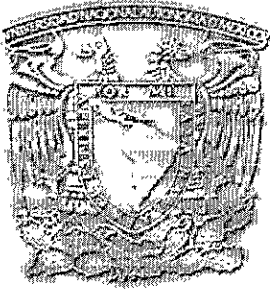


19



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA
DE MÉXICO

FACULTAD DE INGENIERÍA

ESTUDIO DEL MODELO DE CELDILLAS DE MEZCLADO,
PARA EL ANÁLISIS DE CONTAMINANTES EN PRESAS,
LAGOS Y EMBALSES

T E S I S
QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE
INGENIERO CIVIL
P R E S E N T A:
FRANCISCO CHÁVEZ AGUILAR

Asesor de tesis:

ING. MIGUEL ÁNGEL GONZÁLEZ LÓPEZ



Universidad Nacional
Autónoma de México



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/054/99

Señor
FRANCISCO CHAVEZ AGUILAR
Presente

En atención a su solicitud me es grato hacer de su conocimiento el tema que propuso el profesor ING. MIGUEL ANGEL GONZALEZ LOPEZ, que aprobó esta Dirección, para que lo desarrolle usted como tesis de su examen profesional de INGENIERO CIVIL.

"ESTUDIO DEL MODELO DE CELDILLAS DE MEZCLADO, PARA EL ANALISIS DE CONTAMINANTES EN PRESAS, LAGOS Y EMBALSES"

- INTRODUCCION
- I. LEGISLACION EN MATERIA DE USO Y MANEJO DEL AGUA
 - II. GENERALIDADES SOBRE LA CONTAMINACION DEL AGUA
 - III. PRINCIPALES FACTORES QUE INTERVIENEN EN LA ASIMILACION Y DILUCION DE CONTAMINANTES
 - IV. MODELO DE CELDILLAS DE MEZCLADO
 - V. APLICACION EN LA COMPUTADORA DEL MODELO MATEMATICO
 - VI. CASO ESTUDIO
 - VII. CONCLUSIONES

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 ESPÍRITU"
Cd. Universitaria a 29 de marzo de 1999.
EL DIRECTOR

ING. GERARDO FERRANDO BRAVO
GFB/GMP/mstg.

A mis padres, por su amor y enseñanzas.

A mis hermanas, por su cariño y apoyo.

A la Universidad Nacional Autónoma de México y sus maestros, por las enseñanzas que me impartieron.

A Miguel Ángel González, por su colaboración para la realización de este trabajo.

A mi familia, amigos y a todas las personas que de alguna forma me ayudaron a concluir con éxito mis estudios.

ÍNDICE

Introducción

CAPÍTULO I LEGISLACIÓN EN MATERIA DE USO Y MANEJO DEL AGUA.

1.1 Legislación Nacional.

1.1.1 Ley de Aguas Nacionales.

1.1.2 Ley Federal de Derechos.

1.1.3 Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente.

1.1.4 Normas y Reglamentos.

1.1.4.1 Reglamento de la Ley de Aguas Nacionales.

1.1.4.2 Norma Oficial Mexicana.

1.2 Legislación Internacional.

CAPÍTULO II GENERALIDADES SOBRE LA CONTAMINACIÓN DEL AGUA.

2.1 Clasificación y descripción de los contaminantes del agua.

2.2 Fuentes de contaminación del agua.

2.3 Eutroficación en lagos.

2.4 Índice de Calidad del Agua.

2.5 Programa de aforo.

2.6 Programa de muestreo.

2.7 Análisis de campo y laboratorio.

2.7.1 Determinaciones en campo.

2.7.2 Determinaciones en laboratorio.

CAPÍTULO 3 PRINCIPALES FACTORES QUE INTERVIENEN EN LA CAPACIDAD DE ASIMILACIÓN Y DILUCIÓN DE CONTAMINANTES.

3.1 Capacidad de asimilación y dilución.

3.2 Advección y difusión.

3.3 Características hidráulicas de los embalses.

3.4 Factores que afectan la autodepuración de los embalses.

CAPÍTULO IV MODELO DE CELDILLAS DE MEZCLADO.

4.1 Descripción general del modelo.

4.2 Modelo determinístico.

4.3 Modelo estocástico.

4.4 Flujo desde una fuente.

4.5 Flujo desde una fila infinita de fuentes.

4.6 Modelo de celdillas de mezclado.

4.7 Mediciones en el campo.

CAPÍTULO V APLICACIÓN EN LA COMPUTADORA DEL MODELO MATEMÁTICO.

5.1 Programa.

5.2 Descripción del programa.

5.3 Diagrama del sistema.

5.4 Simulación.

5.5 Gráficas.

5.6 Resultados.

CAPÍTULO VI CASO ESTUDIO.

6.1 Región y cuenca hidrológica.

6.2 Programa de aforos, muestreos y análisis de muestras

6.3 Aplicación del modelo matemático.

6.4 Evaluación de las características de la calidad del agua

CAPÍTULO VII CONCLUSIONES.

INTRODUCCIÓN

El agua y la vida van de la mano en todo el planeta. Esta situación se torna crítica donde el agua es escasa en cantidad y calidad y donde el hombre y sus actividades más lo requieren. En particular, en México hablar del agua es referirse a un gran contraste de escasez y abundancia en cantidad y calidad. Aun así este recurso puede ser suficiente, siempre y cuando se cuide su uso, aprovechando hasta el último cada gota, además de regresarlo después de su uso, a corrientes, acuíferos y almacenamientos en condiciones tales que sea posible el reaprovechamiento del líquido.

La escasez natural de agua en dos terceras partes del territorio nacional se ha agravado, como resultado del proceso de desarrollo del país. Este desarrollo también ha afectado su calidad.

México cuenta con un millón y medio de hectáreas de lagos y embalses artificiales, por esto es necesario tener un control de estos importantes recursos. La limnología (ciencia interdisciplinaria indispensable para el aprovechamiento y preservación de los cuerpos de agua) constituye un campo de especial interés para nuestro país.

En el ámbito federal corresponde a la Comisión Nacional del Agua definir el marco en que se desarrollan el manejo y la preservación de los lagos y embalses. En su amplia esfera de acción participan organismos gubernamentales, instituciones de investigación, de docencia y la sociedad misma, bajo distintos intereses.

El uso y explotación de los recursos acuáticos ha sido ampliamente reglamentado y legislado. De esta manera se ha establecido un marco legal para impulsar la conservación y utilización racional del recurso natural no sólo más importante para el país, sino para el hombre mismo.

Aún así esto no es suficiente pues existe la necesidad de elaborar estrategias que permitan, con ayuda de estas leyes, rehabilitar las cuencas hidrológicas del país e integrarlas en un sistema de conservación y manejo adecuado.

El presente trabajo se refiere al estudio y aplicación de un método de predicción, aplicado a la determinación de la incidencia ambiental de la descarga de contaminantes en cuerpos de agua.

La aplicación del modelo que se presenta es básica en la evaluación del impacto ambiental de diversos proyectos y constituye una valiosa herramienta en la etapa de planeación de los mismos.

El presente trabajo esta integrado por 7 capítulos, iniciando con "*Legislación en materia de uso y manejo del agua*" este capítulo presenta un extracto de las leyes ambientales tanto nacionales como internacionales. Este capítulo presenta los límites permisibles y los parámetros a tomar en cuenta en la prevención de la contaminación del agua.

Seguido por el capítulo “Generalidades sobre la contaminación del agua”. En el cual se describen los procesos y actividades que causan contaminación, así como los parámetros y metodologías que se usan para cuantificar el nivel de contaminación del agua.

El capítulo 3 “*Principales factores que intervienen en la asimilación y dilución de contaminantes*” describe los factores que intervienen en los procesos por los cuales se mitiga la contaminación del agua.

El capítulo 4 “*Modelo de celdillas de mezclado*” resume el proceso mediante el cual se llegó al modelo, en este se pasa del caso más sencillo (flujo en una sola dimensión) al más complejo, que es el objetivo de estudio de este trabajo (el caso tridimensional). La metodología consiste en comparar los resultados obtenidos para los casos de flujo que se pueden presentar, para así poder verificar los resultados obtenidos para los casos más complejos.

En el capítulo 5 “*Aplicación en la computadora del modelo matemático*” se realizó un programa de computadora del modelo de celdillas de mezclado con la finalidad de automatizar el proceso de cálculo del modelo, para poder así obtener resultados en forma más rápida y eficaz.

El capítulo 6 “*Caso estudio*” presenta la utilización del modelo, en un estudio previamente realizado con datos reales obtenidos a partir de muestreos en la zona, para poder así comparar los resultados obtenidos en ambos casos.

Por último el capítulo 7 “*Conclusiones*” presenta los resultados, recomendaciones y evaluación del modelo de celdillas de mezclado.

CAPÍTULO I

LEGISLACIÓN EN MATERIA DE USO Y MANEJO DE AGUA

LEGISLACIÓN EN MATERIA DE USO Y MANEJO DEL AGUA.

El agua es un recurso natural indispensable, sin ella no se concebiría la vida tal cual la conocemos, por este motivo es de vital importancia el cuidarla.

Las poblaciones en general buscan situarse en zonas donde el vital líquido se encuentre cercano con los lugares de abastecimiento de agua potable, lo que a su vez ocasiona la contaminación de la misma. Esta contaminación es causada por los desechos que las poblaciones producen. Por lo anterior es muy importante el reglamentar la disposición de estos contaminantes.

1.1 Legislación Nacional.

El primer escrito que trató y reglamentó la contaminación de las aguas en nuestro país fue, el Código Sanitario de los Estados Unidos Mexicanos en el año de 1955, este código contemplaba acciones para proteger la salud de los habitantes del país, producto de la contaminación del agua.

En el año de 1972 la Secretaría de Salubridad y Asistencia ayudó a que se promulgara una Ley Federal para prevenir y controlar la contaminación; basándose en dicha ley se expidió el "Reglamento para prevenir y controlar la contaminación de las aguas".

En la actualidad las leyes que rigen en materia de contaminación ambiental son: la Ley General de Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente y la Ley de Aguas Nacionales.

La normatividad en nuestro país tiene su origen en la Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos, que en los artículos 4, 27 y 73, norma la política a seguir para proteger la salud y el ambiente. De los artículos antes citados se derivan las leyes, en este caso la de Aguas Nacionales y la Ley General de Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente. Estas leyes competen además de la Federación a los Estados y Municipios que conforman nuestro país.

De estas leyes se derivan a su vez los reglamentos, como por ejemplo el Reglamento de la Ley de Aguas Nacionales, el Reglamento de Prevención y Control de la Contaminación del Agua y el Reglamento de Establecimientos y Servicios, entre otros. De estos reglamentos se derivan las Normas Oficiales Mexicanas (NOM), que son las que establecen las características de las descargas a los cuerpos receptores y otras que determinan las características físicas, químicas y bacteriológicas para el agua potable. Adicionalmente se tienen otro tipo de Normas como las Normas Mexicanas (NMX) o las Normas ISO, que aunque su aplicación no es de carácter obligatorio sirven como parámetros de calidad.

A continuación se presenta una recopilación de los artículos de las Leyes, Reglamentos y Normas citados anteriormente que competen al estudio de este trabajo, es decir a la contaminación del agua, en particular en embalses.

En el cuadro 1.1 se muestra un esquema de la Legislación Ambiental en materia de uso y manejo del agua en México.

Cuadro 1.1- Esquema de la Legislación Ambiental Nacional

CONSTITUCIÓN POLÍTICA DE LOS ESTADOS UNIDOS MEXICANOS		- Art. 4º Salud - Art. 27 Aguas Propiedad Nacional - Art. 73 Consejo de Salubridad - Art. 115 Municipios	
LEYES	FEDERALES	- AGUAS NACIONALES	Art. 85 al 96
	GENERALES	- EQUILIBRIO ECOLÓGICO Y PROTECCIÓN AL AMBIENTE - SALUD	Art. 117 al 133 Art. 116,118 y 122
REGLAMENTOS		- AGUAS NACIONALES - PREVENCIÓN Y CONTROL DE LA CONTAMINACIÓN DEL AGUA - ESTABLECIMIENTOS Y SERVICIOS	Art. 133 al 156 Art. 5 al 29 Art. 1335 al 1346
- CRITERIOS - NORMAS OFICIALES MEXICANAS (NOM) - NORMAS MEXICANAS (NMX)		- CALIDAD DEL AGUA - DESCARGAS, MUESTREO AGUA POTABLE	NOM 001 – 002 – 003 004 - 005

1.1.1. Ley de Aguas Nacionales.

Esta ley se expidió el día 27 de noviembre de 1992, a continuación se citan los artículos de esta ley que competen al objeto de estudio en este trabajo.

ARTÍCULO 1o.- La presente ley es reglamentaria del artículo 27 de la Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos en materia de aguas nacionales; es de observancia general en todo el territorio nacional, sus disposiciones son de orden público e interés social y tiene por objeto regular la explotación, uso o aprovechamiento de dichas aguas, su distribución y control, así como la preservación de su cantidad y calidad para lograr su desarrollo integral sustentable.

ARTÍCULO 2o.- Las disposiciones de esta ley son aplicables a todas las aguas nacionales, sean superficiales o del subsuelo. Estas disposiciones también son aplicables a los bienes nacionales que la presente ley señala.

TÍTULO SÉPTIMO

PREVENCIÓN Y CONTROL DE LA CONTAMINACIÓN DE LAS AGUAS

ARTÍCULO 85.- Es de interés público la promoción y ejecución de las medidas y acciones necesarias para proteger la calidad del agua, en los términos de ley.

ARTÍCULO 86.- "La Comisión" tendrá a su cargo:

III. Establecer y vigilar el cumplimiento de las condiciones particulares de descarga que deben satisfacer las aguas residuales que se generen en bienes y zonas de jurisdicción federal; de aguas residuales vertidas directamente en aguas y bienes nacionales, o en

cualquier terreno cuando dichas descargas puedan contaminar el subsuelo o los acuíferos; y en los demás casos previstos en la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente;

VII. Ejercer las atribuciones que corresponden a la Federación en materia de prevención y control de la contaminación del agua y de su fiscalización y sanción, en los términos de la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente, salvo que corresponda a otra dependencia conforme a la Ley Orgánica de la Administración Pública Federal.

ARTÍCULO 87.- *"La Comisión" determinará los parámetros que deberán cumplir las descargas, la capacidad de asimilación y dilución de los cuerpos de aguas nacionales y las cargas de contaminantes que éstos pueden recibir, así como las metas de calidad y los plazos para alcanzarlas, mediante la expedición de Declaratorias de Clasificación de los Cuerpos de Aguas Nacionales, las cuales se publicarán en el Diario Oficial de la Federación, lo mismo que sus modificaciones, para su observancia.*

Las declaratorias contendrán:

I. La delimitación del cuerpo de agua clasificado;

II. Los parámetros que deberán cumplir las descargas según el cuerpo de agua clasificado conforme a los periodos previstos en el reglamento de esta ley;

III. La capacidad del cuerpo de agua clasificado para diluir y asimilar contaminantes; y

IV. Los límites máximos de descarga de los contaminantes analizados, base para fijar las condiciones particulares de descarga.

ARTÍCULO 88.- *Las personas físicas o morales requieren permiso de "La Comisión" para descargar en forma permanente, intermitente o fortuita aguas residuales en cuerpos receptores que sean aguas nacionales o demás bienes nacionales, incluyendo aguas marinas, así como cuando se infiltren en terrenos que sean bienes nacionales o en otros terrenos cuando puedan contaminar el subsuelo o los acuíferos.*

El control de las descargas de aguas residuales a los sistemas de drenaje o alcantarillado de los centros de población, corresponde a los municipios, con el concurso de los Estados cuando así fuere necesario y lo determinen las leyes.

ARTÍCULO 89.- *"La Comisión", para otorgar los permisos deberá tomar en cuenta la clasificación de los cuerpos de aguas nacionales a que se refiere el artículo 87, las normas oficiales mexicanas correspondientes y las condiciones particulares que requiera cumplir la descarga.*

"La Comisión" deberá contestar la solicitud de permiso de descarga presentada en los términos del reglamento, dentro de los sesenta días hábiles siguientes a su admisión. En caso de que no se conteste dentro de dicho lapso, estando integrado debidamente el expediente el solicitante podrá efectuar las descargas en los términos solicitados, lo cual no será obstáculo para que "La Comisión" expida el permiso de descarga al que se deberá sujetar el permisionario cuando considere que se deben de fijar condiciones particulares de descarga y requisitos distintos a los contenidos en la solicitud.

Cuando el vertido o descarga de las aguas residuales afecten o puedan afectar fuentes de abastecimiento de agua potable o a la salud pública, "La Comisión" lo comunicará a la autoridad competente y dictará la negativa del permiso correspondiente o su inmediata revocación y, en su caso, la suspensión del suministro del agua en tanto se eliminan estas anomalías.

ARTÍCULO 90.- *"La Comisión" en los términos del reglamento expedirá el permiso de descarga de aguas residuales, en el cual se deberá precisar por lo menos la ubicación y descripción de la descarga en cantidad y calidad, el régimen al que se sujetará para prevenir y controlar la contaminación del agua y la duración del permiso.*

Cuando las descargas de aguas residuales se originen por el uso o aprovechamiento de aguas nacionales, los permisos de descarga tendrán, por lo menos, la misma duración que el título de concesión o asignación correspondiente y se sujetarán a las mismas reglas sobre la prórroga o terminación de aquéllas.

Los permisos de descarga se podrán transmitir en los términos del Capítulo V, Título Cuarto, siempre y cuando se mantengan las características del permiso.

ARTÍCULO 92.- *"La Comisión", en el ámbito de su competencia, podrá ordenar la suspensión de las actividades que den origen a las descargas de aguas residuales:*

I. Cuando no se cuente con el permiso de descarga de aguas residuales en los términos de esta ley;

II. Cuando la calidad de las descargas no se sujete a las normas oficiales mexicanas correspondientes, a las condiciones particulares de descarga o a lo dispuesto en esta ley y su reglamento;

III. Cuando se deje de pagar el derecho por el uso o aprovechamiento de bienes del dominio público de la Nación como cuerpos receptores de las descargas de aguas residuales; o

IV. Cuando el responsable de la descarga utilice el proceso de difusión de las aguas residuales para tratar de cumplir con las normas oficiales mexicanas respectivas o las condiciones particulares de descarga.

La suspensión será sin perjuicio de la responsabilidad civil, pena o administrativa en que se hubiera podido incurrir.

Sin perjuicio de lo anterior, cuando exista riesgo de daño o peligro para la población o los ecosistemas, "La Comisión" a solicitud de la autoridad competente podrá realizar las acciones y obras necesarias para evitarlo, con cargo a quien resulte responsable.

ARTÍCULO 93.- *Son causas de revocación del permiso de descarga de aguas residuales:*

I. Efectuar la descarga en un lugar distinto del autorizado por "La Comisión";

II. Realizar los actos u comisiones que se señalan en las fracciones II, III y IV del artículo anterior, cuando con anterioridad se hubieren suspendido las actividades del permisionario por "La Comisión" por la misma causa; o

III. La revocación de la concesión o asignación de aguas nacionales, cuando con motivo de dicho título sean éstas las únicas que con su explotación, uso o aprovechamiento originen la descarga de aguas residuales.

Cuando proceda la revocación, "La Comisión", previa audiencia al interesado, dictará y notificará la resolución respectiva, la cual deberá estar debidamente fundada y motivada.

El permiso de descarga de aguas residuales caducará cuando en los términos de la presente ley caduque el título de concesión o asignación de las aguas nacionales origen de la descarga.

ARTÍCULO 95.- *"La Comisión", en el ámbito de la competencia federal, realizará la inspección o fiscalización de las descargas de aguas residuales con el objeto de verificar el cumplimiento de la ley. Los resultados de dicha fiscalización o inspección se harán constar en acta circunstanciada, producirán todos los efectos legales y podrán servir de base para que "La Comisión" y las demás dependencias de la Administración Pública Federal competentes, puedan aplicar las sanciones respectivas previstas en la ley.*

ARTÍCULO 96.- *En las zonas de riego y en aquellas zonas de contaminación extendida o dispersa, el manejo y aplicación de sustancias que puedan contaminar las aguas nacionales superficiales o del subsuelo, deberán cumplir las normas, condiciones y disposiciones que se desprendan de la presente ley y su reglamento.*

TÍTULO OCTAVO

INVERSIÓN EN INFRAESTRUCTURA HIDRÁULICA

Capítulo IV

Cobro por Explotación, Uso o Aprovechamiento de Aguas Nacionales y Bienes Nacionales

ARTÍCULO 112.- *La explotación, uso o aprovechamiento de aguas nacionales, incluyendo las del subsuelo, así como de los bienes nacionales que administre "La Comisión", motivará el pago por parte del usuario de las cuotas que establece la Ley Federal de Derechos.*

La explotación, uso o aprovechamiento de bienes del dominio público de la Nación como cuerpos receptores de descargas de aguas residuales motivará el pago del derecho que establece la Ley Federal de Derechos. El pago es independiente del cumplimiento de lo dispuesto en esta ley sobre la prevención y control de la calidad del agua; de lo dispuesto en la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente; y en la Ley General de Salud.

TÍTULO NOVENO

BIENES NACIONALES A CARGO DE "LA COMISIÓN"

ARTÍCULO 113.- *La administración de los siguientes bienes nacionales queda a cargo de "La Comisión":*

II. Los terrenos ocupados por los vasos de lagos, lagunas, esteros o depósitos naturales cuyas aguas sean de propiedad nacional;

IV. Las riberas o zonas federales contiguas a los cauces de las corrientes y a los vasos o depósitos de propiedad nacional, en los términos previstos por el artículo 3o. de esta ley;

V. Los terrenos de los cauces y los de los vasos de lagos, lagunas o esteros de propiedad nacional, descubiertos por causas naturales o por obras artificiales;

VI. Las islas que existen o que se formen en los vasos de lagos, lagunas, esteros, presas y depósitos o en los cauces de corrientes de propiedad nacional, excepto las que se formen cuando una corriente segregue terrenos de propiedad particular, ejidal o comunal; y

VII. Las obras de infraestructura hidráulica financiadas por el gobierno federal, como presas, diques, vasos, canales, drenes, bordos, zanjas, acueductos, distritos o unidades de riego y demás construidas para la explotación, uso, aprovechamiento, control de inundaciones y manejo de las aguas nacionales, con los terrenos que ocupen y con las zonas de protección, en la extensión que en cada caso fije "La Comisión".

TÍTULO DÉCIMO

INFRACCIONES, SANCIONES Y RECURSOS

Capítulo I

Infracciones y Sanciones Administrativas

ARTÍCULO 119.- *"La Comisión" sancionará, conforme a lo previsto por esta ley, las siguientes faltas:*

I. Descargar en forma permanente, intermitente o fortuita aguas residuales en contravención a lo dispuesto en la presente ley en cuerpos receptores que sean bienes nacionales, incluyendo aguas marinas, así como cuando se infiltren en terrenos que sean bienes nacionales o en otros terrenos cuando puedan contaminar el subsuelo o el acuífero, sin perjuicio de las sanciones que fijen las disposiciones sanitarias y de equilibrio ecológico y protección al ambiente;

XIII. *Suministrar aguas nacionales para consumo humano que no cumplan con las normas de calidad correspondientes;*

XIV. *Arrojar o depositar, en contravención a la ley, basura, sustancias tóxicas peligrosas y lodos provenientes de los procesos de tratamiento de aguas residuales, en ríos, cauces, vasos, aguas marinas y demás depósitos o corrientes de agua, o infiltrar materiales y sustancias que contaminen las aguas del subsuelo;*

1.1.2 Ley Federal de Derechos.

Esta ley se expidió el día 29 de diciembre de 1998, a continuación se citan algunos de los artículos de esta ley que competen al objeto de estudio en este trabajo.

ARTÍCULO 1ro.- Las cuotas de los derechos se actualizarán en la cantidad que resulte de multiplicar las mismas por los factores que en su caso establezca el Congreso de la Unión. Asimismo las cuotas de los derechos se actualizarán en los meses de abril, julio y octubre con el factor de actualización correspondiente al periodo comprendido desde el cuarto mes inmediato anterior hasta el último mes anterior a aquél por el cual se efectúa la actualización, mismo que se obtendrá de conformidad con el artículo 17-A del Código Fiscal de la Federación.

ARTÍCULO 192-A.

I Por cada título de concesión para la extracción de materiales de cauces, vasos y depósitos de propiedad nacional. \$640.00

III. Permiso para la construcción de obras hidráulicas destinadas a la explotación, uso o aprovechamiento de aguas nacionales o en zonas de veda y reglamentadas, para perforación de pozos para uso de aguas del subsuelo o para la construcción de obras en zona federal, por cada uno \$1,955.00

ARTÍCULO 192-D.- No pagarán los derechos a que se refieren los artículos 192 y 192-A, fracciones II, III y V del presente Capítulo, los usuarios de aguas nacionales que se dediquen a actividades agrícolas o pecuarias, así como el uso doméstico que se relacione con éstas, y las poblaciones rurales iguales o inferiores a 2,500 habitantes, de acuerdo al resultado del último Censo General de Población y Vivienda

ARTÍCULO 277.

VI. Demanda Bioquímica de Oxígeno: Cantidad de oxígeno consumido por la actividad metabólica de microorganismos, en un periodo de cinco días, a 20°C, considerando la suma de las concentraciones solubles y en suspensión;

X. Índice de Incumplimiento: Cantidad de veces que la concentración de cada contaminante en las descargas de aguas residuales vertidas, rebasa los límites máximos permisibles establecidos en esta Ley, la cual se obtiene de la diferencia entre la concentración de contaminantes de las descargas de aguas residuales y la concentración establecida como límite máximo permisible, dividida entre esta última;

XVI. Tipos de contaminantes:

a) Contaminantes Básicos: Son aquellos compuestos y parámetros que se presentan en las descargas de aguas residuales y que pueden ser removidos o estabilizados mediante tratamientos convencionales. En lo que corresponde a esta Ley, sólo se consideran grasas y aceites, sólidos suspendidos totales, demanda bioquímica de oxígeno, nitrógeno total (suma de las concentraciones de nitrógeno Kjeldahl, de nitritos y de nitratos, expresadas en miligramos por litro como nitrógeno), fósforo total y pH;

b) Contaminantes Patógenos y Parasitarios: Son aquellos microorganismos, quistes y huevos de parásitos que pueden estar presentes en las aguas residuales y que representan un riesgo para la salud humana, flora o fauna. En lo que corresponde a esta Ley, se

consideran los coliformes fecales; expresados como número más probable de organismos por 100 mililitros;

c) Metales Pesados y Cianuros: Son aquellos que en concentraciones por encima de determinados límites, pueden producir efectos negativos en la salud humana, flora o fauna. En lo que corresponde a esta Ley, se consideran los siguientes: arsénico, cadmio, cobre, cromo, mercurio, níquel, plomo, zinc y cianuros expresados en su forma total.

XIX. Embalse Artificial: Vaso de formación artificial que se origina por la construcción de un bordo o cortina y que es alimentado por uno o varios ríos o agua subterránea o pluvial.

XX. Embalse Natural: Vaso de formación natural que es alimentado por uno o varios ríos o agua subterránea o pluvial.

ARTÍCULO 278.- *Por el uso o aprovechamiento de bienes del dominio público de la Nación como cuerpos receptores de las descargas de aguas residuales, se causará el derecho de acuerdo con el tipo del cuerpo receptor en donde se realice la descarga, conforme al volumen de agua descargada y los contaminantes vertidos, en lo que rebasen los límites máximos permisibles establecidos en la presente Ley.*

Los responsables de las descargas de aguas residuales no deberán exceder los límites máximos permisibles establecidos en esta Ley.

ARTÍCULO 278-A.- *Los cuerpos de propiedad nacional, receptores de las descargas de aguas residuales, se clasifican como sigue:*

Se consideran tipo A, todos los que no se señalan como tipos B o C: se consideran tipo B todos los Estuarios y Humedales Naturales. Asimismo, se consideran tipo B, todos los Embalses Naturales o Artificiales, a excepción de los que se clasifican como tipo C.

ARTÍCULO 278-B.

II. El responsable de la descarga tendrá la obligación de realizar el muestreo y análisis de la calidad del agua descargada, en muestras de cada una de sus descargas que reflejen cuantitativa y cualitativamente el proceso más representativo de las actividades que den origen a la descarga y para todos los contaminantes que genere, establecidos en esta Ley.

Para cada descarga, el contribuyente determinará, conforme al promedio de las muestras tomadas, la concentración promedio de contaminantes básicos, metales pesados, cianuros, en miligramos por litro. En caso de los parámetros potencial Hidrógeno y coliformes fecales, se determinarán en sus respectivas unidades. Lo anterior, conforme lo señalado en el procedimiento obligatorio de muestreo de descargas.

Una vez determinadas las concentraciones de los contaminantes básicos, metales pesados y cianuros, coliformes fecales y potencial Hidrógeno, expresados en miligramos por litro o en las unidades respectivas, se compararán con los valores correspondientes a los límites máximos permisibles por cada contaminante, previstos en el presente Capítulo. En caso de que las concentraciones sean superiores a dichos límites, se causará el derecho, por el excedente del contaminante correspondiente.

Para los efectos de la Tabla 1.1, se entiende que la concentración de los contaminantes nitrógeno, fósforo, arsénico, cadmio, cianuros, cobre, cromo, mercurio, níquel, plomo y zinc, debe ser medida de manera total.

El responsable de la descarga estará exento de realizar el muestreo y análisis de alguno o varios de los parámetros que se señalan en la Tabla I del presente artículo, cuando demuestre que, por las características del proceso productivo o el uso que le dé al agua, no genera o concentra los contaminantes a eximir, manifestándolo ante la Comisión Nacional del Agua, por escrito y bajo protesta de decir verdad. La autoridad podrá verificar la veracidad de lo manifestado por el usuario. En caso de falsedad, el responsable quedará sujeto a lo dispuesto en los ordenamientos legales aplicables.

III. Para los contaminantes básicos, metales pesados o cianuros, las concentraciones de cada uno de ellos que rebasen los límites máximos permisibles, expresadas en miligramos por litro, obtenidas conforme al artículo anterior, se multiplicarán por el factor de 0.001, para convertirlas a kilogramos por metro cúbico. Este resultado, a su vez, se multiplicará por el volumen de aguas residuales, en metros cúbicos descargados en el trimestre correspondiente, obteniéndose así, la carga de contaminantes, expresada en kilogramos por trimestre descargado al cuerpo receptor.

Para determinar el índice de incumplimiento y la cuota en pesos por kilogramo, a efecto de obtener el monto del derecho para cada uno de los contaminantes básicos, metales pesados o cianuros, se procederá conforme a lo siguiente:

ARTÍCULO 281-A.- *El monto a acreditar, deberá efectuarse en la declaración provisional trimestral o bien en la declaración del ejercicio fiscal que corresponda. Cuando el monto a acreditar sea mayor al derecho a cargo, el excedente se descontará en las siguientes declaraciones provisionales trimestrales o anuales.*

ARTÍCULO 282.

I. Los contribuyentes cuyos contaminantes no rebasen los límites máximos permisibles establecidos en la presente Ley.

VII. Las entidades públicas o privadas, que sin fines de lucro presten servicios de asistencia médica, servicio social o de impartición de educación escolar gratuita en beneficio de poblaciones rurales de hasta 2,500 habitantes.

VIII. Los usuarios domésticos que se ubiquen en localidades que carezcan de sistemas de alcantarillado, por las aguas residuales que se generen en su casa habitación.

ARTÍCULO 282-A.- *No pagarán el derecho a que se refiere este Capítulo, aquellos usuarios cuyas descargas contengan contaminantes que rebasen los límites máximos permisibles establecidos en la presente Ley, siempre y cuando presenten ante la Comisión Nacional del Agua, un programa de acciones y cumplan con el mismo, para mejorar la calidad de sus aguas residuales, ya sea mediante cambios en sus procesos productivos o para el control o tratamiento de sus descargas, a fin de no rebasar dichos límites, y mantengan o mejoren la calidad de sus descargas de aguas residuales.*

Para los efectos del párrafo anterior, la Comisión Nacional del Agua en términos del instructivo para la presentación y seguimiento del programa de acciones publicado en el Diario Oficial de la Federación, vigilará el cumplimiento en el avance de las acciones comprometidas por los usuarios, en estos casos, el contribuyente estará obligado a efectuar el cálculo de su pago y a presentar sus declaraciones trimestrales conforme a lo establecido en esta Ley, sin enterar el pago del derecho, señalando en su declaración correspondiente la siguiente leyenda "Sin pago de conformidad con lo establecido en el párrafo primero del artículo 282-A de la Ley Federal de Derechos".

ARTÍCULO 282-B.- *Cuando las personas físicas o morales para el cumplimiento de la obligación legal de tratar sus aguas residuales, contraten o utilicen los servicios de empresas que traten aguas residuales, estas últimas tendrán que cumplir con lo dispuesto en este Capítulo, siempre y cuando utilicen o contaminen bienes nacionales como cuerpos receptores de las descargas de aguas residuales que traten.*

ARTÍCULO 282-C.- *Los contribuyentes que cuenten con planta de tratamiento de aguas residuales y aquellos que en sus procesos productivos hayan realizado acciones para mejorar la calidad de sus descargas y éstas, sean de una calidad superior a la establecida en los límites máximos permisibles establecidos en esta Ley, podrán gozar del descuento en el pago del derecho por uso o aprovechamiento de aguas nacionales a que se refiere el Capítulo VIII, del Título II de esta Ley. Este beneficio se aplicará únicamente a los aprovechamientos de aguas nacionales que generen la descarga de aguas residuales, de acuerdo con lo indicado en la Tabla IV, de este artículo, siempre y cuando los contribuyentes cumplan con las disposiciones de la Ley de Aguas Nacionales, su Reglamento y esta Ley.*

TABLA 1.1 LÍMITES MÁXIMOS PERMISIBLES PARA CONTAMINANTES BÁSICOS, METALES PESADOS Y CIANUROS

Parámetros	Cuerpos Receptores			Tipo C
	Tipo A	Tipo B	Tipo B	
	Ríos con uso de riego agrícola; Acuíferos	Ríos con uso público urbano; Acuíferos	Embalses naturales y artificiales con uso en riego agrícola	
	P.M.	P.M.	P.M.	Ríos con uso en protección de vida Acuática; embalses naturales con uso público urbano; Acuíferos
Grasas y Aceites	15	15	15	15
Sólidos Suspendedidos	150	75	75	40
Demanda Bioquímica de Oxígeno	15	75	75	30
Nitrógeno Total	40	40	40	15
Fósforo Total	20	20	20	5
Arsénico (*)	0.2	0.1	0.2	0.1
Cadmio (*)	0.2	0.1	0.2	0.1
Cianuros (*)	2	1	2	1
Cobre (*)	4	4	4	4
Cromo (*)	1	0.5	1	0.5
Mercurio (*)	0.01	0.005	0.01	0.005
Níquel (*)	2	2	2	2
Plomo (*)	0.5	0.2	0.5	0.2
Zinc (*)	10	10	10	10

Todos los parámetros están especificados en mg/l excepto los que se especifiquen
P.M.: Promedio Mensual
(*) Medidos de manera total

ARTÍCULO 282-D.- Los usuarios que con posterioridad al 7 de enero de 1997, hayan iniciado o inicien operaciones que originen descargas de aguas residuales y aquellos que incrementen la carga de contaminantes en su descarga, como consecuencia de la realización de una ampliación a su planta productiva o para el caso de localidades que incorporen usuarios industriales a su sistema de alcantarillado que previamente hayan descargado a un cuerpo receptor nacional, no deberán rebasar los límites máximos permisibles de contaminantes establecidos en la presente Ley. En caso contrario, deberán pagar el derecho conforme a lo señalado en el presente Capítulo.

