruebas para la determinación de patógenos no se usan rutinariamente debido a que detectarlos en diluciones altas es muy difícil y además se encuentran en número muy inferior al de las bacterias entéricas, las cuales tienen una tasa de mortalidad mucho más lenta.

El examen bacteriológico del agua usualmente involucra dos ensayos: la estimación del número de bacterias de acuerdo con el conteo total en placa y la determinación, más significativa, de la presencia o ausencia de miembros del grupo coliforme.

El grupo coliforme incluye a todas las bacterias en forma de bastoncillos que son aerobias o anaerobias facultativas, Gram negativas, no esporogéneas, que fermentan la lactosa con producción de gas en un medio de cultivo prescrito en un periodo de 48 horas, a 35°C.

El número de organismos coliformes en el excremento humano es muy grande; la excreción diaria por habitante varía entre 125×10^9 y 400×10^9 número de unidades formadoras de colonias. Su presencia en el agua es considerada como un índice de la contaminación fecal y por lo tanto de contaminación con organismos patógenos. En aguas residuales la relación de organismos coliformes con organismos entéricos patógenos es muy grande, del orden de $10^6/1$.

Los coliformes no solamente provienen del excremento humano sino también pueden encontrarse en los desechos de animales de sangre caliente, animales de sangre fría y en el suelo. Por lo tanto, la presencia de coliformes en aguas superficiales indica contaminación proveniente de residuos humanos, animales o erosión del suelo separadamente, o de una combinación de las tres fuentes. Aunque no es posible distinguir entre coliformes de origen humano o animal, existe un ensayo especial para diferenciar entre coliformes fecales y coliformes del suelo. Para el efecto, se usa un medio de cultivo EC para incubación a 44.5°C durante 24 hr. Este ensayo no reemplaza la técnica usual, pero es aplicable en estudios de

contaminación de ríos, fuentes de agua cruda, sistemas de tratamiento de aguas residuales y aguas para recreación.

Para determinar la presencia de bacterias del grupo coliforme se aceptan dos métodos: el método de los filtros de membrana y el método de los tubos múltiples de fermentación.

Técnica del Filtro de Membrana

Todos los organismos que producen una colonia oscura, generalmente verde púrpura con brillo metálico, después de incubación por 24 horas, en medio de cultivo ENDO son considerados miembros del grupo coliforme. El brillo metálico puede cubrir la colonia entera o aparecer solamente en la parte central o en la periferia. La cantidad ideal de muestra que se ha de filtrar debe ser aquella que produzca crecimiento de cerca de 50 colonias de coliformes y no más de 200. Cuando se filtran porciones de menos de 20 ml, la muestra debe diluirse y filtrarse un volumen mínimo de 30 ml. Los filtros preparados se colocan directamente sobre el medio nutriente y se incuban, normalmente, durante 24 horas, a 37° C ó 35° C.

El procedimiento consiste en hacer pasar a través de un filtro de membrana, aplicando vacío, un volumen medido de muestra de agua. A continuación, se coloca el filtro en un recipiente estéril y se incuba en contacto con un medio de cultivo, selectivo y diferencial. En cada punto del filtro en el que, durante la filtración, se capta una bacteria coliforme, se desarrollará una colonia de bacterias coliformes. Se enumeran las colonias bacterianas, practicándose un cálculo simple para determinar el número de colonias de bacterias en 100 ml de muestra.



Material, Equipo y Reactivos

Cristalería

- ✓ Cajas petri
- ✓ Matraz Kitasato
- ✓ Embudo de cristal

Material y Equipo

- ✓ Bomba de vacío
- ✓ Filtros
- ✓ Pinzas
- ✓ Cojín absorbente

Reactivos

- ✓ Medio de cultivo MFC
- ✓ Medio de cultivo ENDO



Procedimiento

En las pruebas bacteriológicas es de gran importancia la higiene de los equipos y la cristalería, motivo por el cual se esterilizan todos estos aditamentos, se trabaja en una mesa estéril, con un par de mecheros encendidos para esterilizar también el área de trabajo. Es importante el lavarse muy bien las manos al momento de realizar la prueba para evitar contaminar los filtros, así como hablar lo menos posible.

1. Medir 100 ml de agua de muestra.
2. Colocar el soporte del filtro en la boca del matraz Kitasato.
3. Utilizar unas pinzas estériles para sacar un filtro de su empaque y colocarlo sobre el soporte.
4. Colocar el embudo de vidrio en la parte superior del matraz Kitasato.
5. Conectar una bomba de vacío en la boquilla del matraz.
6. Agregar al embudo los 100 ml de agua medidos previamente.
7. Hacer funcionar la bomba de vacío hasta que toda el agua pase al matraz.
8. En una caja petri, previamente marcada en la parte inferior, añadir sobre el cojín absorbente el medio de cultivo correspondiente:

Medio de cultivo { ENDO si se trata de coliformes totales
MFC si se trata de coliformes fecales

9. Con las pinzas estériles retirar el filtro del equipo de filtración, y colocarlo en la caja petri, previamente marcada y con su respectivo medio de cultivo, con la cuadrícula hacia arriba.
10. Cerrar la caja petri y colocarla en la incubadora a 35° C, con el cojín absorbente y el papel filtro hacia arriba.

A las 24 horas de haber hecho la filtración se debe revisar las cajas petri para ver si hay formaciones de colonias de coliformes.



Resultados

- ✓ 24 horas después de haber hecho la filtración, observar las cajas petri y contar las colonias que se formaron, en caso de que así sea.



Análisis de resultados

1. Compare los resultados obtenidos con los propuestos en la Norma Oficial Mexicana NOM-127-SSA1-1994 y haga las observaciones pertinentes.



Conclusiones

El conteo con filtro membrana es un conteo real y no estadístico, a diferencia del ensayo con tubos múltiples; los dos resultados no son iguales y generalmente se obtiene una recuperación más alta de coliformes en el conteo con filtro membrana; además, el conteo en filtro membrana puede hacerse a las 24 horas y no es necesario esperar las 48 horas requeridas en el ensayo de tubos de fermentación, en su etapa presuntiva.

La técnica del filtro membrana puede usarse con mucho éxito en el análisis de aguas salinas y otras, sin embargo, tiene limitaciones en el análisis de aguas turbias o aguas con proporciones altas de bacterias no coliformes, debido a que el filtro puede obstruirse.

- ✓ Revise los objetivos y realice las conclusiones correspondientes.



Actividades y problemas propuestos

1. Describa como se realiza la técnica de tubos múltiples de fermentación.

Coagulación y Floculación



La sedimentación se usa para remover partículas suspendidas hasta de 50 μm , lo que depende de su densidad, pero con partículas más pequeñas, que tienen velocidades de sedimentación muy bajas, no es factible utilizar la sedimentación para removerlas.

Cuadro 4.2
Velocidades de sedimentación ($\gamma = 2.65$) a una temperatura de 10° C

Tamaño de la partícula en μm	Velocidad de sedimentación en m/h
1000	6×10^2
100	2×10^1
10	3×10^{-1}
1	3×10^{-3}
0.1	1×10^{-5}
0.01	2×10^{-7}

Del cuadro 4.2 se puede observar que para las partículas más pequeñas las velocidades de sedimentación son virtualmente inexistentes. Si se logra aglomerar las partículas coloidales, finalmente aumentan de tamaño hasta un punto tal que hace posible su remoción por sedimentación.

Cuando realmente el coloide es afín al medio de dispersión, constituido por el agua, se le clasifica como Coloide Hidrofílico; y si es repelente o adverso al agua será Coloide Hidrofóbico. Estos últimos como arcillas, principales causantes de la turbiedad, no reaccionan con el agua, ni químicamente con el coagulante.

En una suspensión coloidal se verifican dos efectos sobre los coloides:

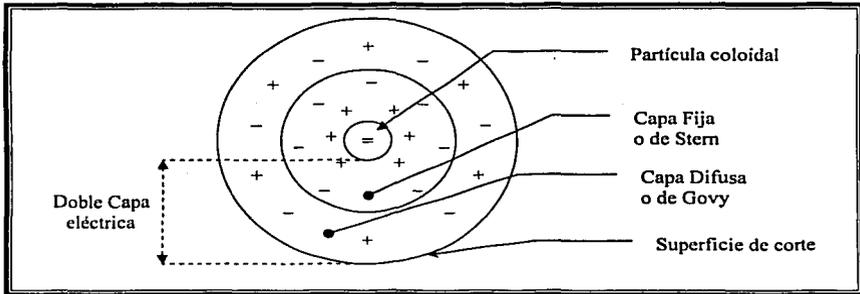
1. De repulsión, dada por la carga eléctrica del coloide.
2. De atracción, debido al efecto de Vander Waals: $F = \frac{(m_1)(m_2)}{d^2}$

Una suspensión coloidal no tiene una carga eléctrica neta, y la carga primaria del coloide tiene que contrabalancearse en el sistema con iones de carga opuesta, lo que define una doble capa eléctrica. La carga primaria del coloide puede combinarse con el pH, de lo que se deduce que dicha carga es debida a iones H^+ ó OH^- .

Se genera una repulsión mutua de las cargas electrostáticas de la superficie, pero se puede lograr la desestabilización con la adición de iones de carga opuesta para reducir las fuerzas repelentes y permitir que las fuerzas de atracción molecular se hagan dominantes. En este contexto es de importancia el valor del potencial Zeta, que es el potencial eléctrico en el borde del aglomerado de partículas. En teoría, un potencial Zeta de cero debería ofrecer las mejores condiciones para la coagulación. Sin embargo, cuando se trata con las suspensiones heterogéneas que se encuentran en el agua, parece que hay muchos factores que superar y las mediciones de este potencial no siempre tienen mucho valor en circunstancias operacionales.

La estabilidad de las suspensiones coloidales hidrofóbicas se explica por la forma en que actúan las diferentes fuerzas sobre las partículas, como se muestra en la Figura 4.5

Figura 4.5
Fuerzas actuantes sobre las partículas en suspensiones coloidales hidrofóbicas



Fuente: "Fundamentos de control de la calidad del agua" de Tebbutt y modificada por el autor.

El potencial Zeta es entonces la diferencia de potencial entre la superficie que separa la parte fija y la móvil de las dos capas, y el seno del líquido, y depende del espesor de la doble capa. Su valor determina la magnitud de las fuerzas electrostáticas de repulsión entre las partículas y su probabilidad de adhesión.

Para lograr una remoción de los coloides, se deben agrupar y para ello hay que desestabilizar el sistema, para que actúen las fuerzas de atracción, generalmente reduciendo la capa móvil o difusa y en consecuencia el potencial Z. Esta desestabilización se realiza agregando un "sol" de carga contraria a la del coloide, o también un electrolito que contrarreste la carga del coloide. Esto es propiamente la *Coagulación* y el reactivo químico que se utiliza es el *Coagulante*.

Con la floculación de suspensiones coloidales diluidas sólo se tienen colisiones esporádicas y la aglomeración no ocurre en grado importante. En tales circunstancias la clarificación se logra de una mejor manera con la coagulación química seguida por floculación y sedimentación. Antes de que la floculación pueda efectuarse, es esencial dispersar el coagulante, cuya dosis normal es de 30 a 100 mg/l. Esto se lleva a cabo en una cámara de mezclador rápido con una turbina de alta velocidad o agregando el coagulante en un punto de turbulencia hidráulica.

El coagulante es una sal metálica que reacciona con la alcalinidad del agua para producir un floculo insoluble de hidróxido del metal que incorpore a las partículas coloidales. Mediante la floculación de esta fina precipitación se producen sólidos sedimentables.

Como coagulantes normalmente se utilizan sales minerales polivalentes, y su efectividad es mayor mientras mayor es su valencia.

Catión	Capacidad de neutralizar	Valencia
Na ⁺	1	+
Ca ⁺² , Mg ⁺²	50	++
Al ⁺³ , Fe ⁺³	1000	+++

El uso de las sales de Aluminio y de Hierro es lo mas común. Sin embargo estos coagulantes, por la hidrólisis que experimentan, pueden modificar el pH y la conductividad del agua, y en fuertes dosis generan mucho lodo, razón por la cual surge la alternativa de utilizar floculantes o una combinación.

- Principales Coagulantes:

✓ Sales de Aluminio

Sulfato de Aluminio	$Al_2(SO_4)_3$
Aluminato de Sodio	$NaAlO_2$
Cloruro de Aluminio	$AlCl_3$
Policloruro de Aluminio	(PAC)

✓ Sales de Hierro

Sulfato Ferroso	$FeSO_4$
Sulfato Férrico	$Fe_2(SO_4)_3$
Cloruro Férrico	$FeCl_3$

- Principales Floculantes:

- ✓ Polielectrolitos (aniótricos, cationicos, no iónicos)
- ✓ Arcillas adsortivas (ej. bentonita)
- ✓ Sílice activada
- ✓ Carbon activado en polvo
- ✓ Cal $Ca(OH)_2$

En el caso de concentraciones relativamente bajas de sólidos suspendidos, la coagulación ocurre cuando se entrelazan para formar productos de hidrólisis insolubles que son el resultado de una reacción entre el coagulante y el agua. En esta "coagulación de barrido", la naturaleza de la materia suspendida original es de poca importancia y son las propiedades del producto de hidrólisis las que controlan la reacción.

En concentraciones muy bajas de materia coloidal, la formación del floculo es difícil y se pueden requerir ayudas de coagulantes(co-coagulantes). Estos pueden ser simples aditivos como partículas de arcilla que forman núcleos por precipitación del hidróxido, o polielectrolitos, polímeros sintéticos pesados de cadenas largas, que al agregarse en pequeñas cantidades (< 1 mg/l) promueven la aglomeración y fortalecen el floculo.