Asimismo, los usuarios que cuenten con planta de tratamiento, cuando su descarga no cumpla con los límites máximos permisibles establecidos en la presente Ley, están obligados a operar y mantener dicha infraestructura de saneamiento. Los que se encuentren en este supuesto y que descarguen una calidad de agua superior a la que están obligados, podrán gozar del beneficio citado en el artículo 282-C de este Capítulo, si es el caso. Si el usuario deja de operar la infraestructura, pagará el derecho a que se refiere este Capítulo.

ARTÍCULO 283.- Los contribuyentes que efectúen descargas permanentes o intermitentes estarán obligados a presentar la declaración a que se refiere el párrafo anterior, aun cuando no resulte pago del derecho a su cargo.

Las personas que efectúen descargas fortuitas de aguas residuales, deberán presentar la declaración aun cuando no resulte pago a su cargo, dentro del mes siguiente a aquél en que se realizó la descarga, misma que se considerará definitiva .

1.1.3 Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente.

Esta ley se expidió el día 23 de diciembre de 1987, a continuación se citan algunos de los artículos de esta ley que competen al objeto de estudio en este trabajo.

CAPITULO III

Atribuciones de la Secretaría y Coordinación entre las Dependencias y Entidades de la Administración Pública Federal

ARTÍCULO 9o.- En el Distrito Federal la Secretaría ejercerá las atribuciones a que se refiere el artículo anterior y el Departamento del Distrito Federal ejercerá las que se prevén para las autoridades locales, sin perjuicio de las que competan a la asamblea de representantes del Distrito Federal, ajustándose a las siguientes disposiciones especiales:

A. Corresponde a la Secretaría:

VI. Establecer las condiciones de descarga de las aguas residuales de los sistemas de drenaje del Distrito Federal a los cuerpos receptores;

VII. Expedir coordinadamente con las Secretarías de Agricultura y Recursos Hidráulicos y de Salud, las normas técnicas para regular el alejamiento, explotación, uso o aprovechamiento de aguas residuales;

C. La Secretaría y el Departamento del Distrito Federal se coordinarán particularmente cuando se trate de las siguientes materias:

II Aplicar, en las obras e instalaciones destinadas al tratamiento de aguas residuales que se construyan en el Distrito Federal, los criterios que emitan las autoridades federales, a efecto de que las descargas en cuerpos y corrientes de agua que pasen al territorio de otra u otras entidades federativas, satisfagan las normas técnicas ecológicas aplicables;

CAPITULO IV

Política Ecológica

ARTÍCULO 15.- *Para la formulación y conducción de la política ecológica y la expedición de normas técnicas y demás instrumentos previstos en esta Ley, en materia de preservación y restauración del equilibrio ecológico y protección al ambiente, el Ejecutivo Federal observará los siguientes principios:*

VI. El aprovechamiento de los recursos naturales renovables debe realizarse de manera que se asegure el mantenimiento de su diversidad y renovabilidad;

VII. Los recursos naturales no renovables deben utilizarse de modo que se evite el peligro de su agotamiento y la generación de efectos ecológicos adversos;

SECCIÓN V

Evaluación del Impacto Ambiental

ARTÍCULO 28.- *La realización de obras o actividades públicas o privadas, que puedan causar desequilibrios ecológicos o rebasar los límites y condiciones señalados en los reglamentos y las normas técnicas ecológicas emitidas por la Federación para proteger al ambiente, deberán sujetarse a la autorización previa del Gobierno Federal, por conducto de la Secretaría o de las entidades federativas o municipios, conforme a las competencias que señala esta Ley, así como al cumplimiento de los requisitos que se les impongan una vez evaluado el impacto ambiental que pudieren originar, sin perjuicio de otras autorizaciones que corresponda otorgar a las autoridades competentes.*

Cuando se trate de la evaluación del impacto ambiental por la realización de obras o actividades que tengan por objeto el aprovechamiento de recursos naturales, la Secretaría requerirá a los interesados que en la manifestación de impacto ambiental correspondiente, se incluya la descripción de los posibles efectos de dichas obras o actividades en el ecosistema de que se trate, considerando el conjunto de elementos que lo conforman y no únicamente los recursos que serían sujetos de aprovechamiento.

ARTÍCULO 29.- *Corresponderá al Gobierno Federal, por conducto de la Secretaría, evaluar el impacto ambiental a que se refiere el artículo 28 de esta Ley, particularmente tratándose de las siguientes materias:*

II. Obras hidráulicas, vías generales de comunicación, oleoductos, gasoductos y carboductos;

SECCIÓN VI

Normas Técnicas Ecológicas

ARTÍCULO 36.- *Para los efectos de esta Ley, se entiende por norma técnica ecológica, el conjunto de reglas científicas ó tecnológicas emitidas por la Secretaría, que establezcan los requisitos, especificaciones, condiciones, procedimientos, parámetros y límites permisibles que deberán observarse en el desarrollo de actividades o uso y destino de bienes, que causen o puedan causar desequilibrio ecológico o daño al ambiente, y, además que uniformen principios, criterios, políticas y estrategias en la materia.*

Las normas técnicas ecológicas, determinarán los parámetros dentro de los cuales se garanticen las condiciones necesarias para el bienestar de la población y para asegurar la preservación y restauración del equilibrio ecológico y la protección al ambiente.

ARTÍCULO 37.- *Las actividades y servicios que originen emanaciones, emisiones, descargas o depósitos, que causen o puedan causar desequilibrio ecológico o producir daño al ambiente o afectar los recursos naturales, la salud, el bienestar de la población, o los bienes propiedad del Estado o de los particulares, deberán observar los límites y procedimientos que se fijen en las normas técnicas ecológicas aplicables.*

SECCIÓN VII

Medidas de Protección de Áreas Naturales

ARTÍCULO 38.- La Federación, las entidades federativas y los municipios, establecerán medidas de protección de las áreas naturales, de manera que se asegure la preservación y restauración de los ecosistemas, especialmente los más representativos y aquellos que se encuentren sujetos a procesos de deterioro o degradación.

SECCIÓN IX

Información y Vigilancia

ARTÍCULO 42.- La Secretaría mantendrá un sistema permanente de información y vigilancia sobre los ecosistemas y su equilibrio en el territorio nacional; para lo cual, podrá coordinar sus acciones con las entidades federativas y los municipios. Asimismo, establecerá sistemas de evaluación de las acciones que emprenda.

TÍTULO TERCERO

Aprovechamiento Racional de los Elementos Naturales

CAPÍTULO I

Aprovechamiento Racional del Agua y los Ecosistemas Acuáticos

ARTÍCULO 88.- Para el aprovechamiento racional del agua y los ecosistemas acuáticos se considerarán los siguientes criterios:

- I. Corresponde al Estado y a la sociedad la protección de los ecosistemas acuáticos y del equilibrio de los elementos naturales que intervienen en el ciclo hidrológico;*
- II. El aprovechamiento de los recursos naturales que comprenden los ecosistemas acuáticos debe realizarse de manera que no se afecte su equilibrio ecológico; y*
- III. Para el equilibrio de los elementos naturales que intervienen en el ciclo hidrológico, se deberá considerar la protección de suelos y áreas boscosas y selváticas y el mantenimiento de caudales básicos de las corrientes de agua, y la capacidad de recarga de los acuíferos.*

ARTÍCULO 89.- Los criterios para el aprovechamiento racional del agua y de los ecosistemas acuáticos, serán considerados en:

- I. La formulación e integración del Programa Nacional Hidráulico;*
- II. El otorgamiento de concesiones, permisos, y en general toda clase de autorizaciones para el aprovechamiento de recursos naturales o la realización de actividades que afecten o puedan afectar el ciclo hidrológico;*
- III. El otorgamiento de autorizaciones para la desviación, extracción o derivación de aguas de propiedad nacional;*
- IV. El establecimiento de vedas de aguas del subsuelo;*
- V. Las suspensiones que decreta el Ejecutivo Federal, en los términos de la Ley Federal de Aguas, de todos aquellos aprovechamientos, obras y actividades que dañen los recursos hidráulicos nacionales o afecten el equilibrio ecológico de una región;*
- VI. La suspensión que ordene la Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos de todas aquellas obras que dañen los recursos hidráulicos nacionales;*

VII. La suspensión que ordene la Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos en coordinación con la Secretaría, de las obras que causen desequilibrio ecológico en una región, o afecten o puedan afectar los elementos de los ecosistemas;

VIII. La operación y administración de los sistemas de agua potable y alcantarillado que sirven a los centros de población e industrias;

IX. Las previsiones contenidas en el programa director para el desarrollo urbano del Distrito Federal respecto de la política de rehúso de aguas;

X. Las políticas y programas para la protección de especies acuáticas endémicas, amenazadas o en peligro de extinción;

XI. El establecimiento de distritos de acuacultura; y

XII. La creación y administración de reservas y zonas de protección pesquera.

ARTÍCULO 90.- La Secretaría, en coordinación con las de Agricultura y Recursos Hidráulicos y de Salud, expedirá las normas técnicas ecológicas para el establecimiento y manejo de zonas de protección de ríos, manantiales, depósitos y en general, fuentes de abastecimiento de agua para el servicio de las poblaciones e industrias, y promoverá el establecimiento de reservas de agua para consumo humano.

ARTÍCULO 92.- Con el propósito de asegurar la disponibilidad del agua y abatir los niveles de desperdicio, las autoridades competentes promoverán el tratamiento de aguas residuales y su rehúso.

ARTÍCULO 93.- La Secretaría y la de Agricultura y Recursos Hidráulicos, en sus respectivas esferas de competencia, realizarán las acciones necesarias para evitar, y en su caso controlar procesos de eutroficación, salinización y cualquier otro proceso de contaminación en las corrientes y cuerpos de aguas de propiedad de la nación.

ARTÍCULO 94.- La exploración, explotación y administración de los recursos acuáticos vivos y no vivos, se sujetará a lo que establecen las leyes de la materia y a los criterios y demás disposiciones que establece esta ley en materia de preservación y restauración del equilibrio ecológico.

ARTÍCULO 108.- Para prevenir y controlar los efectos nocivos de la exploración y explotación de los recursos naturales no renovables en el equilibrio e integridad de los ecosistemas, la Secretaría expedirá las normas técnicas ecológicas que permitan:

I. La protección de las aguas que sean utilizadas o sean el resultado de esas actividades, de modo que puedan ser objeto de otros usos;

TÍTULO CUARTO

Protección al Ambiente

CAPITULO II

Prevención y Control de la Contaminación del Agua y de los Ecosistemas Acuáticos

ARTÍCULO 117.- Para la prevención y control de la contaminación del agua se considerarán los siguientes criterios:

I. La prevención y control de la contaminación del agua es fundamental para evitar que se reduzca su disponibilidad y para proteger los ecosistemas del país;

II. Corresponde al Estado y la sociedad prevenir la contaminación de ríos, cuencas vasos, aguas marinas y demás, depósitos y corrientes de agua, incluyendo las aguas del subsuelo;

III. El aprovechamiento del agua en actividades productivas susceptibles de producir su contaminación, conlleva la responsabilidad del tratamiento de las descargas, para

reintegrarla en condiciones adecuadas para su utilización en otras actividades y para mantener el equilibrio de los ecosistemas;

IV. Las aguas residuales de origen urbano deben recibir tratamiento previo a su descarga en ríos, cuencas, vasos, aguas marinas y demás depósitos o corrientes de agua, incluyendo las aguas del subsuelo; y

V. La participación y corresponsabilidad de la sociedad es condición indispensable para evitar la contaminación del agua.

ARTÍCULO 118.- *Los criterios para la prevención y control de la contaminación del agua serán considerados en:*

I. El establecimiento de criterios sanitarios para el uso, tratamiento y disposición de aguas residuales, para evitar riesgos y daños a la salud pública;

II. La formulación de las normas técnicas que deberá satisfacer el tratamiento del agua para el uso y consumo humano;

III. Los convenios que celebre el Ejecutivo Federal para entrega de agua en bloque a los sistemas usuarios o a usuarios, especialmente en lo que se refiere a la determinación de los sistemas de tratamiento de aguas residuales que deban instalarse;

IV. La restricción o suspensión de explotaciones y aprovechamientos que ordene la Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos, en los casos de disminución, escasez o contaminación de las fuentes de abastecimiento, o para proteger los servicios de agua potable;

V. Las concesiones, asignaciones, permisos y en general autorizaciones que deban obtener los concesionarios, asignatarios o permisionarios, y en general los usuarios de las aguas propiedad de la nación, para infiltrar aguas residuales en los terrenos, o para descargarlas en otros cuerpos receptores distintos de los alcantarillados de las poblaciones; y

VI. La organización, dirección y reglamentación de los trabajos de hidrología en cuencas, cauces y álveos de aguas nacionales, superficiales y subterráneos.

ARTÍCULO 119.- *Para la prevención y control de la contaminación del agua corresponderá:*

I. A la Secretaría:

a) Expedir, en coordinación con la Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos, y las demás autoridades competentes, las normas técnicas para el vertimiento de aguas residuales en redes colectoras, cuencas, cauces, vasos, aguas marinas y demás depósitos o corrientes de agua, así como infiltrarlas en terrenos;

b) Emitir los criterios, lineamientos, requisitos y demás condiciones que deban satisfacerse para regular el alejamiento, la explotación, uso o aprovechamiento de aguas residuales, a fin de evitar contaminación que afecte el equilibrio de los ecosistemas o a sus componentes, y en su caso, en coordinación con la Secretaría de Salud, cuando se ponga en peligro la salud pública;

c) Expedir las normas técnicas ecológicas a las que se sujetará el almacenamiento de aguas residuales, con la intervención que en su caso compete a otras dependencias;

d) Dictaminar las solicitudes de permisos para infiltrar o descargar aguas residuales en terrenos o cuerpos distintos de los alcantarillados;

e) Fijar condiciones particulares de descarga cuando se trate de aguas residuales generadas en bienes y zonas de jurisdicción federal y de aquellas vertidas directamente en agua, de propiedad nacional;

f) Fijar condiciones particulares de descarga a quienes generen aguas residuales captadas por sistemas de alcantarillado, cuando dichos sistemas viertan sus aguas en cuencas, ríos, cauces, vasos y demás depósitos o corrientes de aguas de propiedad nacional, sin observar las normas técnicas ecológicas o, en su caso, las condiciones particulares de descarga que hubiese fijado la Secretaría;

g) Promover el reúso de aguas residuales tratadas en actividades agrícolas e industriales;

h) Determinar los procesos de tratamiento de las aguas residuales, considerando los criterios sanitarios que en materia de salud pública emita la Secretaría de Salud, en función del destino de esas aguas y las condiciones del cuerpo receptor, que serán incorporados en los convenios que celebre el Ejecutivo Federal para la entrega de agua en bloque a sistemas usuarios o a usuarios, conforme a la Ley Federal de Aguas;

i) Resolver sobre las solicitudes de autorización para el establecimiento de plantas de tratamiento y sus descargas conjuntas, cuando dichas descargas contaminantes provengan de dos o más obras, instalaciones o industrias de jurisdicción federal, tomando en consideración los criterios sanitarios establecidos por la Secretaría de Salud. Esta autorización únicamente podrá otorgarse cuando los efectos en las cuencas de aguas nacionales lo permitan, conforme a los usos determinados por la Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos; y

j) Promover la incorporación de sistemas de separación de las aguas residuales de origen doméstico de aquellas de origen industrial en los drenajes de los centros de población, así como la instalación de plantas de tratamiento para evitar la contaminación de aguas.

II. A la Secretaría, en coordinación con la Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos y la de Salud:

a) Expedir las normas técnicas ecológicas para el uso o aprovechamiento de aguas residuales;

b) Emitir opinión a la que deberá sujetarse la programación y construcción de nuevas industrias que puedan producir descargas contaminantes de aguas residuales, así como de las obras e instalaciones conducentes a purificar las aguas residuales de procedencia industrial en los casos de jurisdicción federal; y

c) Expedir las normas técnicas ecológicas que deberán observarse para el tratamiento de aguas residuales de origen urbano que se destinen a la industria y a la agricultura. Para el ejercicio de esta atribución; dichas dependencias tomarán como base los estudios de la cuenca y sistemas correspondientes.

III. A la Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos, resolver sobre las solicitudes de concesión, permiso o autorización que se formulen para la explotación, uso o aprovechamiento de aguas residuales, considerando los criterios y lineamientos, para la preservación del equilibrio ecológico;

IV. A la Secretaría expedir normas técnicas sobre la ejecución de obras relacionadas con el alejamiento, tratamiento y destino de las aguas residuales conducidas o no, por sistemas de alcantarillado, considerando los criterios sanitarios establecidos por la Secretaría de Salud; y

V. A los estados y municipios:

a) El control de las descargas de aguas residuales a los sistemas de drenaje y alcantarillado;

b) Requerir a quienes generen descargas a dichos sistemas y no satisfagan las normas técnicas ecológicas que se expidan, la instalación de sistemas de tratamiento;

c) Determinar el monto de los derechos correspondientes para que el municipio o autoridad estatal respectiva pueda llevar a cabo el tratamiento necesario, y en su caso, proceder a la imposición de las sanciones a que haya lugar; y

d) Llevar y actualizar el registro de las descargas a las redes de drenaje y alcantarillado que administren, el que será integrado al registro nacional de descargas a cargo de la Secretaría

ARTÍCULO 120.- Para evitar la contaminación del agua, quedan sujetos a regulación federal o local:

I. Las descargas de origen industrial;

II. Las descargas de origen municipal y su mezcla incontrolada con otras descargas;

III. Las descargas derivadas de actividades agropecuarias;

IV. Las descargas de desechos, sustancias o residuos generados en las actividades de extracción de recursos no renovables;

V. La aplicación de plaguicidas, fertilizantes y sustancias tóxicas;

VI. Las infiltraciones que afecten los mantos acuíferos; y

VII. El vertimiento de residuos sólidos en cuerpos y corrientes de agua.

ARTÍCULO 121.- No podrán descargarse o infiltrarse en cualquier cuerpo o corriente de agua o en el suelo o subsuelo, aguas residuales que contengan contaminantes, sin previo tratamiento y el permiso o autorización de la autoridad federal, o de la autoridad local en los casos de descargas en aguas de jurisdicción local o a los sistemas de drenaje y alcantarillado de los centros de población.

ARTÍCULO 122.- Las aguas residuales provenientes de usos municipales, públicos o domésticos y las de usos industriales o agropecuarios que se descarguen en los sistemas de alcantarillado de las poblaciones o en las cuencas, ríos, cauces, vasos y demás depósitos o corrientes de agua, así como las que por cualquier medio se infiltren en el subsuelo, y en general, las que se derramen en los suelos, deberán reunir las condiciones necesarias para prevenir:

I. Contaminación de los cuerpos receptores;

II. Interferencias en los procesos de depuración de las aguas; y

III. Trastornos, impedimentos o alteraciones en los correctos aprovechamientos, o del funcionamiento adecuado de los sistemas, y en la capacidad hidráulica en las cuencas, cauces, vasos, mantos acuíferos y demás depósitos de propiedad nacional, así como de los sistemas de alcantarillado.

ARTÍCULO 123.- Todas las descargas en las redes colectoras, ríos, cuencas, cauces, vasos, aguas marinas y demás depósitos o corrientes de agua y los derrames de aguas residuales en los suelos o su infiltración en terrenos, deberán satisfacer las normas técnicas ecológicas que para tal efecto se expidan, y en su caso, las condiciones particulares de descarga que determine la Secretaría o las autoridades locales. Corresponderá a quien genere dichas descargas, realizar el tratamiento previo requerido.

Quando dichas descargas, derrames o infiltraciones contengan materiales o residuos peligrosos, deberán contar con la autorización previa de la Secretaría.

ARTÍCULO 124.- Cuando las aguas residuales afecten o puedan afectar fuentes de abastecimiento de agua, la Secretaría lo comunicará a la Secretaría de Salud y promoverá ante la autoridad competente la negativa del permiso o autorización correspondiente, o su inmediata revocación, y en su caso, la suspensión del suministro.

ARTÍCULO 125.- La Secretaría, considerando los criterios sanitarios que en materia de salubridad general establezca la Secretaría de Salud, así como los usos de las cuencas de aguas nacionales determinados por la Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos, determinará las condiciones particulares de descarga y los sistemas de tratamiento que deberán instalar las

dependencias y entidades de la Administración Pública Federal, para descargar aguas residuales.

ARTÍCULO 126.- Los equipos de tratamiento de las aguas residuales de origen urbano que diseñen, operen o administren los municipios, las autoridades estatales, o el Departamento del Distrito Federal, deberán cumplir con las normas técnicas ecológicas que al efecto se expidan.

ARTÍCULO 127.- La Secretaría, y las Secretarías de Agricultura y Recursos Hidráulicos y de Salud, emitirán opinión, con base en los estudios de la cuenca y sistemas correspondientes, para la programación y construcción de obras e instalaciones de purificación de aguas residuales de procedencia industrial.

ARTÍCULO 128.- Las aguas residuales provenientes del alcantarillado urbano podrán utilizarse en la industria y en la agricultura, si se someten en los casos que se requiera al tratamiento que cumpla con las normas técnicas emitidas por la Secretaría, en coordinación con las Secretarías de Agricultura y Recursos Hidráulicos y de Salud.

En los aprovechamientos existentes de aguas residuales en la agricultura, se promoverán acciones para mejorar la calidad del recurso, la reglamentación de los cultivos y las prácticas de riego.

ARTÍCULO 129.- El otorgamiento de asignaciones, autorizaciones, concesiones o permisos para la explotación, uso o aprovechamiento de aguas en actividades económicas susceptibles de contaminar dicho recurso, estará condicionado al tratamiento previo necesario de las aguas residuales que se produzcan.

ARTÍCULO 130.- La Secretaría resolverá sobre las solicitudes de autorización para descargar aguas residuales, sustancias o cualquier otro tipo de residuos en aguas marinas, fijando en cada caso las normas técnicas ecológicas, condiciones y tratamiento de las aguas y residuos, de acuerdo al reglamento correspondiente. Cuando el origen de las descargas provenga de fuentes móviles o de plataformas fijas en el mar territorial y la zona económica exclusiva, la Secretaría se coordinará con la Secretaría de Marina para la expedición de las autorizaciones correspondientes.

ARTÍCULO 131.- Para la protección del medio marino, el Ejecutivo Federal emitirá los criterios para la explotación, conservación y administración de los recursos naturales, vivos y abióticos, del lecho y el subsuelo del mar y de las aguas suprayacentes, así como los que deberán observarse para la realización de actividades de exploración y explotación en la zona económica exclusiva.

ARTÍCULO 132.- La Secretaría se coordinará con las Secretarías de Marina, de Energía, Minas e Industria Paraestatal, de Salud, de Comunicaciones y Transportes y de Pesca, a efecto de que dentro de sus respectivas atribuciones y competencias intervengan para prevenir, controlar, vigilar y abatir la contaminación del medio marino, y preservar y restaurar el equilibrio de sus ecosistemas, con arreglo a lo que se establece en la presente Ley, la Ley Federal del Mar, los demás ordenamientos aplicables y las normas vigentes del derecho internacional.

ARTÍCULO 133.- La Secretaría y la Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos; con la participación que en su caso corresponda a la Secretaría de Salud conforme a otros ordenamientos legales, realizarán un sistemático y permanente monitoreo de la calidad de las aguas, para detectar la presencia de contaminantes o exceso de desechos orgánicos y aplicar las medidas que procedan o, en su caso, promoverá su ejecución. En los casos de aguas de jurisdicción local se coordinarán con las autoridades de los estados y municipios.

1.1.3 Normas y Reglamentos.

1.1.4.1. Reglamento de la Ley de Aguas Nacionales

Este ordenamiento tiene por objeto reglamentar la Ley de Aguas Nacionales. A continuación se citan los artículos referentes al mismo que competen al estudio del presente trabajo

ARTÍCULO 2do.- Para los efectos de este "Reglamento", se entiende por:

IV. Condiciones particulares de descarga: el conjunto de parámetros físicos, químicos y biológicos y de sus niveles máximos permitidos en las descargas de agua residual, determinados por "La Comisión" para un usuario, para un determinado uso o grupo de usuarios o para un cuerpo receptor específico, con el fin de preservar y controlar la calidad de las aguas conforme a la "Ley" y este "Reglamento";

VII. Cuerpo receptor: la corriente o depósito natural de agua, presas, cauces, zonas marinas o bienes nacionales donde se descargan aguas residuales, así como los terrenos en donde se infiltran o inyectan dichas aguas, cuando puedan contaminar el suelo o los acuíferos;

XI. Descarga: la acción de verter, infiltrar, depositar o inyectar aguas residuales a un cuerpo receptor;

XIV. Lago o Laguna: el vaso de propiedad federal de formación natural que es alimentado por corriente superficial o aguas subterráneas o pluviales, independientemente que dé o no origen a otra corriente, así como el vaso de formación artificial que se origina por la construcción de una presa;

TÍTULO SÉPTIMO PREVENCIÓN Y CONTROL DE LA CONTAMINACIÓN DE LAS AGUAS Capítulo Único

ARTÍCULO 133.- Para los efectos de las fracciones IV, V y VII, del artículo 86 de la "Ley", "La Comisión" ejercerá las facultades que corresponden a la autoridad federal en materia de prevención y control de la contaminación del agua, conforme a lo establecido en la propia "Ley" y en este "Reglamento", así como en la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente, excepto aquellas que conforme a la Ley Orgánica de la Administración Pública Federal y otras disposiciones legales, estén atribuidas a otra dependencia.

ARTÍCULO 134.- Las personas físicas o morales que exploten, usen o aprovechen aguas en cualquier uso o actividad, están obligadas, bajo su responsabilidad y en los términos de ley, a realizar las medidas necesarias para prevenir su contaminación y en su caso para reintegrarlas en condiciones adecuadas, a fin de permitir su utilización posterior en otras actividades o usos y mantener el equilibrio de los ecosistemas.

ARTÍCULO 135 - Las personas físicas o morales que efectúen descargas de aguas residuales a los cuerpos receptores a que se refiere la "Ley", deberán:

I. Contar con el permiso de descarga de aguas residuales que les expida "La Comisión", o en su caso, presentar el aviso respectivo a que se refiere la "Ley" y este Reglamento;

II. Tratar las aguas residuales previamente a su vertido a los cuerpos receptores, cuando esto sea necesario para cumplir con las obligaciones establecidas en el permiso de descarga correspondiente;

III. Cubrir, cuando proceda, el derecho federal por el uso o aprovechamiento de bienes del dominio público de la Nación como cuerpos receptores de las descargas de aguas residuales;

IV. Instalar y mantener en buen estado, los dispositivos de aforo y los accesos para muestreo que permitan verificar los volúmenes de descarga y las concentraciones de los parámetros previstos en los permisos de descarga;

V. Informar a "La Comisión" de cualquier cambio en sus procesos, cuando con ello se ocasionen modificaciones en las características o en los volúmenes de las aguas residuales que hubieran servido para expedir el permiso de descarga correspondiente;

VI. Hacer del conocimiento de "La Comisión", los contaminantes presentes en las aguas residuales que generen por causa del proceso industrial o del servicio que vienen operando, y que no estuvieran considerados originalmente en las condiciones particulares de descarga que se les hubieran fijado;

VII. Operar y mantener por sí o por terceros las obras e instalaciones necesarias para el manejo y, en su caso, el tratamiento de las aguas residuales, así como para asegurar el control de la calidad de dichas aguas antes de su descarga a cuerpos receptores;

VIII. Sujetarse a la vigilancia y fiscalización que para el control y prevención de la calidad del agua establezca "La Comisión", de conformidad con lo dispuesto en la "Ley" y el "Reglamento";

IX. Llevar un monitoreo de la calidad de las aguas residuales que descarguen o infiltren en los términos de ley y demás disposiciones reglamentarias;

X. Conservar al menos durante tres años el registro de la información sobre el monitoreo que realicen, en los términos de las disposiciones jurídicas, normas, condiciones y especificaciones técnicas aplicables, y

XI. Las demás que señalen las leyes y disposiciones reglamentarias.

Las descargas de aguas residuales de uso doméstico que no formen parte de un sistema municipal de alcantarillado, se podrán llevar a cabo con sujeción a las normas oficiales mexicanas que al efecto se expidan y mediante un simple aviso.

ARTÍCULO 136.- En los permisos de descargas de las aguas residuales de los sistemas públicos de alcantarillado y drenaje, además de lo dispuesto en el artículo anterior, se deberá señalar la forma conforme a lo dispuesto en la ley para efectuar:

I. El registro, monitoreo continuo y control de las descargas de aguas residuales que se viertan a las redes públicas de alcantarillado;

II. La verificación del estado de conservación de las redes públicas de alcantarillado con el fin de detectar y corregir, en su caso, las posibles fugas que incidan en la calidad de las aguas subterráneas subyacentes y en la eventual contaminación de las fuentes de abastecimiento de agua, y

III. El monitoreo de la calidad del agua que se vierte a las redes públicas de alcantarillado, con objeto de detectar la existencia de materiales o residuos peligrosos que por su corrosividad, toxicidad, explosividad, reactividad o inflamabilidad puedan representar grave riesgo al ambiente, a las personas o sus bienes.

Las personas que descarguen aguas residuales a las redes de drenaje o alcantarillado, deberán cumplir con las normas oficiales mexicanas expedidas para el pretratamiento y, en su caso, con las condiciones particulares de descarga que emita el Municipio o que se emitan conforme al artículo 119, fracción I, inciso f) de la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente.

ARTÍCULO 137.- Es responsabilidad de los usuarios del agua y de todos los concesionarios a que se refiere el Capítulo II, del Título Sexto de la "Ley", incluidas las unidades y los distritos de riego, cumplir con las normas oficiales mexicanas y en su caso con las demás condiciones particulares de descarga, para la prevención y control de la contaminación extendida o dispersa que resulte del manejo y aplicación de substancias que puedan contaminar la calidad de las aguas nacionales y los cuerpos receptores.

"La Comisión" promoverá y realizará, en su caso, las acciones y medidas necesarias, y se coordinará con las autoridades competentes para la expedición de las normas oficiales mexicanas que se requieran para hacer compatible el uso del suelo con los objetivos de prevención y control de la contaminación de las aguas y bienes nacionales. En la fijación de normas oficiales mexicanas para el uso del suelo, que puedan afectar aguas nacionales, se deberá recabar la opinión técnica de "La Comisión".

ARTÍCULO 138.- *Las solicitudes de permiso de descarga de aguas residuales que se presenten a "La Comisión", deberán contener:*

- I. Nombre, domicilio y giro o actividad de la persona física o moral que realice la descarga;*
- II. Relación de insumos utilizados en los procesos que generan las descargas de aguas residuales y de otros insumos que generen desechos que se descarguen en los cuerpos receptores;*
- III. Croquis y descripción de los procesos que dan lugar a las descargas de aguas residuales;*
- IV. Volumen y régimen de los distintos puntos de descarga, así como la caracterización físico-química y bacteriológica de la descarga;*
- V. Nombre y ubicación del cuerpo o cuerpos receptores;*
- VI. Croquis de localización de la descarga o descargas, así como en su caso de las estructuras e instalaciones para su manejo y control, y*
- VII. Descripción, en su caso, de los sistemas y procesos para el tratamiento de aguas residuales para satisfacer las condiciones particulares de descarga que establezca "La Comisión", conforme a lo dispuesto en la "Ley" y el "Reglamento".*

La solicitud deberá acompañarse de la memoria técnica que fundamente la información a que se refiere el presente artículo y, en especial, a la forma en que el solicitante cumplirá con las normas, condiciones y especificaciones técnicas establecidas.

ARTÍCULO 139.- *Los permisos de descarga de aguas residuales contendrán:*

- I. Ubicación y descripción de la descarga en cantidad y calidad;*
- II. Los parámetros, así como las concentraciones y cargas máximas correspondientes, que determinan las condiciones particulares de descarga del permisionario;*
- III. Obligaciones generales y específicas a las que se sujetará el permisionario para prevenir y controlar la contaminación del agua, incluidas:*
 - a) Forma y procedimientos para la toma de muestras y la determinación de las cargas contaminantes, y*
 - b) Forma en que se presentará a "La Comisión" la información que les solicite, sobre el cumplimiento de las condiciones particulares de descarga.*
- IV. Forma y, en su caso, plazos en que se ajustará a lo dispuesto en las condiciones y especificaciones técnicas que señale "La Comisión", para los puntos de descarga autorizados, incluida la construcción de las obras e instalaciones para la recirculación de las aguas y para el manejo y tratamiento de las aguas residuales, y*
- V. Duración del permiso.*

ARTÍCULO 140.- *Para determinar las condiciones particulares de descarga, "La Comisión" tomará en cuenta los parámetros y límites máximos permisibles contenidos en las normas oficiales mexicanas que emitan las autoridades competentes en materia de descargas de aguas residuales y para el tratamiento de agua para uso o consumo humano, así como los parámetros y límites*

máximos que deriven de las Declaratorias de Clasificación de los Cuerpos de Aguas Nacionales que se publiquen en los términos del artículo 87 de la "Ley".

Asimismo, para determinar las condiciones particulares de descarga, "La Comisión" tomará en cuenta los derechos de terceros para explotar, usar o aprovechar las aguas nacionales del cuerpo receptor de que se trate, las restricciones que imponga la programación hidráulica aprobada en los términos de la "Ley" y el "Reglamento" y las demás consideraciones de interés público o de salubridad general que, debidamente fundadas y motivadas, emitan las autoridades competentes y que establezcan restricciones adicionales para la descarga de aguas residuales en los cuerpos receptores a que se refiere la "Ley".

ARTÍCULO 141.- "La Comisión", conforme a las normas oficiales mexicanas que emitan las autoridades competentes, las metas y plazos establecidos en la programación hidráulica y las Declaratorias de Clasificación de los Cuerpos de Aguas Nacionales, podrá modificar las condiciones particulares de descarga, señalando a los permisionarios el plazo para que sus descargas se ajusten a las mismas.

Las condiciones particulares de descarga no podrán ser modificadas sino después de transcurridos cinco años, contados a partir de su expedición o modificación, salvo situaciones comprobadas de emergencia para evitar graves daños a la salud, a un ecosistema o a terceros.

ARTÍCULO 142.- Para efectos de la fracción III, del artículo 86 de la "Ley", "La Comisión" podrá publicar en el Diario Oficial de la Federación los parámetros y concentraciones máximas que por lo menos deberán observar las condiciones particulares de descarga de aguas residuales.

ARTÍCULO 143.- "La Comisión" establecerá las condiciones particulares que deberán cumplir las descargas de aguas residuales previo a su posterior explotación, uso o aprovechamiento; asimismo, fijará las que deberán cumplir en el caso de su infiltración a un acuífero.

"La Comisión" podrá otorgar el permiso para recargar acuíferos con aguas depuradas, en los términos de la "Ley" y el presente "Reglamento".

ARTÍCULO 144.- En la observancia de lo dispuesto en la "Ley" y en relación con el artículo 139, fracción III, de este "Reglamento", la toma de muestras y el análisis de las mismas, deberán ajustarse a los procedimientos establecidos en las normas oficiales mexicanas y en su caso a lo que establezcan las condiciones particulares y los permisos que al efecto emita "La Comisión".

ARTÍCULO 145.- El diseño, construcción, operación y mantenimiento de las obras e instalaciones de captación, conducción, tratamiento, alejamiento y descarga de aguas residuales deberá sujetarse a las normas oficiales mexicanas que expida "La Comisión".

Los permisionarios quedarán obligados a cumplir con todas y cada una de las condiciones del permiso de descarga correspondiente y, en su caso, a mantener las obras e instalaciones del sistema de tratamiento en condiciones satisfactorias de operación.

ARTÍCULO 146.- Cuando para el cumplimiento de la obligación legal de tratar aguas residuales, se contraten o utilicen los servicios de empresas que realicen dicha actividad, estas últimas serán las que soliciten el permiso de descarga de aguas residuales y cumplirán con lo dispuesto en este Capítulo, siempre que utilicen bienes nacionales como cuerpos receptores de las descargas de las plantas de tratamiento respectivas.

En el caso del párrafo anterior, las personas físicas o morales que contraten o utilicen los servicios mencionados, serán, conforme a la ley, solidariamente responsables con las empresas que traten aguas residuales del cumplimiento de lo dispuesto en la "Ley" y el presente "Reglamento" en materia de control y prevención de la calidad de las aguas.

Independientemente de lo anterior, si antes de llegar a la planta de tratamiento, se descargan aguas residuales a corrientes o depósitos de aguas nacionales, se deberá contar con el permiso de descarga respectivo.

ARTÍCULO 147.- Si llegara a suspenderse la operación del sistema del tratamiento, aunque sea en forma temporal, el responsable deberá dar aviso a "La Comisión". En caso de ser injustificada la suspensión y se puedan ocasionar graves perjuicios a la salud o la seguridad de la población o graves daños al ecosistema, "La Comisión" podrá ordenar la suspensión de los procesos que dan origen a la descarga, conforme al procedimiento establecido en el artículo 153 de este "Reglamento", hasta en tanto sea restablecida la operación del sistema de tratamiento; independientemente de esto, "La Comisión" lo hará del conocimiento, de manera inmediata, a las autoridades competentes.

ARTÍCULO 148.- Los lodos producto del tratamiento de las aguas residuales, deberán estabilizarse en los términos de las disposiciones legales y reglamentarias de la materia.

Los sitios para su estabilización deberán.

I. Impermeabilizarse con materiales que no permitan el paso de lixiviados, y

II. Contar con drenes o con estructuras que permitan la recolección de lixiviados.

Cuando los lodos una vez estabilizados y desaguados presenten concentraciones no permisibles de sustancias peligrosas, contraviniendo las normas oficiales mexicanas, deberán enviarse a sitios de confinamiento controlado aprobados por la autoridad competente, conforme a la normatividad aplicable en materia de residuos peligrosos.

Las aguas producto del escurrimiento y de los lixiviados deberán ser tratadas antes de descargarse a cuerpos receptores.

ARTÍCULO 149.- Cuando se efectúen en forma fortuita una o varias descargas de aguas residuales sobre cuerpos receptores que sean bienes nacionales, los responsables deberán avisar de inmediato a "La Comisión", especificando volumen y características de las descargas, para que se promuevan o adopten las medidas conducentes por parte de los responsables o las que, con cargo a éstos, realizará "La Comisión" y demás autoridades competentes.

Los responsables de las descargas estarán obligados a llevar a cabo las labores de remoción y limpieza del contaminante de los cuerpos receptores afectados por la descarga. En caso de que el responsable no dé aviso, los daños que se ocasionen, serán determinados y cuantificados por "La Comisión" en el ámbito de su competencia, y se notificarán a las personas físicas o morales responsables, para su pago conforme a la ley.

La determinación y cobro del daño causado sobre las aguas y los bienes nacionales a que se refiere este artículo, procederá independientemente de que "La Comisión" y las demás autoridades competentes apliquen las sanciones a que haya lugar en los términos de ley, en cuyo caso, "La Comisión" lo hará del conocimiento de las dependencias que por sus atribuciones estuvieran involucradas.

La falta del aviso a que se refiere el primer párrafo de este artículo se sancionará conforme a la ley.

ARTÍCULO 150.- "La Comisión", en el ámbito de su competencia, promoverá las medidas preventivas y de control para evitar la contaminación de las aguas superficiales o las del subsuelo por materiales y residuos peligrosos.

En el caso de que el vertido o infiltración de dichos materiales y residuos peligrosos contaminen las aguas nacionales superficiales o del subsuelo, o los bienes nacionales a que se refiere la "Ley", "La Comisión" determinará las medidas correctivas que deban llevar a cabo las personas físicas o morales responsables o las que, con cargo a éstas, efectuará "La Comisión".

El daño causado se determinará y cuantificará por "La Comisión", en el ámbito de su competencia, y se notificará a los responsables la resolución respectiva y se gestionará su cobro conforme a la "Ley".

El pago del daño causado, procederá independientemente de que "La Comisión" y las demás autoridades competentes apliquen las sanciones a que haya lugar en los términos de ley. Para los efectos respectivos, "La Comisión" lo hará del conocimiento de las autoridades involucradas.

ARTÍCULO 151.- *Se prohíbe depositar, en los cuerpos receptores y zonas federales, basura, materiales, lodos provenientes del tratamiento de descarga de aguas residuales y demás desechos o residuos que por efecto de disolución o arrastre, contaminen las aguas de los cuerpos receptores, así como aquellos desechos o residuos considerados peligrosos en las normas oficiales mexicanas respectivas.*

ARTÍCULO 152.- *Para efectos de la fracción V, del artículo 86 de la "Ley", se incluyen en las aguas para uso y consumo humano, las que se suministren a través de servicios públicos sujetos al cumplimiento de las normas de potabilidad de cualquier tipo y forma.*

Los responsables de los sistemas públicos de abastecimiento de agua potable a las poblaciones o a las colonias y fraccionamientos, en los términos de una concesión o asignación expedida por "La Comisión", están obligados a contar con los dispositivos de desinfección conforme a las normas oficiales mexicanas correspondientes.

ARTÍCULO 153.- *Para efectos del artículo 92 de la "Ley", para poder ordenar la suspensión de las actividades que den origen a las descargas de aguas residuales, "La Comisión" seguirá el siguiente procedimiento:*

I. Se realizará visita de inspección a las instalaciones de la persona, cuando considere que les son aplicables la "Ley" y la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente, de conformidad con lo que señalan las mismas;

II. Se levantará acta circunstanciada de la visita de inspección, aplicando en lo conducente lo dispuesto en el artículo 122 de la "Ley" y en los artículos 184 y 185 de este "Reglamento", precisando las actividades que den origen a la descarga;

III. En el caso de infracción a las fracciones II, III y IV, del artículo 92 de la "Ley", se otorgará un plazo de quince días hábiles para corregir su situación, que se podrá ampliar por la autoridad en casos justificados, bajo el apercibimiento de que en caso de incumplimiento y previa resolución, se procederá a la suspensión o clausura de las actividades que den origen a las descargas de aguas residuales;

IV. En el caso de infracción a la fracción I del artículo 92 de la "Ley" o de haber transcurrido el plazo a que se refiere la fracción anterior sin que hubiere corregido la infracción, se procederá a notificar la resolución respectiva y a fijar los sellos de suspensión o clausura de las actividades que den origen a la descarga, y

V. Se levantará la suspensión o clausura cuando se cumpla o se garantice a "La Comisión" el cumplimiento a lo dispuesto en la "Ley".

La suspensión o clausura de actividades, será independiente de la aplicación de las sanciones que conforme a derecho procedan o el cobro de las contribuciones respectivas.

ARTÍCULO 154.- *"La Comisión", en el ámbito de su competencia, realizará un monitoreo sistemático y permanente de la calidad de las aguas nacionales continentales, y establecerá y mantendrá actualizado el sistema nacional de información de la calidad del agua a partir de:*

I. Los estudios y el monitoreo de la calidad de las aguas continentales y marinas, que se lleven a cabo en los términos previstos en la "Ley" y el presente "Reglamento";

II. El inventario de plantas de tratamiento de aguas residuales, y

III. El inventario nacional de descargas de aguas residuales que llevará "La Comisión".

En los casos de aguas de jurisdicción local, "La Comisión" se coordinará con las autoridades de los estados y municipios.

ARTÍCULO 155.- *Para la preservación de los humedales, que se vean afectados por los regímenes de las corrientes de aguas nacionales, "La Comisión" tendrá las siguientes atribuciones:*

I. Delimitar y llevar el inventario de los humedales en bienes nacionales o de aquellos inundados por aguas nacionales, cuando tal característica los convierta en un ecosistema acuático o hidrológico que conforme a la "Ley", requiere de su preservación;

II. Promover, en los términos de "Ley" y del artículo 78, fracción IV, del presente "Reglamento", las reservas de aguas nacionales o la reserva ecológica conforme a la ley de la materia, que en su caso requiera la preservación de los humedales;

III. Expedir las condiciones particulares obligatorias para preservar, proteger y, en su caso, restaurar los humedales y no afectar la calidad de las aguas nacionales que los alimenten, ni el ecosistema acuático o hidrológico o los panoramas escénicos, turísticos y recreativos que forman parte de los mismos;

IV. Promover y, en su caso, realizar las acciones y medidas necesarias para rehabilitar o restaurar los humedales, así como para fijar un entorno natural o perímetro de protección de la zona húmeda, a efecto de preservar las condiciones hidrológicas y el ecosistema, y

V. Otorgar permisos para desecar terrenos en humedales cuando se trate de aguas y bienes nacionales a cargo de "La Comisión", con fines de protección o para prevenir daños a la salud pública, cuando no competan a otra dependencia.

Para el ejercicio de las atribuciones a que se refiere el presente artículo, "La Comisión" se coordinará con las demás autoridades que deban intervenir o participar en el ámbito de su competencia.

ARTÍCULO 156.- *Con el objeto de apoyar la prevención y control de la contaminación del agua, "La Comisión" podrá:*

I. Promover ante las autoridades educativas, la incorporación de programas educativos para orientar sobre la prevención y control de la contaminación del agua y su aprovechamiento racional;

II. Fomentar que las asociaciones, colegios de profesionistas y cámaras de la industria y el comercio, así como otros organismos afines, orienten a sus miembros sobre el uso de métodos y tecnologías que reduzcan la contaminación del agua y aseguren su aprovechamiento racional, y

III. Apoyar estudios e investigaciones encaminados a generar conocimientos y tecnologías que permitan la prevención y control de la contaminación del agua y su aprovechamiento racional.

1.1.4.2. Norma Oficial Mexicana, NOM-001-ECOL-1996.

Norma Oficial Mexicana NOM-001-ECOL-1996, Que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales en aguas y bienes nacionales.

1. Objetivo y campo de aplicación

Esta Norma Oficial Mexicana establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales vertidas a aguas y bienes nacionales, con el objeto de proteger su calidad y posibilitar sus usos, y es de observancia obligatoria para los responsables de dichas descargas. Esta Norma Oficial Mexicana no se aplica a las descargas de aguas provenientes de drenajes pluviales independientes.

3. Definiciones

3.3 Aguas residuales

Las aguas de composición variada provenientes de las descargas de usos municipales, industriales, comerciales, de servicios, agrícolas, pecuarios, domésticos, incluyendo fraccionamientos y en general de cualquier otro uso, así como la mezcla de ellas.

3.6 Carga contaminante

Cantidad de un contaminante expresada en unidades de masa por unidad de tiempo, aportada en una descarga de aguas residuales.

3.7 Condiciones particulares de descarga

El conjunto de parámetros físicos, químicos y biológicos y de sus niveles máximos permitidos en las descargas de agua residual, determinados por la Comisión Nacional del Agua para el responsable o grupo de responsables de la descarga o para un cuerpo receptor específico, con el fin de preservar y controlar la calidad de las aguas conforme a la Ley de Aguas Nacionales y su Reglamento.

3.8 Contaminantes básicos

Son aquellos compuestos y parámetros que se presentan en las descargas de aguas residuales y que pueden ser removidos o estabilizados mediante tratamientos convencionales. En lo que corresponde a esta Norma Oficial Mexicana sólo se consideran los siguientes: grasas y aceites, materia flotante, sólidos sedimentables, sólidos suspendidos totales, demanda bioquímica de oxígeno⁵, nitrógeno total (suma de las concentraciones de nitrógeno Kjeldahl de nitritos y de nitratos, expresadas como mg/litro de nitrógeno), fósforo total, temperatura y pH.

3.9 Contaminantes patógenos y parasitarios

Son aquellos microorganismos, quistes y huevos de parásitos que pueden estar presentes en las aguas residuales y que representan un riesgo a la salud humana, flora o fauna. En lo que corresponde a esta Norma Oficial Mexicana sólo se consideran los coliformes fecales y los huevos de helminto.

3.10 Cuerpo receptor

Son las corrientes, depósitos naturales de agua, presas, cauces, zonas marinas o bienes nacionales donde se descargan aguas residuales, así como los terrenos en donde se infiltran o inyectan dichas aguas cuando puedan contaminar el suelo o los acuíferos.

3.11 Descarga

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

3.12 Embalse artificial

Vaso de formación artificial que se origina por la construcción de un bordo o cortina y que es alimentado por uno o varios ríos o agua subterránea o pluvial.

3.13 Embalse natural

Vaso de formación natural que es alimentado por uno o varios ríos o agua subterránea o pluvial.

3.16 Límite máximo permisible

Valor o rango asignado a un parámetro, el cual no debe ser excedido en la descarga de aguas residuales.

3.20 Parámetro

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

3.27 Tratamiento convencional

Son los procesos de tratamiento mediante los cuales se remueven o estabilizan los contaminantes básicos presentes en las aguas residuales.

3.28 Uso en riego agrícola

La utilización del agua destinada a la actividad de siembra, cultivo y cosecha de productos agrícolas y su preparación para la primera enajenación, siempre que los productos no hayan sido objeto de transformación industrial.

3.29 Uso público urbano

La utilización de agua nacional para centros de población o asentamientos humanos, destinada para el uso y consumo humano, previa potabilización.

4. Especificaciones

4.1 La concentración de contaminantes básicos, metales pesados y cianuros para las descargas de aguas residuales a aguas y bienes nacionales, no debe exceder el valor indicado como límite máximo permisible en las Tablas 1.2 y 1.3 de esta Norma Oficial Mexicana. El rango permisible del potencial hidrógeno (pH) es de 5 a 10 unidades.

4.2 Para determinar la contaminación por patógenos se tomará como indicador a los coliformes fecales. El límite máximo permisible para las descargas de aguas residuales vertidas a aguas y bienes nacionales, así como las descargas vertidas a suelo (uso en riego agrícola) es de 1,000 y 2,000 como número más probable (NMP) de coliformes fecales por cada 100 ml para el promedio mensual y diario, respectivamente.

4.3 Para determinar la contaminación por parásitos se tomará como indicador los huevos de helminto. El límite máximo permisible para las descargas vertidas a suelo (uso en riego agrícola), es de un huevo de helminto por litro para riego restringido, y de cinco huevos por litro para riego no restringido.

4.4. Al responsable de la descarga de aguas residuales que antes de la entrada en vigor de esta Norma Oficial Mexicana se le hayan fijado condiciones particulares de descarga, podrá optar por cumplir los límites máximos permisibles establecidos en esta Norma, previo aviso a la Comisión Nacional del Agua.

4.5. Los responsables de las descargas de aguas residuales vertidas a aguas y bienes nacionales deben cumplir con la presente Norma Oficial Mexicana de acuerdo con lo siguiente:

- a) Las descargas municipales tendrán como límite las fechas de cumplimiento establecidas en la Tabla 1.4. El cumplimiento es gradual y progresivo, conforme a los rangos de población. El número de habitantes corresponde al determinado en el XI Censo Nacional de Población y Vivienda, correspondiente a 1990, publicado por el Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática.*
- b) Las descargas no municipales tendrán como plazo límite hasta las fechas de cumplimiento establecidas en la Tabla 1.5. El cumplimiento es gradual y progresivo, dependiendo de la mayor carga contaminante, expresada como demanda bioquímica de oxígeno⁵ (DBO₅) o sólidos suspendidos totales (SST), según las cargas del agua residual, manifestadas en la solicitud de permiso de descarga, presentada a la Comisión Nacional del Agua.*

TABLA 1.2

PARÁMETROS		LÍMITES MÁXIMOS PERMISIBLES PARA CONTAMINANTES BÁSICOS																				
		RÍOS						EMBALSES NATURALES Y ARTIFICIALES				AGUAS COSTERAS				SUELO						
		Uso en riego agrícola (A)		Uso público urbano (B)		Protección de vida acuática (C)		Uso en riego agrícola (B)		Uso público urbano (B)		Explotación pesquera navegación y otros usos (A)		Recreación (B)		Estuarios (B)		Uso en riego agrícola (A)		Humedales naturales (B)		
P.M.	P.D.	P.M.	P.D.	P.M.	P.D.	P.M.	P.D.	P.M.	P.D.	P.M.	P.D.	P.M.	P.D.	P.M.	P.D.	P.M.	P.D.	P.M.	P.D.	P.M.	P.D.	
Miligramos por litro excepto cuando se especifique																						
Temperatura °C (1)		N.A.	N.A.	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	N.A.	N.A.	40	40	
Grasas y Aceites (2)		15	25	15	25	15	25	15	25	15	25	15	25	15	25	15	25	15	25	15	25	
Materia Flotante (3)		au-sen-te	au-sen-te	au-sen-te	au-sen-te	au-sen-te	au-sen-te	au-sen-te	au-sen-te	au-sen-te	au-sen-te	au-sen-te	au-sen-te	au-sen-te	au-sen-te	au-sen-te	au-sen-te	au-sen-te	au-sen-te	au-sen-te	au-sen-te	
Sólidos Sedimentables (ml/l)		1	2	1	2	2	1	2	1	2	2	1	2	1	2	1	2	2	1	2	2	
Sólidos Suspendedos Totales		150	200	75	125	40	60	75	125	40	60	75	125	40	60	75	125	40	60	75	125	
Demanda Química de Oxígenos		150	200	75	150	30	60	75	150	30	60	75	150	30	60	75	150	30	60	75	150	
Nitrogeno Total		40	60	40	60	15	25	40	60	15	25	40	60	15	25	40	60	N.A.	N.A.	15	25	
Fósforo Total		20	30	20	30	5	10	20	30	5	10	20	30	5	10	20	30	N.A.	N.A.	5	10	

(1) Instantáneo

(2) Muestra simple promedio ponderado

(3) Ausente según método de prueba definido en la NMX-AA-006

TABLA 1.3

PARAM ETROS (*) mg/l excepto cuando se especifica que	LIMITES MÁXIMOS PERMISIBLES PARA CONTAMINANTES BÁSICOS																			
	RÍOS						EMBALSES NATURALES Y ARTIFICIALES						AGUAS COSTERAS						SUELO	
	Uso en riego agrícola (A)		Uso público urbano (B)		Protección de vida acuática (C)		Uso en riego agrícola (B)		Uso público urbano (B)		Explotación pesquera, navegación y otros usos (A)		Recreación (B)		Estuarios (B)		Uso en riego agrícola (A)		Humedales naturales (B)	
	P.M.	P.D.	P.M.	P.D.	P.M.	P.D.	P.M.	P.D.	P.M.	P.D.	P.M.	P.D.	P.M.	P.D.	P.M.	P.D.	P.M.	P.D.	P.M.	P.D.
Arsénico	0.2	0.4	0.1	0.2	0.1	0.2	0.2	0.4	0.1	0.2	0.1	0.2	0.2	0.4	0.1	0.2	0.2	0.4	0.1	0.2
Cadmio	0.2	0.4	0.1	0.5	0.1	0.2	0.2	0.4	0.1	0.2	0.1	0.2	0.25	0.4	0.1	0.2	0.05	0.1	0.1	0.2
Cianuro	2.0	3.0	1.0	2.0	1.0	2.0	2.0	3.0	1.0	2.0	2.0	2.0	2.0	3.0	1.0	2.0	2.0	3.0	1.0	2.0
Cobre	4.0	6.0	4.0	6.0	4.0	6.0	4.0	6.0	4.0	6.0	4.0	4.0	4.0	6.0	4.0	6.0	4.0	6.0	4.0	6.0
Cromo	1	1.5	0.5	1.0	0.5	1.0	1.0	1.5	0.5	1.0	0.5	1.0	1	1.5	0.5	1.0	0.5	1.0	0.5	1.0
Mercurio	0.01	0.02	0.005	0.01	0.005	0.01	0.01	0.02	0.005	0.01	0.01	0.02	0.01	0.02	0.01	0.02	0.005	0.01	0.005	0.01
Níquel	2	4	2	4.0	2	4	2	4	2	4	2	4	2	4	2	4	2	4	2	4
Plomo	0.5	1	0.2	0.4	0.2	0.4	0.5	1	0.2	.04	0.2	0.4	0.5	1	0.2	0.4	5	10	0.2	0.4
Zinc	10	20	10	20	10	20	10	20	10	20	10	20	10	20	10	20	10	20	10	20

(*) Medidos de manera total
 P.D. Promedio diario P.M. Promedio mensual N.A. No aplica
 (A), (B) y (C) Tipo de cuerpo receptor según la ley federal de derechos

TABLA 1.4

DESCARGAS MUNICIPALES	
FECHA DE CUMPLIMIENTO A PARTIR DE:	RANGO DE POBLACIÓN:
1 de enero de 2000	mayor de 50,000 habitantes
1 de enero de 2005	de 20,001 a 50,000 habitantes
1 de enero de 2010	de 2,501 a 20,000 habitantes

TABLA 1.5

DESCARGAS NO MUNICIPALES		
FECHA DE CUMPLIMIENTO A PARTIR DE:	CARGA CONTAMINANTE	
	DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXIGENO ₅ t/d (toneladas/día)	SÓLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES t/d (toneladas/día)
1 enero 2000	mayor de 3.0	mayor de 3.0
1 enero 2005	de 1.2 a 3.0	de 1.2 a 3.0
1 enero 2010	menor de 1.2	menor de 1.2

4.7 Los responsables de las descargas de aguas residuales municipales y no municipales, cuya concentración de contaminantes en cualquiera de los parámetros básicos, metales pesados y cianuros, que rebasen los límites máximos permisibles señalados en las Tablas 1.2 y 1.3 de esta Norma Oficial Mexicana, multiplicados por cinco, para cuerpos receptores tipo B (ríos, uso público urbano), quedan obligados a presentar un programa de las acciones u obras a realizar para el control de la calidad del agua de sus descargas a la Comisión Nacional del Agua, en un plazo no mayor de 180 días naturales, a partir de la publicación de esta Norma en el Diario Oficial de la Federación.

Los demás responsables de las descargas de aguas residuales municipales y no municipales, quedan obligados a presentar un programa de las acciones u obras a realizar para el control de la calidad de sus descargas a la Comisión Nacional del Agua, en los plazos establecidos en las Tablas 1.6 y 1.7.

Lo anterior, sin perjuicio del pago de derechos a que se refiere la Ley Federal de Derechos y a las multas y sanciones que establecen las leyes y reglamentos en la materia.

TABLA 1.6

DESCARGAS MUNICIPALES	
RANGO DE POBLACIÓN	FECHA LIMITE PARA PRESENTAR PROGRAMA DE ACCIONES
mayor de 50,000 habitantes	30 de junio de 1997
de 20,001 a 50,000 habitantes	31 de diciembre de 1998
de 2,501 a 20,000 habitantes	31 de diciembre de 1999

TABLA 1.7

CARGA CONTAMINANTE DE LAS DESCARGAS NO MUNICIPALES	
DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXÍGENO ₅ Y/O SÓLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES t/d (toneladas/día)	FECHA LIMITE PARA PRESENTAR PROGRAMA DE ACCIONES
mayor de 3.0	30 de junio de 1997
de 1.2 a 3.0	31 de diciembre de 1998
menor de 1.2	31 de diciembre de 1999

4.8 El responsable de la descarga queda obligado a realizar el monitoreo de las descargas de aguas residuales para determinar el promedio diario y mensual. La periodicidad de análisis y reportes se indican en la Tabla 1.8 para descargas de tipo municipal y en la Tabla 1.9 para descargas no municipales. En situaciones que justifiquen un mayor control, como protección de fuentes de abastecimiento de agua para consumo humano, emergencias hidroecológicas o procesos productivos fuera de control, la Comisión Nacional del Agua podrá modificar la periodicidad de análisis y reportes. Los registros del monitoreo deberán mantenerse para su consulta por un periodo de tres años posteriores a su realización.

TABLA 1.8

RANGO DE POBLACIÓN	FRECUENCIA DE MUESTREO Y ANÁLISIS	FRECUENCIA DE REPORTE
mayor de 50,000 habitantes	Uno mensual	Uno trimestral
de 20,001 a 50,000 habitantes	Uno trimestral	Uno semestral
de 2,501 a 20,000 habitantes	Uno trimestral	Uno anual

TABLA 1.9

DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXÍGENOS t/d (toneladas/día)	SÓLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES t/d (toneladas/día)	FRECUENCIA DE MUESTREO Y ANÁLISIS	FRECUENCIA DE REPORTE
mayor de 3.0	mayor de 3.0	Uno mensual	Uno trimestral
de 1.2 a 3.0	de 1.2 a 3.0	Uno trimestral	Uno semestral
menor de 1.2	menor de 1.2	Uno trimestral	Uno anual

4.9 El responsable de la descarga estará exento de realizar el análisis de alguno o varios de los parámetros que se señalan en la presente Norma Oficial Mexicana, cuando demuestre que, por las características del proceso productivo o el uso que le dé al agua, no genera o concentra los contaminantes a exentar, manifestándolo ante la Comisión Nacional del Agua, por escrito y bajo protesta de decir verdad. La autoridad podrá verificar la veracidad de lo manifestado por el usuario. En caso de falsedad, el responsable quedará sujeto a lo dispuesto en los ordenamientos legales aplicables.

4.10 En el caso de que el agua de abastecimiento registre alguna concentración promedio mensual de los parámetros referidos en los puntos 4.1, 4.2 y 4.3 de la presente Norma Oficial Mexicana, la suma de esta concentración al límite máximo permisible promedio mensual, es el valor que el responsable de la descarga está obligado a cumplir, siempre y cuando lo notifique por escrito a la Comisión Nacional del Agua, para que ésta dictamine lo procedente.

4.11 Cuando se presenten aguas pluviales en los sistemas de drenaje y alcantarillado combinado, el responsable de la descarga tiene la obligación de operar su planta de tratamiento y cumplir con los límites máximos permisibles de esta Norma Oficial Mexicana, o en su caso con sus condiciones particulares de descarga, y podrá a través de una obra de desvío derivar el caudal excedente. El responsable de la descarga tiene la obligación de reportar a la Comisión Nacional del Agua el caudal derivado.

4.12 El responsable de la descarga de aguas residuales que, como consecuencia de implementar un programa de uso eficiente y/o reciclaje del agua en sus procesos productivos, concentre los contaminantes en su descarga, y en consecuencia rebase los límites máximos permisibles establecidos en la presente Norma, deberá solicitar ante la Comisión Nacional del Agua se analice su caso particular, a fin de que ésta le fije condiciones particulares de descarga.

5.0 Métodos de prueba

Para determinar los valores y concentraciones de los parámetros establecidos en esta Norma Oficial Mexicana, se deberán aplicar los métodos de prueba indicados en el punto 2 de esta Norma Oficial Mexicana. El responsable de la descarga podrá solicitar a la Comisión Nacional del Agua, la aprobación de métodos de prueba alternos. En caso de aprobarse, dichos métodos podrán ser autorizados a otros responsables de descarga en situaciones similares.

6.0 verificación

La Comisión Nacional del agua llevará a cabo muestreos y análisis de las descargas de aguas residuales, de manera periódica o aleatoria, con objeto de verificar el cumplimiento de los límites máximos permisibles establecidos para los parámetros señalados en la presente Norma Oficial Mexicana.

7.0 Grado de concordancia con normas y recomendaciones internacionales

7.1 No hay normas equivalentes, las disposiciones de carácter interno que existen en otros países no reúnen los elementos y preceptos de orden técnico y jurídico que en esta Norma Oficial Mexicana se integran y complementan de manera coherente, con base en los fundamentos técnicos y científicos reconocidos internacionalmente.

TRANSITORIO

ÚNICO. A partir de la entrada en vigor de esta Norma Oficial Mexicana NOM-001-ECOL-1996, el responsable de la descarga de aguas residuales:

- 1) Que cuente con planta de tratamiento de aguas residuales, está obligado a operar y mantener dicha infraestructura de saneamiento, cuando su descarga no cumpla con los límites máximos permisibles de esta Norma.

Puede optar por cumplir con los límites máximos permisibles establecidos en esta Norma Oficial Mexicana, o los establecidos en sus condiciones particulares de descarga, previa notificación a la Comisión Nacional del Agua.

En el caso de que la calidad de la descarga que se obtenga con dicha infraestructura no cumpla con los límites máximos permisibles establecidos en esta Norma Oficial Mexicana, debe presentar a la Comisión Nacional del Agua, en los plazos establecidos en las Tablas 1.6 y 1.7, su programa de acciones u obras a realizar para cumplir en las fechas establecidas en las Tablas 1.4 y 1.5, según le corresponda.

Los que no cumplan, quedarán sujetos a lo dispuesto en la Ley Federal de Derechos.

En el caso de que el responsable de la descarga opte por cumplir con los límites máximos permisibles establecidos en esta Norma Oficial Mexicana y que descargue una mejor calidad de agua residual que la establecida en esta Norma, puede gozar de los beneficios e incentivos que para tal efecto establece la Ley Federal de Derechos.

- 2) Que se hubiere acogido a los Decretos Presidenciales que otorgan facilidades administrativas y fiscales a los usuarios de Aguas Nacionales y sus Bienes Públicos inherentes, publicados en el Diario Oficial de la Federación el 11 de octubre de 1995, en la materia, quedará sujeto a lo dispuesto en los mismos y en lo conducente a la Ley Federal de Derechos.
- 3) No debe descargar concentraciones de contaminantes mayores a las que descargó durante los últimos tres años o menos, si empezó a descargar posteriormente, de acuerdo con sus registros y/o con los informes presentados ante la Comisión Nacional del Agua en ese período si su descarga tiene concentraciones mayores a las establecidas como límite máximo permisible en

esta Norma. Los responsables que no cumplan con esta especificación quedarán sujetos a lo dispuesto en la Ley Federal de Derechos.

- 4) Que establezca una nueva instalación industrial, posterior a la publicación de esta Norma Oficial Mexicana en el Diario Oficial de la Federación, no podrá acogerse a las fechas de cumplimiento establecidas en la Tabla 1.5 de esta Norma y debe cumplir con los límites máximos permisibles para su descarga, 90 días calendario después de iniciar la operación del proceso generador, debiendo notificar a la Comisión Nacional del Agua dicha fecha.*
- 5) Que incremente su capacidad o amplíe sus instalaciones productivas, posterior a la publicación de esta Norma Oficial Mexicana en el Diario Oficial de la Federación, éstas nuevas descargas no podrán acogerse a las fechas de cumplimiento establecidas en la Tabla 1.5 de esta Norma y debe cumplir con los límites máximos permisibles para éstas, 90 días calendario después de iniciar la operación del proceso generador, debiendo notificar a la Comisión Nacional del Agua dicha fecha.*
- 6) Que no se encuentre en alguno de los supuestos anteriores, deberá cumplir con los límites máximos permisibles establecidos en esta Norma Oficial Mexicana, sujeto a lo dispuesto en la Ley Federal de Derechos, en lo conducente.*

1.2 Legislación Internacional.

En los últimos años la globalización se ha dado en forma muy rápida, por lo cual es importante tener conocimiento de las leyes en materia ambiental que rigen en otros países.