Práctica No. 4

Coagulación - Sedimentación



Objetivo: Realizar la "Prueba de Jarras", observando las operaciones y procesos unitarios que se llevan a cabo en una planta de clarificación del agua.



Introducción

Muchas impurezas en el agua natural y en la residual están presentes como sólidos coloidales que no se sedimentan. Su remoción se puede lograr si se promueve la aglomeración de esta clase de partículas por floculación, con o sin el uso de un coagulante, seguida por procesos de sedimentación o flotación.

La Coagulación se define como el proceso de desestabilización de la carga eléctrica de coloides y sólidos suspendidos en el agua, incluyendo bacterias y virus; mediante el uso de un coagulante, para propiciar su aglutinamiento y facilitar su posterior remoción por gravedad.

La Floculación es la parte de la coagulación en la cual se forman los flóculos de coloides desestabilizados para su posterior sedimentación; o también; es el proceso en el cual se estimula la coalescencia de las partículas o coloides neutralizados para formar grumos compactos sedimentables.

El agitado del agua por mezclado hidráulico o mecánico causa gradientes de velocidad cuya intensidad controla el grado de floculación producida. El número de colisiones entre partículas está relacionado directamente con el gradiente de velocidad y es posible determinar la potencia que se requiere para dar un grado particular de floculación.

El tiempo de retención normal en los tanques de floculación es de 30 a 40 min. Para la floculación mecánica la profundidad del tanque es equivalente a 1.5 ó 2 diámetros de paleta y el área de las paletas es de 10 a 25% del área transversal del tanque.

El coagulante más común para el tratamiento de agua es el sulfato de aluminio (Alumbre) $Al_2(SO_4)_3$. Cuando se usa alumbre comercial se encuentra que:

1 mg/l de alumbre destruye 0.5 mg/l de alcalinidad	}	ambos como $CaCO_3$
produce 0.44 mg/l de bióxido de carbono		

Así, para una coagulación satisfactoria debe haber suficiente alcalinidad que reaccione con el alumbre y también para dejar un pH adecuado en el agua. La solubilidad del $Al(OH)_3$ depende del pH, la cual es baja entre un pH de 5 y de 7.5; fuera de estos límites la coagulación con sales de aluminio no tiene éxito.



Material, Equipo y Reactivos

Cristalería

- ✓ Vasos de precipitados
- ✓ Pipetas graduadas
- ✓ Tubos de ensayo
- ✓ Probetas graduadas

Material y Equipo

- ✓ Aparato de Jarras
- ✓ Turbidímetro
- ✓ Papel Tornasol

Reactivos

- ✓ Sulfato de Aluminio



Procedimiento

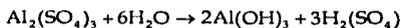
En esta prueba se ejemplificará la remoción de partículas suspendidas, para lo cual se cuenta con una muestra de agua mezclada con lodo bentonítico, (previamente elaborada) con la cual se ejemplifica de manera adecuada el hecho de tener un agua con alto contenido de turbiedad.

1. Tomar seis muestras de esta agua en seis vasos de precipitados de un litro cada una, aforar con la ayuda de una probeta, ya que ésta nos proporciona volúmenes exactos.
2. Posteriormente preparar seis muestras de sulfato de aluminio, $Al_2(SO_4)_3$ el cual sirve como coagulante, en dosis crecientes (por ejemplo: 0.5, 1, 1.5, 2, 2.5, 3ml)

Este compuesto permitirá la aglutinación de partículas disueltas en el agua formando conglomerados más grandes denominados "flóculos".

3. Colocar los vasos de precipitados en el aparato de Jarras, el cual consta de un agitador mecánico de 6 paletas con fondo que se puede iluminar para observar bien la formación de los flóculos en el transcurso de la prueba.
4. Ya colocadas las muestras de agua en el aparato de Jarras vertir en ellas las dosis crecientes de sulfato de aluminio, tratando de que este vertido sea simultáneo en todos los vasos.

Reacción del Sulfato de aluminio en agua:



5. Enciender el aparato de Jarras a una velocidad de rotación de las paletas de 100 revoluciones por minuto, durante un minuto; para que se inicie el proceso de floculación.

A éste paso se le denomina "Mezcla rápida"; es en esta parte del proceso donde el coagulante inicia con el rompimiento de la doble capa eléctrica que envuelve las partículas disueltas y permite su aglutinación.

6. Al término del minuto, cambiar la velocidad del aparato a 40 revoluciones por minuto y déjelo durante 15 minutos; esto para evitar el rompimiento de los flóculos recién formados y favorecer el incremento en sus dimensiones. A éste paso se le denomina "Mezcla lenta".
7. Una vez transcurridos los 15 minutos de mezcla lenta, detener totalmente el funcionamiento de las paletas, y retirar los vasos con las muestras; para propiciar la sedimentación de los flóculos formados.
8. Durante 15 minutos deje que dicha sedimentación tenga efecto, tratando de no perturbar la precipitación de las partículas floculentas.

A este nivel de la prueba el agua mostrará cambios considerables en su apariencia, ya que se observará mucho mas transparente.

9. Una vez que la gravedad hizo su trabajo proceder a realizar mediciones de los siguientes parámetros: color, pH y turbiedad.

Determinación del Color

Para la medición de color, utilice el colorímetro, que es un instrumento que nos permite medir el color mediante la comparación de una muestra con un disco de platino-cobalto, para lo cual, tomar con ayuda de una pipeta tomar una muestra de cada uno de los vasos, tomando en cuenta que el muestreo debe ser a dos tercios de la base del vaso o a un tercio de la superficie libre del agua, para que sea una muestra representativa, así como haciendo la menor turbulencia posible.

- A) Una vez obtenida la muestra verter en un tubo de ensayo y colocarlo en el colorímetro.
- B) Tomar un poco de agua destilada en otro tubo de ensayo para hacer la comparación con el disco.
- C) Girar el disco hasta que ambos tubos muestren el mismo color.
- D) Observar en la parte inferior del colorímetro la escala en la cual se encuentra.

Determinación del pH

- A) Tomar un poco de papel tornasol y sumergirlo en el agua de la muestra.
- B) Comparar posteriormente con la cinta correspondiente verificando así el pH de la muestra.

Determinación de la Turbiedad

Para obtener el parámetro de la turbiedad se puede utilizar un turbidímetro o nefelómetro, el cual es un aparato que hace pasar un haz de luz en una porción del agua a observar y mide que tanta luz es absorbida por la muestra, de esta manera podemos tener una buena idea de la cantidad partículas suspendidas en ella.

- A) Proceder a tomar una muestra de cada uno de los vasos de la misma forma en que se tomó para la determinación del color, y colocar en una celda especial, perfectamente limpia y sin huellas digitales.
- B) Calibrar el aparato para el tipo de muestra con que contamos, ya que el turbidímetro cuenta con un amplio rango para la determinación de turbiedad, así que se toma una celda que se asemeje al tipo de muestra que se va a analizar, se limpia perfectamente y se coloca en el orificio correspondiente del aparato, y se ajusta la aguja indicadora, hasta el rango correspondiente. Una vez hecho esto ya se puede introducir la celda con la muestra para analizar, estando esta perfectamente limpia.
- C) Proceder a leer directamente en la escala del aparato la turbiedad.

Estos procedimientos deben ser realizados para los diferentes vasos que contengan las diferentes concentraciones de coagulante.



Resultados

- ✓ Una vez obtenidas las diferentes características de los ensayos realizados vaciar los datos en el siguiente cuadro:

Muestra	Dosis de Coagulante (ml)	Color (UC)	pH	Turbiedad (UTN)

- ✓ Preparar algunas curvas que representen el comportamiento del coagulante y sus efectos en el agua a potabilizar.



Análisis de resultados

1. Obtener la dosis óptima de coagulante para cumplir con la norma oficial mexicana NOM-127-SSA-1994.



Conclusiones

✓ ¿El objetivo se cumplió total o parcialmente? Explique.



Actividades y problemas propuestos

1. La prueba de jarras realizada en la práctica es una versión reducida, describa la prueba completa para lograr la clarificación del agua.

Contaminación del Agua



TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

5

Capítulo cinco

Muestreo



Muestreo es el proceso mediante el cual se obtiene una porción representativa del agua en estudio. Dependiendo de los objetivos del estudio y de las características del agua, se define el programa de muestreo que nos aproxime lo más posible a tomar los datos verdaderos y reales. Para obtener un indicio verdadero de la naturaleza es necesario asegurarse primero que la muestra es representativa de la fuente. Satisfecho este requisito, se deben desarrollar los análisis apropiados mediante procedimientos estándares y comparar los resultados por análisis diferentes.

La recolección de una muestra representativa de una fuente, de calidad uniforme representa pocos problemas y la toma de una sola muestra es suficiente. También lo es una muestra aislada si el propósito es simplemente saber de inmediato si se ha cumplido con ciertos límites particulares. Sin embargo, la mayoría de las aguas crudas y aguas residuales son muy variables tanto en calidad como en cantidad y es poco probable que con una muestra aleatoria se obtenga un cuadro significativo de la naturaleza de la fuente.

Para evitar esta situación, es necesario obtener una muestra compuesta por todas las muestras tomadas a intervalos conocidos durante cierto período y en proporción al caudal. Al mezclar las muestras individuales en proporción al caudal en el momento del muestreo, se obtiene una muestra compuesta integrada. Se aplican procedimientos similares cuando se toman muestras de corrientes y ríos.

Cuando se diseña un programa de muestreo es fundamental que se especifique claramente su objetivo, por ejemplo, estimar concentraciones máximas o medias, destacar cambios o tendencias, estimar percentiles o tener una base para cobrar por cada efluente industrial. También se debe especificar el margen de error tolerable; y es necesario tener en mente los recursos disponibles para la toma de muestras y el análisis, pues se puede encontrar que reducir la incertidumbre de los resultados podría requerir doble número de muestras, lo que haría costoso el análisis. Por tanto, es importante establecer un nivel práctico y aceptable en las variaciones de los resultados con base en el uso deseado.

En forma ideal, todos los análisis se deben practicar inmediatamente después de la recolección de las muestras, ya que entre más rápido se hagan, es más probable que los resultados sean una evaluación verdadera de la naturaleza real del líquido *in situ*. Los análisis deben efectuarse en el campo o tratar la muestra adecuadamente para fijar las concentraciones de los materiales inestables. Los cambios que ocurren al transcurrir el tiempo en la composición de una muestra se pueden retardar si se almacena a baja temperatura (4°C); también se recomienda no exponerla a la luz. Entre más contaminada esté el agua es más corto el tiempo disponible para la toma de muestras y el análisis si se quieren evitar errores significativos.

Práctica No. 1 Estudio de calidad del agua



Objetivo general: Comprender las actividades y los procesos que se tienen que efectuar para la realización de un estudio de calidad del agua en campo y en laboratorio. Determinar los principales parámetros físicos, químicos y microbiológicos, para cuantificar el índice de calidad del agua (ICA) y diagnosticar los niveles de contaminación del agua cuerpo de agua.

Objetivos específicos:

1. Determinar los diversos parámetros físicos, químicos y microbiológicos en las muestras provenientes de tres estaciones de muestreo del río Magdalena en la Delegación Magdalena Contreras.
2. Cuantificar el ICA para las tres estaciones y otorgar un juicio o dictamen sobre la calidad del agua en la zona muestreada.



Introducción

Definiremos “muestreo” como las actividades desarrolladas para obtener volúmenes de agua en un sitio determinado, de tal manera que sean representativos, con el propósito de evaluar características físicas, químicas, y/o bacteriológicas.

Una *muestra* es un pequeño volumen de agua que representa el total de donde se toma. De tal forma que una *muestra simple*, son muestras aisladas que se toman en diversos sitios o en el mismo pero a diferentes tiempos y se analizan por separado; mientras que una *muestra compuesta* esta formada por varias muestras simples en un solo volumen para analizar. Las muestras compuestas se preparan en el laboratorio y son proporcionales al gasto en el momento del muestreo.

Selección de Puntos de Muestreo

La selección de puntos de muestreo debe considerarse individualmente para cada estudio. Considerando desde el gabinete los focos principales de contaminación, sentido de escurrimientos, caudales, distancias, etc., para poder definir el numero y la ubicación de los sitios de muestreo. Debe considerarse también la facilidad de obtener muestras en toda época del año o por lo menos dentro del lapso de desarrollo de la investigación.

A partir del conocimiento general de la zona y la recopilación de toda la información existente, es necesario realizar un recorrido de la corriente, con el fin de verificar en el campo la información obtenida.

Durante el recorrido se deben realizar las siguientes actividades:

1. Hacer anotaciones en los planos recabados y elaborar croquis complementarios de las descargas municipales, industriales, canales de retorno de riego y retorno de

- hidroeléctricas, anotando su acceso al sitio de vertido en el cuerpo de agua receptor y dimensiones del canal o tubería.
2. Anotar los efluentes que recibe la corriente o lago en estudio, así como el acceso a la confluencia y las características principales de la misma.
 3. Hacer croquis y anotaciones de los canales de salida, así como su ubicación y acceso al sitio de su localización.
 4. Anotar las presas o represas que se localizan en la corriente, cambios de morfología considerables como: rápidos, zonas de meandros y cambios de sección.