Debido a lo extenso que sería abarcar la legislación existente en los diferentes países en donde, debido a los tratados de libre comercio se tiene un mercado potencial, y aunque no es el tema central de este trabajo, el presente apartado se aboca a describir una visión general de la legislación ambiental de los Estados Unidos, que es el país que debido a su cercanía geográfica con el nuestro, nos influye de forma más directa y no es la excepción en cuanto a este tema en el cual se ha basado gran parte de nuestras leyes y reglamentos.

Legislación ambiental y reglamentos en los Estados Unidos.

Manejo de la calidad del agua

Agua potable. La ley de Agua Potable de 1974 fue la primera ley dirigida a la provisión de agua potable para consumo humano así como para las descargas en cuerpos de agua. En esta ley, el congreso ordenó a la EPA (Environmental Protection Agency) establecer los parámetros permisibles para sistemas públicos de agua que servían a 25 o más personas o que tenían 15 o más conexiones de servicio. En 1975 la EPA publicó las normas y los Reglamentos Interinos de Agua Potable.

En 1980 el congreso agregó un artículo que prohibía la inyección al subsuelo de aguas negras sin un permiso. En 1996 se hicieron grandes modificaciones en el capítulo con las enmiendas de la ley de Agua Potable. Estas enmiendas convirtieron los reglamentos internos a un estatus de permanencia; asimismo, estableció la responsabilidad de aplicación, prohibió el uso de tuberías de plomo y soldadura y protegió las fuentes únicas de acuíferos.

Control de la contaminación del agua

En 1948 la responsabilidad de controlar la contaminación del agua fue asumida por los estados así como por agencias locales y regionales. Las primeras instituciones en lidiar con los problemas de la contaminación del agua fueron creadas después del "despertar sanitario" de los años 50s, cuando la contaminación del agua provocó enfermedades que alcanzaron proporciones epidémicas.

La intervención de las autoridades federales, en el control de la contaminación del agua, comenzó con la ley de Servicios de Salud Pública de 1912. Esta ley estableció la Estación de Investigación de Cuerpos de Agua de Cincinnati encargada de la investigación de la contaminación del agua.

La ley de la Contaminación por Petróleo fue aprobada en 1924 para prevenir descargas de petróleo en las aguas costeras. Durante los años 30s y 40s hubo un continuo debate acerca de que el gobierno federal debería tomar un papel más importante en cuanto al control de la contaminación del agua. Este debate derivó en la limitación de los poderes federales expresados en la Ley de Control de la Contaminación del Agua de 1948. En 1956 apareció el documento del Control Federal de la Contaminación del Agua, que fue la punta de lanza del esfuerzo federal para reducir la contaminación. Los puntos claves de este documento incluían un nuevo programa de subsidios para la construcción de plantas de tratamiento municipales, así como, las bases para las acciones legales a nivel federal contra los que contaminaran. Se incrementaron los fondos por parte del estado para el control de la contaminación del agua, asimismo, se dio apoyo a la investigación y también a la capacitación. Cada uno de estos programas tuvieron continuidad en las muchas enmiendas a la ley Federal para el Control de la Contaminación del Agua en los años 60s y 70s.

La legislación de 1956 contemplaba un programa de subsidios para la construcción de plantas de tratamiento, como respuesta a las exigencias de los municipios. Las ciudades sentían que los fondos federales deberían usarse para ayudar a pagar las plantas de tratamiento requeridas por la ley federal. Los prestamos hechos a partir de la ley de 1956 podrían subsidiar como máximo un tercio del costo de construcción de una planta de tratamiento municipal, el monto máximo que se podía dar para un proyecto se limitó a \$600,000 dólares. Un total de \$50 millones de dólares por año fueron autorizados para este programa.

La ley de Calidad del Agua de 1965 estableció un incremento en los fondos e introdujo nuevos parámetros para que los estados establecieran los estándares de la calidad del agua, así como, planes detallados en los que se indicaba como cumplir estos. Esta ley cambió la responsabilidad de la administración del programa de la Calidad del Agua del Servicio de Salud Pública a otra agencia llamada Administración para el Control de la Contaminación del Agua Federal, dentro del Departamento de Salud, Educación y Bienestar. Este no fue un cambio permanente, en 1970 una orden presidencial de reorganización, ordenó que las actividades relacionadas con el control de la contaminación del agua así como otros programas relacionados con el medio ambiente fueran mandadas a la recién creada Agencia de Protección al Ambiente (EPA).

La ley Federal de Control de la Contaminación del Agua en 1972 introdujo los objetivos nacionales de la calidad del agua, las restricciones para los efluentes, un

sistema nacional de límites permisibles en descargas y acciones legales contra quien violará dichos límites.

Los objetivos de las enmiendas de 1972 eran restaurar y mantener la integridad química, física y biológica de las aguas nacionales. Estas especificaban como una meta nacional que las descargas de contaminantes en aguas nacionales fuesen eliminadas en 1985.

La EPA fijó los límites para los efluentes para que coincidieran con los requisitos generales de las enmiendas de 1972. En 1977 todos los que descargarán contaminantes deberían contar con “la mejor tecnología para control actualmente disponible” (BPT) y para 1983 deberían contar con “la mejor tecnología económicamente disponible” (BAT). Después de algunos contratiempos causados por demandas contra los límites de los efluentes de la EPA. Los requerimientos BPT fueron implementados. De cualquier forma fue fuertemente presionado el Congreso para que se modificaran los requerimientos BAT en la ley de Agua Limpia de 1977.

La principal crítica a los límites originales BAT, fue que los costos de los porcentajes tan altos de reducción requeridos serían más grandes que los beneficios. En este análisis, los costos fueron considerados, pero solo en el contexto general provisto por la industria, por otro lado el beneficio social resultante no fue considerado como un factor central. El congreso asumió que los beneficios de la eliminación de los contaminantes deberían ser substanciales. La insistencia del congreso a los muy estrictos límites permisibles también puede ser interpretada como un esfuerzo para garantizar el derecho de los ciudadanos norteamericanos a un agua de la mejor calidad.

En 1977 el congreso respondió a las críticas hechas al BAT requiriéndola solo para sustancias tóxicas. Límites diferentes fueron introducidos para contaminantes convencionales, como la demanda bioquímica de oxígeno y los sólidos suspendidos. Los límites para estos contaminantes se basaron en “la mejor tecnología para el control de contaminantes convencionales” (BTC).

La ley de Agua Limpia de 1977 vigiló fuertemente el control de las sustancias tóxicas. Además la ley incluye una lista de 65 sustancias o clases de sustancias a usarse para la determinación de tóxicos. Esta lista resultó del acuerdo de 1976 proveniente de una acción legal en la cual algunas organizaciones ambientales demandaron a la EPA emitir estándares para el control de la emisión de contaminantes tóxicos. Esta lista fue posteriormente extendida por la EPA para incluir 129 contaminantes prioritarios.

Los límites para descargas requeridos por las enmiendas de la FWPCA de 1972 (y después la ley de Agua Limpia de 1977) formaron las bases para la promulgación de los límites para el Sistema Nacional de Eliminación de Contaminantes en Descargas (NPDES).

La idea de este sistema permitió que el Departamento de Justicia tomará acciones legales, con el apoyo de la favorable interpretación de la Suprema Corte, en los años 60s.

En diciembre de 1970 la EPA editó una orden ejecutiva convocando a un programa de administración de la calidad del agua usando licencias y castigos basados en la ley de Ríos y Puertos de 1899. Aunque este programa fue retrasado por los retos

de la corte en 1971. El congreso lo hizo parte central de la estrategia federal comprendida en las enmiendas de la FWPCA de 1972.

CAPÍTULO II

GENERALIDADES SOBRE LA CONTAMINACIÓN DEL AGUA

GENERALIDADES SOBRE LA CONTAMINACIÓN DEL AGUA

2.1 Clasificación y descripción de los contaminantes del agua

Las aguas superficiales se encuentran contaminadas por descargas domésticas, industriales y agropecuarias además la sobreexplotación del agua subterránea se está generalizando, lo que ha ocasionado deterioros irreversibles en la calidad del agua, así como intrusión salina, hundimientos de terreno y necesidad de bombeo a profundidades incosteables.

Los sitios con mayor desarrollo demandan cada vez mayores cantidades de agua y son los que aportan más contaminantes al descargar sus aguas municipales e industriales, en los cuerpos receptores, en ocasiones sin tratamiento alguno.

Los principales contaminantes que modifican la calidad natural de las corrientes de agua son: materia orgánica, que ocasiona la disminución de oxígeno disuelto; nutrientes, que provocan eutroficación; grasas y aceites que ocluyen las agallas de los peces y disminuyen la transferencia de oxígeno; organismos patógenos, metales pesados, detergentes y plaguicidas que afectan a la salud humana, a la flora y fauna acuáticas.

Un cuerpo de agua se considera contaminado, cuando la composición o el estado de sus aguas son directa o indirectamente modificadas por la actividad del hombre en una medida tal, que disminuye la facilidad de utilización para todos aquellos fines, o alguno de ellos, a los que podrían servir en estado natural.

Las aguas de los mares, lagos y ríos tienen impurezas, no incluidas dentro del concepto de contaminación, ya que al atravesar como precipitación las nubes y la atmósfera, y al escurrir por el suelo o a través de él, han incorporado elementos o partículas, que dan origen a lo que se entendería como impurezas en el agua. Estas partículas se resumen en el cuadro 2.1.

Se habla de "contaminación del agua" cuando su calidad sufre una transformación que la hace inadecuada para un uso en particular.

Cuadro 2.1.- Impurezas en las aguas naturales

Origen	Clasificación de las partículas por el tamaño				
	Suspendidas > 1x10 ⁻³ mm	Coloidales <2x10 ⁻³ >4x10 ⁻⁶ mm	Disuelta < 4x10 ⁻⁶ mm		
Atmósfera	Polvos	Hollín	Moléculas Bióxido de carbono CO ₂ Anhídrido sulfuroso SO ₂ Oxígeno O ₂ Nitrógeno N ₂	Iones positivos Hidrógeno H+	Iones negativos Bicarbonato HCO ₃ ⁻
Suelo mineral y piedra	Arena Arcilla Partículas de tierra mineral	Arcillas	Bióxido de carbono CO ₂	Sodio Na ⁺ Potasio K ⁺ Calcio Ca ²⁺ Magnesio Mg ²⁺ Hierro Fe ²⁺ Manganeso MN ²⁺	Cloruro Cl ⁻ Fluoruro F ⁻ Sulfato SO ₄ ⁻ Carbonato CO ₃ ²⁻ Bicarbonato HCO ₃ ⁻ Nitrato NO ₃ ⁻

Cuadro 2.1 (Continuación)

Origen	Clasificación de las partículas por el tamaño				
	Suspendidas > 1x10 ⁻³ mm	Coloidales <2x10 ⁻³ >4x10 ⁻⁶ mm	Disueltas < 4x10 ⁻⁶ mm		
Organismos vivos y sus productos de descomposición	Algas Diatomeas Bacterias Protozoos Tierra orgánica (capa superior) Peces y otros organismos	Virus Materia colorante orgánica	Bióxido de carbono CO ₂ Oxígeno O ₂ Nitrógeno N ₂ Sulfuro de hidrógeno H ₂ S Metano CH ₄ Residuos orgánicos varios, algunos de los cuales producen olor y color	Hidrógeno H ⁺ Sodio Na ⁺ Amonio NH ⁴⁺	Cloruro Cl ⁻ Bicarbonato HCO ₃ ⁻ Nitrato NO ₃ ⁻

En el Cuadro 2.2 se describen los procesos ambientales que afectan la calidad del agua.

Cuadro 2.2.- Procesos ambientales que afectan la calidad del agua.

CLASIFICACIÓN	PROCESO	DESCRIPCIÓN
FISICOQUÍMICOS	Fotólisis	Transformación química de compuestos presentes en el agua, al entrar esta en contacto con la luz, dependiendo de la estructura química de aquellos.
	Hidrólisis	Interacción de un grupo hidroxilo (-OH) con la estructura de compuestos orgánicos, con la pérdida de un grupo funcional; la velocidad de reacción puede incrementarse con la presencia de un ácido o una base
	Oxidación	Introducción de un átomo de oxígeno en un compuesto químico. En el caso de la materia orgánica carbonacea, puede inducir su descomposición hasta dióxido de carbono y agua
	Especiación Química	Dependiendo de sus características, un compuesto puede ser precipitado, absorbido o adsorbido por materia orgánica e inorgánica, permanecer en fase líquida como ión o formar moléculas complejas
DE TRANSPORTE	Volatilización	Se presenta en compuestos químicos orgánicos e inorgánicos con alta presión de vapor o baja solubilidad
	Sorción	Proceso por el cual un componente se transfiere de una fase para acumularse en otra, particularmente cuando la segunda es sólida. Se divide en absorción y adsorción
	Absorción	Se produce cuando las moléculas o átomos de una fase penetran uniformemente en otra, formando una solución en ella
BIOLÓGICOS	Adsorción	Es la acumulación de sustancias en una superficie o interfase, ya sea líquido-líquido, gas-líquido o líquido-sólido
	Bioacumulación	Tendencia de ciertos compuestos químicos a acumularse en especies vivas, especialmente importante en compuestos químicos hidrofóbicos solubles dentro de tejidos grasos o lípidos
	Biodegradación	Transformación de compuestos químicos en otros más simples, debida a las enzimas propias de organismos vivos, demandantes de energía y carbono

2.2 Fuentes de contaminación del agua

Las descargas de aguas residuales contienen características muy distintas pero de acuerdo con las actividades económicas del país, estas se pueden agrupar en tres sectores: sector industrial, en el que se contemplan los giros industriales que se consideran importantes por su grado de contaminación a los cuerpos de agua, sector municipal y de servicios y el sector agropecuario.

Sector industrial

Solo una fracción del agua empleada por la industria se incorpora a sus productos o se pierde por evaporación. La mayor parte del flujo se vierte finalmente a las corrientes naturales de agua en forma de desecho o agua residual.

De acuerdo con las causas que originan los contaminantes en las aguas usadas dentro de las industrias, se pueden considerar de la siguiente manera:

- a) **Sistemas de enfriamiento.-** Las aguas de desecho de los sistemas de enfriamiento constituyen los volúmenes mayores de las aguas residuales industriales, pero su efecto contaminante es generalmente ligero. Se encuentran contaminadas principalmente por el calor. Las temperaturas del agua se pueden disminuir por dilución o por enfriamiento evaporativo.
- b) **Sistemas de enjuague.-** En total, las aguas de enjuague constituyen el segundo volumen en importancia de aguas de desecho. Grandes volúmenes se originan en industrias tan diversas como el acabado de metales, el proceso de textiles y el lavado de legumbres. Los enjuagues contienen la tierra y los líquidos de proceso que debieron remover; aún cuando generalmente se diluyen también, pueden acarrear problemas a causa de su amplio volumen y elevado contenido de sustancias contaminantes.
- c) **Proceso.-** Las aguas de proceso tienen, por lo general un volumen menor y son mucho más concentradas. Prácticamente todas las clases de material que entren a una planta se pueden convertir en una impureza de sus aguas residuales. Su tratamiento y remoción son variados pero muy específicos. Además se puede prestar a la recuperación de materias primas, productos terminados y subproductos útiles. Las soluciones de proceso que ya no se pueden regenerar económicamente para un uso ulterior dentro de la planta, pueden ser fuertemente contaminantes.

El sector industrial, de acuerdo con los índices de extracción, consumo y contaminación de agua, se ha configurado en 39 grupos, de los cuales 9 son los que producen la mayor cantidad de aguas residuales: azúcar, química, papel y celulosa, petróleo, bebidas, textiles, siderurgia, electricidad y alimentos. Estos 9 grupos en conjunto arrojan el 82% del total de aguas residuales de origen industrial. Destacan la industria azucarera y la química, con el 59.8% del total.

En el Cuadro 2.3 se muestran las principales industrias y los contaminantes que generan.

Cuadro 2.3.- Principales industrias y sus contaminantes.

INDUSTRIA	CONTAMINANTES
Azucarera	Sólidos orgánicos en suspensión y disueltos, hojas, cachaza, guarapos, vinazas, etc.
Petroquímica	Infiltraciones de petróleo crudo o productos elaborados, sólidos suspendidos, amoniaco, fenoles, sulfuros, PH altos, trazas de tetraetileno de plomo, mercaptanos.
Celulosa y papel	Acidez y alcalinidad, color, materia orgánica disuelta y en suspensión, etc.

Cuadro 2.3.- (Continuación)

INDUSTRIA	CONTAMINANTES
Petrolera	Materia orgánica disuelta y en suspensión, compuesto de azufre orgánico, ácidos orgánicos, compuestos asfálticos, aceites, polímeros y resinas emulsiones de aceite, agua y cera, jabones, esterres, materia inorgánica en suspensión.
Fundición de Hierro y Acero	Suspensión de sólidos inorgánicos (escoria de fierro principalmente)
Textil	Sólidos orgánicos en suspensión y disueltos.
Alimenticia	Sólidos orgánicos en suspensión, cáscaras, semillas, pulpa, hojas y tallos, etc.
Vitivinícola	Materia orgánica en suspensión y disuelta, bagazo, semilla, granos, etc.
Café	Materia inorgánica en suspensión, materia orgánica disuelta y en suspensión.
Extracción y beneficio de minerales no metálicos.	Sólidos sedimentables, grasas y aceites, sólidos suspendidos y disueltos, sustancias activas al azul de metileno y material flotantes.
Curtiduría.	Materia orgánica en suspensión y disuelta.
Termoeléctrica	Temperatura
Extracción y beneficio de Minerales Metálicos	Grasas y aceites, sólidos flotantes, sólidos suspendidos fijos y volátiles, cobre, zinc, fierro, etc.

Sector Municipal y de Servicios

Se consideran dentro del sector de servicios, las aguas desechadas directamente a los cuerpos receptores que provienen de los usos domésticos y del sector municipal las aguas provenientes de las redes de alcantarillado municipales, rastros municipales y edificios públicos. Se consideran conjuntamente ya que los contaminantes y sus tratamientos son similares, variando solamente en base al volumen de las descargas, excepto cuando existen industrias conectadas a la red de alcantarillado.

Las causas que originan el desecho de contaminantes en el agua utilizada por este sector son: excretas corporales, desperdicios caseros procedentes de usos domésticos, lavado de ropa, baño, desperdicios de cocina, limpieza y preparación de alimentos, lavado de loza, aguas pluviales, basuras, infiltraciones de aguas subterráneas a los sistemas de conducción de aguas negras, aguas residuales de edificios públicos e instituciones, desechos de gasolineras, lavanderías y otros servicios públicos.

Los contaminantes más comunes originados son: materia orgánica disuelta y en suspensión, materia inorgánica, grasas y aceites, jabones y detergentes, acidez y alcalinidad y nutrientes.

Sector Agropecuario

Se consideran dentro de este sector, las aguas residuales provenientes de granjas Avícolas, Porcícolas, Piscícolas y demás encargados de la cría y engorda de animales, siendo el lavado de corrales y desperdicios de abono, heno, paja y material fibroso,

lavado de animales y desinfección de corrales las actividades que originan el desecho de los contaminantes.

Como se puede apreciar los contaminantes más comunes originados por las actividades anteriores son: materia orgánica disuelta, materia orgánica en suspensión, grasas y aceites, detergentes y alcalinidad.

Son 31 las cuencas que reciben el 91% de la materia orgánica de las aguas residuales generadas en el país. El nivel de importancia de las cuencas se determinó de acuerdo a la superficie, el volumen de escurrimiento anual, al área bajo riego, el valor económico, la población aledaña, los municipios circundantes y las descargas de aguas residuales. De las cuencas más severamente deterioradas, cinco merecen una atención especial, en virtud de los grandes centros de desarrollo asentados a sus alrededores, ellas son: Lerma-Santiago, Pánuco, Balsas, San Juan y Blanco.

Los puertos industriales y turísticos y las zonas costeras del país constituyen también zonas con alto nivel de contaminación del agua, al verse afectadas por el vertido de aguas residuales municipales e industriales sin tratamiento ni control adecuado.

2.3 Eutroficación en lagos

Los lagos naturales o artificiales como las presas, son sujetos a un proceso de envejecimiento en el que la acumulación gradual de sedimentos y materia orgánica causa una transformación de lago a pantano y de pantano a suelo. Un lago joven se caracteriza por su bajo contenido de nutrientes y baja productividad. Dichos lagos son llamados oligotróficos (pocos nutrientes); gradualmente adquieren nutrientes gracias a las corrientes de su cuenca hidrológica, incrementando la producción de organismos acuáticos.

En verano el sol calienta las aguas superiores del lago llamadas epilimnio (lago de superficie) estas aguas son más ligeras que las aguas frías de abajo, y por consiguiente permanecen arriba, donde mantienen su circulación y sus condiciones ricas en oxígeno. Las aguas inferiores del lago (hipolimnio) son frías y contienen poco aire. Entre las dos se sitúa una capa de transición, la termoclina, en la que tanto la temperatura como el aporte de oxígeno decrecen rápidamente con la profundidad. Al llegar el invierno, las capas de la superficie se enfrían y se vuelven más densas. Cuando llegan a ser tan densas como las capas inferiores, el agua del lago circula como una unidad y se oxigena. Este enriquecimiento le facilita mayor solubilidad al oxígeno y al congelarse la superficie del lago, las aguas inferiores mantienen la vida acuática durante el invierno.

Con el calor de la primavera, el hielo se derrite y el agua de la superficie se hace más pesada y, una vez más el lago "da una vuelta" y reconstituye su reserva de oxígeno. Este es el proceso natural que sigue un lago y lo mantiene oxigenado, cuando son vertidos en el lago o en sus afluentes contaminantes los efectos son los siguientes:

En verano, el aumento de suministros de materia orgánica sirve de nutriente en las aguas oxigenadas superiores; el oxígeno es remplazado, a medida que se necesita, por el contacto físico con el aire y a partir de la fotosíntesis de las algas y otras plantas acuáticas. Pero algunos residuos orgánicos bajan a profundidades inferiores, a los que no llega el aire ni la luz solar. Por consiguiente en una lago orgánicamente rico o "contaminado" el fondo es el primero en sufrir las consecuencias. Por esto, los peces que

viven mejor a temperaturas bajas son los primeros en desaparecer de los lagos, al terminarse el oxígeno en las profundidades frescas que ellos buscan, debido a la mayor afluencia de nutrientes. Estos peces son los preferidos en la dieta humana, tales como la trucha, la lobina y el esturión.

Si el proceso descrito anteriormente prosigue, conduce finalmente a un estado llamado eutroficación que es el enriquecimiento de una extensión de agua con nutrientes, que deteriora su calidad en cuanto a sus aplicaciones humanas. Este proceso se produce naturalmente en todo lago cuya afluencia de los elementos nutritivos sea superior a la salida de los mismos. Semejante eutroficación natural, que se relaciona estrechamente con la sucesión natural, es un proceso lento desde el punto de vista humano, y tarda miles de años. En cambio la descarga de aguas negras no tratadas y de residuos agrícolas ó industriales en un lago acelera el proceso considerablemente, reduciendo a menudo milenios a décadas.

Este proceso acelerado se llama eutroficación cultural, en honor a su origen civilizado. Se denomina eutróficos los lagos en que el nivel nutritivo es particularmente alto y que se caracterizan por una abundante vegetación litoral, estancamiento veraniego frecuente, con floraciones de algas y ausencias de especies de agua fría. Se piensa que semejante situación es irreversible y el lago que a llegado a ella se califica de "muerto".

Las aguas residuales, desechos industriales y los retornos agrícolas contribuyen con gran cantidad de nutrientes que pueden llevar a una rápida y excesiva producción de malezas acuáticas y algas cuya descomposición al morir produce un decremento en el contenido de oxígeno disuelto que causa la muerte de los peces, y las actividades recreativas, municipales, industriales y agrícolas disminuyen debido a un decremento en la calidad y cantidad del agua almacenada.

En resumen, eutroficación se denomina al proceso de enriquecimiento con nutrientes, como el fósforo y el nitrógeno, que pueden ser la causa de fuertes incrementos en la abundancia de fitoplancton y macrofitos acuáticos. Los cambios consiguientes en la productividad primaria y la composición de las especies pueden degradar la calidad del agua o aumentar el rendimiento piscícola.

El consumo o producción de los nutrientes de lagos y embalses depende de los factores climáticos, de las características de la cuenca y de las actividades humanas. El efecto del suministro en las concentraciones de nutrientes es modificado por la morfometría del lago, la hidrología y la composición química de los propios nutrientes, así como por la disponibilidad que tengan los organismos de esos nutrientes. Mientras que un análisis completo de nutrientes y productores primarios resulta complejo, un simple equilibrio de masas y los modelos de regresión son instrumentos valiosos para muchas aplicaciones en el manejo de un lago.

El modelo de OECD-Vollenweidwr es el que ha sido el más utilizado. Por lo general, las hipótesis incluyen un estado constante de concentración para una media anual en el lago y la limitación por fósforo del productor primario más abundante. Para las regiones tropicales que presentan una gran variabilidad en el escurrimiento o limitaciones debidas a la luz o el nitrógeno, es necesario hacer modificaciones a este modelo.

Turbiedad y partículas suspendidas

Un resultado común del desarrollo de las tierras elevadas de las vertientes es el incremento en la turbiedad y las partículas suspendidas. En contraste, las represas tienden a reducir la turbiedad dentro del embalse y aguas abajo, a costa de una alta sedimentación en el lecho del río previo a la presa. Las implicaciones del cambio de turbiedad en el ecosistema acuático son múltiples.

En los lagos y embalses la turbiedad es fundamental; tiene una gran influencia en la penetración de la radiación solar, con implicaciones para las propiedades térmicas y la productividad primaria. Aún más, la distribución y el transporte de partículas suspendidas marcan las dinámicas de nutrientes, metales pesados, pesticidas y otras toxinas. La naturaleza del material suspendido está influida por la vertiente, las corrientes de aire, los organismos acuáticos y las condiciones físicas y químicas dentro de los lagos y ríos.

El mezclado vertical agente primario que mantiene nutrientes en la zona eufótica, tiene una fuerte influencia de la turbiedad. Es muy común que las aguas turbias estén estratificadas de manera más estable que las aguas claras y que se requiera de mayor energía para mezclar un lago turbio que uno claro. Por tanto, el viento necesario para mezclar una profundidad dada, aumenta con el incremento de la turbiedad. Sin embargo a mayor velocidad del viento y de la turbiedad, aumenta el intercambio de calor manifiesto y latente, así como la energía disponible para el mezclado. De este modo, tras un rápido aumento inicial, la velocidad de viento necesaria para mezclar un lago se incrementa asintóticamente, como una función de la turbiedad.

La profundidad de la zona eufótica depende de las propiedades ópticas de los acuasoles suspendidos y disueltos en el agua. Los niveles elevados de suspensoides producen zonas eufóticas comprimidas y grandes proporciones de zonas afóticas-eufóticas. Como resultado, es frecuente que los cianofitos flotantes o macrofitos acuáticos flotantes se ven favorecidos con la correspondiente degradación de la calidad del agua.

Las partículas suspendidas pueden ayudar a alentar la producción de zooplancton, zoobentos y peces. El detrito orgánico con o sin bacterias puede contribuir como alimento; sin embargo las grandes concentraciones de sedimento pueden retardar la alimentación. Una disminución en la claridad puede detener a los depredadores visuales, pero ayudar a su presa. En incremento en la sedimentación puede reducir el hábitat para las especies benthicas. Las toxinas absorbidas pueden alcanzar niveles altos y amplificarse aún más a través de la cadena alimentaria.

2.4 Índice de calidad del agua

El agua es la sustancia que está más ampliamente distribuida sobre la superficie terrestre y en los tejidos de los organismos vivientes. En los ríos, océanos, nubes y casquetes polares, así como en nuestros líquidos corporales, es el medio en el que se cumple la mayoría de las transformaciones fisicoquímicas, en particular las de importancia biológica.

Las gotas de agua y los cristales de hielo de las nubes elevadas son bastante puros, al igual que el agua que constituye la nieve que desciende de estas altitudes. Pero en la superficie de la tierra, el agua líquida está en contacto con muchas otras sustancias

químicas y se mezcla con ellas en forma más o menos estrecha. Cabe preguntar ¿qué es el agua “pura” y cómo llega a “contaminarse”? Se puede considerar que una sustancia “pura” es aquella cuyas moléculas son semejantes entre sí, y aunque el agua que brota de una fisura en la roca de las montañas contiene pequeñas cantidades de materia mineral, rara vez esta contaminada. De lo anterior se deduce que la contaminación del agua es la adición de materia extraña que deteriora la calidad del agua. La calidad es la propiedad del agua que le permite seguir siendo útil, da de beber al hombre y los animales, sustenta toda la vida marina, sirve para irrigar la tierra, y de recreación.

El concepto “calidad del agua”, se refiere al conjunto de sus características físicas, químicas y biológicas, clasificadas en relación con características modelo definidas, y según su uso definido. Existen metodologías para obtener “índices de calidad” del agua, comparando el valor de los parámetros físicos, químicos y biológicos de una muestra con los correspondientes a la caracterización de base. Sin embargo siempre es necesario analizar detalladamente los parámetros de una muestra, antes de calificarla como adecuada para un uso o destino particular.

Para llevar a cabo la evaluación de los resultados reportados por las estaciones muestreadas, se utiliza el Índice de Calidad del Agua (ICA), el cual proporciona un método que permite relacionar los parámetros reportados con el fin de determinar el grado de contaminación que presenta el agua.

El grado de contaminación queda representado por el Índice de Calidad del Agua, el cual esta expresado como un porcentaje del agua pura; así, el agua altamente contaminada tendrá un ICA global cercano o igual a 0 %, en cambio el agua en excelente condición tendrá un valor cercano a 100 %.

El índice de calidad se obtiene con la siguiente expresión:

$$I = \frac{\sum_{i=1}^n (I_i * W_i)}{\sum_{i=1}^n W_i}$$

Donde:

- I = Índice de calidad general
- I_i = Índice de calidad del parámetro considerado
- W_i = Valor de importancia relativa del parámetro considerado

En cuadro 2.4 se muestran los valores de importancia relativa de 18 parámetros que se proponen como básicos.

Cuadro 2.4.- Valores de importancia relativa

Parámetro	Importancia relativa
PH	1.0
Color	1.0
Turbiedad	0.5
Grasas y aceites	2.0
Sólidos Suspendidos	1.0
Sólidos Disueltos	0.5

Cuadro 2.4.- (Continuación)

Parámetro	Importancia relativa
Conductividad Eléctrica	2.0
Alcalinidad	1.0
Dureza Total	1.0
N de Nitratos	2.0
N Amoniacal	2.0
Fosfatos totales	2.0
Cloruros	0.5
Oxígeno disuelto	5.0
DBO	5.0
Coliformes Totales	3.0
Coliformes Fecales	4.0
Detergentes (SAAM)	3.0

Las ecuaciones definidas para el índice de calidad individual de cada uno de los 18 parámetros, son los siguientes:

1) pH

$$I_{pH} = 10^{0.2335 \text{ pH} + 0.440} \quad \text{Si el pH es menor que 6.7}$$

$$I_{pH} = 100 \quad \text{Si el pH esta entre 6.7 y 7.3}$$

$$I_{pH} = 10^{4.22 - 0.293 \text{ pH}} \quad \text{Si el pH es mayor que 7.3}$$

2) Color

$$I_C = 123(C)^{-0.295} \quad \text{C en unidades de color escala platino-cobalto}$$

3) Turbiedad

$$I_t = 108(t)^{-0.778} \quad \text{t en U T J}$$

4) Grasas y aceites

$$I_{GyA} = 87.25(GyA)^{-0.298} \quad \text{G y A en mg/l}$$

5) Sólidos suspendidos

$$I_{SS} = 266.5(SS)^{-0.37} \quad \text{SS en mg/l}$$

6) Sólidos disueltos

$$I_{SD} = 109.1 - 0.0175 (SD) \quad \text{SD en mg/l}$$

7) Conductividad eléctrica

$$I_{CE} = 540(CE)^{-0.379} \quad CE \text{ en } \mu\text{mhos/cm}$$

8) Alcalinidad

$$I_a = 105(a)^{-0.186} \quad a \text{ en mg/l como CaCO}_3$$

9) Dureza total

$$I_D = 10^{1.974 - 0.00174(D)} \quad D \text{ en mg/l como CaCO}_3$$

10) N de Nitratos

$$I_{NO_3} = 162.2(NO_3)^{-0.343} \quad NO_3 \text{ en mg/l}$$

11) N amoniacal

$$I_{NH_3} = 45.8(NH_3)^{-0.343} \quad NH_3 \text{ en mg/l}$$

12) Fosfatos totales

$$I_{PO_4} = 34.215(PO_4)^{-0.46} \quad PO_4 \text{ en mg/l}$$

13) Cloruros

$$I_{Cl} = 121(Cl)^{-0.223} \quad Cl \text{ en mg/l}$$

14) Oxígeno disuelto

$$I_{OD} = \frac{OD}{OD_{SAT}} 100 \quad OD \text{ en mg/l a } T^\circ \text{ de campo}$$

OD_{SAT} en mg/l de saturación mg/l a
misma T° de campo

15) Demanda Bioquímica de Oxígeno

$$I_{DBO} = 120(DBO)^{-0.673} \quad DBO \text{ en mg/l}$$

16) Coliformes totales

$$I_{CT} = 97.5(CT)^{-0.27} \quad CT = \text{NMP coli/ml}$$

17) Coliformes fecales

$$I_{Ec} = 97.5[5(Ec)]^{-0.27} \quad Ec = \text{Escherichis coli/ml}$$

18) Detergentes

$$I_{SAAM} = 100 - 16.678 (SAAM) + 0.1587 (SAAM)^2 \quad SAAM \text{ en mg/l}$$

Con ayuda del ICA se pueden determinar los usos a los que se puede destinar el agua según su grado de contaminación, dichos usos quedan establecidos en la Escala de Calificación General de la Calidad del Agua y corresponden a: abastecimiento público, recreación, pesca y vida acuática, uso industrial o agrícola, navegación y transporte de desechos tratados.

En el Cuadro 2.5 se presenta la Escala de Clasificación de la Calidad del Agua (ICA).

Adicionalmente los resultados reportados se pueden comparar con los valores recomendados para cada parámetro en los Criterios Ecológicos de Calidad del Agua (CE-CCA-001/89), publicados en el Diario Oficial de la Federación el 13 de diciembre de 1989 (Cuadro 2.6), los que establecen los límites mínimos de calidad requeridos para los usos a los que se pueda destinar el recurso.

Cuadro 2.5.- Escala de Clasificación de la Calidad del Agua (ICA).

Rango	Abastecimiento Público	Recreación	Pesca y Vida Acuática	Industrial y Agrícola	Navegación	Transporte de Desechos Tratados	
90-100	No requiere purificación	Aceptable para cualquier deporte acuático	Aceptable para todos los organismos	No requiere purificación	Aceptable	Aceptable	
80-90	Ligera purificación			Ligera purificación para algunos procesos			
70-80	Mayor necesidad de tratamiento	Aceptable pero no recomendable	Excepto especies muy sensibles	Sin tratamiento para industria normal			
60-70			Dudoso para especies sensibles				
50-60							
40-50	Dudoso	Dudoso para contacto directo	Solo organismos muy resistentes	Con tratamiento en la mayor parte de la industria			
30-40	Inaceptable	Sin contacto con el agua	Inaceptable	Uso muy restringido			Restringido
20-30		Uso muy restringido					
10-20		Inaceptable					
0-10				Inaceptable			Inaceptable

Cuadro 2.6.- Criterios Ecológicos de Calidad del Agua (CE-CCA-001/89).

Sustancias o parámetros	Unidades	Fuente de Abastecimiento de agua	Recreativo con contacto primario	Riego Agrícola	Pecuario	Protección de la vida acuática		
						Agua dulce	Agua marina	
pH (XXXI)	Unidades	59		4.5-9.0		(XXXII)	(XXXII)	
OD (XXX)	mg/l	4				5	5	
DBO ₅								
SDT	mg/l	500		500 (XXXV)	1000			
SST	mg/l	1000						
SAMM	mg/l							
G y A	mg/l	Ausente						
Fosfatos								
N NH ₃	mg/l					0.06	0.01	
N NO ₃	mg/l	5			90		0.04	
Color	U. P. C							
Turbiedad	U. Jackson	Condiciones naturales					(XIX)	(XIX)
Dureza								
Cloruros	mg/l	25		147		250		
C. T.								
C. F.	NMP/1000	1000	(XVIII)	1000		(XVIII)	(XVIII)	
Alcalinidad	mg/l	400				(IV)	(IV)	
Conductividad eléctrica	µmhos/cm			1000(XX)				

Notas:

- IV La alcalinidad natural del cuerpo de agua no debe ser reducida en más de 25%, cuando ésta sea menor o igual a 20 mg/l no deberá admitirse reducciones inducidas.
- XIX Los sólidos suspendidos (incluyendo sedimentables) en combinación con el color, no deben reducir la profundidad del nivel de compensación de la luz para la actividad fotosintética en más de 10% a partir del valor natural.
- XX Este nivel considera el uso del agua bajo condiciones medias de textura del suelo, velocidad de infiltración, drenaje, lámina de riego empleada, clima y tolerancia de los cultivos a las sales. Desviaciones considerables en el valor medio de estas variables pueden hacer inseguro el uso de esta agua.
- XVIII Los organismos no deben exceder de 200 como número más probable en 100 mililitros (NMP/100 ml) en agua dulce o marina, y no más del 10% de las muestras mensuales deberá exceder de 400 NMP/100 ml.
- XXXII No podrá haber variaciones mayores a 0.2 unidades de pH, tomando como base el valor natural estacional
- XXXV La concentración de sólidos disueltos que no tienen efectos nocivos en ningún cultivo es de 500 mg/l, en cultivos sensibles es de entre 500 y 1000 mg/l en muchas cosechas que requieren de manejo especial es de entre 1000 y 2000 mg/l y para cultivos de plantas tolerantes en suelos permeables es de 2000 y 5000 mg/l requiriendo de un manejo especial

Por otra parte, para la cosecha de frutas sensibles, la razón de absorción de sodio (RAS) debe ser menor o igual que 4 y para forrajes la RAS podrá estar entre 8 y 18.

2.5 Programa de aforo

Aforar es medir la cantidad de agua que lleva una corriente en una unidad de tiempo.

Para la realización de los aforos se realizan recorridos de campo para validar la información recabada de los aprovechamientos, descargas y principales afluentes.

De lo anterior se observa los afluentes más importantes que existen. Asimismo, se identifican las industrias que descargan en el embalse así como en los afluentes de este.

Con las observaciones anteriores se procede a dividir el embalse y a establecer las estaciones de monitoreo.

Procedimientos para medición de caudales.

En las estaciones localizadas sobre el embalse, los afluentes y corrientes de ríos se deberá realizar el aforo simultáneamente a la toma de las muestras simples con las que se elaborará la muestra compuesta que será enviada al laboratorio para su análisis.

De acuerdo a las condiciones de cada una de las descargas y de las estaciones de monitoreo seleccionadas se podrá utilizar alguno de los siguientes métodos:

Método sección-velocidad

Medición con cuerpo flotante

Este método consiste en calcular separadamente la sección transversal del canal, tubo, dren o afluente y la velocidad del agua.

La velocidad del agua se obtiene tomando el tiempo que un objeto flotante (corcho) tarda en recorrer una distancia conocida y mediante la expresión:

$$V = \frac{d}{t}$$

Donde:

V = Velocidad

d = Distancia recorrida por el cuerpo flotante

t = lapso que tarda el cuerpo en recorrer la distancia d

El paso anterior deberá repetirse varias veces, con lo que se podrá determinar la velocidad promedio mediante la siguiente expresión:

$$V_p = \frac{\sum_{i=1}^N V_i}{N}$$

Donde:

V_p = velocidad promedio

V_i = velocidad i

N = Número de repeticiones

El gasto medio se obtiene del producto del área de la sección transversal y la velocidad promedio de la corriente.

$$Q = A * V_p$$

Donde:

Q = Gasto promedio

A = área transversal de la corriente
 V_p = velocidad promedio

Medición con Correntómetro

La medición de caudales mediante la utilización de correntómetros (molinetes) requiere la determinación de un número suficiente de velocidades puntuales para permitir calcular una velocidad promedio en la corriente. El área transversal multiplicada por la velocidad promedio dará el caudal total. El número de puntos en los cuales se debe de medir la velocidad debe limitarse a aquellos que se puedan realizar dentro de un tiempo razonable, especialmente si el nivel esta cambiando rápidamente, puesto que es deseable completar la medición con un cambio mínimo en el nivel.

El procedimiento consiste en dividir la corriente en un número de secciones verticales cuidando que ninguna sección incluya más del 20% de la descarga total. La velocidad varía como una parábola desde el fondo del canal hasta un máximo en, o cerca, a la superficie del agua.

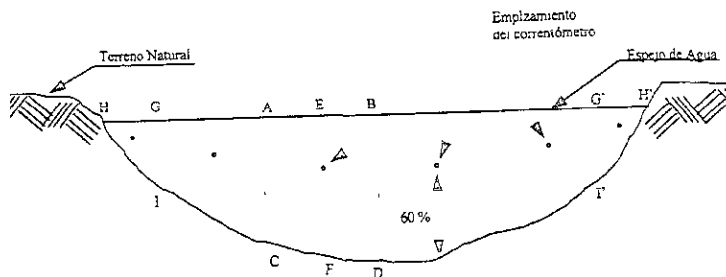
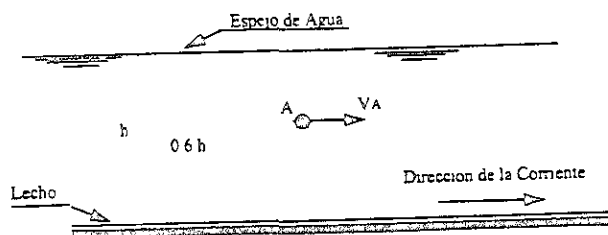


Figura 2.1.- Procedimiento para medición con correntómetro.

La determinación de la velocidad media en la vertical se realiza como sigue:

1 Se mide la profundidad total del agua mediante un sondeo con cable.

2. Se levanta el correntómetro hasta 0.6 de la profundidad y se mide la velocidad accionando el cronómetro en un impulso del correntómetro y parándolo en otro impulso aproximadamente 45 segundos después. El número de impulsos contados (tomando el primero como cero) y el tiempo recorrido permite el cálculo de la velocidad a partir de la curva de calibración del correntómetro.



Donde :

h = Profundidad
 V_A = Velocidad promedio en la sección

Figura 2.2.- Determinación de la velocidad.

Si las velocidades son altas, el correntómetro y su peso no estarán suspendidos verticalmente por debajo del punto, sino que serán arrasados aguas abajo por la corriente. Bajo estas condiciones la longitud del cable desarrollada es mayor que la distancia vertical verdadera y el correntómetro estará más alto de lo indicado.

La corrección real depende de las longitudes relativas de la línea por encima y por debajo de la superficie del agua.

El cálculo del caudal total se hace como sigue:

1. Se calcula la velocidad promedio en cada vertical.
2. Se multiplica la velocidad promedio en la vertical por el área de la sección vertical que se extiende hasta la mitad del camino de los verticales adyacentes (ABCD, figura 2.3). Esta área se toma como la correspondiente a la profundidad media en la vertical (EF) por el ancho (AB).
3. Se suman los incrementos de caudal de los diferentes verticales. La descarga incrementa en las orillas (GHI) se toma como cero.

Nota: Este método es aplicable a todo tipo de corrientes

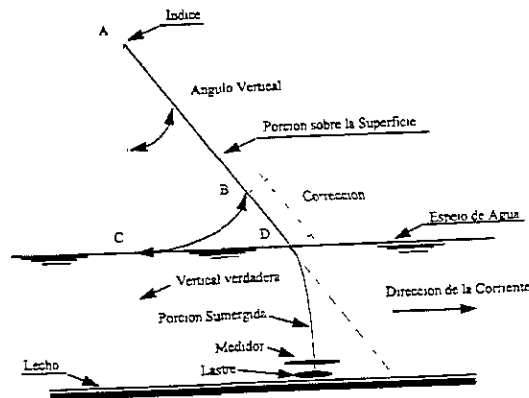


Figura 2.3.- Posición del cable de sondeo en agua a gran velocidad.

Método Volumétrico

Este método consiste en medir el tiempo que tarda en llenarse un recipiente de capacidad volumétrica conocida.

El gasto se obtiene de aplicar la siguiente expresión:

$$q_i = vt$$

Donde:

$$q_i = \text{Gasto}$$

v = Capacidad volumétrica del recipiente
 t = Lapso que tarda en llenarse el recipiente

El gasto medio se obtiene de repetir varias veces el paso anterior y mediante la siguiente expresión:

$$Q = \frac{\sum_{i=1}^N q_i}{N}$$

Donde:

Q = Gasto medio
 q_i = Gasto i
 N = Número de repeticiones

2.6 Programa de muestreo

Procedimientos de muestreo y preservación de muestras.

El procedimiento para la colección de muestras simples y la integración de muestras compuestas se llevará a cabo de acuerdo a lo indicado en las Normas Oficiales Mexicanas vigentes aplicables o, en su defecto, se seguirán las recomendaciones señaladas en el "Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater", (18a. edición) o en su versión en español "Métodos Normalizados para el Análisis de Agua Potable y Residuales" (17a. edición).

Muestreo en corrientes.

La toma de muestras simples en las estaciones localizadas en los diferentes puntos antes mencionados se realizarán de tal forma que al formular la muestra compuesta, esta represente las condiciones particulares del embalse y la corriente.

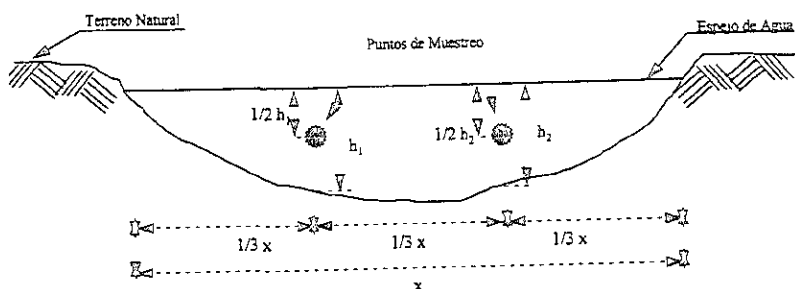


Figura 2.4.- Puntos de muestreo.

Muestreo en tomas.

Se instalan tomas en conductos a presión o en conductos que permitan el fácil acceso para muestrear a cielo abierto con el objeto de caracterizar debidamente las aguas residuales. Las tomas tendrán un diámetro adecuado para muestrear correctamente las aguas residuales en función de los materiales que puedan contener, serán de la menor longitud posible, y se procurará situarlas de tal manera que las

muestras sean representativas de la descarga. Se utilizarán materiales similares a los del conducto (acero al carbón, acero inoxidable, etc.).

Se deja fluir un volumen aproximadamente igual a 10 veces el volumen de la muestra y a continuación se llenarán los recipientes de muestreo.

Muestreo en descargas libres.

Cuando las aguas residuales fluyan libremente en forma de chorro, se empleará el siguiente procedimiento.

El recipiente muestreador se enjuagará repetidas veces antes de efectuar el muestreo.

Se introducirá el recipiente muestreador en la descarga o de ser posible, se tomará directamente la muestra en su recipiente.

La muestra se transferirá del recipiente muestreador al recipiente para la muestra cuidando de que esta siga siendo representativa.

Muestreo en Canales y Colectores.

Se toman las muestras en el centro del canal o colector de preferencia en lugares donde el flujo sea turbulento a fin de asegurar un buen mezclado.

Cuando se evalúe el contenido de grasas y aceites se tomaran porciones, a diferentes profundidades, cuando no haya mucha turbulencia para asegurar una mayor representatividad.

El recipiente muestreador se enjuaga repetidas veces con el agua por muestrear antes de efectuar el muestreo.

El recipiente muestreador atado con una cuerda y sostenido con la mano de preferencia enguantada, se introduce en el agua residual completamente y se extraerá la muestra.

Si la muestra se transfiere de recipiente, se cuidará que ésta siga siendo representativa.

Obtención de muestras compuestas.

El procedimiento para la obtención de muestras compuestas es el siguiente:

Las muestras compuestas se obtendrán mezclando muestras simples en volúmenes proporcionales al gasto o flujo de descarga medido en el sitio y momento del muestreo.

Cierre de los recipientes de muestreo.

Las tapas o cierres de los recipientes deben fijarse de tal forma que se evite el derrame de la muestra.

Consideraciones adicionales.

A continuación se describen los aspectos más relevantes para la colección de muestras de agua que son aplicables tanto para la determinación de análisis físico-químicos como bacteriológicos.

Preservación y estabilidad de muestras.

La preservación, almacenamiento y tiempo de estabilidad de las muestras se efectuará de acuerdo con los lineamientos que se muestran en la Cuadro 2.7; mismo que fue elaborado a partir de las referencias arriba citadas. En dicha tabla se incluyen el nombre del parámetro, el tipo de recipiente (vidrio y/o plástico), la cantidad y conservador utilizado, los tiempos máximos de estabilidad desde la colección de la muestra hasta su análisis, etc.

En relación al transporte de las muestras se deberá hacer con sumo cuidado de tal forma que no se produzcan derrames de líquidos ni rupturas de frascos. Las muestras colectadas deberán preservarse y enviarse inmediatamente al laboratorio para su análisis.

Cuadro 2.7.- Preservación, almacenamiento y tiempo de estabilidad de muestras.

Parámetro	Tipo de recipiente	Volumen mínimo de la muestra ml	Conservación	Tiempo máximo de conservación recomendado/obligado	Referencia
Aceites y grasas	V Calibrado, de boca ancha	1 000	Añadir H ₂ SO ₄ hasta pH2, refrigerar a 277 K (4°C)	No más de 24 hrs/no más de 24 hrs	NMX-AA-005-1981
DBO ₅	P,V	1 000	Refrigerar a 277 K (4°C)	No más de 24 hrs/no más de 24 hrs	NMX-AA-028-1981
DQO	P,V	100	Analizar lo antes posible, o añadir H ₂ SO ₄ hasta pH2, refrigerar a 277 K (4°C)	No más de 24 hrs/no más de 24 hrs.	NMX-AA-030-1981
Clorofila	P,V	500	30 días en oscuridad	30 d/N C.	
Color	P,V	500	Refrigerar a 277 K (4°C)	Analizar antes de 24 hrs	NMX-AA-045-1981
Fosfato	V(A)	100	Para fosfato disuelto, filtrar inmediatamente refrigerar		NMX-AA-029-1981
Cromo VI	P(A), V(A)	300	Refrigerar inmediatamente a 278 K (5°C)	24 d/24 d	NMX-AA-051-1981
Niquel	P(A), V(A)	300	Refrigerar inmediatamente a 278 K (5°C)	24 d/24 d	NMX-AA-051-1981
Plomo	P(A), V(A)	300	Refrigerar inmediatamente a 278 K (5°C)	24 d/24 d	NMX-AA-051-1981
Zinc	P(A), V(A)	300	Refrigerar inmediatamente a 278 K (5°C)	24 d/24 d	NMX-AA-051-1981
Nitratos	P,V	100	Analizar lo antes posible, o refrigerar		NMX-AA-079-1986
Nitritos	P,V	100	Analizar lo antes posible, o refrigerar	48 h/48 h (27 días para muestras cloradas)	NMX-AA-099-1987
Amoniaco	P,V	500	Analizar lo antes posible, o añadir H ₂ SO ₄ hasta pH2, refrigerar a 277 K (4°C)	Ninguno/28 d	NMX-AA-026-1980
Organico, Kjeldahl	P,V	500	Analizar lo antes posible, o añadir H ₂ SO ₄ hasta pH2, refrigerar a 277 K (4°C)	7 d/28 d	NMX-AA-026-1980
Oxígeno Disuelto	V, botella DQO	300	Analizar inmediatamente o conservar fijando en campo con 1 cm ³ (ml) de solución de cloruro de potasio, 2 cm ³ (ml) de sulfato manganosos, 2 cm ³ (ml) de yoduro nítrico y 2 cm ³ (ml) de ácido sulfúrico	7 d/28 d	NMX-AA-012-1980
PH	P,V hermético	-	Refrigerar	8 hrs./8 hrs	NMX-AA-008-1980
Sólidos totales	P,V	-	Refrigerar a 4°C ± 2°C	2 h/inmediato	NMX-AA-020-1980
Sólidos disueltos totales	P,V	-	Refrigerar a 4°C ± 2°C	7 D/2-7, ver referencia citada	NMX-AA-020-1980
Sólidos suspendidos totales					NMX-AA-004-1977
Sólidos sedimentables					NMX-AA-004-1977
Temperatura	P,V	-	Analizar inmediatamente		NMX-AA-007-1980

Cuadro 2.7.- (Continuación)

Parámetro	Tipo de recipiente	Volumen mínimo de la muestra ml	Conservación	Tiempo máximo de conservación recomendado/obligado	Referencia
Turbiedad	P,V	-	Analizar el mismo día; guardar en oscuridad hasta 24 hr., refrigerar a 277 K (4°C)	No más de 24 hrs.	NMX-AA-038-1981
Conductividad eléctrica	V, de silicato de boro o polietileno		Refrigerar a 277 K (4°C)	No más de 24 hrs.	NMX-AA-093-1984
Dureza total (CaCo3)	V	100	Refrigerar a 277 K (4°C)	No más de 7 días	NMX-AA-072-1981
Fenoles	-	-	Refrigerar de 5 a 10°C durante 24 hrs	-	NMX-AA-050-1981
R.A.S					
Cloruros	V,P,Ambar	-	Refrigerar a 4°C	No más de 7 días	NMX-AA-100-1987
Sulfatos	-	-	-	-	NMX-AA-074-1981
S.A.A.M	-	-	Refrigerar a 4°C	No más de 24 hrs.	NMX-AA-039-1980
Fósforo orgánico	-	-	-	-	NMX-AA-005-1980
Fósforo disuelto	-	-	-	-	NMX-AA-005-1980
Coliformes totales	V,P, esterilizados	100	Refrigerar inmediatamente a 4°C	No más de 24 hrs. para agua potable y no más de 6 para otro tipo de agua.	NMX-AA-042-1987
Coliformes fecales	V,P, esterilizados	100	Refrigerar inmediatamente a 4°C	No más de 24 hrs. para agua potable y no más de 6 para otro tipo de agua.	NMX-AA-042-1987

- * Para las determinaciones no reseñadas, emplear envases de vidrio o plástico.
 - * R = Refrigerar preferentemente durante su conservación y analizar lo antes posible. Refrigerar = conservar a 4°C, en la oscuridad
 - * P = Plástico (polietileno o equivalente)
 - * V = Vidrio,
 - * V(A) = lavado con 1 + 1 HNO3;
 - * V(B) = vidrio, borosilicato = vidrio lavado con disolventes orgánicos
 - * NC = No consta en la referencia citada
- Fuente: Environmental Protection Agency, Rules and Regulation, Federal Register 49, núm 209, 26 de octubre de 1984. Véase esta referencia para posibles diferencias relativas a requerimientos.

2.7 Análisis de campo y laboratorio

2.7.1 Determinaciones en campo

Durante cada campaña de muestreo, en cada una de las estaciones de monitoreo establecidas se miden los siguientes parámetros:

Las mediciones realizadas "in situ" se muestran en el Cuadro 2.8

Cuadro 2.8.- Mediciones in situ

No.	Parámetro	Unidades
1	PH	Unidades de pH
2	Temperatura	°C
3	Conductividad eléctrica	miliSiemens/cm
4	Sólidos Disueltos Totales	mg/l
5	Color	Unidades de color en la escala platino-cobalto
6	Oxígeno Disuelto	mg/l

Adicionalmente durante la toma de muestras se registrará, la intensidad y dirección del viento y nubosidad.

Los pasos a seguir en campo para completar los análisis solicitados serán los siguientes:

Análisis físico-químicos.

- a) Las muestras deberán colectarse en garrafones de polietileno o jarras de vidrio que deberán estar perfectamente limpios, estos recipientes estarán debidamente rotulados con el número de la estación, número de muestreo, análisis a efectuar y la fecha y hora de colección.
- b) Para las muestras individuales coleccionar aproximadamente un litro de agua del lugar requerido. Procurar respetar los tiempos recomendados durante su colección, manejo y transporte, cuidando no exponer las muestras a la luz solar directa.
- c) Para la determinación de grasas y aceites la muestra deberá tomarse por separado en un frasco limpio de vidrio de boca ancha de un litro de capacidad, con el cual se procederá a coleccionar y preservar la muestra.

Análisis bacteriológicos

- a) Colectar la muestra en frasco de boca ancha esmerilada de color ámbar perfectamente esterilizado a una profundidad de dos a cuatro pulgadas bajo de la superficie del agua. Evitando tomar la muestra en el espejo del agua para no contaminar la muestra con partículas o bacterias que se encuentren en el ambiente.
- b) Rotular la muestra con el número de la estación, número de muestreo, análisis a efectuar y la fecha y hora de colección.
- c) Después de su colección preservar inmediatamente la muestra colocándola en hielo y en un lugar oscuro.
- d) Las muestras pueden ser filtradas e incubadas dentro de las seis horas después de su colección.

2.7.2 Determinaciones en laboratorio

Los procedimientos para los análisis de las muestras coleccionadas se apegarán a las Normas Oficiales Mexicanas correspondientes o en su caso al "Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater".

Los parámetros a determinar en laboratorio se muestran en el cuadro 2.9.

Cuadro 2.9.- Parámetros a determinar en el Laboratorio

No.	Parámetro	Unidades
1	Oxígeno Disuelto	mg/l
2	Temperatura	°C

Cuadro 2.9.- (Continuación)

No.	Parámetro	Unidades
3	DBO ₅	mg/l
4	DQO	mg/l
5	Sólidos Totales	mg/l
6	Sólidos Suspendidos Totales	mg/l
7	Sólidos Sedimentables	mg/l
8	Sólidos Disueltos Totales	mg/l
9	Nitrógeno orgánico	mg/l
10	Nitrógeno Amoniacal	mg/l
11	Nitritos	mg/l
12	Nitratos	mg/l
13	Nitrógeno Total	mg/l
14	Fósforo orgánico	mg/l
15	Fósforo disuelto	mg/l
16	Fósforo Total	mg/l
17	Fosfatos	mg/l
18	Fenoles	mg/l
19	Grasas y aceites	mg/l
20	Sulfatos	mg/l
21	S.A.A.M.	mg/l
22	Conductividad	umhos/cm
23	Coliformes Totales	UFC/100 ml
24	Coliformes Fecales	UFC/100 ml
25	PH	unidades de pH
26	Cloruros	mg/l

Adicionalmente en las estaciones localizadas sobre las descargas de aguas residuales industriales se obtendrán los siguientes parámetros:

No.	Parámetros	Unidades
1	Cromo hexavalente	mg/l
2	Zinc	mg/l
3	Plomo	mg/l

CAPÍTULO III

PRINCIPALES FACTORES QUE INTERVIENEN EN LA CAPACIDAD DE ASIMILACIÓN Y DILUCIÓN DE CONTAMINANTES

Las determinaciones anteriores serán solicitadas al laboratorio, tomando en cuenta los procedimientos para el manejo y estabilidad de muestras indicadas en el Cuadro 2.7.

Procesamiento de resultados y reportes

Con la información generada en campo y laboratorio se procede a evaluar las características de calidad del agua de acuerdo a su uso, considerando lo establecido en los criterios ecológicos.

Se evalúa la importancia relativa de cada fuente de contaminación con base en la magnitud y características de sus aportaciones y el efecto que producen en la calidad del agua de la corriente.

Se obtienen los valores de los parámetros (físico-químicos y biológicos) que se utilizarán en el modelo matemático.

PRINCIPALES FACTORES QUE INTERVIENEN EN LA CAPACIDAD DE ASIMILACIÓN Y DILUCIÓN DE CONTAMINANTES

3.1 Capacidad de asimilación y dilución

La tesis fundamental que rige la evacuación de los efluentes y el control de la contaminación ha consistido en que las plantas de tratamiento se ocupen parcialmente de la depuración del mismo, dejando que la naturaleza haga el resto. En algunos lugares sin embargo los papeles están invertidos y se confía en que la naturaleza haga más de lo que le corresponde en este trabajo. Como consecuencia la capacidad de asimilación de las aguas receptoras se sobrepasa y de ahí resulta la contaminación de los cuerpos receptores. La autodepuración o purificación natural que tiene lugar en el agua receptora depende de su caudal o volumen, su contenido de oxígeno y su capacidad para reoxigenarse por sí misma. La proporción de la capacidad autodepuradora, llamada capacidad asimiladora, que puede utilizarse con seguridad en ríos, lagos y estuarios, depende de los usos a los que el agua sea sometida aguas abajo, de la opinión pública y de la capacidad asimiladora del agua receptora. Por los motivos antes mencionados es de vital importancia que los organismos encargados del control de la contaminación del agua establezcan normas que regulen las descargas de aguas residuales.

La materia orgánica degradable, a través del desarrollo de su DBO, utiliza el oxígeno disuelto de las aguas receptoras para estabilizar los residuos. El oxígeno disuelto se repone principalmente por reaeración atmosférica, fotosíntesis por las algas y dilución suplementaria aguas abajo.

Los contaminantes de tipo conservativo (es decir aquellos que no se descomponen), tales como los constituyentes químicos, son principalmente reducidos por dilución. La dilución necesaria para la evacuación de compuestos tóxicos se calcula mediante un ensayo biológico.

En muchas localidades interiores en que no se dispone de corrientes de agua cercanas, puede ser necesario verter el agua residual tratada a lagos o embalses. A continuación se analizan los efectos de tales vertidos.

Los lagos y los embalses están con frecuencia sometidos a condiciones de mezclado importantes debido a las corrientes inducidas por el viento; por tanto es razonable suponer que algunos lagos y embalses de pequeño tamaño estén totalmente mezclados (por ejemplo como en un reactor de mezcla completa). Para simplificar los cálculos, se supone que los caudales son constantes y que la descomposición de los elementos contaminantes se ajusta a una reacción de primer orden. Si se realiza un balance de masas a través del lago:

Acumulación = entrada – salida + generación – utilización

$$V \frac{dC}{dt} = (Q_r C_r + q_w C_w) - (Q_r + q_w)C + 0(-K'C)V \quad (3.1)$$

donde:

V = Volumen del lago

- dC/dt = cambio de la concentración del elemento contaminante en el lago
 Q_r = caudal del río afluente al lago
 C_r = concentración del elemento contaminante del lago
 q_w = caudal de agua residual vertida al lago
 C_w = concentración del elemento contaminante en el agua residual
 K' = constante de descomposición de primer orden (base c)

Considerando que:

$$W = Q_r C_r + q_w C_w$$

Y el tiempo de retención:

$$t_0 = \frac{V}{Q}$$

Donde Q es el flujo entrante total en el lago $Q_r + q_w$. Sustituyendo los valores anteriores en la ecuación 3.1 se tiene que:

$$\frac{dC}{dt} + C \left(\frac{1}{t_0} + K' \right) = \frac{W}{V}$$

esta es la ecuación diferencial lineal de primer orden la cual, una vez integrada da:

$$C = \frac{W}{\beta V} (1 - e^{-\beta t}) + C_0 e^{-\beta t}$$

donde:

$$\beta = 1/t_0 + K'$$

C_0 = concentración en el lago en el tiempo $t = 0$

La concentración de equilibrio puede hallarse haciendo t igual a ∞ . Una vez realizada esta operación, la concentración de equilibrio C_e se convierte en:

$$C_e = \frac{W}{\beta V}$$

La suposición de la existencia de condiciones de mezcla completa no puede aplicarse a los lagos estancados o extremadamente grandes. En tal caso, se podrá usar un modelo distinto basado en los fenómenos físicos existentes en el sistema que se esté sometiendo a estudio.

Particularmente significativa es la estratificación vertical, frecuente en ciertas estaciones del año. Un modelo de mezcla total no sería buena representación de un lago estratificado, ya que los residuos no se distribuirían normalmente por todo el volumen del

lago. Sin embargo, un residuo soluble puede considerarse totalmente mezclado en las capas superiores (epilimnio) de un pequeño lago profundo.

La estratificación de los lagos es el resultado del aumento de la densidad del agua con la profundidad, debido a la disminución de la temperatura. La densidad máxima tiene lugar a 4°C. Durante la primavera la mayoría de los lagos tienen una temperatura casi uniforme y, por tanto se mezclan con facilidad gracias a las corrientes inducidas por los vientos. Cuando se aproxima el verano. Las aguas de las capas superiores se calientan y su densidad disminuye consiguientemente, produciendo una estratificación estable.

Son tres las zonas que normalmente se encuentran en un lago estratificado: epilimnio, termoclina e hipolimnio. El epilimnio puede tener de 9 a 15 m de profundidad y su temperatura es bastante uniforme, debido al mezclado por la acción del viento. La termoclina es una zona que experimenta profundos cambios de temperatura y es sumamente resistente al mezclado. Durante el otoño, las temperaturas descienden, disminuyendo la estratificación hasta que la acción del viento pueda de nuevo mezclar las aguas del lago. Este fenómeno se conoce como la renovación de otoño. En los climas más fríos, en los que la temperatura desciende por debajo de 4°C, no es raro que tenga lugar de una estratificación invernal, ya que la densidad del agua disminuye nuevamente cuando la temperatura es menor de 4°C. Del mismo modo, resulta importante valorar parámetros tales como el viento, mareas y corrientes, dado que la mayor parte del mezclado de una lago o estanque es consecuencia de tales factores.

Una de las consideraciones más importantes para determinar la capacidad asimilativa de una corriente es su habilidad para mantener una concentración adecuada de oxígeno disuelto.

La principal fuente de oxígeno disuelto, a parte de la fotosíntesis de las algas, es la reaereación atmosférica.

Una de las consideraciones más importantes para determinar la capacidad asimilativa de contaminantes en un cuerpo receptor es la habilidad de este para mantener una concentración adecuada de oxígeno disuelto. La concentración de oxígeno disuelto está controlada por la reaereación atmosférica, fotosíntesis, respiración animal y de plantas, demanda del bentos, demanda bioquímica de oxígeno, nitrificación, salinidad y temperatura, entre otros.

Clorofila a

La presencia de algas o plantas acuáticas también puede tener un efecto en el oxígeno disuelto de las aguas superficiales. Durante los períodos de luz, el oxígeno es producido como un subproducto de la fotosíntesis y es consumido debido a la respiración. Durante la noche, la producción de oxígeno se detiene pero la respiración continúa. Este proceso complejo, que incluye tanto una fuente como un consumo de oxígeno, puede causar un aumento o un déficit de oxígeno que frecuentemente provoca variaciones de oxígeno disuelto durante el día. Estas variaciones dependen de varias condiciones incluyendo intensidad de la luz, nutrientes disponibles y turbidez.

Las algas planctónicas se representan mediante la clorofila a. La clorofila a es uno de los pigmentos que determina la actividad fotosintética del alga. Aunque está presente en todas las algas, es predominante en las algas verdes. Tanto el alga planctónica como

los macrofitos requieren ciertos nutrientes para su crecimiento. Aunque otros nutrientes son necesarios, el fósforo y el nitrógeno son generalmente los factores limitantes y son los de principal interés.

Se considera que la clorofila es directamente proporcional a la concentración de la biomasa de alga fitoplanctónica. La biomasa de algas se convierte a clorofila a mediante la simple relación:

$$\text{chl}_a = \alpha_o A$$

Donde:

$$\begin{aligned} \text{chl}_a &= \text{concentración de clorofila } a, \text{ mg/l} \\ A &= \text{concentración de biomasa de algas, mg/l} \\ \alpha_o &= \text{factor de conversión, mg chl}_a/\text{mg } A \end{aligned}$$

La ecuación que gobierna el crecimiento y producción de algas de acuerdo a la siguiente relación:

$$\frac{dA}{dt} = \mu A - \rho A - \frac{\sigma_1}{d} A$$

Donde:

$$\begin{aligned} A &= \text{concentración de la biomasa de las algas, mg/l} \\ t &= \text{tiempo, días} \\ \mu &= \text{razón de crecimiento local de algas, función de la temperatura } f(T), \\ &\quad \text{días}^{-1} \\ \rho &= \text{velocidad de respiración local de las algas, } f(T), \text{ días}^{-1} \\ \sigma_1 &= \text{velocidad de sedimentación local de las algas, } f(T), \text{ ft/día} \\ d &= \text{profundidad promedio, ft} \end{aligned}$$

Velocidad de respiración de algas

Este parámetro se usa para aproximar tres procesos: (a) la respiración endógena de las algas, (b) la conversión de fósforo de algas a fósforo orgánico, y (c) la conversión de nitrógeno de algas a nitrógeno orgánico.