Las estaciones de muestreo y aforo se fijarán de acuerdo al siguiente criterio:

- a) Se muestrearán todas las descargas de aguas residuales y efluentes que lleguen al cuerpo en estudio.
- b) Sobre la corriente se fijarán las estaciones de muestreo, antes y después de cada una de las situaciones:
 - i. Descarga de agua residual.
 - ii. Entrada de corrientes tributarias.
 - iii. Salida de canal.
 - iv. Presa, represa, mar o sitio de descarga.
 - v. Cambios fuertes de sección.
 - vi. Caídas o cascadas.
 - vii. Zonas cubiertas de lirio.

Además, se deberá instalar, a juicio de la persona encargada, estaciones intermedias en los tramos de longitudes muy largas, donde no suceda ningún fenómeno de los antes descritos.

Envases para toma de muestra.

Para análisis bacteriológicos se utilizan frascos de vidrio de boca ancha con tapón esmerilado o tapa roscada, o frascos de polipropileno; resistentes a esterilización en estufa o autoclave o inclusive bolsas estériles con cierre hermético y capacidad de 125 ó 250 ml. Se le debe añadir 0.1 ml de solución de tiosulfato de sodio al 10% con el fin de contrarrestar la acción del cloro que pudiera contener el agua.

Mientras que para análisis fisicoquímicos se usan envases de plástico o vidrio inertes al agua de 2 L. de capacidad como mínimo, con tapones del mismo material que proporcionen cierre hermético.

La preparación de envases para toma de muestras se realiza de diferente manera para cada tipo de muestra:

Para análisis bacteriológico

- ✓ Toma de muestra de agua sin cloro residual.- Deben esterilizarse frascos de muestreo en estufa a 170° C, por un tiempo mínimo de 60 minutos o en autoclave a 120° C durante 15 min. Antes de la esterilización, con papel resistente a ésta, debe cubrirse en forma de capuchón el tapón del frasco.

- ✓ Toma de muestra de agua con cloro residual.- Deben esterilizarse frascos de muestreo en estufa a 170° C, por un tiempo mínimo de 60 minutos o en autoclave a 120° C durante 15 min, los cuales deben contener 0.1 ml de tiosulfato de sodio al 3% por cada 125 ml de capacidad de los mismos. Debe colocarse un papel de protección al tapón del frasco.

Para análisis físicoquímicos.- Los envases deben lavarse perfectamente y enjuagarse a continuación con agua destilada o desionizada.

Procedimientos para Toma de Muestra

1. Extracción directa

Se refiere a la toma de la muestra con un muestreador. El cual consiste en un cilindro de material resistente a la corrosión como lo es el acero inoxidable, o plástico con tapón de hule por ambos lados atado por uno de los extremos a un cable resistente en el cual va insertado una pecunia plomada llamada mensajero, este muestreador se introduce al cuerpo de agua abierto en ambos lados y una vez que se encuentra a la profundidad deseada, se impulsa el mensajero con fuerza desde la superficie, el cual al golpear la tapa superior acciona un mecanismo que cierra ambas tapas del muestreador. Este muestreador sirve para tomar muestras a profundidad.

Cuando la profundidad del cuerpo de agua es muy pequeña y no se puede tomar la muestra con el muestreador antes descrito, se recomienda tomar la muestra directamente en el fracaso donde se va a almacenar la muestra. Es muy conveniente enjuagar el frasco dos o tres veces con el agua que se va a muestrear, en el caso de muestras para oxígeno disuelto, bacteriología y grasas y aceites, nunca se debe hacer este tipo de enjuague.

2. Muestreadores automáticos

El uso de equipo automático para el muestreo de aguas de desecho, hace posible el obtener económicamente las muestras en intervalos y lugares en donde la práctica del muestreo no puede realizarse.

Existen diferentes tipos de muestreadores, dependiendo del tipo y forma del muestreo para el cual se destinen. Estos equipos están contruidos de materiales resistentes a la corrosión y que no interfieren con los análisis que se van a efectuar. La mayoría de ellos succionan el agua mediante una pequeña bomba y da depositan en uno o varios envases. Algunos de estos muestreadores disponen de controles que permiten regular la velocidad y frecuencia de la extracción de muestras, otros toman muestras simples a profundidad o muestras compuestas, ya sean estas superficiales o profundas.

Los muestreadores automáticos comerciales varían considerablemente en su principio de operación y en sus características particulares y capacidades, pero pueden clasificarse en dos tipos; los que producen tomas múltiples de muestras de recipientes separados y aquellos que obtienen una muestra compuesta formada por pequeñas porciones tomadas sobre un ciclo de operación.

3. Muestreadores múltiples y compuestos

Los muestreadores múltiples proporcionan un número de tomas separadas de muestras en recipientes separados. Estas muestras se toman a intervalos regulares o en tiempos determinados según el flujo, siendo examinados por separado o combinados para formar una muestra compuesta. Si la variación de la corriente se conoce, la composición es hecha proporcionalmente permitiendo que un compuesto verdadero sea obtenido de una muestra de volumen.

Los muestreadores compuestos proporcionan una muestra simple, formada por un gran número de incrementos, tomados a intervalos de pre-cronometraje o en determinados intervalos de flujo. La muestra representa idealmente el promedio de composición sobre el período de muestreo pero no da información sobre la extensión de la variación que pueda ocurrir. La muestra puede extraerse de una corriente principal por medio de una bomba. Las bombas de desplazamiento constantes simples de tipo peistáltico son ampliamente usadas pero se usan también pequeñas bombas de combustible automotriz. Las muestras pueden acumularse como una muestra compuesta o puede desviarse para separar a los recipientes por valvulas selenoides operadas continuamente por un distribuidor de movimiento rotatorio longitudinal o moviendo las botellas de muestras en una tabla rotatoria.

El muestreador de oxígeno disuelto, contiene en su interior una botella de 300 ml, se sumerge en el punto de muestreo. Al llenarse el muestreador se saca del cuerpo de agua y se extrae la botella, previa colocación del tapón. Inmediatamente se procede a medir la temperatura y la fijación del oxígeno en el campo para evitar pérdidas por acción biológica.

El procedimiento para recolección de muestras bacteriológicas es el siguiente:

- a) Introducir el frasco aproximadamente a 30 cm bajo la superficie de la corriente.
 - b) Destapar el frasco dentro del agua; la boca del envase deberá quedar en sentido contrario de la corriente, para evitar que el agua toque primero las manos y después entre a la botella.
 - c) Una vez que ocupó el volumen correspondiente del frasco taparlo dentro del agua.
- Al muestrear se debe llenar el recipiente a $\frac{3}{4}$ partes de su capacidad, pues una cantidad menor sería insuficiente y una mayor disminuiría el espacio de aire necesario para homogeneizar la muestra y preservar las condiciones microbiológicas reales.

Manejo de Muestras

Las muestras tomadas deben colocarse en una hielera con bolsas refrigerantes o bolsas de hielo para su transporte al laboratorio, de preferencia a una temperatura entre los 4 y 10°C, cuidando de no congelar las muestras.

1. Muestras de oxígeno disuelto. Después de fijarlas, evitar una exposición a la luz solar transportándolas en cajas adecuadas para evitar pérdidas de muestra por movimientos. Mantenerlas en refrigeración.
2. Muestras para análisis fisicoquímicos. Cuidar que las botellas estén perfectamente cerradas para evitar pérdida de muestra y refrigeradas adecuadamente.

3. Muestras para análisis bacteriológicos. Para evitar los cambios producidos por la proliferación de organismos, las muestras se deberán mantener en la oscuridad (envueltas en papel aluminio) y a baja temperatura hasta que se analicen.

Las orientaciones típicas usadas para preservar las muestras son: refrigeración, congelación, adaptación del pH, estabilización química de sustancias específicas y el uso de bactericidas. El cuadro 5.1 muestra algunas recomendaciones para el muestreo de aguas.

Cuadro 5.1
Recomendaciones para el muestreo de aguas

Parámetro	Volumen requerido (ml)	Tipo de envase	Preservativo	Tiempo máximo de almacenamiento
Acidez	100	P, V	Refrigeración a 4°C	24 horas
Alcalinidad	100	P, V	Refrigeración a 4°C	24 horas
DBO	1000	P, V	Refrigeración a 4°C	6 horas
DQO	50	P, V	H ₂ SO ₄ a pH 2	7 días
Cloruros	50	P, V	No requiere	7 días
Cloro residual	150	P, V	Refrigeración a 4°C	24 horas
Color	50	P, V	Refrigeración a 4°C	24 horas
OD	300	V	Determinar en el lugar de muestreo	No almacenar
Dureza	100	P, V	Refrigeración a 4°C	7 días
Fósforo total	100	P, V	Refrigeración a 4°C	24 horas
Sólidos todas formas	200	P, V	Refrigeración a 4°C	7 días
Sulfatos	100	P, V	Refrigeración a 4°C	7 días
Temperatura	1000	P, V	Determinar "in situ"	No almacenar
Olor	200	V	Refrigeración a 4°C	24 horas
Turbiedad	100	P, V	Refrigeración a 4°C	7 días
Análisis bacteriológicos	100	P, V	Refrigeración a 4°C	6 horas
Sustancias activas al azul de metileno	250	P, V	Refrigeración a 4°C	24 horas
Nitrógeno amoniacal	400	P, V	Refrigeración a 4°C	24 horas
Nitratos	100	P, V	Refrigeración a 4°C	24 horas
Nitritos	50	P, V	Refrigeración a 4°C	
Grasas y aceites	1000	V	Refrigeración a 4°C	24 horas
pH	25	P, V	Determinar "in situ"	6 horas

Fuente: Tesis "Estudios de calidad del agua", Flora Muñiz Arcila, y modificada por el autor.

P: plástico
V: vidrio

Es prácticamente imposible una preservación completa de las muestras, y las técnicas de preservación sólo pueden retardar los cambios químicos o biológicos que inevitablemente, se producen después de que se toma la muestra. En el informe de laboratorio se debe indicar el tiempo transcurrido entre el muestreo y el análisis y el tipo de agente empleado como preservativo.



Desarrollo

Una vez elegidos los sitios de muestreo proceder a realizar las muestras correspondientes de cada estación y determinar los parámetros correspondientes de la siguiente forma:

Oxígeno disuelto y DBO



Material, equipo y reactivos

Cristalería

- ✓ Frascos Winkler (16 por estación)
- ✓ Vasos de precipitados
- ✓ Pipetas
- ✓ Bureta
- ✓ Probetas

Reactivos

- ✓ Agua destilada
- ✓ Solución amortiguadora
- ✓ Sulfato de Magnesio
- ✓ Cloruro de Calcio
- ✓ Cloruro Férrico
- ✓ Sulfato Manganoso
- ✓ Alkali - Yoduro - Nitruro
- ✓ Ácido Sulfúrico concentrado
- ✓ Tiosulfato de Sodio (0.025 N)
- ✓ Almidón

Equipo

- ✓ Aireador
- ✓ Incubadora
- ✓ Parrilla agitadora



Procedimiento

La DBO_5 se obtiene como el cociente de la diferencia de oxígeno disuelto en el agua de muestra en el primer día menos el oxígeno disuelto al quinto día, sobre el porcentaje de dilución (en forma decimal) al cual se realiza la prueba.

$$DBO_5 = \frac{OD_{inicial} - OD_{final}}{\% \text{ de dilución}}$$

Para la elaboración del agua de dilución se requiere airearla hasta la saturación y agregar 1 ml de cada uno de los nutrientes por cada litro de agua de dilución. En la práctica se correrá la prueba de DBO para 2 diluciones por cada estación de muestreo. Por lo tanto, se requiere preparar 4 litros de agua de dilución.

Para formar 4 litros de agua de dilución

1. Aforar 4 litros de agua destilada, colocar en un recipiente y agregar:

- ✓ 4 ml de solución amortiguadora.
- ✓ 4 ml de Sulfato de Magnesio
- ✓ 4 ml de Cloruro de Calcio
- ✓ 4 ml de Cloruro Férrico.

2. Mezclar perfectamente.

3. Instalar el aireador en el recipiente conteniendo el agua destilada con nutrientes.

Para preparar las seguir el procedimiento que se indica a continuación:

4. Con ayuda de una probeta, colocar en un vaso de precipitados las cantidades correspondientes según sea el caso:

Estación	Dilución (%)	Volumen de muestra (ml)	Volumen de agua de dilución (ml)
1	75	750	250
	90	900	100
2	5	50	950
	10	100	900
3	1.0	10	990
	2.5	25	975

5. Llenar 2 frascos Winkler de 300ml con cada una de las diferentes diluciones, rotular (con fecha y % de dilución)

6. Guardar uno de cada dilución en la incubadora a $35^{\circ}C$, para su análisis posterior.

7. Con los 2 frascos Winkler restantes se determinará el oxígeno disuelto inicial.

Determinación del Oxígeno disuelto:

8. Con ayuda de una pipeta graduada, agregar a cada frasco Winkler:
 - ✓ 2ml de Sulfato Manganoso (Mn_2SO_4)
 - ✓ 2ml de Alkali-Yoduro-Nitruro
9. Tapar el frasco derramando el excedente y mezclar invirtiéndolo 15 veces. Se formará un precipitado
 - { Precipitado blanco indica ausencia de oxígeno
 - { Precipitado café o amarillo indica presencia de oxígeno
10. Esperar a que sedimente el precipitado hasta el hombro de la botella, y volver a mezclar nuevamente.
11. Añadir 2ml de Ácido Sulfúrico 0.2N (H_2SO_4) tapar y mezclar. El precipitado se disolverá y el oxígeno quedará fijado.
12. Con ayuda de una probeta medir 200 ml de la muestra y colocarlos en un matraz Erlen Meyer.
13. Agregar 2 gotas del indicador Almidón.
14. Llenar una bureta con Tiosulfato de Sodio 0.025N ($Na_2S_2O_3$) hasta la marca de cero.
15. Colocar el vaso de precipitados en la parrilla agitadora (debajo de la bureta) coloque una pastilla agitadora y encienda el agitador.
16. Dosificar el Tiosulfato de Sodio hasta que la muestra regrese al color original, (frasco Winkler), cuantificar la cantidad necesaria de Tiosulfato de Sodio para el cambio de color.