Velocidad de crecimiento específica de algas

La velocidad local de crecimiento de las algas, μ , está relacionada directamente con la disponibilidad de los nutrientes (nitrógeno y fósforo) y la luz..

Relación Nutriente-Algas.

Los factores limitantes de crecimiento de algas por nitrógeno (FN) y fósforo (FP) se definen por las expresiones tipo Monod:

$$FN = \frac{N_e}{N_e + K_N}$$

y

$$FP = \frac{P_2}{P_2 + K_p}$$

Donde:

N_e = concentración local efectiva de nitrógeno inorgánico disponible, mg/l

K_N = constante de saturación media de Michaelis-Metón para nitrógeno, mg/l

P_2 = concentración local del fósforo disuelto, mg/l

K_p = constante de saturación media de Michaelis-Menton para fósforo, mg/l

Se asume que las algas usan amoniaco y/o nitrato como fuente de nitrógeno inorgánico. La concentración efectiva de nitrógeno disponible está dada por:

$$N_e = N_1 + N_3$$

Donde:

N_1 = concentración de nitrógeno amoniacal, mg/l

N_3 = concentración de nitrógeno como nitrato, mg/l

Ciclo de Nitrógeno

En aguas naturales aerobias, existe una transformación por etapas de nitrógeno orgánico a amoniaco, a nitrito y finalmente a nitrato.

Varios compuestos de nitrógeno presentes en descargas de aguas residuales también presentan una demanda de oxígeno en el agua conforme cambian de una forma a otra. Estos cambios de forma requieren la presencia de poblaciones específicas de bacterias. El nitrógeno amoniacal (NH_3-N) se convierte a nitrógeno en forma de nitrito (NO_2-N) mediante la bacteria Nitrobacter. La conversión de nitrógeno orgánico a nitrógeno amoniacal se lleva acabo mediante la electrólisis y por lo tanto no consume oxígeno. Bajo ciertas circunstancias, como una baja concentración de oxígeno disuelto, las poblaciones bacterianas de nitrificación y/o su actividad pueden ser suprimidas. Investigaciones experimentales han mostrado que niveles de oxígeno disuelto menores a 2 mg/l inhiben significativamente la nitrificación. Bajo condiciones anaeróbias, el nitrógeno de nitrato puede ser convertido a gas nitrógeno en un proceso conocido como desnitrificación.

Las ecuaciones diferenciales que describen la transformación del nitrógeno de una a otra forma se describen a continuación:

Nitrógeno Orgánico

$$\frac{dN_4}{dt} = \alpha_1 \rho A - \beta_3 N_4 - \sigma_4 N_4$$

Donde:

- N_4 = concentración de nitrógeno orgánico, mg/l.
- β_3 = constante de reacción de la hidrólisis de nitrógeno orgánico a hidrógeno amoniacal, $f(T)$, días⁻¹.
- α_1 = fracción de nitrógeno de la biomasa de algas, mg-N/mg-A.
- ρ = velocidad de respiración de las algas, días⁻¹.
- A = concentración de biomasa de las algas, mg/l.
- σ_4 = coeficiente de velocidad de sedimentación de nitrógeno orgánico, $f(T)$, días⁻¹.

Nitrógeno Amoniacal

$$\frac{dN_1}{dt} = \beta_3 N_4 - \beta_1 N_1 + \sigma_3/d - F_1 \alpha_1 \mu A$$

Donde:

$$F_1 = \frac{P_N N_1}{P_N N_1 + (1 - P_N) N_3}$$

- N_1 = concentración de nitrógeno amoniacal, mg/l
- N_3 = concentración de nitrógeno como nitrato, mg/l
- N_4 = concentración de nitrógeno orgánico, mg/l
- β_1 = constante de velocidad de reacción de la oxidación biológica de nitrógeno amoniacal, $f(T)$, días⁻¹.
- β_3 = constante de velocidad reacción de la hidrólisis de nitrógeno orgánico, días⁻¹.
- α_1 = fracción de nitrógeno en la biomasa de las algas, mg-N/mg-A.
- σ_3 = velocidad de alimentación de nitrógeno amoniacal de bentos, mg/ft²-día.
- d = profundidad media del flujo, ft.
- F_1 = fracción de consumo de nitrógeno por las algas.
- μ = razón de crecimiento específico local de las algas, días⁻¹.
- A = concentración de biomasa de las algas, mg/l.
- P_N = factor de preferencia por nitrógeno amoniacal, (0 a 1). Cuando es igual a cero, las algas sólo usan nitrato para su crecimiento; cuando es 0.5, las algas tienen igual preferencia por el amoníaco que por el nitrato; y cuando es 1, las algas solamente usan amoníaco para su crecimiento.

Nitrógeno de Nitritos.

$$\frac{dN_2}{dt} = \beta_1 N_1 - \beta_2 N_2$$

Donde:

- N_1 = concentración de nitrógeno amoniacal, mg-N/l.

N_2 = concentración de nitrógeno como nitritos, mg/l.

β_1 = constante de velocidad de reacción para la oxidación de nitrógeno amoniacal, $f(T)$, días⁻¹.

β_2 = constante de velocidad de reacción para la oxidación de nitrógeno como nitritos, $f(T)$, días⁻¹.

Nitrógeno de Nitrato

$$\frac{dN_3}{dt} = \beta_2 N_2 - (1 - F) \alpha_1 \mu A$$

Donde:

F = fracción del nitrógeno consumido por las algas.

α_1 = fracción de nitrógeno en la biomasa de las algas, mg-N/mg-A

μ = razón de crecimiento específica local de las algas, días⁻¹.

Ciclo de fósforo

El ciclo de fósforo opera de manera parecida al de nitrógeno en muchos sentidos. Las formas orgánicas de fósforo se generan por la muerte de algas, el cual entonces se convierte al estado inorgánico disuelto, donde está disponible para las algas. El fósforo descargado de plantas de tratamiento municipales generalmente se encuentra en la forma de fósforo inorgánico disuelto y es fácilmente consumido por las algas. A continuación se describen las ecuaciones que controlan las transformaciones de fósforo de una a otra forma.

Fósforo Orgánico.

$$\frac{dP_1}{dt} = \alpha_2 \rho A - \beta_4 P_1 - \sigma_5 P_1$$

Donde:

P_1 = concentración de fósforo orgánico, mg/l.

α_2 = contenido de fósforo en las algas, mg-P/mg-A.

ρ = velocidad de respiración de las algas, días⁻¹.

A = concentración de biomasa de algas, mg/l.

β_4 = velocidad de disminución de fósforo orgánico, $f(T)$, días⁻¹.

σ_5 = velocidad de sedimentación de fósforo orgánico, $f(T)$, días⁻¹.

Fósforo disuelto

$$\frac{dP_2}{dt} = \beta_4 P_1 + \sigma_2 / d - \alpha_2 \mu A$$

Donde:

P_2 = concentración de fósforo inorgánico o disuelto, mg/l.

α_2 = razón de alimentación de fósforo disuelto de bentos, $f(T)$, mg/ft²-día.

d = profundidad media de la corriente, ft.
 μ = razón de crecimiento de algas, días⁻¹.
 A = concentración de la biomasa de las algas, mg/l.

DBO Carbonoso

Una de las principales demandas de oxígeno en el agua es la demanda bioquímica de oxígeno carbonosa. Esta demanda es una medida del material orgánico, y es usualmente definida como la cantidad de oxígeno requerida por las bacterias mientras se estabiliza la parte carbonosa degradable de la materia orgánica bajo condiciones aeróbicas. Las descargas de aguas residuales usualmente contienen cantidades apreciables de DBO que se descomponen rápidamente en presencia de bacteria aerobia. Estas bacterias están presentes en la mayoría de las aguas y comienza el proceso de descomposición de manera rápida. Cuando las concentraciones de oxígeno disuelto se vuelven muy pequeñas, el proceso de descomposición se alenta.

La DBO se determina típicamente a partir del análisis de laboratorio que consiste en la medición del oxígeno consumido por las bacterias en un período determinado de tiempo. Para prevenir una posible interferencia de compuestos de nitrógeno, los que también consumen oxígeno, la prueba de DBO debe utilizar la técnica de supresión de nitrificación para inhibir las bacterias nitrificantes. Mientras la oxidación bioquímica teóricamente toma un tiempo infinito para completarse, la oxidación llega al 95-99% en un período de 20 días. Por lo que, la DBO última (DBO_u) puede ser considerada igual a la de 20 días (DBO_{20}). Rutinariamente la medición de DBO se realiza en un período de 5 días para obtener resultados a tiempo. La oxidación en el período de cinco días (DBO_5) llega a ser de 60-70% de la DBO_u .

La velocidad a la que la DBO desaparece se debe a dos mecanismos: consumo y sedimentación. El consumo es la razón a la que la DBO se remueve debido a la descomposición bacteriana. Cuando las concentraciones de oxígeno disuelto son altas, este proceso se realiza rápidamente.

La ecuación de primer orden siguiente es usada para describir la desoxigenación de la DBO_u . La función de DBO también toma en cuenta la remoción adicional de DBO debido a la sedimentación y floculación, que no ejercen una demanda de oxígeno:

$$\frac{dL}{dt} = -K_1L - K_3L$$

Donde:

L = concentración de DBO_u carbonosa, mg/l.

K_1 = coeficiente de desoxigenación, $f(T)$, días⁻¹.

K_3 = velocidad de pérdida de DBO debido a sedimentación, $f(T)$, días⁻¹.

Para llevar a cabo las conversiones necesarias de DBO_5 a DBO_u , es mediante la siguiente ecuación:

$$DBO_5 = DBO_u (1.0 - \exp(-5 * K_{DBO}))$$

Donde:

DBO_5 = DBO a 5 días, mg/l.

DBO_u = DBO última, mg/l.

KDBO = factor de conversión de DBO, días⁻¹.

Oxígeno disuelto (OD)

El balance de oxígeno disuelto en una corriente depende de la capacidad de la corriente de reaerarse ella misma. Esta capacidad es una función de los procesos de advección y difusión que ocurren dentro del sistema y las fuentes y demandas internas. Las principales fuentes de oxígeno, adicionalmente a la reaeración atmosférica, son el oxígeno producido por fotosíntesis y el oxígeno contenido en el flujo de entrada. Las demandas de oxígeno disuelto incluyen la oxidación bioquímica de materia orgánica, demanda de oxígeno del bentos y el oxígeno utilizado para la respiración.

La ecuación diferencial que gobierna los cambios de oxígeno disuelto se muestra a continuación.

$$\frac{dO}{dt} = K_2(O^* - O) + (\alpha_3\mu - \alpha_4\rho)A - K_1L - K_4/d - \alpha_5\beta_1N_1 - \alpha_6\beta_2N_2$$

Donde:

O = Concentración de oxígeno disuelto a la presión y temperatura local, mg/l.

O* = Concentración de saturación de oxígeno disuelto a la presión y temperatura local, mg/l.

α_3 = Velocidad de producción de oxígeno por unidad de fotosíntesis de algas, mg-O/mg-A.

α_4 = Velocidad de consumo de oxígeno por unidad de alga que respira, mg-O/mg-A.

α_5 = Velocidad de consumo de oxígeno por unidad de oxidación de nitrógeno amoniacal, mg-O/mg-N.

α_6 = Velocidad de consumo de oxígeno por unidad de oxidación de nitrógeno como nitrito, mg-O/mg-A.

μ = Velocidad de crecimiento de las algas, f(T), días⁻¹.

ρ = Velocidad de respiración de las algas, f(T), días⁻¹.

A = concentración de la biomasa de las algas, mg/l.

L = concentración de DBOu carbonosa, mg/l.

d = profundidad media de la corriente, ft.

K_1 = velocidad de desoxigenación de DBO carbonosa, f(T), días⁻¹.

K_2 = velocidad de reaeración, f(T), días⁻¹.

K_4 = velocidad de demanda de oxígeno del sedimento, f(T), g/ft²-día.

β_1 = coeficiente de oxidación de amoníaco, f(T), días⁻¹.

β_2 = coeficiente de oxidación de nitrito, f(T), días⁻¹.

N_1 = concentración de nitrógeno amoniacal, mg/l.

N_2 = concentración de nitrógeno como nitritos, mg/l.

Demanda de Oxígeno del sedimento.

Una importante demanda de oxígeno en el agua es la demanda de oxígeno del sedimento. Los depósitos en el fondo en forma de materia orgánica sedimentada acumulada pueden ejercer una demanda de oxígeno. La demanda de oxígeno de sedimentos resultantes de descargas no puntuales puede variar entre 0.05 mg de oxígeno/m²-día en suelos minerales a 2.0 mg de oxígeno/m²-día en lodos estuarios, a 20°C. Adicionalmente a las fuentes anteriormente mencionadas, el material orgánico proveniente plantas de tratamiento de aguas residuales domésticas o industriales puede sedimentarse por debajo de las caídas de agua creando demandas de oxígeno disuelto que varían entre 0.05 mg de oxígeno/m²-día a 10 mg de oxígeno/m²-día.

Concentración de saturación de oxígeno disuelto.

La solubilidad de oxígeno disuelto en agua disminuye conforme la temperatura aumenta, conforme aumenta la concentración de sólidos disueltos, y conforme disminuye la presión atmosférica. Una ecuación predictiva utilizada para conocer la concentración de saturación (equilibrio) de oxígeno disuelto es:

$$\ln O^* = -139.3441 + (1.575701 \times 10^5 / T) - (6.642308 \times 10^7 / T^2) + (1.2438 \times 10^{10} / T^3) - (8.621949 \times 10^{11} / T^4)$$

Donde:

O* = concentración de equilibrio de oxígeno a 1 atm, mg/l
 T = temperatura, K (dentro del rango de 0 a 40°C)

Para condiciones no estándar de presión, la concentración de equilibrio de oxígeno disuelto se corrige mediante la ecuación:

$$O_p = O^* P \left[\frac{(1 - P_{ww}/P)(1 - \phi P)}{(1 - P_{ww})(1 - \phi)} \right]$$

Donde:

O_p = Concentración de oxígeno en equilibrio en condiciones no estándar de presión, mg/l.
 O* = Concentración de oxígeno en equilibrio a 1 atm de presión, mg/l.
 P = Presión, atm (entre 0 y 2 atm).
 P_{ww} = Presión parcial de vapor de agua, atm, que puede calcularse con:

$$\ln P_{ww} = 11.8571 - (3840.7/T) - 216961/T^2$$

y

$$\phi = 0.000975 - (1.426 \times 10^{-5}t) + (6.436 \times 10^{-8}t^2)$$

Donde:

t = temperatura, °C

Estimación del coeficiente de reaereación atmosférica.

El proceso por el que el oxígeno disuelto en la corriente se incrementa por el aire de la superficie se conoce como reaereación atmosférica y es la fuente primaria de oxígeno disuelto en el agua. El proceso de reaereación es generalmente una función de la geometría de la corriente y de sus características hidráulicas. Diferentes técnicas y ecuaciones han sido desarrolladas para estimar los coeficientes de reaereación con base en la geometría y las características hidráulicas de la corriente.

El coeficiente de reaereación (K_2) generalmente se expresa como una función de la profundidad de la corriente y su velocidad.

A continuación se presentan siete ecuaciones para encontrar el valor de K_2 . La primera es la ecuación de Churchill, Elmore y Buckingham.-

$$K_2^{20} = 5.026 \bar{u}^{-0.969} d^{-1.673} * 2.31$$

Donde:

- \bar{u} = velocidad promedio de la corriente, ft/s
- d = profundidad media de la corriente, ft
- K_2 = coeficiente de reaeración, días⁻¹.

La segunda es la ecuación de O'Connor y Dobbins.- La cual generalmente se usa para corrientes con bajas velocidades y condiciones isotrópicas:

$$K_2^{20} = \frac{(D_m \bar{u})^{0.5}}{d^{1.5}}$$

Donde:

- D_m = coeficiente de difusión molecular, ft²/día, y está dado por:
- $D_m = 1.91 * 10^3 (1.037)^{T-20}$

La tercera es la ecuación de Owens, la cual se usa para corrientes con profundidades entre 0.4 y 11.0 pies y velocidades de 0.1 a 5 ft/s:

$$K_2^{20} = 9.4 \bar{u}^{0.67} / d^{1.85} * 2.31$$

Donde:

- \bar{u} = velocidad promedio de la corriente, ft/s
- d = profundidad media de la corriente, ft.

La cuarta es la ecuación de Thackston y Krenkel.-

$$K_2^{20} = 10.8(1 + F^{0.5}) \frac{\bar{u}}{d} * 2.31$$

Donde:

F = número de Froude dado por:

$$F = \frac{u^*}{\sqrt{gd}}$$

u^* = velocidad cortante, en ft/s, y está dada por:

$$u^* = \sqrt{dS_e g} = \frac{\bar{u}n\sqrt{g}}{1.49 d^{1.49}}$$

Donde:

d = profundidad media, ft.

g = aceleración de la gravedad, ft/s².

S_e = pendiente del gradiente de energía.

\bar{u} = velocidad media, ft/s.

n = coeficiente de Manning.

La quinta es la ecuación de Langbien y Durum.-

$$K_2^{20} = 3.3\bar{u}/d^{1.33} * 2.31$$

Donde:

\bar{u} = velocidad promedio de la corriente, ft/s.

d = profundidad media de la corriente, ft.

La sexta es una la función exponencial de flujo.- Esta es una ecuación empírica dada por:

$$K_2 = aQ^b$$

Donde:

a = coeficiente de flujo para K_2 .

Q = flujo, ft³/s.

b = exponente en flujo para K_2 .

Y por último tenemos la ecuación de Tsvoglou y Wallace.- Esta asume que el coeficiente de reaeración es proporcional al cambio en la elevación de la superficie del agua en el segmento e inversamente proporcional al tiempo de flujo a través del segmento.

$$K_2^{20} = c \frac{\Delta h}{t_f}$$

Asumiendo un cambio uniforme en el flujo. El cambio del nivel del agua en el canal esta dada por:

$$\Delta h = S_e \Delta x$$

Donde:

c = coeficiente de escape, ft^{-1}

\bar{u} = velocidad media, ft/s

S_e = pendiente del gradiente de energía, dado por:

$$S_e = \frac{\bar{u}^2 n^2}{(1.49)^2 d^4 / 3}$$

Donde:

d = profundidad media, ft

n = coeficiente de Manning

El coeficiente de escape es empírico y se recomienda usar los siguientes valores:

$c = 0.054 \text{ ft}^{-1}$ (a 20°C) para $15 \leq Q \leq 3000 \text{ ft}^3/\text{s}$.

$c = 0.110 \text{ ft}^{-1}$ (a 20°C) para $1 \leq Q \leq 15 \text{ ft}^3/\text{s}$.

Cubierta de hielo.

Las cubiertas de hielo en la época de invierno pueden afectar significativamente la reaeración. La razón de reaeración disminuye debido a que las cubiertas de hielo reducen el área superficial de la interfase aire-agua. Para ajustar la razón de reaeración en caso de cubiertas de hielo, la velocidad de reaeración se multiplica por un factor de cobertura de hielo.

Reaeración debido a represas

La siguiente ecuación descrita por Zison y atribuida a Gameson es la que se utiliza para este cálculo:

$$D_a - D_b = \left[1 - \frac{1}{1 + 0.11abH(1 + 0.34H)(1 + 0.046T)H} \right] D_a$$

Donde:

D_a = déficit de oxígeno sobre la represa, mg/l .

D_b = déficit de oxígeno bajo la represa, mg/l

T = temperatura, $^\circ\text{C}$.

H = altura a través de la cual el agua cae, ft .

a = parámetro empírico de calidad del agua.

1.25 para agua clara a ligeramente contaminada.

1 para agua contaminada.

$b =$ parámetro empírico de aereación.
1 para vertedor con caída libre.
1.3 para cascadas.

Coliformes.

Los coliformes son un indicador de la contaminación patógena en aguas superficiales. Se utiliza la siguiente ecuación:

$$\frac{dE}{dt} = -K_5 E$$

Donde:

$E =$ concentración de coliformes, colonias/100 ml.
 $K_5 =$ velocidad de muerte de coliformes, $f(T)$, días⁻¹.

Coefficientes dependientes de la temperatura.

Muchas de las reacciones que determinan la calidad del agua en sistemas naturales están en función de la temperatura; esta dependencia se considera generalmente variando los diferentes coeficientes de reacción.

Los valores de temperatura calculados se usan para corregir los coeficientes de reacción de los diferentes parámetros. Estos coeficientes se dan a 20°C y son entonces corregidos por la temperatura de acuerdo a la formulación de tipo Streeter-Phelps:

$$X_T = X_{20} \theta^{(T-20^\circ)}$$

Donde:

$X_T =$ valor del coeficiente a la temperatura local (T).
 $X_{20} =$ valor del coeficiente a temperatura estándar (20°C)
 $\theta =$ constante empírica para cada coeficiente de reacción.

3.2 Advección y difusión

Transporte

El transporte en el medio ambiente tiene lugar como resultado de dos fenómenos: advección y difusión. Aunque ambos fenómenos están activos en el medio ambiente natural, uno o el otro pueden predominar en cualquier situación dada.

Advección

La advección es el transporte que es el resultado del movimiento fluido. Se usan dos tipos de parámetros para describir tal transporte.

Considerando una situación en la que el fluido está en flujo en una dirección dada. Suponiendo que la concentración de algún material de trazo está medida en un punto de

referencia fijo localizado internamente y a su vez remoto de los límites fluidos. El parámetro que describe la concentración del trazador al punto de referencia se llama tiempo parcial derivativo o derivativo local dc/dt .

El otro parámetro de interés aquí se llama el tiempo sustancial derivativo o derivativo seguido del movimiento. El parámetro expresa la proporción de tiempo de carga en concentración del trazador cuando se mueve en la dirección del flujo y a la misma velocidad de la corriente del fluido. El derivado de tiempo sustancial consiste en la tasa de tiempo de cambio de concentración a un punto junto con el cambio debido al campo de velocidad y se expresa en coordenadas rectangulares como:

$$\frac{Dc}{Dt} = \frac{\partial c}{\partial t} + u_x \frac{\partial c}{\partial x} + u_y \frac{\partial c}{\partial y} + u_z \frac{\partial c}{\partial z}$$

Donde:

D/Dt = operador

u, v, y = los componentes de velocidad de la corriente del fluido

El tiempo sustancial que describe la derivada Dc/Dt , es el vínculo de la proporción de cambio en la concentración en un elemento de fluido cuando viaja con el flujo hacia y lejos del punto de la referencia. Si no hay ningún movimiento de material dentro o fuera del elemento o si hay ninguna generación o destrucción del material dentro del elemento, la concentración permanecerá igual, y Dc/Dt será cero.

La Figura 3.1 trata de introducir el concepto de transporte advectivo. En una corriente de agua el segmento 1, con su concentración de contaminante, pasa al segmento adyacente 2 en el intervalo Δt . Es claro que al variar la forma y el volumen del segmento (esto provocado por cambios en la pendiente, ancho y profundidad de la sección transversal, dirección de la corriente, etc.) varía la concentración, lo cual es una consecuencia del arrastre por Advección provocado por el flujo Q del agua en curso.

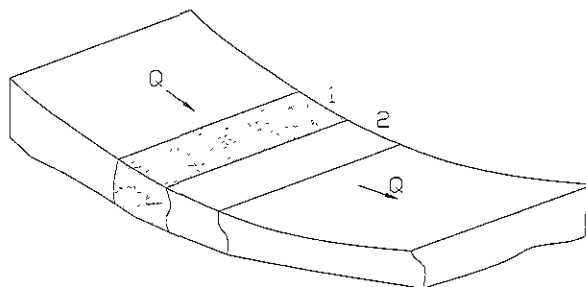


Figura 3.1

Difusión

La difusión es un proceso en que una sustancia en solución o suspensión (la fase difusa) emigra en respuesta a una tasa de la concentración en función de otra (la fase dispersa). La difusión es uno de los procesos más básicos en naturaleza y al nivel molecular se considera para la mayoría del transporte que tiene lugar. La fase difusa

puede ser un gas, sólido o líquido. La fase dispersa que para nuestro propósito constituye un medio ambiental, es a menudo un líquido o un gas.

Las relaciones básicas que manejan la difusión son llamadas leyes de Fick de difusión. La primera ley de Fick simplemente formula que la proporción de transporte de masa por difusión a través de un elemento de área es proporcional a la pendiente de la concentración de la sustancia que se está difundiendo:

$$N_x = -D_m \frac{\partial c}{\partial x} \quad (3.2.1)$$

donde

N_x = es la velocidad de transporte de masa en dirección de x a través de un elemento de área perpendicular al eje x
 dc/dx = es la pendiente de la concentración de la fase difusa
 D_m = es el coeficiente de difusión molecular.

La ecuación (3.2.1) puede usarse para derivar la segunda ley de Fick

Para el estado no permanente, un balance de masa de una fase dispersa difundándose a lo largo del eje x a través de un elemento volumétrico de fluido es:

Acumulación = masa entrante - masa saliente

$$\frac{1}{dA} \frac{\partial m}{\partial t} = \left(-D_m \frac{\partial c}{\partial x} \right)_1 - \left(-D_m \frac{\partial c}{\partial x} \right)_2 \quad (3.2.2)$$

las pendientes en los dos planos están relacionadas por

$$\left(-D_m \frac{\partial c}{\partial x} \right)_2 = \left(-D_m \frac{\partial c}{\partial x} \right)_1 + \left[-D_m \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{\partial c}{\partial x} \right) dx \right] \quad (3.2.3)$$

Substituyendo la Eq (3.2.3) en Eq. (3.2.2) tenemos:

$$\frac{1}{dA} \frac{\partial m}{\partial t} = \frac{\partial c}{\partial t} = -D_m \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{\partial c}{\partial x} \right) = D_m \frac{\partial^2 c}{\partial x^2} \quad (3.2.4)$$

La ecuación (3.2.4) es llamada la segunda ley de Fick.

Para el caso tridimensional general la Eq. (3.2.4) puede escribirse como:

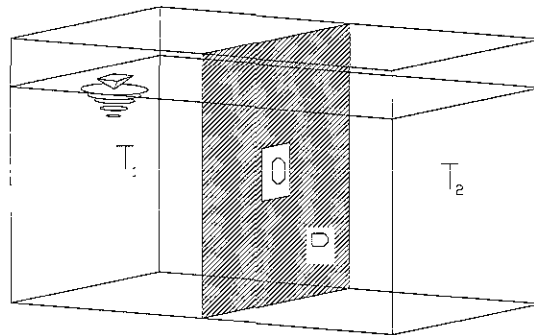
$$\frac{\partial c}{\partial t} = D_m \left(\frac{\partial^2 c}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 c}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 c}{\partial z^2} \right) = D_m \nabla^2 c$$

donde

∇^2 = operador

El coeficiente de difusión molecular es proporcional a la temperatura absoluta e inversamente proporcional al peso molecular de la fase difusa y la viscosidad de la fase dispersa.

En la figura 3.2 se presenta un aspecto intuitivo del concepto de dispersión. Se supone que en el compartimiento se introduce agua a una temperatura T_1 y en el otro a una temperatura T_2 . Si las alturas de agua son iguales, al abrir el orificio O en la pantalla P, no pasará agua por efectos hidrodinámicos pero la temperatura se igualará en ambos compartimientos al cabo de cierto tiempo. Es evidente que la temperatura pasa de uno a otro por dispersión, realmente por difusión en este caso. También se debe apreciar que a mayor área de orificio y a mayor gradiente de temperatura $(\Delta T / \Delta x)$, el efecto será más rápido. En consecuencia la dispersión será proporcional a la superficie de contacto y al gradiente de concentración.



ESTA TESIS NO DEBE SALIR DE LA BIBLIOTECA

Figura 3.2

3.3 Características hidráulicas de los embalses.

Realizando un balance de masa en un volumen elemental se llega a la siguiente ecuación:

$$\frac{\partial Q}{\partial t} + u \frac{\partial Q}{\partial x} + v \frac{\partial Q}{\partial y} = Q$$

donde:

- u y v = componentes de velocidad en el plano horizontal (x,y)
- Q = Suma de flujos de entrada y/o pérdidas a ese elemento
- $\delta Q / \delta t$ = variación del gasto con respecto al tiempo

a su vez las velocidades u y v están dadas por:

$$u = U \frac{\sinh \lambda x}{\cosh \lambda x - \cos \lambda y}$$

$$v = U \frac{\sin \lambda x}{\cosh \lambda x - \cos \lambda y}$$

donde:

$$U = Q_0 / BD \text{ y } \lambda = 2\pi/B.$$

Donde:

B = ancho del embalse

D = profundidad del embalse

El complejo potencial para el flujo esta dado por:

$$w = - (Q_0 / \pi D) \log_e \operatorname{senh} (\pi z / B)$$

La velocidad potencial y la función de corriente están dadas por:

$$\Phi = - \frac{Q_0}{\pi D} \log_e (\cosh \lambda x - \cos \lambda y)$$

$$\Psi = - \frac{Q_0}{\pi D} \arctan \left(\frac{\operatorname{senh} \lambda x \operatorname{sen} \lambda y}{\cosh \lambda x \cos \lambda y - 1} \right)$$

3.4 Factores que afectan la autodepuración de los embalses

Oxígeno disuelto

La cantidad de oxígeno disuelto (OD) en el agua es un importante parámetro de su calidad. Los peces por ejemplo, requieren de una cantidad mínima de OD que depende de su especie, estado de desarrollo, nivel de actividad y temperatura del agua. En general las especies comercialmente más valiosas como la trucha requieren más oxígeno que las especies menos deseadas (comercialmente) como las carpas.

Otra de las razones por las que es importante la presencia de oxígeno en el agua que se requiere para que se lleve a cabo el proceso aerobio de la descomposición de la materia orgánica.

Cuatro procesos afectan la cantidad de oxígeno disuelto en el agua: la reaeración, fotosíntesis, respiración y descomposición.

Reaeración

La reaeración es el proceso en el cual el oxígeno entra en el agua mediante el contacto de su superficie con la atmósfera (absorción). De acuerdo con la ley de Henry, la solubilidad del oxígeno en el agua decrece con el incremento en la temperatura, aumenta con el incremento en la presión atmosférica y decrece si el contenido de impurezas en el agua aumenta. Además, cuando la cantidad inicial de oxígeno en el agua es menor que el valor de saturación (concentración de equilibrio), el oxígeno atmosférico entra al agua a una rapidez proporcional a su déficit. Si se incrementa la superficie en contacto con la atmósfera, la transparencia de oxígeno se incrementa, así como también lo hará una corriente agitada más fácilmente que un cuerpo de agua estancada.

Fotosíntesis y respiración

La primera constituye una fuente de carbohidratos y oxígeno, y durante la respiración se queman carbohidratos para el metabolismo utilizando el oxígeno generado en la fotosíntesis. Nótese entonces que en la respiración se consume oxígeno mientras que en la fotosíntesis se libera oxígeno. Sin embargo, mientras la fotosíntesis requiere de la luz solar, la respiración es un proceso continuo.

La combinación de los tres efectos fotosíntesis, respiración y reaeración produce una variación diaria del OD, en la que se asume que la fotosíntesis ocurre de 6 A.M. a 6 P.M. llevando el nivel de OD sobre el de saturación en la tarde. Cuando el agua se sobresaatura de oxígeno, se difunde hacia fuera del agua (desorción).

Descomposición

El cuarto proceso que afecta la cantidad de oxígeno disuelto en el agua es la oxidación de los desechos. Los microorganismos, especialmente las bacterias, usan los desechos orgánicos como nutrientes y en el proceso desdoblan los complejos orgánicos en materiales simples e inorgánicos. Esta descomposición puede ocurrir en presencia de oxígeno, en cuyo caso se llama descomposición aerobia, o puede ocurrir en ausencia de oxígeno, en cuyo caso es llamada descomposición anaerobia.

La forma general de la ecuación para la descomposición aerobia del material orgánico es:



Los productos de reaeración de la descomposición aerobia no son perjudiciales, pues son simplemente bióxido de carbono y agua junto con otros sulfatos y nitratos. El punto importante que debe señalarse es que durante la descomposición aerobia se remueve oxígeno del agua provocando una caída del OD.

Si se descompone demasiada materia orgánica, la cantidad de OD en el agua puede llegar a ser cero. Si esto ocurre, no solo la vida acuática que depende del oxígeno morirá, sino que además los productos finales resultantes de la descomposición anaerobia serán tóxicos y malolientes. Los productos de reacción de la descomposición anaerobia incluyen: amoníaco, metano, sulfuro de hidrógeno, bióxido de carbono y agua.

Factores que afectan la autodepuración de los embalses

Los factores que afectan el proceso de autodepuración de los embalses son: dilución, agitación, sedimentación, luz solar y temperatura.

La dilución ayuda a los mecanismos de autodepuración de las aguas superficiales, sin embargo, su ocurrencia depende de que se descarguen relativamente pequeñas cantidades de desecho en grandes volúmenes de agua. El crecimiento de la población y la actividad industrial junto con el incremento en los consumos de agua y cantidad de aguas residuales impide el uso de muchas corrientes para dilución de aguas crudas o pobremente tratadas, por lo que se requieren tratamientos para minimizar el impacto en la calidad del agua con las descargas de agua residual.

La capacidad de dilución de una corriente puede calcularse usando el principio de conservación de la masa. Si se conocen la tasa de flujo volumétrico y la concentración de un material determinado, tanto en la corriente como en la descarga de desechos, la concentración después de la mezcla puede calcularse como sigue:

$$\chi_c Q_c + \chi_d Q_d = \chi_m Q_m$$

Donde χ representa la concentración (masa/volumen) de material contaminante, Q es el gasto (volumen/tiempo), los subíndices c, d y m designan la corriente, descarga y condiciones de mezcla.