La cantidad en ml de Tiosulfato de Sodio utilizado corresponde directamente a los mg/l de oxígeno disuelto en dicha muestra.

El valor obtenido con este procedimiento corresponde al valor de OD inicial, repetir este procedimiento los siguientes siete días de incubación de las muestras para obtener el valor de OD final.

Deberá corregirse el valor de $DBO_{2,35}$ y transformarlo a $DBO_{5,20}$. Si se tiene un valor determinado de DBO para un tiempo de incubación t y una temperatura T , hay que obtener la DBO última (L)

$$L = \frac{DBO_{t,T}}{1 - e^{-k(T)t}}$$

y a partir de la DBO última se ajusta al valor de $DBO_{5,20}$

Temperatura, conductividad y sólidos en todas sus formas



Material, equipo y reactivos

Equipo

- ✓ Conductímetro
- ✓ Horno
- ✓ Mufla
- ✓ Balanza analítica

Cristalería

- ✓ Conos Imhoff (3)
- ✓ Cápsulas de porcelana
- ✓ Crisoles Gooch
- ✓ Papel filtro
- ✓ Desecador



Procedimiento

El conductímetro determina directamente los parámetros de: conductividad eléctrica, temperatura y sólidos disueltos; éste es un aparato electrónico que al introducir su electrodo en la muestra nos proporciona directamente las lecturas de dichos parámetros con solo accionar el botón correspondiente a ellos, mostrando en una pantalla digital los valores con sus unidades.

1. Introduzca el electrodo del conductímetro dentro de la muestra y haga las lecturas correspondientes de: temperatura, conductividad eléctrica y sólidos disueltos y registre los valores en las unidades adecuadas. Enjuagar el electrodo con agua destilada al finalizar las pruebas.
2. Colocar un litro de agua de muestra, previamente agitada, en cada uno de los 2 conos especiales para esta prueba, denominados conos Imhoff. Los cuales cuentan con una graduación en su parte inferior en ml/l.
3. Esperar 45 minutos a que los sólidos presentes en la muestra se sedimenten.
4. Al cumplirse el tiempo golpear las paredes de los conos propiciando la precipitación de los sedimentos adheridos a las paredes de los mismos, esperar 15 minutos más.
5. Medir en la parte inferior de los conos la cantidad de sedimentos en ml/l.
6. Realizar un promedio entre las dos lecturas de los conos, reportar el resultado de sólidos sedimentables en ml/l.
7. Poner una cápsula de porcelana a peso constante, registrar su peso con la balanza analítica y añadir 20 ml de agua de muestra.

Cápsula a peso constante \Rightarrow Significa que previamente se introduce dicha cápsula al horno y se espera a que pierda toda la humedad presente en ella, hasta que al pesarla en la balanza analítica su peso sea constante (W_0). Esperar a que la cápsula se enfríe dentro de un desecador que permite el enfriado sin adquirir humedad nuevamente, gracias a una sustancia higroscópica que absorbe la humedad.

8. Colocar la cápsula en baño María, para que el calor evapore el agua de muestra dejando únicamente los sólidos totales contenidos en el agua, ésto tardará aproximadamente 1 hora.
9. Una vez seca la cápsula de porcelana, introducirla dentro del horno durante una hora a 103°C, para que pierda totalmente la humedad que se encuentra en el recipiente.
10. Para finalizar, volver a pesar la cápsula en la balanza analítica (W_1), y de la diferencia de pesos del peso final y el peso inicial, divididos entre el volumen de la muestra analizada, obtener los sólidos totales en mg/l, registrar el resultado.

$$S_T = \frac{W_1 - W_0}{V}$$

11. Poner la cápsula de porcelana usada en los numerales del 7 al 10 dentro de la mufla, a 550°C durante 1 hora.
12. Pesar la cápsula, en la balanza analítica (W_2), y de la diferencia de peso entre esta lectura y la del número 7, obtener el parámetro de sólidos volátiles. Los sólidos fijos se obtienen directamente con el peso final de la cápsula dividido entre el volumen empleado en el numero 7.

$$S_F = \frac{W_2}{V}$$

$$S_V = S_T - S_F$$

Color, pH, nitrógeno amoniacal y cloruros



Material, Equipo y Reactivos

Material

- ✓ Colorímetro
- ✓ Papel tornasol
- ✓ Estuche de campo para determinación de Nitrógeno Amoniacal
- ✓ Estuche de campo para determinación de Cloruros

Reactivos

- ✓ Cromato de Potasio
- ✓ Nitrato de Plata



Procedimiento

Color

1. Aforar la muestra de agua hasta la marca del tubo del colorímetro.
2. Aforar hasta la marca con agua destilada en otro de los tubos del colorímetro.
3. Introducir ambos tubos en los orificios correspondientes del colorímetro. (orificio externo con agua destilada y el interno con agua de muestra)
4. Girar el disco de color hasta que ambas celdas tengan un color similar, y tomar la lectura en la parte inferior del disco. (Se sugiere iniciar la comparación con el agua a partir de la escala de 0 uc Pt-Co para facilitar la identificación de los colores. La comparación debe hacerse en un lugar bien iluminado y con un fondo blanco de preferencia)

Potencial Hidrógeno (pH)

1. Cortar un pequeño trozo de papel tornasol e introducirlo en un poco de agua de muestra.
2. Escurrir y esperar unos segundos a que tome color.
3. Comparar el color del papel con el colorímetro de pH e identificarlo con un color del patrón correspondiente a un valor de pH.

Nitrógeno Amoniacal

Utilizando el kit de campo para determinación de Nitrógeno Amoniacal.

1. Colocar 5ml de agua de muestra en el tubo (incluido en el estuche)
2. Agregar 4 gotas de la sustancia 1
3. Agregar 8 gotas de la sustancia 2 (el agua de muestra se tornará amarilla)
4. Comparar con la serie de tubos con diferentes tonalidades de amarillo a los cuales se les asigna un determinado valor de Nitrógeno Amoniacal (incluidos en el estuche)

Cloruros

Utilizar el kit de campo para determinación de cloruros.

1. Sacar el frasco del kit y llenarlo a la marca de 20 ml, con agua de muestra.
2. Añadir un sobre de Cromato de Potasio (la muestra cambiara de color a amarillo intenso)
3. Titular con Nitrato de Plata hasta que la muestra vire a naranja.
4. El número de gotas de Nitrato de Plata multiplicada por 5 nos proporciona directamente el valor de Cloruros como Cl, en mg/l. El valor de cloruros como NaCl se obtiene de multiplicar por 1.6 el valor de cloruros como Cl.

Alcalinidad

Material, Equipo y Reactivos

Cristalería

- ✓ Vaso de precipitados
- ✓ Pipetas (2)
- ✓ Bureta
- ✓ Probeta

Reactivos

- ✓ Fenolftaleína
- ✓ Anaranjado de metilo
- ✓ Ácido Sulfúrico (0.02 N)

Procedimiento

1. Medir 50 ml de agua de muestra con ayuda de una probeta y colocarlos en un matraz Erlen Meyer.
2. Agregar 3 gotas de Fenolftaleína.

3 gotas de fenolftaleína

}	Incolora (HCO_3)
	Rosa (OH , CO_3)

- a) Si la muestra permanece incolora, nos indica que solo hay alcalinidad debida a la presencia de bicarbonato (HCO_3). Siga con el paso no. 3
- b) Si la muestra se torna rosa, hay presencia de Hidróxidos y Carbonatos. En ese caso titule con Ácido Sulfúrico 0.02N hasta que la muestra vire a incolora de nuevo.

Los ml de Ácido Sulfúrico utilizados por mil entre los ml de muestra nos dan la alcalinidad a la Fenolftaleína, en mg/l de CaCO_3 :

$$AF = \frac{\text{mlH}_2\text{SO}_4 \times 1000}{\text{ml(muestra)}}$$

3. Agregar 3 gotas de anaranjado de metilo. (La muestra se tornará amarilla)
4. Titular con Ácido Sulfúrico 0.02N, hasta que la muestra vire a color canela, para obtener la alcalinidad total.

$$AT = \frac{\text{mlH}_2\text{SO}_4 \times 1000}{\text{ml(muestra)}}$$

Los resultados de la titulación nos permiten determinar las concentraciones de OH^- , CO_3^{2-} y HCO_3^- , mediante el cuadro 5.2, donde:

F = volumen de reactivo necesario para hacer virar la fenolftaleína de rosado a incoloro.

M = volumen de reactivo necesario para hacer virar el naranja de metilo. (alcalinidad Total)

Cuadro 5.2
Relaciones de alcalinidad

Relación	Condición	Valores de alcalinidad			
		OH	CO_3	HCO_3	TOTAL
F = M	OH	F = M	0	0	M
F > M/2	OH y CO_3	2F - M	2(M - F)	0	M
F = M/2	CO_3	0	2F = M	0	M
F < M/2	CO_3 y HCO_3	0	2F	M - 2F	M
F = 0	HCO_3	0	0	M	M

Fuente: "Calidad del Agua" de Jairo Alberto Romero Rojas

Turbiedad



Material, Equipo y Reactivos

Cristalería

- ✓ Tubos de vidrio para turbidímetro Jackson
- ✓ Celdas para turbidímetro nefelométrico

Material y Equipo

- ✓ Turbidímetro Jackson
- ✓ Nefelómetro



Procedimiento

Turbidímetro Jackson

1. Colocar el tubo graduado de vidrio en la base del turbidímetro.
2. Encender la vela y colóquela en la parte inferior del aparato, 7.6 cm debajo del tubo de vidrio.
3. Empezar a llenar el tubo con agua de muestra cuidadosamente, hasta que la flama de la vela ya no se distingua; en ese momento deje de añadir agua.
4. Leer en la graduación del tubo y registre el resultado.
5. Repita el paso 3 y 4 en dos ocasiones y obtenga la turbiedad Jackson como un promedio de las tres mediciones.

Nefelómetro Hach

1. Encender el aparato 30 min previos a su uso para calentamiento.
2. Todo el material introducido al nefelómetro debe ser limpiado con la tela especial, para evitar el sesgo de la lectura debido a la grasa de las manos. Al momento de realizar las lecturas debe tapar la muestra con el capuchón, para evitar la entrada externa de luz.
3. Estando el aparato apagado ajustar el cero mecánico con el tornillo negro.
4. Observar el agua de muestra y comparar con los 4 patrones proporcionados por el fabricante del equipo, (0-1, 0-10, 0-100, 0-1000 UTN); para seleccionar el patrón con el que se calibrará el equipo.
5. Con el patrón elegido calibrar al valor indicado en éste, colocando el selector de ámbito en ese valor (perilla izquierda) y ajustando la aguja indicadora con la perilla derecha del nefelómetro. Tapar el patrón con el capuchón. En caso de turbiedades de 100 y 1000 UTN deberá introducirse el elevador de celdas.
6. Introducir la celda conteniendo el agua de muestra a analizar, dentro del aparato, y tapar con el capuchón.
7. Leer en la escala correspondiente el valor de turbiedad en UTN y regístrelo.

Bacteriología

Coliformes



Material, Equipo y Reactivos

Cristalería

- ✓ Cajas petri
- ✓ Matraz Kitasato
- ✓ Embudo de cristal

Reactivos

- ✓ Medio de cultivo MFC
- ✓ Medio de cultivo ENDO
- ✓ Agua destilada estéril con nutrientes

Material y Equipo

- ✓ Bomba de vacío
- ✓ Filtros
- ✓ Pinzas
- ✓ Cojín absorbente
- ✓ Incubadora



Procedimiento

En las pruebas bacteriológicas es de gran importancia la higiene de los equipos y la cristalería, motivo por el cual se esterilizan todos estos aditamentos, se trabaja en una mesa estéril, con un par de mecheros encendidos para esterilizar también el área de trabajo. Es importante el lavarse muy bien las manos al momento de realizar la prueba para evitar contaminar los filtros, así como hablar lo menos posible.

1. Preparar las diluciones que se indican a continuación:

Estación	Dilución (%)	Volumen de muestra (ml)	Volumen de agua de dilución (ml)
1	75	750	250
	90	900	100
2	5	50	950
	10	100	900
3	1.0	10	990
	2.5	25	975

2. Colocar el soporte del filtro en la boca del matraz Kitasato.
3. Utilizar unas pinzas estériles para sacar un filtro de su empaque y colcarlo sobre el soporte.
4. Colocar el embudo de vidrio en la parte superior del matraz Kitasato.
5. Conectar una bomba de vacío en la boquilla del matraz.
6. Agregue al embudo los 100 ml del agua preparada en el numeral 1.
7. Hacer funcionar la bomba de vacío hasta que toda el agua pase al matraz.
8. En una caja petri, previamente marcada en la parte inferior, añadir sobre el cojín absorbente el medio de cultivo correspondiente:

Medio de cultivo { ENDO si se trata de coliformes totales
MFC si se trata de coliformes fecales

9. Con las pinzas estériles retirar el filtro del equipo de filtración, y colocarlo en la caja petri, previamente marcada y con su respectivo medio de cultivo, con la cuadrícula hacia arriba.
10. Cerrar la caja petri y colocarla en la incubadora a 35° C, con el cojín absorbente y el papel filtro hacia arriba.

A las 24 horas de haber hecho la filtración se debe revisar las cajas petri para ver si hay formaciones de colonias de coliformes.

Conteo normal en placa**Material, Equipo y Reactivos****Cristalería**

- ✓ Cajas petri
- ✓ Pipetas
- ✓ Tubos de ensaye

Reactivos

- ✓ Medio de cultivo agar nutritivo

Equipo

- ✓ Incubadora

**Procedimiento**

1. Agitar vigorosamente el frasco que contenga la muestra unas 25 a 40 veces en un minuto, hacer las diluciones convenientes.
2. Tomar 1 ml de agua de muestra y verterlo en un tubo de ensaye.
3. Para las siguientes diluciones tomar 1 ml del tubo de ensaye de 1 y colocarlo en el siguiente y así sucesivamente.
4. Etiquetar los tubos de ensaye y las cajas petri con su dilución correspondiente.
5. Calentar el medio de cultivo agar nutritivo a 43-45°C.
6. Vertir un poco de agar nutritivo en las cajas petri y posteriormente coloque la muestra con la dilución correspondiente, homogeneizar y dejar solidificar.
7. Colocar en la incubadora a 35°C durante 48 horas.
8. Revisar las cajas petri una vez transcurrido el tiempo de incubación. El número de colonias encontradas en la placa, multiplicada por la dilución del espécimen que representa la placa, será igual al número de colonias por ml.

**Resultados**

- ✓ Elaborar una tabla donde se registren los resultados de las pruebas para cada estación.
- ✓ Calcular la constante de degradación a partir de los 7 datos de DBO.
- ✓ Obtener la DBO_{5,20}



- ✓ Calcule el índice de calidad del agua (ICA) para cada estación de muestreo.

El índice de calidad del agua agrupa algunos parámetros, indicadores de un deterioro en la calidad del agua. Sin embargo, para que dicho índice sea práctico debe reducir la enorme cantidad de parámetros a una forma más simple; evidentemente, durante el proceso de simplificación alguna información se sacrifica. Por otro lado si el diseño del ICA es adecuado, el valor arrojado puede ser representativo e indicativo del nivel de contaminación y comparable con otros para enmarcar rangos y detectar tendencias.

Para la agrupación de los parámetros existen dos técnicas básicas; las denominadas aritméticas y las multiplicativas, a su vez pueden o no ponderarse con pesos específicos para cada parámetro. Dos investigadores, Landwehr y Denninger, demostraron la superioridad del cálculo a través de técnicas multiplicativas, que son mucho más sensibles que las aritméticas a la variación de los parámetros, por lo que reflejan con mayor precisión un cambio de calidad.

Técnica aritmética

El ICA Se obtiene como el coeficiente

$$ICA = \frac{\sum_{i=1}^n (I_i W_i)}{\sum_{i=1}^n W_i}$$

donde:

I_i = índice de calidad del parámetro i considerado

W_i = importancia relativa del parámetro i .

Tabla 5.1
Importancia relativa de los parámetros para
definir el índice de calidad del agua. SARH (1979)

Parámetro (i)	Importancia relativa (W)	Parámetro (i)	Importancia relativa (W)
Alcalinidad	1.0	Fosfatos totales	2.0
Cloruros	0.5	Grasas y aceites	2.0
Coliformes fecales	4.0	N amoniacal	2.0
Coliformes totales	3.0	N de nitratos	2.0
Color	1.0	Oxígeno disuelto	5.0
Conductividad eléctrica	2.0	pH	1.0
DBO	5.0	Sólidos disueltos	0.5
Detergentes (SAAM)	3.0	Sólidos suspendidos	1.0
Dureza total	1.0	Turbiedad	0.5

Las ecuaciones definidas para el índice de calidad individual de cada uno de los 18 parámetros seleccionados para conformar el índice general son:

Alcalinidad

$$I_a = 105(a)^{-0.186} \quad (a) \text{ en mg/l como CaCO}_3$$

Cloruros

$$I_{Cl} = 121(Cl)^{-0.223} \quad (Cl) \text{ en mg/l}$$

Coliformes fecales

$$I_{EC} = 97.5[5(Ec)]^{0.27} \quad (Ec) \text{ Escherichia coli/ml}$$

Coliformes totales

$$I_{CT} = 97.5(CT)^{-0.27} \quad (CT) \text{ NMP coli/ml}$$

Color

$$I_C = 123(C)^{-0.295} \quad (C) \text{ en unidades de color escala de platino-cobalto}$$

Conductividad eléctrica

$$I_{CE} = 540(CE)^{-0.379} \quad (CE) \text{ en } \mu\text{mhos/cm}$$

DBO

$$I_{DBO} = 120(DBO)^{-0.0673} \quad (DBO) \text{ en mg/l}$$

Detergentes

$$I_{SAAM} = 100 - 16.678(SAAM) + 0.1587(SAAM)^2 \quad (SAAM) \text{ en mg/l}$$

Dureza total

$$I_D = 10^{1.974 - 0.00174(D)} \quad (D) \text{ en mg/l como CaCO}_3$$

Fosfatos totales

$$I_{PO_4} = 34.215(PO_4)^{-0.46} \quad (PO_4) \text{ en mg/l}$$

Grasas y aceites

$$I_{GyA} = 87.25(GyA)^{-0.298} \quad (GyA) \text{ en mg/l}$$

N amoniacal

$$I_{NH_3} = 45.8(NH_3)^{-0.343} \quad (NH_3) \text{ en mg/l}$$

N de nitratos

$$I_{NO_3} = 162.2(NO_3)^{-0.343} \quad (NO_3) \text{ mg/l}$$

Oxígeno disuelto

$$I_{OD} = \frac{OD}{OD_{sat}} \cdot 100 \quad (OD) \text{ mg/l a temperatura de campo}$$

(ODsat) mg/l de saturación a temperatura de campo

PH

$$I_{pH} = 10^{0.2335pH + 0.44} \quad \text{si el pH es menor de 6.7}$$

$$I_{pH} = 100 \quad \text{si el pH está entre 6.7 y 7.3}$$

$$I_{pH} = 10^{4.22 - 0.293pH} \quad \text{si el pH es mayor de 7.3}$$

Sólidos disueltos

$$I_{sd} = 109.0 - 0.0175(sd) \quad (sd) \text{ en mg/l}$$

Sólidos suspendidos

$$I_{ss} = 266.5(ss)^{-0.37} \quad (ss) \text{ en mg/l}$$

Turbiedad

$$I_T = 108(T)^{-0.178} \quad (T) \text{ en UTJ}$$

Método de Dinius (1974) con modificaciones del Instituto de Ingeniería UNAM (1987)

La evaluación numérica se basa en la medida geométrica:

$$ICA = \prod_{i=1}^n Q_i^{w_i}$$

donde:

π representa la operación multiplicativa de las variables Q elevadas a la potencia w,

n es el número de parámetros elegidos,

Qi es la calidad del parámetro i, en función de su concentración, variando entre 0 y 100,

wi son los pesos específicos asignados a cada parámetro i, ponderados entre 0 y 1.

de tal forma que se cumple que: $\sum_{i=1}^n w_i = 1$

El índice de calidad varía de 0 a 100. Donde el valor nulo corresponde al peor caso y el máximo a la calidad óptima.

Tabla 5.2
Pesos específicos de los parámetros

Parámetro	Unidad	Peso (wi)
Oxígeno disuelto	% sat	0.103
DBO	mg/l	0.096
DQO	mg/l	0.053
PH	u pH	0.063
Sólidos suspendidos	mg/l	0.033
Coliformes totales	#/100 ml	0.083
Coliformes fecales	#/100 ml	0.143
Nitratos	mg/l	0.053
Amonios	mg/l	0.043
Fosfatos	mg/l	0.073
Fenoles	µg/l	0.033
Diferencia de Temp.	°C	0.043
Alcalinidad	mg/l	0.055
Dureza	mg/l	0.058
Cloruros	mg/l	0.068

Asociado al valor numérico del ICA, se definen 6 ámbitos de estado de calidad del agua: (E) excelente; (A) aceptable; (C) contaminada; (LC) levemente contaminada; (FC) fuertemente contaminada; y (EC) excesivamente contaminada.

Cuadro 5.3
Clasificación del ICA para diferentes usos del agua

ICA	Agua Potable	Agricultura	Pesca y vida acuática	Industrial	Recreativo
100	E	E		E	
90	A		E	A	E
80	LC				
70		LC	A		
60			LC	LC	A
50	FC	C	C	C	LC
40			FC		C
30		FC		FC	FC
20	EC		EC		EC
10		EC		EC	EC

Fuente: "Estudios de calidad del agua" de Muñoz Arcila



Conclusiones

El tipo y forma de análisis a que se someten las muestras dependen de la magnitud del proyecto, recursos económicos y el tiempo disponible.

1. Realizar un diagnóstico preliminar del Río a partir de los resultados obtenidos en el muestreo en las diferentes estaciones.
2. Revisar los objetivos de la práctica y hacer conclusiones.

**TESIS CON
 FALLA DE ORIGEN**

**TESIS CON
 FALLA DE ORIGEN**

Estimación del costo por alumno por semestre



TESIS CON
FALLA DE CUMPLIMIENTO

3

Capítulo seis

Estimación del costo por alumno por semestre para el uso del laboratorio

El costo por materia por alumno y por semestre para las prácticas del laboratorio de Ingeniería Sanitaria y Ambiental se integró considerando los costos por uso de equipos, costos por consumo de reactivos y cristalería a precios del 2003.

Costo por uso de equipo

El costo por uso de los equipos se obtuvo sumando los costos de amortización, de mantenimiento y de reposición. El costo de amortización se obtuvo dividiendo el valor actual del equipo (valor) entre la vida útil (vu). La vida útil de los equipos se estimó en promedio de 10 años. Los costos por mantenimiento se consideraron como el 10% del valor actual del equipo y los costos de reposición del equipo se calcularon de la misma forma que los costos de amortización, con lo que el costo anual por cada uno de los equipos se integró como sigue:

$$\text{COSTO ANUAL} = \text{AMORTIZACIÓN} + \text{MANTENIMIENTO} + \text{REPOSICIÓN}$$

$$\text{COSTO ANUAL} = \frac{\text{valor}}{\text{vu}} + 0.1(\text{valor}) + \frac{\text{valor}}{\text{vu}}$$

$$\text{COSTO ANUAL} = \text{valor} \left(\frac{2}{\text{vu}} + 0.1 \right) = 0.3\text{valor}$$

$$\text{COSTO SEMESTRAL} = \frac{1}{2} \text{COSTO ANUAL}$$

En la tabla 6.1 se enlistan los equipos utilizados en las prácticas de laboratorio para todas las asignaturas, así como el cálculo del costo anual y semestral por equipo.

Tabla 6.1
Obtención del costo semestral por equipo

EQUIPO	Valor actual en pesos	Costo anual por equipo	Costo semestral por equipo
Aparato de jarras	1 440	432	216.0
Autoclave	18 000	5 400	2 700.0
Balanza analítica	48 400	14 520	7 260.0
Baño maría	5 000	1 500	750.0
Bomba de aire y vacío	4 090	1 227	613.5
Conductímetro	7 950	2 385	1 192.5
Contador de colonias	15 000	4 500	2 250.0
Espectrofotómetro	50 000	15 000	7 500.0
Horno para desecación	8 460	2 538	1 269.0
Incubadora	25 030	7 509	3 754.5

Mezclador mecánico	1 440	432	216.0
Microscopio electrónico	15 000	4 500	2 250.0
Parrilla con agitación magnética	1 330	399	199.5
Refrigerador	17 800	5 340	2 670.0
Sonómetro	50 000	15 000	7 500.0
Termómetro	1 000	300	150.0
Turbidímetro Hach	40 000	12 000	6 000.0

Una vez obtenido el costo semestral por equipo, con base en la tabla 6.1, se procede a calcular el costo semestral por equipo por asignatura, dividiendo el costo semestral por equipo entre el número de asignaturas que lo requieren, como se indica en la tabla 6.2.

Tabla 6.2
Obtención del costo semestral por equipo por asignatura

EQUIPO	Costo semestral por equipo	Asignaturas				Costo semestral por equipo por asignatura
		IA	AAPyA	TAR	CA	
Aparato de jarras	216.0		✓			216
Autoclave	2 700.0	✓	✓		✓	900
Balanza analítica	7 260.0	✓		✓	✓	2420
Baño maría	750.0		✓	✓	✓	250
Bomba de aire y vacío	613.5	✓	✓		✓	204
Conductímetro	1 192.5	✓	✓	✓	✓	298
Contador de colonias	2 250.0				✓	2250
Espectrofotómetro	7 500.0		✓		✓	3750
Horno para desecación	1 269.0		✓	✓	✓	423
Incubadora	3 754.5		✓	✓	✓	1251
Mezclador mecánico	216.0			✓		216
Microscopio electrónico	2 250.0	✓				2250
Parrilla con agitación magnética	199.5	✓	✓	✓	✓	50
Refrigerador	2 670.0	✓	✓	✓	✓	667
Sonómetro	7 500.0	✓				7500
Termómetro	150.0	✓	✓	✓	✓	37
Turbidímetro Hach	6 000.0		✓		✓	3000
Total por asignatura	46 489.0	14326	11046	5612	15500	

Costo por consumo de cristalería

El consumo de cristalería se determinó por asignatura y considerando que cada semestre al menos una brigada rompe un juego de piezas proporcionadas para la práctica.