La agitación del agua propicia la dispersión del agua residual, disminuyendo la posibilidad de creación de zonas localizadas con altas concentraciones de contaminantes. El oxígeno de la atmósfera se disuelve en el agua a una velocidad que depende del déficit de saturación, de la agitación en la superficie y de la temperatura del agua. puesto que la reaeración varía en proporción directa al déficit de oxígeno, una curva representada gráficamente por los déficits de oxígeno en las ordenadas y los tiempos en las abscisas, es de pendiente negativa, y la correspondiente ecuación diferencial será:

$$\frac{dD}{dt} = -k_2 D$$

en la que D es el déficit de saturación a un tiempo cualquiera t, y k_2 , es una constante de rapidez de reaeración, que es función de la turbulencia de la corriente, y que puede calcularse por medio de:

$$k_2 = \left(\frac{D_m u}{H^3} \right)^{1/2}$$

donde u es la velocidad media de la corriente, H es la profundidad media, D_m es el coeficiente de difusión molecular igual a 2.037×10^{-5} cm/s a 20 °C.

La ecuación también puede expresarse como:

$$\frac{dD}{D} = -k_2 dt$$

Integrando se tiene:

$$D = D_0 e^{-k_2 t}$$

En la que D es el déficit de oxígeno en mg/l para cualquier tiempo t, D_0 es el déficit inicial para t = 0, t es el tiempo generalmente expresado en días, y k_2 es la constante de reaeración o reoxigenación.

El coeficiente de reaeración k_2 es función de la temperatura y la velocidad del agua, así como de la velocidad y turbulencia. Para corrientes agitadas puede llegar a ser hasta de 0.5, para grandes corrientes de lenta velocidad puede ser 0.15 a 0.20 día⁻¹,

mientras que para embalses puede ser un valor tan bajo como 0.05 día^{-1} . Estos valores son para una temperatura del agua de 20°C . La corrección de k_2 por razón de la temperatura puede hacerse con la siguiente fórmula:

$$k_{2(T)} = k_{2(20^{\circ}\text{C})} (1.036^{(T-20)})$$

en la que $k_{2(T)}$ es la constante de reaeración a $T^{\circ}\text{C}$.

Las corrientes rápidas favorecen la reaeración, a la vez que se reduce el tiempo de recuperación; pero pueden aumentar la longitud del tramo de la corriente afectado por el vertido.

La sedimentación puede eliminar los sólidos suspendidos, los que contribuyen a la DBO, si la velocidad de corriente es menor que la de arrastre de las partículas. Tal eliminación mejora la calidad del agua corriente abajo de la zona de sedimentación, pero no cabe duda que es perjudicial en la zona en que los sólidos se acumulan. En los lagos las corrientes son menos pronunciadas y a menudo la sedimentación originará grandes acumulaciones de lodo en el fondo, algas muertas y posiblemente la eutroficación del cuerpo del agua debido a un enriquecimiento de nutrientes aportados por las descargas de aguas residuales y retornos agrícolas. La inevitable descomposición que puede ser lenta debido a las bajas temperaturas del agua profunda, empleará todo el oxígeno de las capas más profundas. No es raro descubrir en los embalses y lagos que las capas de agua superiores contienen mucho oxígeno disuelto, plancton y peces propios de aguas limpias, mientras que los estratos inferiores presentan las características de ausencia de OD, presencia de bacteria anaerobias y olores desagradables.

La luz solar actúa como desinfectante y estimula el crecimiento de las algas. Estas producen oxígeno durante el día, pero lo consumen durante la noche. Las aguas que contienen gran desarrollo de algas pueden llegar a sobresaturarse de OD durante las horas de sol y tornarse anaerobias durante la noche.

La temperatura afecta la solubilidad del OD en el agua, a la actividad de las bacterias (medible a través de k_1) y a la velocidad de reaeración (medible a través de k_2). La condición crítica se suele alcanzar en épocas de altas temperaturas en las que el consumo de oxígeno es elevado y su disponibilidad es reducida.

Se denomina déficit de oxígeno a la diferencia entre el oxígeno de saturación (concentración de equilibrio de acuerdo a la ley de Henry), y la concentración de oxígeno disuelto medida en el agua.

CAPÍTULO IV

MODELO DE CELDILLAS DE MEZCLADO

MODELO DE CELDILLAS DE MEZCLADO

4.1. Descripción general del modelo.

En la determinación de la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO) y del oxígeno disuelto (OD), el caso más estudiado es la obtención de estos parámetros en ríos, en donde se considera que el flujo es uniforme y permanente, lo cual conduce a soluciones relativamente simples.

Cuando se busca obtener la distribución de la DBO y OD en flujos que no cumplen estos requisitos, como lagos y embalses en los que el flujo es bi o tridimensional, las soluciones utilizadas en el caso de flujo unidimensional son muy difíciles de aplicar para estos casos, puesto que se tienen que determinar diversos componentes, tanto de la velocidad, generación y remoción de DBO, etc, en tres planos diferentes lo cual lleva a la solución de ecuaciones complejas.

Por esto es necesario emplear un modelo estocástico. Este modelo es el objeto de estudio de este trabajo.

El estudio de este modelo se completa comparándolo con mediciones realizadas en el campo.

La idea de este modelo es considerar al embalse como una matriz de celdillas tomando en cuenta que en cada una de ellas se presenta un mezclado completo. La configuración de esta matriz de celdillas puede ser totalmente arbitraria, el modo más sencillo es considerar cada matriz como un rectángulo, dependiendo del tamaño de estas será la aproximación que se tenga a los resultados reales, otra forma de configurar la matriz es definir las celdillas por medio de las líneas de corriente y equipotenciales de una red de flujo.

Cabe señalar que la determinación de la DBO y OD es muy importante para establecer el grado de contaminación de un cuerpo de agua así como su capacidad de asimilación de la misma.

4.2. Modelo determinístico.

Realizando un balance de masa en un volumen elemental lleva a las siguientes ecuaciones diferenciales para las distribuciones de DBO y OD:

$$\frac{\partial L}{\partial t} + u \frac{\partial L}{\partial x} + v \frac{\partial L}{\partial y} + K_1 L = \frac{\partial}{\partial x} (K_x \frac{\partial L}{\partial x}) + \frac{\partial}{\partial y} (K_y \frac{\partial L}{\partial y}) + L^* \quad (4.2.1)$$

$$\frac{\partial C}{\partial t} + u \frac{\partial C}{\partial x} + v \frac{\partial C}{\partial y} + K_1 L = \frac{\partial}{\partial x} (K_x \frac{\partial C}{\partial x}) + \frac{\partial}{\partial y} (K_y \frac{\partial C}{\partial y}) + K_2 (C_s - C) + (K_p - K_r - K_b) \quad (4.2.2)$$

Donde L es la DBO y C el OD, ambos expresados en las unidades de mg/l. Los componentes de velocidad en el plano horizontal (x,y) son u(x,y,t) y v(x,y,t); Los coeficientes de distribución turbulenta en las direcciones x y y están dados por K_x y K_y, respectivamente. La generación o remoción de DBO se representa por ± L* (x,y,t). Los

coeficientes de desoxigenación y reaeración se expresan como K_1 y K_2 . La concentración de oxígeno a la saturación es C_s ; esta cifra es una función de la temperatura y la presión atmosférica. Las cantidades K_p , K_r y K_b representan, respectivamente, la producción de oxígeno por fotosíntesis y su utilización por respiración de las plantas y por depósitos bentales.

Como se puede apreciar estas ecuaciones son muy fácilmente ampliables al caso tridimensional.

Los términos $\frac{\partial L}{\partial t}$ y $\frac{\partial C}{\partial t}$ representan la rapidez de variación de la DBO y el OD, respectivamente; $u \frac{\partial L}{\partial x} + v \frac{\partial L}{\partial y}$ y $u \frac{\partial C}{\partial x} + v \frac{\partial C}{\partial y}$ representan el flujo advectivo, $K_1 L$ es la remoción dada durante el proceso; $\frac{\partial}{\partial x} (K_x \frac{\partial L}{\partial x}) + \frac{\partial}{\partial y} (K_y \frac{\partial L}{\partial y})$ y $\frac{\partial}{\partial x} (K_x \frac{\partial C}{\partial x}) + \frac{\partial}{\partial y} (K_y \frac{\partial C}{\partial y})$ representa el flujo dispersivo o difusión turbulenta; L^* es la generación o remoción de DBO, $K_2(C_s - C)$ representa la generación de OD y $(K_p - K_r - K_b)$ representa procesos de generación y remoción.

Hace muchos años, H. W. Streeter y E. B. Phelps obtuvieron formas muy simplificadas de estas ecuaciones para el estudio del río Ohio. Las simplificaciones que tomaron en cuenta fueron las siguientes: la existencia de flujo uniforme, con lo cuál $U = Q/A$ (U es la velocidad media en el área de estudio); se desprecian las difusiones longitudinales y laterales con lo cual el flujo advectivo desaparece, al ser un flujo uniforme el transporte difusivo desaparece también. Se consideraron las cifras L^* , K_p , K_r y K_b como cero, es decir no se consideraron generaciones o remociones de DBO ni tampoco generación debido a procesos de fotosíntesis ni remoción de oxígeno debido a procesos de respiración.

Con lo cuál se llega a las siguientes expresiones:

$$U \frac{dL}{dx} + K_1 L = 0 \quad (4.2.3)$$

resolviendo esta ecuación, y considerando la condición de frontera $L(0) = L_0$, tenemos:

$$\frac{dL}{dx} = \frac{-K_1 L}{U}$$

$$\frac{dL}{L} = \frac{-dx K_1}{U} \quad \text{integrando se tiene:}$$

$$\int_0^L \frac{dL}{L} = \int_0^x \frac{-dx K_1}{U} \quad \text{resolviendo la integral:}$$

$$\ln(L) - \ln(0) = \frac{K_1(x)}{U} - \frac{K_1(0)}{U}$$

$$\ln \frac{L}{L_0} = -\frac{K_1(x)}{U}$$

$\exp(\ln \frac{L}{L_0}) = \exp(-\frac{K_1(x)}{U})$ con lo que se llega a la solución:

$$L = L_0 \exp(-\frac{K_1 x}{U}) \quad (4.2.4)$$

De manera similar para el oxígeno disuelto:

$$U \frac{dC}{dx} + K_1 L = K_2 (C_s - C) \quad (4.2.5)$$

Se llega a la solución:

$$D^* = \frac{K_1 L_0}{K_2 - K_1} \left[\exp(-\frac{K_1 x}{U}) - \exp(-\frac{K_2 x}{U}) \right] + D_0^* \exp(-\frac{K_2 x}{U}) \quad (4.2.6)$$

Donde

$$D^* = C_s - C \text{ y } D_0^* = C_s - C_0$$

como un ejemplo en la aplicación de estas ecuaciones se tomaron las siguientes cifras:

$$L_0 = 10.0 \text{ mg/l.}$$

$$C_0 = 5.0 \text{ mg/l.}$$

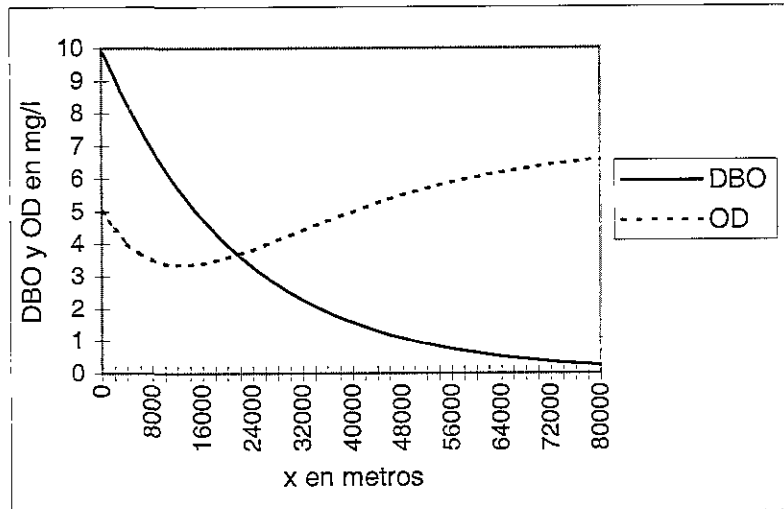
$$C_s = 7.0 \text{ mg/l}$$

$$K_1 = 0.20 \text{ día}^{-1}$$

$$K_2 = 0.30 \text{ día}^{-1}$$

$$U = 0.05 \text{ m/s}$$

Sustituyendo estos valores en las ecuaciones anteriormente obtenidas se generan los resultados que aparecen en la siguiente gráfica:



4.3 Modelo estocástico.

Se observa que en el problema anterior en el que se considera un flujo uniforme y permanente, fue relativamente fácil llegar después de ciertas suposiciones a una solución sencilla, con la cuál, conociendo los valores iniciales de DBO y OD, así como los coeficientes de desoxigenación y reaeración, la velocidad promedio y la concentración de oxígeno a la saturación, permite determinar en forma directa las concentraciones de DBO y OD en cualquier distancia.

Sin embargo el problema se dificulta para formas geométricas más complicadas que un canal de flujo, dado que no se pueden hacer las mismas suposiciones, por lo que es necesario un mejor método de cálculo para los casos de flujo bidimensional.

Suponiendo que un río fluye hacia un lago (figura 4.1) con gran capacidad con una descarga Q_0 , y que dicho lago esta conformado por una matriz de celdillas en las cuales se supone ocurre un mezclado completo, cada una de estas con dimensiones horizontales x_0 y y_0 así como una profundidad D . Como se indica en la figura 4.2 las descargas de Oeste a Este que entran y salen de la celdilla (j,k) son $Q_{j,k-1}$ y $Q_{j,k}$ respectivamente. Asimismo las descargas de Sur a Norte son $P_{j,k-1}$ y $P_{j,k}$. Debido a que en cada una de las celdillas se tiene un mezclado completo, las concentraciones de DBO y OD dentro de una celdilla en particular son iguales a las de sus efluentes $Q_{j,k}$ y $P_{j,k}$.

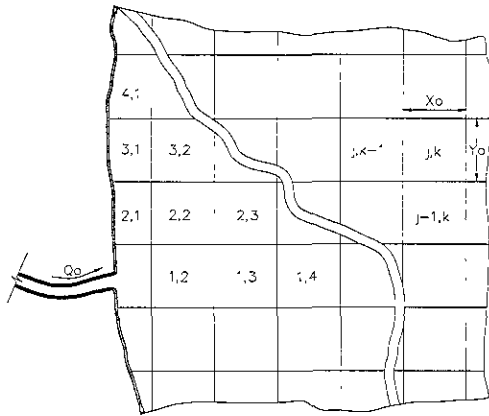


Figura 4.1

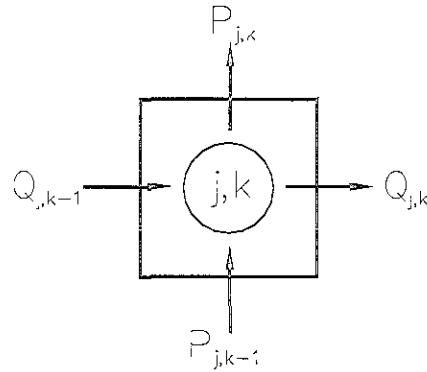


Figura 4.2

Haciendo un balance de masas para DBO de una celdilla (j,k) se tiene:

$$\frac{dL_{j,k}}{dt} + (K_1 + \frac{Q_{j,k} + P_{j,k}}{V})L_{j,k} = L^* + (\frac{Q_{j,k-1}L_{j,k-1} + P_{j-1,k}L_{j-1,k}}{V}) \quad (4.3.1)$$

Donde V es el volumen de la celdilla y es igual a x_0y_0D

El primer término en el lado izquierda de la ecuación representa la razón de acumulación en la celdilla. En tanto el balance para el OD resulta:

$$\frac{dC_{j,k}}{dt} + (K_2 + \frac{Q_{j,k} + P_{j,k}}{V})C_{j,k} = K^* - K_1L_{j,k} + (\frac{Q_{j,k-1}C_{j,k-1} + P_{j-1,k}C_{j-1,k}}{V}) \quad (4.3.2)$$

donde:

$$K^* = K_2C_s + K_p - K_r - K_b$$

Para el caso del estado permanente $d/dt = 0$ (no existen variaciones en el tiempo)

Con las suposiciones anteriores se llega a:

$$(K_1 + \frac{Q_{j,k} + P_{j,k}}{V})L_{j,k} = L^* + (\frac{Q_{j,k-1}L_{j,k-1} + P_{j-1,k}L_{j-1,k}}{V})$$

$$(K_2 + \frac{Q_{j,k} + P_{j,k}}{V})C_{j,k} = K^* - K_1L_{j,k} + (\frac{Q_{j,k-1}C_{j,k-1} + P_{j-1,k}C_{j-1,k}}{V})$$

multiplicando por V ambos miembros:

$$(K_1V + Q_{j,k} + P_{j,k})L_{j,k} = L^*V + Q_{j,k-1}L_{j,k-1} + P_{j-1,k}L_{j-1,k}$$

y despejando $L_{j,k}$:

$$L_{j,k} = \frac{Q_{j,k-1}L_{j,k-1} + P_{j-1,k}L_{j-1,k} + L^*V}{Q_{j,k} + P_{j,k} + K_1V} \quad (4.3.3)$$

de manera similar para el OD se llega a

$$C_{j,k} = \frac{Q_{j,k-1}C_{j,k-1} + P_{j-1,k}C_{j-1,k} + (K^* - K_1L_{j,k})V}{Q_{j,k} + P_{j,k} + K_2V} \quad (4.3.4)$$

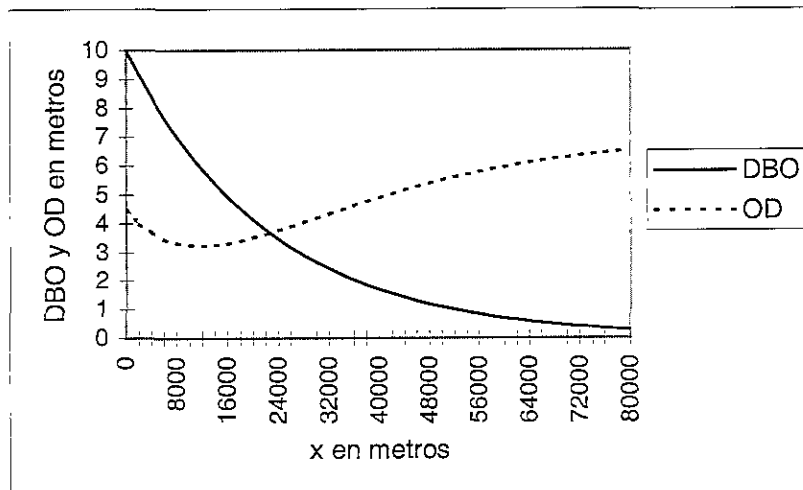
Para una primera aplicación de este modelo se tomará el ejemplo del apartado anterior: como se recordará el ejemplo al que se hace referencia ocurría en una canal abierto con flujo uniforme permanente. Para este caso $Q_{j,k} = Q_0 =$ constante por ser flujo uniforme $P_{j,k} = 0$ por ser considerado en una dirección, asimismo se tomará L^* , K_p , K_r y K_b como cero con lo cuál las ecuaciones anteriores se convierten en:

$$L_k = \frac{L_{k-1}}{1 + (K_1x_0 / U)} \quad (4.3.5)$$

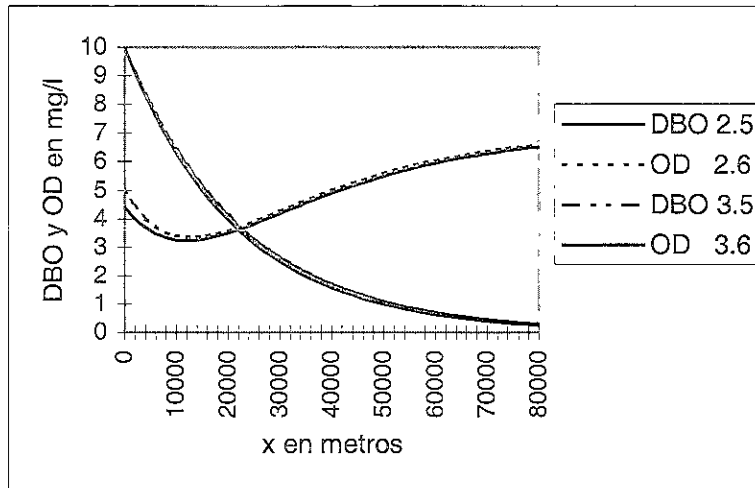
$$C_k = \frac{C_{k-1} + (K_2C_s - K_1L_k)(x_0 / U)}{1 + (K_2x_0 / U)} \quad (4.3.6)$$

Considerando la longitud de una celdilla de mezclado como 2 km es decir: $x_0 = 2$ km y usando los valores necesarios del ejemplo anterior

Se obtienen los valores representados en la gráfica siguiente:



Haciendo una comparación entre ambos ejemplos se llega a:



4.4 Flujo desde una fuente.

Suponiendo que un fluido que contiene concentraciones iniciales L_0 y C_0 fluye desde una fuente hacia una región plana infinita. Este patrón de flujo correspondería aproximadamente a un río con velocidad baja entrando a un lago grande o al flujo de un pozo hacia un acuífero confinado. La función de corriente para tal flujo esta dada por:

$$\Psi = -(m/2\pi)\text{arc tan}(y/x) \tag{4.4.1}$$

Donde m es la intensidad de la fuente. Para el flujo de un río hacia un lago es necesario usar $m = 2Q_0/D$, puesto que hay un flujo ficticio en dirección contraria. Entonces la función de corriente para tal flujo será:

$$\Psi = -(Q_0/\pi D)\text{arc tan}(y/x) \tag{4.4.2}$$

Donde Q_0 es la descarga real hacia el lago. Utilizando las relaciones

$$\begin{aligned} u &= -\frac{\partial \Psi}{\partial y}; & y \\ v &= -\frac{\partial \Psi}{\partial x} \end{aligned} \tag{4.4.3}$$

derivando estas ecuaciones se obtienen las distribuciones de velocidad

$$\begin{aligned} u &= \frac{Q_0}{\pi D} \left(\frac{x}{x^2 + y^2} \right) & y \\ v &= \frac{Q_0}{\pi D} \left(\frac{y}{x^2 + y^2} \right) \end{aligned} \tag{4.4.4}$$

Con objeto de emplear las ecuaciones de las celdillas de mezclado, para $L_{j,k}$ y $C_{j,k}$ es necesario determinar las descargas $Q_{j,k}$ y $P_{j,k}$. Estas pueden ser calculadas basándose en sus definiciones donde $Q = VA$ (el gasto es igual al producto de la velocidad media por el área hidráulica)

$$Q_{j,k} = \int_{j,k-1}^{j,k} u D dy$$

$$P_{j,k} = \int_{j,k-1}^{j,k} v D dx \quad (4.4.5)$$

Tomando $x = x_0 k$ y $y = y_0 j$ y sustituyendo las ecuaciones de la distribución de velocidad en las anteriores se tiene:

$$Q_{j,k} = \int_{j,k-1}^{j,k} \frac{Q_0}{\pi D} \left(\frac{x_0 k}{(x_0 k)^2 + (y_0 j)^2} \right) D dy$$

$$P_{j,k} = \int_{j,k-1}^{j,k} \frac{Q_0}{\pi D} \left(\frac{y_0 j}{(x_0 k)^2 + (y_0 j)^2} \right) D dx$$

tomando un valor constante de profundidad (D) y realizando las integrales se llega a:

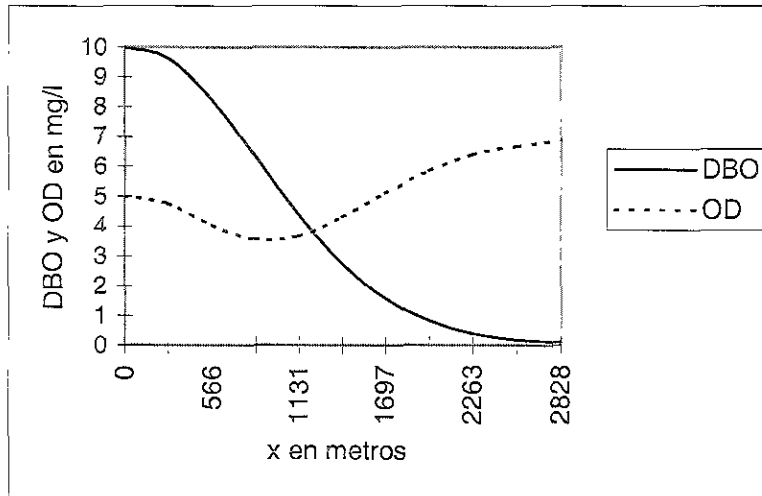
$$Q_{j,k} = \frac{Q_0}{\pi} \arctan \frac{k}{k^2 + j^2 - j} \quad (4.4.6)$$

$$P_{j,k} = \frac{Q_0}{\pi} \arctan \frac{j}{k^2 + j^2 - k} \quad (4.4.7)$$

Se observa que los valores de gastos $Q_{j,k}$ y $P_{j,k}$ son fácilmente calculables a partir de estas ecuaciones, después de la obtención de estos se utilizan en las ecuaciones para el cálculo de $L_{j,k}$ y $C_{j,k}$.

Como ejemplo se tomarán los siguientes datos: $Q_0 = 50 \text{ m}^3/\text{s}$, $L_0 = 10 \text{ mg/l}$, $C_0 = 5.0 \text{ mg/l}$, $C_s = 7.0 \text{ mg/l}$, $K_1 = 0.20 \text{ día}^{-1}$, $K_2 = 0.30 \text{ día}^{-1}$, y x_0 y $y_0 = 200 \text{ m}$

Los resultados obtenidos se presentan en la tabla 4.1. Obviamente, en este ejemplo existe una simetría con respecto a la diagonal en la tabla. Una celdilla localizada sobre esta línea representa la distancia radial de esa celdilla desde el origen. Los valores correspondientes a las celdillas de la diagonal se muestran en la siguiente gráfica:



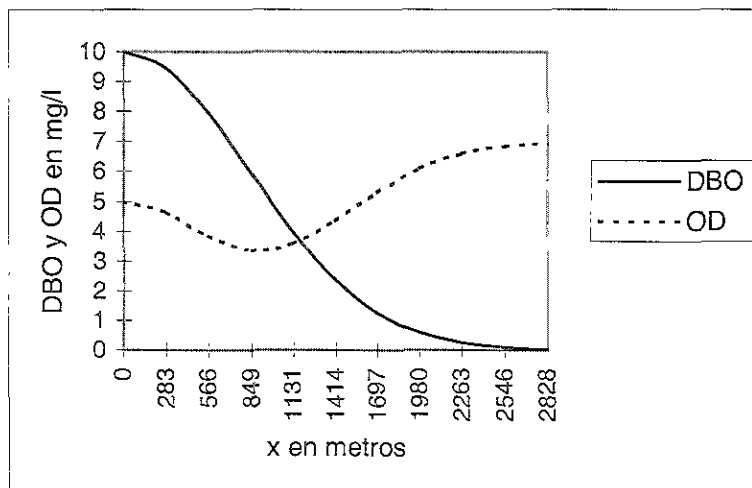
Se realizó este ejemplo de flujo desde una fuente pues resulta sencilla la solución del mismo, a partir de un modelo determinístico. Lo cual es de utilidad para comparar los resultados obtenidos a través de los dos métodos, el determinístico y el estocástico y así poder determinar el grado de aproximación que podemos tener con el segundo método.

Un balance de masa sobre un volumen elemental cilíndrico da los resultados:

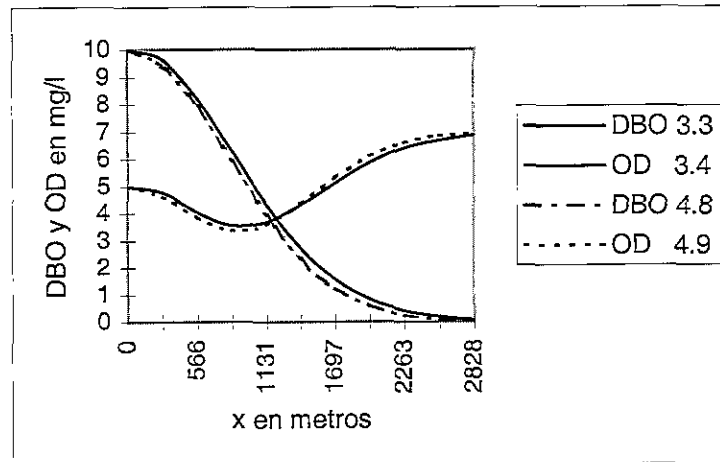
$$L = L_0 \exp(-\alpha r^2) \tag{4.4.8}$$

$$D^* = \frac{K_1 L_0}{K_2 - K_1} [\exp(-\alpha r^2) - \exp(-\beta r^2)] + D_0^* \exp(-\beta r^2) \tag{4.4.9}$$

Donde $\alpha = \pi K_1 D/2 Q_0$ y $\beta = \pi K_2 D/2 Q_0$, $D^* = C_s - C$ y $D_0^* = C_s - C_0$. Empleando las mismas cifras del ejemplo anterior (estocástico) se obtienen las siguientes gráficas:



Comparando los valores obtenidos de ambos modelos se tiene:



Como se puede observar existe bastante concordancia entre los dos métodos de cálculo. La ecuación 4.8 describe también la concentración de una sustancia radioactiva decayente introducida en un pozo de disposición. La ecuación 4.9 es la ecuación de Streeter – Phelps, en forma cilíndrica.

	0.99	0.91	0.76	0.61	0.48	0.36	0.25	0.17	0.12	0.08
10	5.74	5.80	5.93	6.11	6.31	6.45	6.60	6.70	6.81	6.87
9	1.51	1.39	1.16	0.94	0.73	0.56	0.39	0.27	0.18	0.12
8	5.26	5.34	5.49	5.73	5.94	6.23	6.37	6.54	6.68	6.81
7	2.15	2.06	1.71	1.39	1.08	0.82	0.58	0.40	0.27	0.17
6	4.61	4.82	5.00	5.28	5.58	5.92	6.16	6.39	6.54	6.70
5	3.10	2.92	2.43	1.96	1.53	1.15	0.83	0.58	0.39	0.25
4	4.17	4.28	4.50	4.79	5.15	5.51	5.85	6.16	6.37	6.60
3	4.20	3.94	3.28	2.69	2.09	1.58	1.15	0.82	0.56	0.36
2	3.76	3.81	4.02	4.35	4.70	5.10	5.51	5.92	6.23	6.45
1	5.45	5.17	4.27	3.49	2.74	2.09	1.53	1.08	0.73	0.48
	3.57	3.58	3.70	3.95	4.30	4.70	5.15	5.58	5.94	6.31
	6.74	6.11	5.24	4.34	3.49	2.69	1.96	1.39	0.94	0.61
	3.65	3.57	3.54	3.67	3.95	4.35	4.79	5.28	5.73	6.11
	7.97	7.24	6.30	5.24	4.27	3.28	2.43	1.71	1.16	0.76
	3.96	3.73	3.56	3.54	3.70	4.02	4.50	5.00	5.49	5.93
	8.97	8.22	7.24	6.11	5.17	3.94	2.92	2.06	1.39	0.91
	4.39	4.05	3.73	3.57	3.58	3.81	4.28	4.82	5.34	5.80
	9.64	8.97	7.97	6.74	5.45	4.20	3.10	2.15	1.51	0.99
	4.77	4.39	3.96	3.65	3.57	3.76	4.17	4.61	5.26	5.74
$L_0=10$	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$C_0=5$										

Tabla 4.1 Valores de DBO (Números superiores) y de OD (números inferiores) para cada celdilla

4.5 Flujo desde una fila infinita de fuentes.

Ahora se verá un ejemplo para la aplicación del modelo de celdillas de mezclado para determinar las distribuciones de DBO y OD en un flujo desde una fila infinita de fuentes localizadas a lo largo del eje y. El complejo potencial para tal flujo esta dado por:

$$w = - (Q_0/\pi D) \log_e \sinh (\pi z/B) \quad (4.5.1)$$

donde:

B es la distancia entre las fuentes y $z = x + i y$.

Los componentes de velocidad calculados con esta ecuación son:

$$u = U \frac{\sinh \lambda x}{\cosh \lambda x - \cos \lambda y} \quad (4.5.2)$$

$$v = U \frac{\sen \lambda x}{\cosh \lambda x - \cos \lambda y} \quad (4.5.3)$$

donde $U = Q_0 / BD$ y $\lambda = 2\pi/B$. Según la ecuación 4.5.1, la velocidad potencial y la función de corriente son:

$$\Phi = - \frac{Q_0}{\pi D} \log_e (\cosh \lambda x - \cos \lambda y) \quad (4.5.4)$$

$$\Psi = - \frac{Q_0}{\pi D} \arctan \left(\frac{\sinh \lambda x \sen \lambda y}{\cosh \lambda x \cos \lambda y - 1} \right) \quad (4.5.5)$$

Con base en estas ecuaciones las líneas de corriente y equipotenciales para este tipo de flujo se muestran en la figura 4.3 para valores de $Q_0 = 50 \text{ m}^3/\text{s}$, $D = 10 \text{ m}$ y $B = 1,000 \text{ m}$. el flujo desde una fila infinita de fuentes corresponde aproximadamente al flujo de un río hacia un lago de ancho arbitrario B.