Impacto Ambiental**Reactores**

Descripción	Cantidad	Costo unitario	Costo total
Garrafón de plástico con despachador	2	612.40	1 224.80
Vaso de precipitados 20 ml	3	47.00	141.00
Probeta graduada 1 l	2	329.00	658.00

Leyes de los gases

Descripción	Cantidad	Costo unitario	Costo total
Vaso de precipitados 1 l	4	57.00	228.00
Matraz de 500 ml	4	126.50	504.00
Probeta de 1 l	1	329.00	329.00
Bureta graduada	2	565.60	1 131.20

Estratificación térmica

Descripción	Cantidad	Costo unitario	Costo total
Vaso de precipitados 1 l	4	57.00	228.00
Vaso de precipitados 500 ml	1	57.00	57.00
Perillas de seguridad	4	196.20	784.00
Pipetas volumétricas	4	600.00	2 400.00

Nutriente limitante

Descripción	Cantidad	Costo unitario	Costo total
Vaso de precipitados 1 l	2	57.00	114.00
Vaso de precipitados 250 ml	3	18.70	56.10
Probeta graduada 1 l	1	329.00	329.00
Matraz aforado 1 l	3	126.50	379.50
Porta y cubre objetos	caja	200.00	200.00
Vidrios de reloj	4	21.20	84.80

De la suma de todos los costos de cada práctica obtenemos el costo total de cristalería por asignatura

Costo de cristalería para la asignatura de impacto ambiental

8 851.40

Tratamiento de aguas residuales**Caracterización del agua residual**

Descripción	Cantidad	Costo unitario	Costo total
Frascos Winkler	4	64.40	257.60
Vaso de precipitados 1 l	5	57.00	285.00
Pipetas graduadas	10	200.00	2 000.00
Bureta	2	565.60	1 131.20

Laboratorio de Ingeniería Sanitaria y Ambiental

Probeta 1 l	2	329.00	658.00
Probeta 500 ml	1	275.00	275.00
Matraz Herlen Meyer 500 ml	3	126.00	378.00
Conos Imhoff	3	1 500.00	4 500.00
Cápsulas de porcelana	2	66.90	133.80
Crisol Gooch	2	66.20	132.40

Sedimentación tipo I

Descripción	Cantidad	Costo unitario	Costo total
Vaso de precipitados 250 ml	1	18.70	18.70
Vidrio de reloj	10	21.20	212.00

Sedimentación tipo II

Descripción	Cantidad	Costo unitario	Costo total
Crisol Gooch	16	66.20	1 058.20
Probeta graduada 1 l	2	329.00	658.00
Unidad de filtración	2	3 612.50	7 225.00
Vaso de precipitados 250 ml	4	18.70	74.80

Cloración

Descripción	Cantidad	Costo unitario	Costo total
Pipeta graduada 10 ml	2	200.00	400.00
Matraz Herlen Meyer 500 ml	10	126.50	1 265.00
Vidrio de reloj	10	21.20	212.00
Tubo de ensaye	20	2.00	40.00
Bureta	2	565.60	1 131.20

De la suma de todos los costos de cada práctica obtenemos el costo total de cristalería por asignatura

Costo de cristalería para la asignatura de tratamiento de aguas residuales

22 045.90

Abastecimiento de agua potable y alcantarillado

Características bacteriológicas

Descripción	Cantidad	Costo unitario	Costo total
Unidad de filtración	4	3 612.50	14 450.00
Probeta graduada	1	329.00	329.00
Pinzas estériles	1	36.00	36.00
Frasco Winkler	2	64.40	128.80
Cajas petri de plástico	paquete	654.50	654.50

Descripción	Cantidad	Costo unitario	Costo total
Vaso de precipitados 1 l	6	57.00	342.00
Tubo de ensaye	6	2.00	12.00
Pipeta graduada	1	200.00	200.00

De la suma de todos los costos de cada práctica obtenemos el costo total de cristalería por asignatura

Costo de cristalería para la asignatura de abastecimiento de agua potable y alcantarillado 16 152.30

Contaminación del agua

Estudio de calidad del agua

Descripción	Cantidad	Costo unitario	Costo total
Filtro estéril	paquete	2 850.00	2 850.00
Frascos Winkler	48	64.40	3 283.00
Vaso de precipitados 1 l	8	57.00	456.00
Pipeta graduada	33	200.00	6600.00
Bureta	2	565.60	1 131.20
Probeta graduada	2	329.00	658.00
Conos Imhoff	3	1 500.00	4500.00
Cápsulas de porcelana	6	66.90	401.40
Crisoles Gooch	6	66.20	397.20
Caja petri plástico	paquete	850.00	850.00
Caja petri vidrio	15	50.00	750.00
Unidad de filtración	4	3 612.50	14 448.00
tubo de ensayos	15	2.00	30.00
Matraz Herlen Meyer	3	126.50	379.50

De la suma de todos los costos de cada práctica obtenemos el costo total de cristalería por asignatura

Costo de cristalería para la asignatura de contaminación del agua 36 734.30

La tabla 6.3 muestra el resumen de los costos semestrales totales de cristalería por asignatura

Tabla 6.3
Costos semestral de cristalería por asignatura

Asignatura	Costo de cristalería
Impacto ambiental	8 851.40
Tratamiento de aguas residuales	22 045.90
Abastecimiento de agua potable y alcantarillado	16 152.30
Contaminación del agua	36 734.30

Costo por consumo de reactivos

Para la determinación del consumo de reactivos se consideran los reactivos usados por asignatura.

Impacto ambiental			
Reactivo	Cantidad	Precio unitario	Costo total
Agua destilada	Garrafón	150.00	300.00
Anilina	Paquete	20.00	20.00
Carbonato de Sodio	Frasco 500 g	181.40	181.40
Cloruro de Sodio	Frasco 500 g	150.00	300.00
Dióxido de Carbono	Tanque	5 000.00	2 500.00
Fenoltaleína	Frasco 100ml	107.90	107.90
Fosfato monopotásico	Frasco 500 g	141.80	141.80
Nitrato de Sodio	Frasco 500 g	876.70	876.70
Sulfato de Hierro	Frasco 500 g	135.40	135.40
Sulfato Magnésico	Frasco 500 g	949.30	949.30
			5 512.50

Tratamiento de aguas residuales

Reactivo	Cantidad	Precio unitario	Costo total
Ácido acético	Frasco 500 g	300.00	300.00
Ácido Sulfúrico	Frasco 2.5 l	198.60	198.60
Agua destilada	Garrafón	150.00	300.00
Almidón	Frasco 500 g	920.00	920.00
Anaranjado de Metilo	Frasco 500 g	500.00	500.00
Carbonato de Sodio	Frasco 500 g	181.40	181.40
Cloruro de Amonio	Frasco 500 g	147.10	147.10
Cloruro de Calcio	Frasco 500 g	1 407.20	1 407.20
Cloruro Férrico	Frasco 500 g	458.80	458.80
Estuche de reactivos para cloruros	Estuche	814.10	814.10
Reactivos para nitrógeno amoniacal	Estuche	904.10	904.10
Fenoltaleína	Frasco 100 ml	107.90	107.90
Fosfato de Potasio monobásico	Frasco 500 g	141.80	141.80
Fosfato de Potasio dibásico	Frasco 500 g	214.90	214.90
Fosfato de Sodio dibásico	Frasco 500 g	145.90	145.90
Hidróxido de Sodio	Frasco 500 g	114.40	114.40
Hipoclorito de Sodio	Frasco 500 ml	550.40	550.40
Sulfato de Aluminio	Frasco 500 g	700.00	700.00
Sulfato de Magnesio	Frasco 500 g	949.30	949.30
Sulfato Manganoso	Frasco de 500 g	245.30	245.30
Tiosulfato de Sodio	Frasco de 500 g	165.30	165.30
Yoduro de Sodio	Frasco de 500 g	850.10	850.10
Yoduro de Potasio	Frasco de 500 g	535.50	535.50
			11 060.70

Abastecimiento de agua potable y alcantarillado

Reactivo	Cantidad	Precio unitario	Costo total
Agua destilada	Garrafón	150.00	150.00
Estuche para determinación de Cloro libre	Estuche	836.50	836.50
Estuche para determinación de Cobre	Estuche	844.10	844.10
Estuche para determinación de Hierro	Estuche	844.10	844.10
Estuche para determinación de Manganeso	Estuche	834.00	834.00
Medio de cultivo ENDO	Paquete	280.00	280.00
Medio de cultivo MFC	Paquete	600.00	600.00
			4 388.70

Contaminación del agua

Reactivo	Cantidad	Precio unitario	Costo total
Ácido Sulfúrico	Frasco 2.5 l	198.60	198.60
Agua destilada	Garrafón	150.00	300.00
Almidón	Frasco 500 g	920.00	920.00
Cloruro de Calcio	Frasco 500 g	62.70	62.70
Cloruro Férrico	Frasco 500 g	450.80	450.80
Estuche para determinación de cloruros	Estuche	814.10	814.10
Estuche para determinación de nitrógeno amoniacal	Estuche	904.90	904.90
Fenolftaleína	Frasco 100 ml	107.90	107.90
Medio de cultivo agar nutritivo	Frasco 450 g	850.40	850.40
Medio de cultivo ENDO	Paquete	280.00	280.00
Medio de cultivo MFC	Paquete	600.00	600.00
Sulfato Manganeso	Frasco 500 g	245.30	245.30
Tiosulfato de Sodio	Frasco 500 g	165.30	165.30
			5 900.00

La tabla 6.4 muestra el resumen de los costos semestrales totales de reactivos requeridos por asignatura.

Tabla 6.4
Costos semestral de reactivos por asignatura

Asignatura	Costo de reactivos
Impacto ambiental	5 512.50
Tratamiento de aguas residuales	11 060.70
Abastecimiento de agua potable y alcantarillado	4 388.70
Contaminación del agua	5 900.00

Para finalizar se integran todos los costos calculados para determinar el costo por semestre por asignatura, como se muestra en la tabla 6.5, de la siguiente forma:

Costo por semestre por asignatura = Costo de equipo + Costo de cristalería + Costo de reactivos

Tabla 6.5
Integración del costo por semestre por asignatura

Asignatura	Costos			Costo por semestre por asignatura
	Equipo	Cristalería	Reactivos	
Impacto ambiental	14 326.00	8 851.40	5 512.50	28 689.90
Tratamiento de aguas residuales	11 046.00	22 045.90	11 060.70	33 117.64
Abastecimiento de agua potable y alc.	5 612.00	16 152.30	4 388.70	26 153.00
Contaminación del agua	15 500.00	36 734.30	5 900.00	58 134.30

Costo por alumno por semestre

Y finalmente se determinó el costo por alumno por semestre en cada asignatura, Tabla 6.6, partiendo de un promedio de alumnos atendidos para cada una de las asignaturas que son atendidas en el Laboratorio de ingeniería sanitaria y ambiental

Tabla 6.6
Costo por alumno por semestre

Asignatura	Costo por semestre por asignatura	Promedio de alumnos atendidos	Costo por alumno por semestre
Impacto ambiental	28 689.90	80	358.63
Tratamiento de aguas residuales	33 117.64	70	473.11
Abastecimiento de agua potable y alc.	26 153.00	80	326.90
Contaminación del agua	58 134.30	15	3 875.62

Considerando para este análisis precios del 2003

Conclusiones

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

7

Capítulo siete

A manera de reflexión

✓ *Sustentabilidad y sostenibilidad*

Al reflexionar sobre el tema de cuáles son las principales fuerzas impulsoras que determinan el desarrollo de la humanidad y de su ambiente, debemos, en primer lugar, fijar la escala de tiempo que deseamos estudiar. Con el objeto de ubicar el análisis en el marco del desarrollo sustentable, la escala más apropiada abarcaría una generación hacia atrás y la próxima generación hacia adelante e incluiría en este marco de referencia a los siguientes fenómenos como las principales fuerzas impulsoras:

- el crecimiento demográfico
- la urbanización y otros patrones de migración
- el cambio climático
- la economía
- el capital humano, la tecnología y la industrialización

Esta claro que estos fenómenos se hallan hasta cierto punto bajo el control de las sociedades, sin embargo, las dos preguntas cruciales con relación al desarrollo son: ¿En qué grado son controlables? Y ¿Cómo pueden ser controladas?

El origen del problema ambiental tiene como causa el desconocimiento por parte de la población del planeta de la relación existente entre las actividades humanas y las leyes de la naturaleza para la preservación del medio ambiente. El concepto de Sustentabilidad involucra siempre y de manera clara el contexto espacial (recursos in situ) y el temporal (dinámico) y aunque el concepto de crecimiento ignora los efectos del medio ambiente sobre el bienestar social, el concepto de desarrollo los involucra.

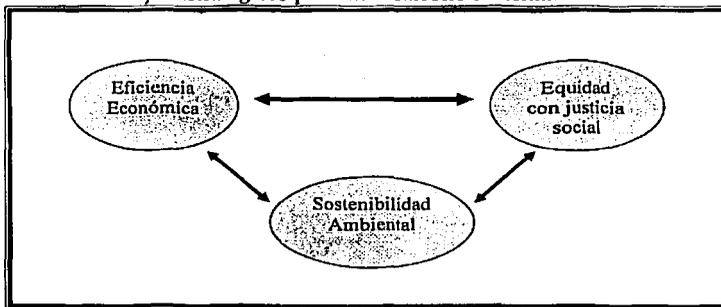
La más común, aunque "subjetiva" definición de sustentabilidad es que el bienestar de las generaciones futuras no debería ser menor que el de las presentes, por lo que el uso sustentable de los recursos enfatiza el mantenimiento de un stock de recursos renovables.

Más formalmente podríamos definir al *desarrollo sustentable* como el desarrollo económico y social que permite hacer frente a las necesidades del presente sin poner en peligro los recursos y capacidades de futuras generaciones para satisfacer sus propias necesidades.

De tal forma que para hablar de desarrollo sustentable se requiere en primer lugar de una escala sostenible de la economía en relación con los ecosistemas, en segundo término, una distribución justa de los recursos y las oportunidades entre las generaciones presentes y futuras, y por último, una eficiente asignación de dichos recursos, (Figura 7.1) por lo que dicho término se convierte en un paradigma utópico, algo que une a la humanidad en beneficio de la vida, pero que para conseguirlo necesariamente requeriríamos conseguir una mayor democracia, el abatimiento de la pobreza, reformas al estado y a la economía, así como políticas de protección de los recursos naturales; aspectos un tanto difíciles de lograr.

De este modo es más realista hablar de desarrollo sostenible, ya que este término únicamente nos refiere al mantenimiento de las condiciones actuales funcionales de un sistema o una mejora alcanzable a corto plazo.

Figura 7.1
Ejes estratégicos para un desarrollo sustentable



Por ejemplo: para resolver los problemas de abastecimiento de agua, las estrategias de gestión deben evaluar las inversiones requeridas, comparándolas con los beneficios en un marco de sustentabilidad y equidad. Para cada área densamente poblada hay varias opciones sostenibles y equitativas posibles. Habitualmente los criterios de selección se basan principalmente en los costos de los sistemas propuestos.

Sin embargo, hay muchos otros factores que entran en la ecuación. En primer lugar, los sistemas de suministro no deben afectar la sostenibilidad de los recursos hídricos propiamente dichos (esto quiere decir, que los volúmenes extraídos no deben ser mayores que los volúmenes renovados, y que la calidad del agua no debe degradarse). En segundo lugar, el concepto de sostenibilidad incluye también la protección de otros recursos naturales de la región (por ejemplo, los ecosistemas fluviales o lacustres).

Además de la sostenibilidad ecológica, los sistemas de aguas deben ser socialmente viables (sustentables). La implantación de cualquier sistema de abastecimiento presenta consecuencias socio-económicas, no solo desde la perspectiva de la satisfacción de las necesidades de la población en forma equitativa, sino también desde otros puntos de vista. El establecimiento de sistemas de agua genera empleo, promueve ciertos tipos de industrias, e incluso afecta otras estrategias urbanas (por ejemplo, estimula el desarrollo de ciertos vecindarios sobre otros).

✓ *Acercamiento interdisciplinario*

Tradicionalmente el tópico ambiental ha estado dividido en campos estrechos que competían entre sí, pero los últimos 10 años han sido testigos de una creciente inquietud por una administración de los recursos ambientales que sea interdisciplinaria, holística e integrada. El desafío para los profesionales en estas áreas es el enorme crecimiento en la complejidad de las soluciones a los problemas en vista de estos nuevos requerimientos.

Lo inestable e imprevisible de las políticas, las variaciones hidrológicas y climáticas y sus probables desviaciones respecto de las conductas observadas, el desarrollo económico y las amenazas ecológicas y ambientales, incluidos el deterioro de la tierra, el agua, el aire y la escasez de energía, representan los asuntos de mayor importancia. Sin embargo, el mensaje fundamental es claro: existe una presión sobre los recursos naturales que se desarrolla cada vez más rápidamente, pero las restricciones de tiempo para enfrentar dicha presión son muy limitadas. Por lo que para la solución de esta clase de problemáticas tan complejas surgen los conceptos de multidisciplinaria, interdisciplina y transdisciplina.

La *multidisciplinaria* constituye una respuesta espontánea para llevar a cabo proyectos cerrados al analizar o resolver un problema determinado, de tal modo, el carácter multidisciplinario radica en la variedad de disciplinas que participan en la yuxtaposición de las mismas.

La *interdisciplina* alude a un concepto plural, a una interacción entre disciplinas, tareas, objetivos y metas y es una interacción propositiva de conocimientos, destrezas procesos y conceptos de diferentes campos del conocimiento con perspectivas distintas para ampliar la comprensión y resolución de problemas y el desarrollo cognitivo.

Mientras que la *transdisciplina* trata de esquemas cognitivos que pueden atravesar las disciplinas, a veces con una virulencia tal que las coloca en dificultades, ya que pretende incorporar al análisis a todo tipo de agentes sociales y reconoce conocimiento como de igual valor, (incorpora diversos tipos de saberes incluyendo los que no están reconocidos por las instituciones académicas)

Debe haber un enfoque más interdisciplinario en los asuntos ambientales. Se requieren de estudios comparativos que abarquen más de una dimensión. Está claro que el reto es realizar estudios interdisciplinarios que aborden las enormes complejidades y el alto nivel de incertidumbre. Por ejemplo: el agua está relacionada íntimamente con los asuntos sociales, económicos, financieros, ambientales, políticos e institucionales, por lo que deben adecuarse más los análisis para el desarrollo de políticas holísticas.

✓ *Reingeniería ambiental*

Hasta mediados de la década de los 70's e incluso en nuestros días, en Europa Oriental y en muchos países subdesarrollados las decisiones económicas y tecnológicas encaminadas al desarrollo han tenido y tienen como eje principal preocupaciones de mercado y de

rentabilidad, con poca o ninguna consideración por los impactos ambientales y sociales. A medida que éstos se hicieron inaceptables para la sociedad de los países desarrollados, sus gobiernos impusieron leyes que obligaron a adoptar medidas para disminuir la contaminación. Además, con el fin de controlar la problemática del agua, el aire, y el suelo se crearon plantas de tratamiento para residuos industriales y municipales, controles de emisión para chimeneas e incineradores, y rellenos sanitarios seguros para la eliminación de residuos sólidos. El tratamiento de los residuos al final de los ciclos de producción industrial, o para desechos municipales, suele describirse como tratamiento al final del tubo o después de los hechos. Éste se ha considerado la principal filosofía del control para la contaminación durante los últimos veinte años.

Existen fuerzas poderosas que tienden a empujar a las sociedades hacia la continuación de este enfoque tradicional, en particular en los países en desarrollo. Muchos gobiernos e industrias consideran aún a la economía como el motor que debe mover todo lo demás, haciendo circular riqueza sin importar las consecuencias. Según su punto de vista, una sociedad debe hacer elecciones inevitables y difíciles entre conservar o alcanzar una competitividad internacional y disponer de un ambiente saludable, entre la productividad de la mano de obra y los lugares de trabajo y comunidades socialmente saludables, entre la producción de energía para mantener en movimiento el motor económico y los riesgos asociados a ello, entre los impuestos municipales asequibles y las ciudades habitables, y una multitud de otras elecciones similares difíciles. En otras palabras a ellos sólo les parece posible continuar con el desarrollo industrial y la urbanización guiados en primer término por motivos de mercado y de rentabilidad, y utilizar la riqueza resultante para ayudar a pagar los inevitables costos ambientales.

Las objeciones al enfoque tradicional por parte de quienes están a favor de una estrategia preventiva van en aumento. Estas personas preguntan cómo se pueden rediseñar o ajustar los procesos, operaciones y productos del sistema industrial para evitar o reducir al mínimo la producción de residuos. En vez de considerar este concepto como un aumento de costos y reducción de utilidades, consideran beneficios la reducción de los costos de energía y mantenimiento, la menor necesidad de recursos naturales, la disminución o eliminación de costos para el control de la contaminación y una menor necesidad de medidas para la salud y seguridad ocupacional, todo esto en función de procesos de producción más limpios, reducción de los riesgos por productos "verdes", y mejor aceptación en el mercado de este tipo de mercancía. Los esfuerzos que realizan las compañías que abrazan esta nueva filosofía ayudan a reducir algunos gastos de un país, como los costos del ciudadano de la salud y el ambiente, con lo cual disminuyen los déficit y las cargas fiscales.

La *tecnología preventiva* ha resultado especialmente atractiva para la industria a causa de los beneficios económicos potenciales y la publicidad obtenida por la extensa cobertura de los medios de comunicación. Uno de los primeros ejemplos de la tecnología preventiva es el programa corporativo 3M: "La prevención de la contaminación vale la pena", el cual comprendió reformulación de productos, modificación de procesos, rediseño de equipos y recuperación de productos de desecho para nuevo uso.

Conclusiones

El ingeniero civil es el profesional capaz de aprovechar los recursos físicos y humanos realizando obras y/o proyectos de beneficio comunitario en sus etapas de planeación, diseño, organización, construcción, operación, mantenimiento y abandono. Lo cual implica una modificación de las características originales en un sitio determinado, por lo cual, la ingeniería civil es una de las actividades que más afectan al ambiente. Destacado este punto es de gran relevancia la toma de conciencia por parte del profesional en las cuestiones ambientales, las formas de mitigación y/o posibles soluciones a los problemas.

El manual de prácticas de laboratorio constituye una herramienta en el proceso de enseñanza aprendizaje, que apoya tanto la formación de la conciencia ambiental en el desempeño laboral, como las bases técnicas que se requieren en la formación del ingeniero civil.

Este material surge con base en las experiencias del laboratorio aportadas desde la formación del mismo; como de la recopilación bibliográfica necesaria para validar las pruebas desarrolladas en el. Tomando de esta forma elementos teóricos como base en modelos matemáticos y experiencias en modelos físicos, lo cual compromete ambas partes de la generación del conocimiento. Incorporando además los contenidos apropiados para dar una orientación enfocada y dirigida a los estudiantes de ingeniería civil y su participación como profesionales; pero siempre teniendo en cuenta los conceptos de: sostenibilidad, reingeniería e interdisciplina.

Como resultado de este trabajo se desarrollaron seis capítulos, siendo el primero, la importancia de las pruebas de laboratorio en el estudio de la ingeniería sanitaria y ambiental, en el segundo, se abarcó la asignatura de impacto ambiental, destacando la importancia en la identificación, evaluación y predicción de los impactos significativos y potenciales de obras o actividades, así como para proponer las medidas de mitigación de los impactos adversos en grupos de trabajo multidisciplinarios.

En el tercer capítulo se contempló la asignatura de tratamiento de aguas residuales, en la cual se da a conocer la importancia que tiene el tratamiento de las aguas residuales municipales para la protección del ambiente, de tal forma que la toma de decisiones sea la más adecuada, al igual que los métodos de tratamiento.

Para el cuarto capítulo se trató la asignatura de abastecimiento de agua potable y alcantarillado, cuyo objetivo es la preservación sostenible de agua en cantidad y calidad suficiente en los sistemas de abastecimiento de agua potable.

En el quinto capítulo, basado en la asignatura de contaminación del agua, se observan tanto la normatividad legal en materia de agua, como las características específicas del agua para sus diversos usos.

Y por último, en el sexto capítulo, se realizó una estimación del costo por alumno por semestre para cada asignatura del laboratorio de ingeniería sanitaria y ambiental.

De esta forma se destacan no solo los procedimientos, técnicas y métodos correspondientes a las asignaturas involucradas, sino que se pretende además la creación de una conciencia en el estudiante, de los recursos naturales disponibles, sus usos y repercusiones en los sistemas con los que interactúa, de tal suerte que las obras y proyectos en beneficio de la sociedad, que desarrolla el ingeniero civil, no vayan en detrimento del ambiente, sino en una mejora continua del nivel de desarrollo humano.

**“A veces pensamos que nuestros actos son tan pequeños como una gota en el mar,
pero el mar sería menos sin esa simple gota”**

Anexos



TESIS CON
FALLA DE ORIGEN



Anexos

A. Normas para Aguas Nacionales

NOM-001-ECOL-1996. Que establece los límites máximos permisibles de contaminantes, en las descargas de Aguas Residuales, en Aguas y Bienes Nacionales

NOM-002-ECOL-1996. Que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de Aguas Residuales a los sistemas de Alcantarillado

NOM-003-ECOL-1997. Que establece los límites máximos permisibles de contaminantes para las Aguas Residuales tratadas que se rehúsen en servicios al público.

B. Norma para Agua Potable

NOM-127-SSA1-1994. Salud Ambiental, agua para uso y consumo humano, límites permisibles de calidad y tratamientos a que debe someterse el agua para su potabilización.

C. Normas de Muestreo de Agua Residual, Potable y Determinación de Parámetros en Campo

NMX-AA-3-1980. Muestreo de Aguas Residuales

NMX-AA-6-1973. Determinación de Materia Flotante

NMX-AA-7-1980. Determinación de Temperatura

NMX-AA-8-1980. Determinación de Potencial de Hidrógeno

NMX-AA-12-1980. Fijación de Oxígeno Disuelto

NMX-AA-14-1987. Muestreo de Cuerpos Receptores

NMX-AA-42-1987. Muestreo para determinar Coliformes Totales, Fecales y *Escherichia coli*

NMX-AA-50-1981. Muestreo para determinar Fenoles

NMX-AA-83-1982. Determinación de Olor

NMX-AA-93-1984. Determinación de Conductividad Eléctrica.

D. Normas para Emisiones Atmosféricas en Fuentes Fijas

NOM-043-ECOL/1993. Que establece los niveles máximos permisibles de emisión a la atmósfera de partículas sólidas provenientes de fuentes fijas.

NOM-085-ECOLI/1993. Contaminación atmosférica Fuentes Fijas para fuentes que utilizan combustibles fósiles sólidos, líquidos o gaseosos o cualquiera de sus combinaciones que establece los niveles máximos permisibles de emisión a la atmósfera de humos, partículas suspendidas totales, bióxido de azufre y óxidos de nitrógeno, los requisitos y condiciones para la operación de los equipos de calentamiento indirecto por combustión.

NMX-AA-09-1993. Contaminación atmosférica Fuentes Fijas determinación del flujo de gases en un conducto por medio del tubo pitot.

Anexo

NMX-AA-10-1993. Determinación de emisión de partículas sólidas contenidas en los gases que se descargan por un conducto.

NMX-AA-35-1974. Determinación de bióxido de carbono, monóxido de carbono y oxígeno en los gases de combustión.

NOM-040-ECOL-1993. Establece los niveles máximos permisibles de emisión a la atmósfera de partículas sólidas, así como los requisitos de control de emisiones fugitivas provenientes, de fuentes fijas dedicadas a la fabricación de cemento.

NOM-039-ECOL-1993. Establece los niveles máximos permisibles de emisión a la atmósfera de bióxido y trióxido de azufre y neblinas de ácido sulfúrico, en plantas productoras de ácido sulfúrico.

NMX-AA-54/1978. Determinación atmosférica, del contenido de humedad en los gases que fluyen por un conducto, método gravimétrico

NOM-105-ECOL-1996. Establece los niveles máximos permisibles de emisión a la atmósfera de partículas sólidas totales y compuestos de azufre reducido total provenientes de las plantas de fabricación de celulosa.

NOM-123-ECOL-1997. Establece el contenido máximo permisible de compuestos orgánicos volátiles (COV's) en la fabricación de pinturas de secado al aire base solvente para uso doméstico y los procedimientos del contenido de los mismos en pintura y recubrimientos, Compuestos Orgánicos Volátiles (COV's)

E. Normas para Determinación de Partículas en Medio Ambiente.

NOM-035-ECOL/1993. Establece los métodos de medición para determinar la concentración de partículas suspendidas totales en el aire ambiente y el procedimiento para la calibración de los equipos de medición.

NOM-024-SSA/1994. Criterio para evaluar la calidad del aire ambiente con respecto a partículas suspendidas totales. Valor permisible para la concentración de partículas en el aire ambiente como medida de protección de salud para la población

NOM-025-SSA/1994. Criterio para evaluar la calidad del aire ambiente con respecto a partículas menores de 10 m (PM10). Valor permisible para la concentración de partículas menores de 10 m (PM10), en el aire ambiente como medida de protección de salud para la población.

F. Normas para Residuos Peligrosos

NOM-052-ECOL/93. Que establece las características de los residuos peligrosos y el estado de los mismos y los límites que hacen a un residuo peligrosos por su toxicidad al ambiente.

NOM-053-ECOL/93. Que establece el procedimiento para prueba de extracción para determinar constituyentes que hacen a un residuos peligroso.

NOM-054-ECOL/93. Que establece el procedimiento para determinar la incompatibilidad entre dos o más residuos considerados como peligrosos por la NOM-052-ECOL/93

NOM-055-ECOL/93. Que establece los requisitos que deben reunir los sitios destinados al confinamiento controlado de residuos peligrosos, excepto los radioactivos.

NOM-056-ECOL/93. Que establece los requisitos para el diseño y construcción de las obras complementarias de un confinamiento controlado para residuos peligrosos.

NOM-057-ECOL/93. Que establece los requisitos que deben observarse en el diseño, construcción y operación de celdas de confinamiento controlado para residuos peligrosos.

NOM-058-ECOL/93. Que establece los requisitos para la operación de un confinamiento controlado de residuos peligrosos.

NOM-004-SCT2-1993. Aspectos básicos para la revisión ocular diaria de la unidad destinada al autotransporte de materiales y residuos peligrosos.

NOM-011-SCT2/1994. Condiciones para el transporte de las sustancias, materiales y residuos peligrosos en cantidades limitadas.

G. Normas de Residuos Biológico Infecciosos para Unidades Hospitalarias.

NOM-087-ECOL/1995. Que establece los requisitos para la separación, envasado, almacenamiento, recolección, transporte, tratamiento y disposición final de los residuos peligrosos biológico infecciosos que se generan en establecimientos que prestan atención médica.

H. Normas en Materia de Seguridad y Riesgo

NOM-001-STPS-1993 08/05/94. Relativa a las condiciones de seguridad e higiene en los edificios, locales, instalaciones y áreas de los centros de trabajo.

NOM-002-STPS-1993 20/070/94. Relativa a las condiciones de seguridad para la prevención contra incendios en los centros de trabajo.

NOM-004-STPS-1993 13/06/94. Relativa a los sistemas de protección y dispositivos de seguridad en la maquinaria. Equipos y accesorios en los centros de trabajo.

Anexo

NOM-005-STPS-1993 03/12/93. Relativa a las condiciones de seguridad en los centros de trabajo para el almacenamiento, transporte y manejo de sustancias inflamables y combustibles.

NOM-006-STPS-199303/12/93. Relativa a las condiciones de seguridad e higiene para la estiba y desestiba de los materiales en los centros de trabajo.

NOM-007-STPS-1993 13/06/94. Relativa a las condiciones de seguridad e higiene para la instalación y operación de ferrocarriles en los centros de trabajo.

NOM-008-STPS-1993 03/12/93. Relativa a las condiciones de seguridad e higiene para la producción, almacenamiento y manejo de explosivos en los centros de trabajo.

NOM-009-STPS-1993 13/06/94. Relativa a las condiciones de seguridad e higiene para el almacenamiento, transporte y manejo de sustancias corrosivas, irritantes y tóxicas en los centros de trabajo.

NOM-010-STPS-1993 08/07/94. Relativa a las condiciones de seguridad e higiene en los centros de trabajo donde se produzcan, almacenen o manejen sustancias químicas, capaces de generar contaminación en el medio ambiente laboral.

NOM-011-STPS-1993 06/07/94. Relativa a las condiciones de seguridad e higiene en los centros de trabajo donde se genere ruido.

NOM-012-STPS-1993 15/06/94. Relativa a las condiciones de seguridad e higiene en los centros de trabajo donde se produzcan, usen, manejen, almacenen o transporten fuentes generadoras o emisoras de radiaciones ionizantes.

NOM-013-STPS-1993 06/12/93. Relativa a las condiciones de seguridad e higiene en los centros de trabajo donde se generen radiaciones electromagnéticas no ionizantes.

NOM-014-STPS-1993 11/04/94. Relativa a las condiciones de seguridad e higiene para los trabajos que se desarrollen a presiones ambientales anormales.

NOM-015-STPS-1993 30/05/94. Relativa a la exposición laboral de las condiciones térmicas elevadas o abatidas en los centros de trabajo.

NOM-016-STPS-1993 06/07/94. Relativa a las condiciones de seguridad e higiene en los centros de trabajo, referente a ventilación.

NOM-017-STPS-1993 24/05/94. Relativa al equipo de protección personal para los trabajadores en los centros de trabajo.

NOM-018-STPS-1993 06/12/93. Relativa a los requerimientos y características de los servicios de guarderías, de vestidores y casilleros en los centros de trabajo.

NOM-019-STPS-1993 05/12/94. Relativa a la constitución, registro y funcionamiento de las comisiones de seguridad e higiene en los centros de trabajo.

NOM-020-STPS-1993 24/05/94. Relativa a los medicamentos, materiales de curación y personal que presta los primeros auxilios en los centros de trabajo.

NOM-021-STPS-1993 24/05/94. Relativa a los requerimientos, características de los informes de los riesgos de trabajo que ocurran, para integrar las estadísticas.

NOM-022-STPS-1993 06/12/93. Relativa a las condiciones de seguridad en los centros de trabajo en donde la electricidad estática representa un riesgo.

NOM-023-STPS-1993 25/03/94. Relativa a los elementos y dispositivos de seguridad de los equipos para izar en los centros de trabajo.

NOM-024-STPS-1993 25/03/94. Relativa a las condiciones de seguridad e higiene en los centros de trabajo donde se generen vibraciones.

NOM-025-STPS-1993 25/05/94. Relativa a los niveles y condiciones de iluminación que deben tener los centros de trabajo.

NOM-026-STPS-1993 26/05/94. Seguridad, colores y su aplicación.

NOM-027-STPS-1993 27/05/94. Señales y avisos de seguridad e higiene.

NOM-028-STPS-1993 24/05/94. Seguridad.- código de colores para la identificación de fluidos conducidos en tuberías.

NOM-029-STPS-1993 14/04/94 Seguridad.- equipo de protección respiratoria-código de seguridad para la identificación de botes y cartuchos purificadores de aire.

NOM-030-STPS-1993 15/03/94. Seguridad.- equipo de protección respiratoria-definiciones y clasificación.

NOM-100-STPS-1994 08/01/96. Norma oficial mexicana: seguridad. Extintores contra incendios a base de polvo químico seco con presión contenida especificaciones.

NOM-101-STPS-1994 08/01/96. Norma oficial mexicana: de funcionamiento de extintores a base de espuma química.

NOM-102-STPS-1994 10/01/96. Norma oficial mexicana. Seguridad. Extintores contra incendios a base de bióxido de carbono, parte 1: recipientes.

Anexo

- NOM-103-STPS-1994 10/01/96. Norma oficial mexicana: seguridad. Extintores contra incendio a base de agua con presión contenida.
- NOM-104-STPS-1994 11/01/96. Norma oficial mexicana: seguridad. Extintores contra incendio a base de polvo químico seco tipo ABC, a base de fosfato mono amoniaco.
- NOM-105-STPS-1994 05/01/96. Norma oficial mexicana: seguridad. Tecnología de fuego, terminología.
- NOM-106-STPS-1994 11/01/96. Norma oficial mexicana: productos de seguridad, agentes extinguidores-polvo químico seco tipo ABC, a base de bicarbonato de sodio.
- NOM-107-STPS-1994 12/01/96. Prevención técnica de accidentes en maquinas y equipo que operan en lugar fijo-seguridad mecánica y térmica-terminología.
- NOM-108-STPS-1996 16/01/96. Norma oficial mexicana: prevención técnica de accidentes en máquinas y equipos-diseño o adaptación de los sistemas y dispositivos de protección-riesgos en función de los movimientos mecánicos.
- NOM-109-STPS-1994 16/01/96. Norma oficial mexicana: prevención técnica de accidentes en máquinas que operan en lugares fijos-protectores y dispositivos de seguridad-tipos y características.
- NOM-110-STPS-1994 11/05/95. Seguridad en máquinas-herramienta para taladro, fresado y mandrilado.
- NOM-111-STPS-1994 22/01/96. Norma oficial mexicana: seguridad en las máquinas-herramienta denominadas máquinas de electroerosión.
- NOM-112-STPS-1994 11/05/95. Seguridad en las máquinas-herramienta denominadas roladoras, formadoras y curvadoras.
- NOM-113-STPS-1994 22/01/96. Norma oficial mexicana: calzado de protección.
- NOM-114-STPS-1994 30/01/96. Norma oficial mexicana: sistema para la identificación y comunicación de riesgos por sustancias químicas en los centros de trabajo.
- NOM-115-STPS-1994 31/01/96. Norma oficial mexicana: cascos de protección especificaciones métodos de prueba y clasificación.
- NOM-116-STPS-1994 01/02/96. Norma Oficial Mexicana: seguridad, respiradores purificadores de aire contra partículas nocivas.

Bibliografía



TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

B

Bibliografía



Arroyo Merino José Antonio
La botánica en experimentos
Edit. Santillana
1965, México

American Water Works Association, Inc.
Procedimientos simplificados para el examen de aguas
Manual simplificado de laboratorio
Centro regional de ayuda técnica para el desarrollo internacional (AID)

Fair Gordon Maskew - Geyer John Charles
Purificación de aguas y tratamiento y remoción de aguas residuales
Edit. Limusa
2002, México

Henry Glen - Heinke Gary
Ingeniería ambiental
Edit. Pearson
1999, México

Mihelcic James R.
Fundamentos de ingeniería ambiental
Edit. Limusa
2001, México

Muñiz Arcila Flora
Tesis: Estudios de calidad del agua
1997, México

Poder Ejecutivo Federal
Programa Nacional Hidráulico 2001-2006
México

Romero Rojas Jairo Alberto
Calidad del agua
Edit. Alfaomega
1999, México

Secretaría de Desarrollo Urbano y Ecología
Manual de procedimientos de ruido y aire
SEDUE
1980, México



Tebbutt T. H. Y.

Fundamentos de control de la calidad del agua

Edit. Limusa

1999, México

Turk Amos - Turk Jonathan - Wittes Janet

Ecología - contaminación - medio ambiente

Edit. Interamericana

1972, México

Vázquez Alba - César Enrique

Impacto ambiental

UNAM - IMTA

1994, México

Zarco Rubio Esther

Seguridad en laboratorios

Edit. Trillas

1990, México



www.cepis.ops-oms.org

www.df.gob.mx/leyes/leyamb/

www.juridicas.unam.mx

www.profepa.gob.mx/jur/normas.htm

www.semarnat.gob.mx