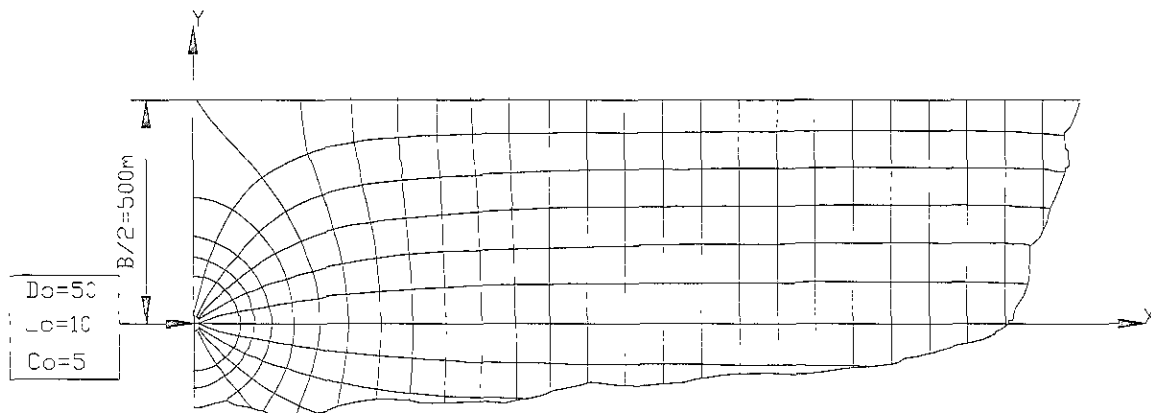


Figura 4.3

Al sustituir las ecuaciones 4.5.2 y 4.5.3 en:

$$Q_{j,k} = \int_{j,k-1}^{j,k} u D dy$$

$$P_{j,k} = \int_{j,k-1}^{j,k} v D dx$$

permite calcular $Q_{j,k}$ y $P_{j,k}$; una vez obtenidos estos valores se sustituyen en:

$$L_{j,k} = \frac{Q_{j,k-1}L_{j,k-1} + P_{j-1,k}L_{j-1,k} + L^* V}{Q_{j,k} + P_{j,k} + K_1 V} \quad y$$

$$C_{j,k} = \frac{Q_{j,k-1}C_{j,k-1} + P_{j-1,k}C_{j-1,k} + (K^* - K_1 L_{j,k})V}{Q_{j,k} + P_{j,k} + K_2 V}$$

Para obtener los valores de $L_{j,k}$ y $C_{j,k}$ para cada celdilla rectangular de dimensiones X_0 y y_0

Como ya se ha visto anteriormente se puede tener otra alternativa de cálculo, para este caso más sencilla. Así, si se conoce la red de flujo para un patrón particular de flujo, las celdillas de mezclado que se pueden emplear, pueden ser aquellas regiones que quedan definidas por las líneas de corriente y equipotenciales de la red de flujo. Por definición, las líneas de corriente adyacentes confinan una descarga constante. De acuerdo con lo anterior para esta alternativa de cálculo, las descargas son constantes y los volúmenes de las celdillas varían; que es lo contrario a lo sucedido en el método descrito en 4.4 donde los volúmenes son constantes y las descargas varían.

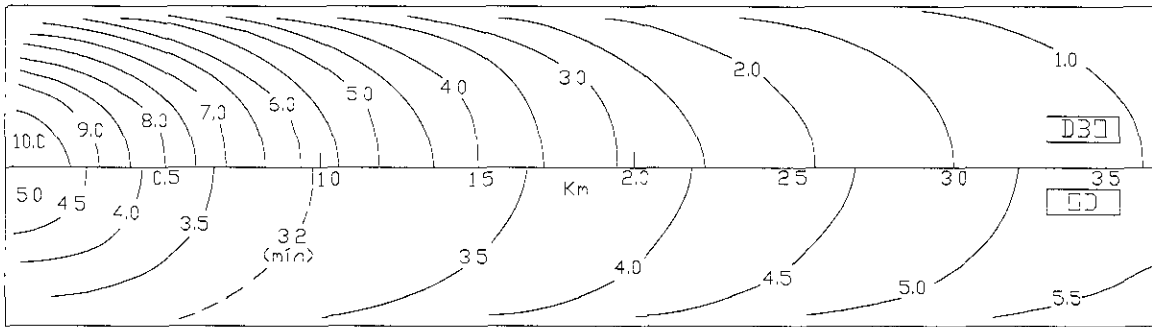
Considerando $L^* = 0$ y $K^* = K_2 C_s$ las ecuaciones anteriores quedan:

$$L_{j,k} = \frac{L_{j,k-1}}{1 + (K_1 V_{j,k} / Q_j)} \quad y \quad (4.5.6)$$

$$C_{j,k} = \frac{C_{j-1,k} + (K_2 C_s - K_1 L_{j,k})(V_{j,k} / Q_j)}{1 + K_2 V_{j,k} / Q_j} \quad (4.5.7)$$

Donde V es el volumen de la celdilla de mezclado j,k y $Q_j = Q_0/n$ donde n es el número de canales de la red de flujo. Se determinan las áreas y de ahí los volúmenes de las regiones limitadas por la red de flujo, estos valores son sustituidos en las ecuaciones anteriores para calcular $L_{j,k}$ y $C_{j,k}$. Los valores empleados fueron los siguientes:

$K_1 = 0.30 \text{ día}^{-1}$, $K_2 = 0.40 \text{ día}^{-1}$ y $C_s = 7.0 \text{ mg/l}$. Los resultados se presentan en la siguiente gráfica:



Si se desprecian las difusiones lateral y longitudinal, y se considera un flujo de estado permanente las ecuaciones del balance de masa quedan:

$$u \frac{\partial L}{\partial x} + v \frac{\partial L}{\partial y} + K_1 L = 0 \quad (4.5.8)$$

$$u \frac{\partial C}{\partial x} + v \frac{\partial C}{\partial y} + K_1 L = K_2 (C_s - C) \quad (4.5.9)$$

donde las velocidades u y v están dadas por

$$u = U \frac{\sinh \lambda x}{\cosh \lambda x - \cos \lambda y}$$

$$v = U \frac{\sin \lambda x}{\cosh \lambda x - \cos \lambda y}$$

para hacer nuevamente una comparación entre los resultados del modelo estocástico y el determinístico, se puede obtener fácilmente una solución analítica a lo largo del eje x . De acuerdo con esto, cuando $y = 0$ las ecuaciones anteriores quedan:

$$u = U \frac{\sinh \lambda x}{\cosh \lambda x - 1} \quad \text{y} \quad V^* = 0 \quad (4.5.10)$$

sustituyendo en las ecuaciones 5.8 y 5.9 se tiene:

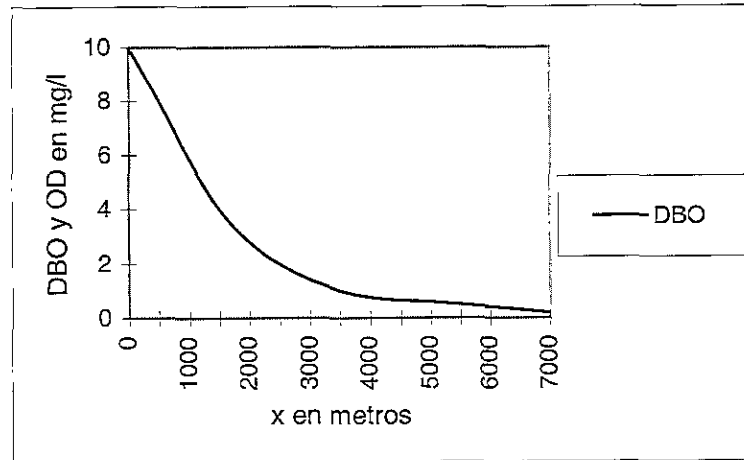
$$U \frac{\sinh \lambda x}{\cosh \lambda x - 1} \frac{dL}{dx} + K_1 L = 0 \quad (4.5.11)$$

$$U \frac{\sinh \lambda x}{\cosh \lambda x - 1} \frac{dC}{dx} + K_1 L = K_2 (C_s - C) \quad (4.5.12)$$

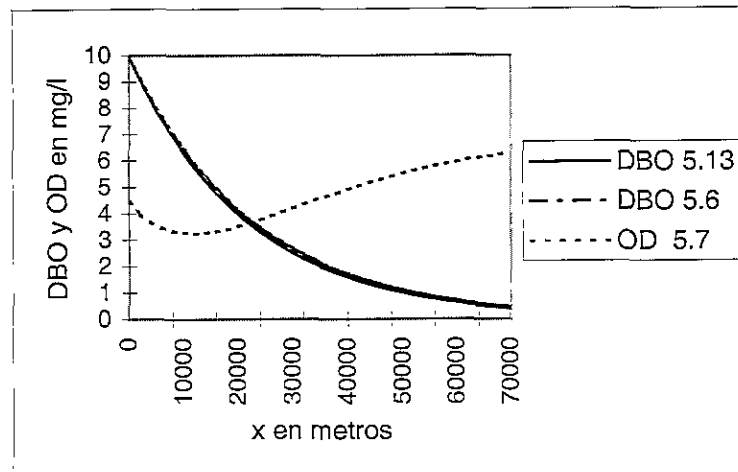
obteniendo la solución de la primera ecuación:

$$L = L_0 \left[\frac{1}{2} (\cosh x + 1) \right]^{-\alpha} \quad (4.5.13)$$

Donde $\delta = K_1 B^2 D / 2\pi Q_0$. Usando los mismos valores numéricos que el ejemplo anterior tenemos la solución de la anterior ecuación en la siguiente gráfica:



En la siguiente gráfica se muestra una comparación de los resultados obtenidos para el ejemplo de flujo desde una fila infinita de fuentes de los modelos determinístico y estocástico.



Incidentalmente, en la zona de flujo radial (cerca del origen) es de esperarse que la ecuación 4.5.13 coincida con el resultado obtenido para la distribución de DBO en un flujo puramente radial, a partir de la ecuación 4.4.8 del apartado 4.4. Desarrollando cosh λx en una serie para valores de λx pequeños se llega a:

$$L = L_0 \left[1 - \frac{\pi K_1 D}{2Q_0} x^2 \right] \tag{4.5.14}$$

Este es precisamente el resultado obtenido cuando la ecuación 4.8 se escribe para valores pequeños de r.

Del mismo modo, para valores altos de x , se esperará que la ecuación 4.5.13 sea la misma que el resultado dado por la ecuación 4.2.5 del apartado 4.2 para flujo uniforme permanente en un canal. Para λx grande $\cosh \lambda x = \frac{1}{2} \exp(\lambda x)$, y la ecuación 4.5.13 queda:

$$L = L_0 \left[\frac{1}{4} \exp(\lambda x) \right]^{-9} = 4^9 L_0 \exp(-K_1 x / U) \quad (4.5.15)$$

Este resultado coincide con la ecuación 4.2.5 con la modificación de que sea introducida una DBO "efectiva", $L_0' = 4^9 L_0$ en el caso de una fila infinita de fuentes. Alternativamente, no es difícil demostrar que las ecuaciones 4.2.5 y 4.5.15 son idénticas si se localiza un origen "virtual" para la fila de fuentes a una distancia, $x_0 = (U/K_1) \log_e 4^9$, en la dirección positiva de x desde el origen real.

4.6. Modelo de celdillas de mezclado.

Para el cálculo de la DBO ($L_{j,k}$) y el OD ($C_{j,k}$) con el modelo de celdillas de mezclado, primero se traza una red de flujo en la región de estudio, esta red de flujo consistirá de canales de flujo denominados j , y caídas de potencial denominadas k . La red de flujo forma una cuadrícula; de estos cuadrados se obtiene el área, medida en metros cuadrados, y teniendo como dato la profundidad promedio, se calcula el volumen de las celdillas de mezclado ($V_{j,k}$), con estos datos y la DBO (L_0) y el oxígeno disuelto (C_0) iniciales, así como la concentración del oxígeno a la saturación (C_s), el coeficiente de reaeración (K_2) y el coeficiente de desoxigenación (K_1) se obtienen el valor de la DBO ($L_{j,k}$) y el OD ($C_{j,k}$) para cada celdilla de mezclado con ayuda de las ecuaciones 4.5.6 y 4.5.7.

$$L_{j,k} = \frac{L_{j,k-1}}{1 + (K_1 V_{j,k} / Q_j)} \quad y \quad (4.5.6)$$

$$C_{j,k} = \frac{C_{j-1,k} + (K_2 C_s - K_1 L_{j,k})(V_{j,k} / Q_j)}{1 + K_2 V_{j,k} / Q_j} \quad (4.5.7)$$

El número de canal j se mide en el sentido de las manecillas del reloj, a partir del influente; la caída de potencial comienza en la boca del mismo.

4.7. Mediciones en el campo.

Para la correcta calibración del modelo es necesario realizar muestreos en la zona de estudio, para poder así obtener una comparación entre los datos obtenidos por mediciones directas en el lugar y las obtenidas con la ayuda del modelo.

Para esto es necesario localizar las estaciones de muestreo en el lugar de estudio, en zonas cuyas mediciones nos muestren datos característicos de cada zona del embalse.

También se deben hacer una serie de fases con períodos de uno o dos meses para garantizar así que las muestras son representativas de cada zona de estudio. En

cada estación se determinan propiedades físicas, químicas, biológicas y bacteriológicas de la zona así como también en puntos apropiados en el efluente y el influente.

CAPÍTULO V

APLICACIÓN EN LA COMPUTADORA DEL MODELO MATEMÁTICO

APLICACIÓN EN LA COMPUTADORA DEL MODELO MATEMÁTICO

5.1 Programa.

El programa aquí desarrollado es una automatización hecha con ayuda de una computadora personal, al modelo de celdillas de mezclado para calcular DBO y OD en lagos y embalses.

Este programa se desarrolló en el lenguaje de programación Visual Basic, que utiliza un método completamente gráfico, es decir en lugar de escribir numerosas líneas de códigos para describir la apariencia y ubicación de los elementos de la interfaz, simplemente se agregan objetos prefabricados en su lugar dentro de la pantalla a los cuales se le asocia un código.

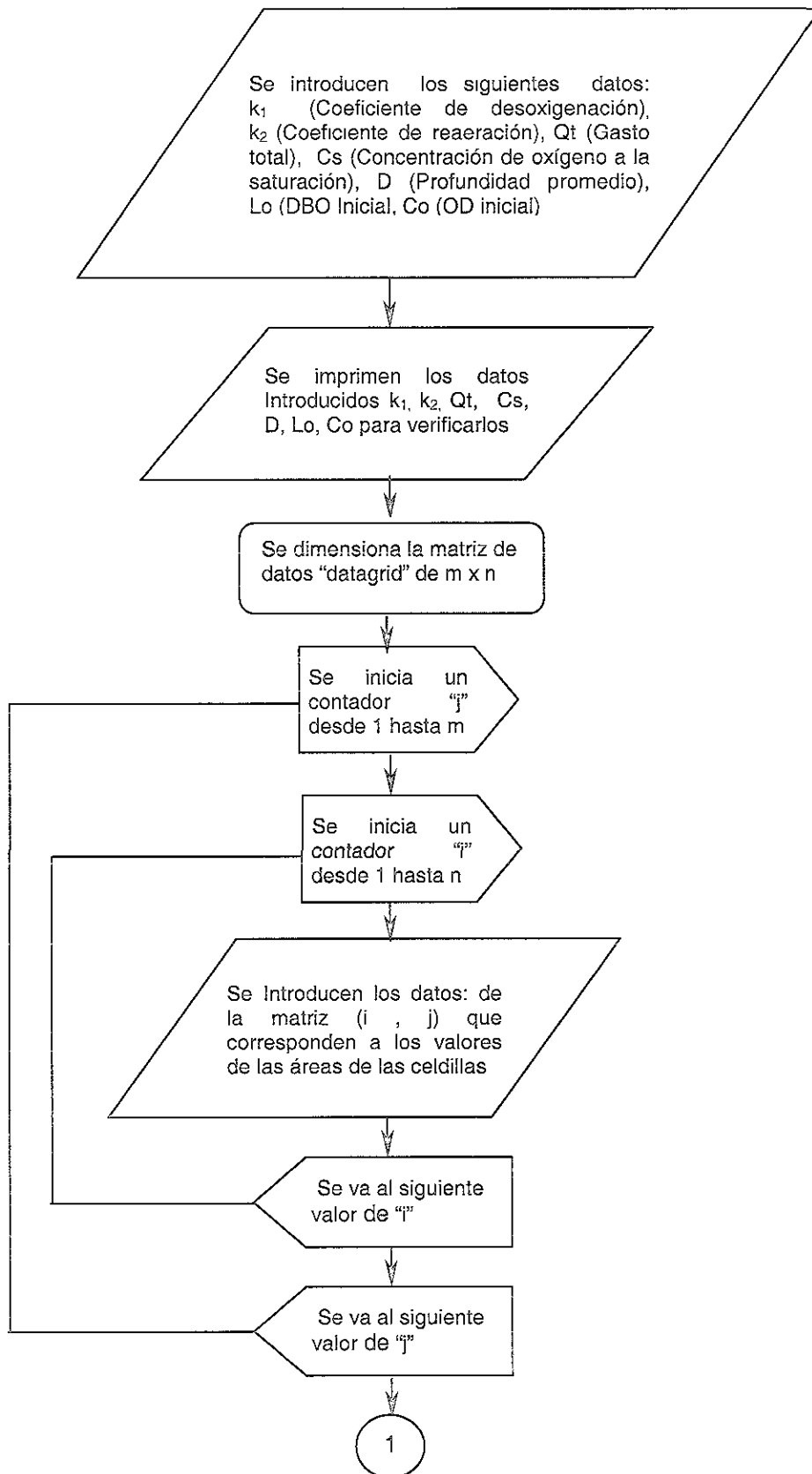
El programa desarrollado, una vez compilado en Visual Basic se puede instalar y ejecutar en cualquier computadora personal que cuente con el sistema operativo Windows 95 o 98.

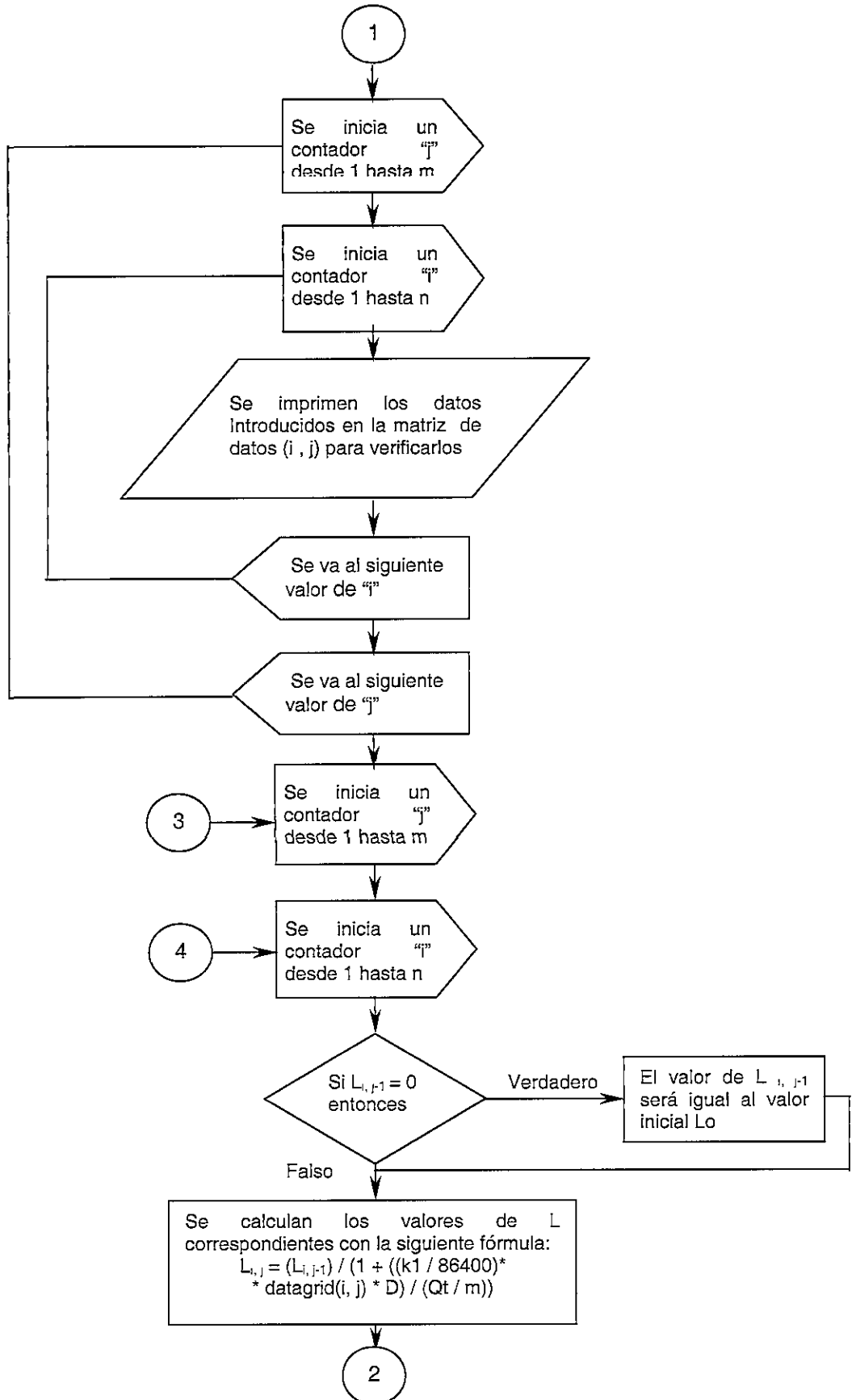
5.2 Descripción del programa.

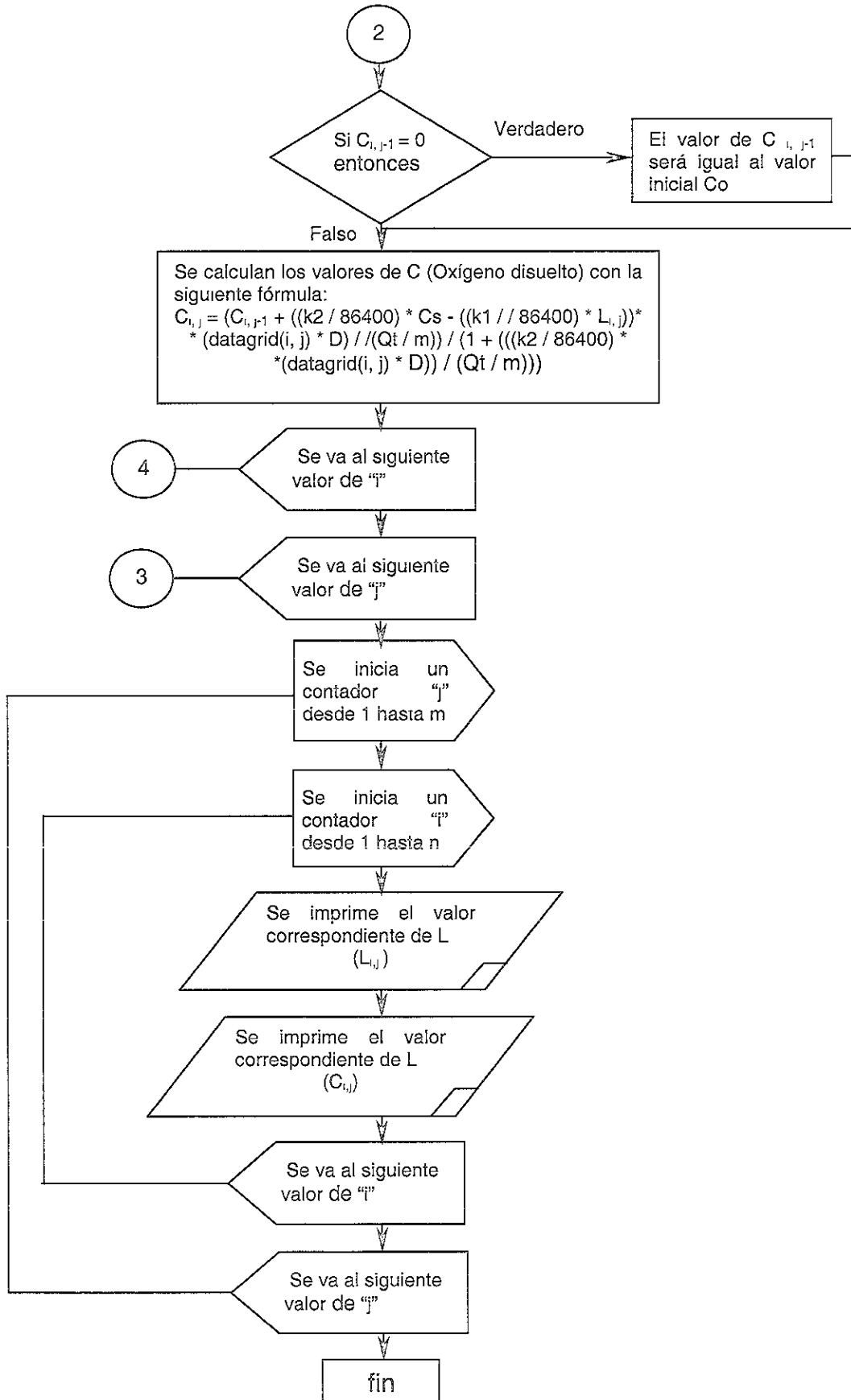
Se buscó que el programa fuera de fácil utilización, por lo cuál se recurrió a la programación basada en objetos, dado que la interfaz gráfica es más fácil de utilizar para el usuario final. El programa del modelo de celdillas de mezclado cuenta con cinco pantallas. Dos de ellas son utilizadas para que el usuario introduzca los datos que son requeridos para la correcta ejecución del programa. La forma en que los datos son requeridos y escritos es muy sencilla. En estos formularios se indica cuales son los datos necesarios, así como las unidades en que deberán ser introducidos.

Las otras tres pantallas muestran los resultados. Una de ellas muestra los valores iniciales que se han introducido para verificar si estos son correctos y las últimas muestran, en forma de hoja de cálculo con filas y columnas, los resultados obtenidos de DBO y OD para cada celdilla. Estas tablas son del tipo dinámicas, es decir se puede cambiar con ayuda del cursor el tamaño de las filas y columnas para una mejor consulta de los datos. Además si el número de celdillas es más grande de la cantidad que se puede mostrar en pantalla cuenta con barras de desplazamiento tanto verticales como horizontales para poderse situar en la celda de interés.

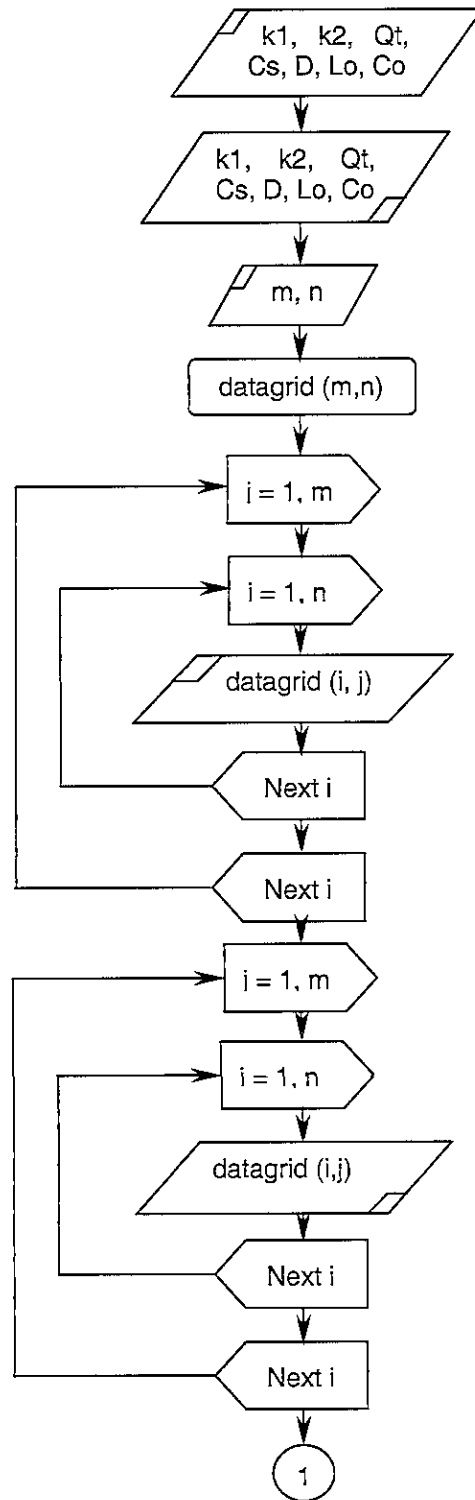
5.3 Diagrama del sistema.

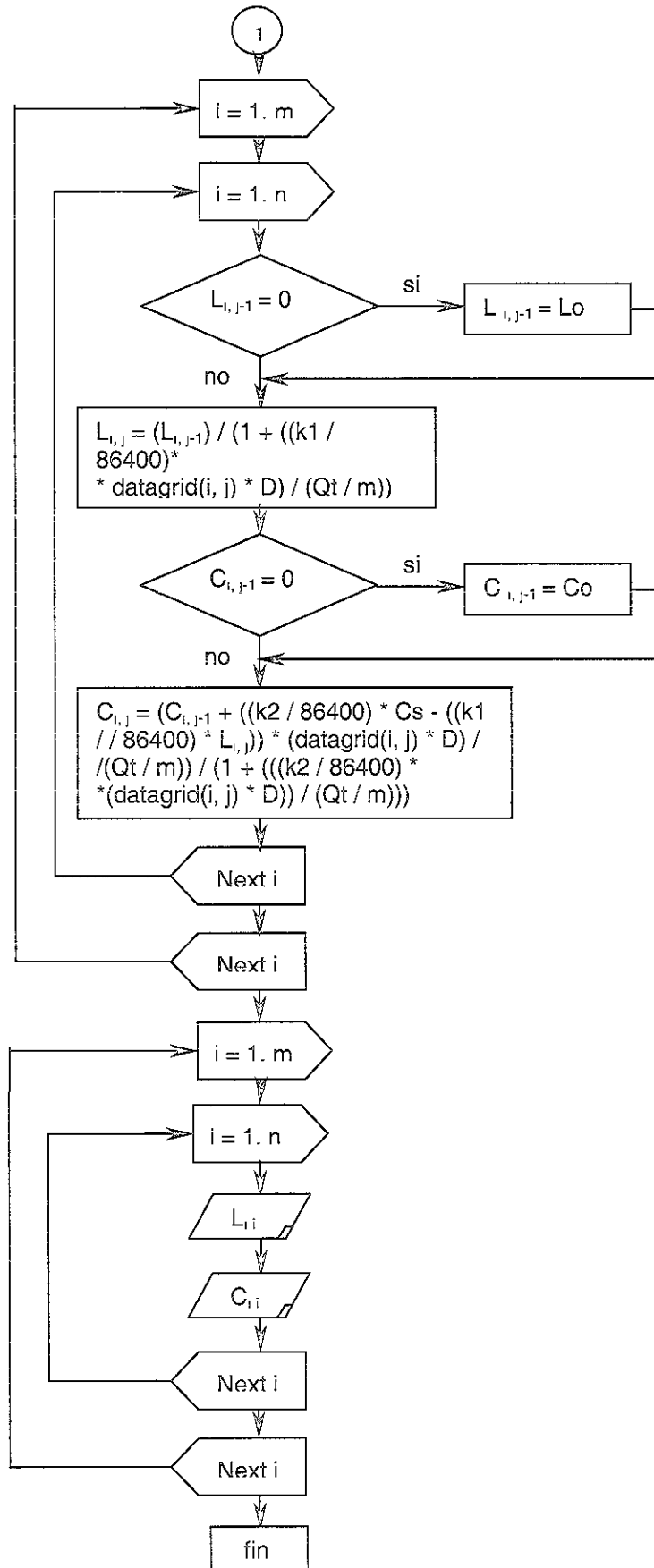






A continuación se muestra el diagrama de flujo para programación:





5.4 Simulación.

En el caso del lenguaje de programación Visual Basic a cada elemento de la interfaz gráfica que esta contenida en formularios (pantallas), se le modifican las propiedades para que tengan el aspecto que nuestro programa requiera; una vez hecho esto a cada elemento se le asigna un código que consta de instrucciones del lenguaje, constantes y declaraciones, escritas en lenguaje Basic, que dan como resultado las diferentes acciones y operaciones requeridas en nuestro programa.

El programa realizado consta de 5 formularios, a continuación se muestra el código para cada uno de ellos.

Formulario 1:

```
Private Sub Command3_Click(Index As Integer)
    ' Maneja los posible errores
    On Error GoTo ManejadorErr:
    ' al hacer click sobre el botón mencionado
    ' pide introducir a través de un inputbox el valor del
    ' coeficiente de desoxigenación
    datos = "Coeficiente de desoxigenación"
    mensaje = "Por favor escriba el valor de K1"
    k1 = InputBox$(mensaje, datos)
ManejadorErr:
    ' sale del procedimiento si el usuario pulsa Cancelar o
    ' ingresa un dato no numérico o un formato de número no válido
End Sub
```

```
Private Sub Command4_Click()
    ' Maneja los posible errores
    On Error GoTo ManejadorErr:
    ' al hacer click sobre el botón mencionado
    ' pide introducir a través de un inputbox el valor del
    ' coeficiente de reaereación
    datos = "Coeficiente de reaereación"
    mensaje = "Por favor escriba el valor de K2"
    k2 = InputBox$(mensaje, datos)
ManejadorErr:
    ' sale del procedimiento si el usuario pulsa Cancelar o
    ' ingresa un dato no numérico o un formato de número no válido
End Sub
```

```
Private Sub Command5_Click()  
    ' Maneja los posible errores  
    On Error GoTo ManejadorErr:  
    ' al hacer click sobre el botón mencionado  
    ' pide introducir a través de un inputbox el valor del  
    ' gasto total  
    datos = "Gasto Total"  
    mensaje = "Por favor escriba el valor del gasto total Qt"  
    Qt = InputBox$(mensaje, datos)  
ManejadorErr:  
    ' sale del procedimiento si el usuario pulsa Cancelar o  
    ' ingresa un dato no numérico o un formato de número no válido  
End Sub
```

```
Private Sub Command6_Click()  
    ' Maneja los posible errores  
    On Error GoTo ManejadorErr:  
    ' al hacer click sobre el botón mencionado  
    ' pide introducir a través de un inputbox el valor del  
    ' oxígeno a la saturación  
    datos = "Oxígeno a la saturación"  
    mensaje = "Por favor escriba el valor del oxígeno a la saturación Cs"  
    Cs = InputBox$(mensaje, datos)  
ManejadorErr:  
    ' sale del procedimiento si el usuario pulsa Cancelar o  
    ' ingresa un dato no numérico o un formato de número no válido  
End Sub
```

```
Private Sub Command9_Click()  
    ' Maneja los posible errores  
    On Error GoTo ManejadorErr:  
    ' al hacer click sobre el botón mencionado  
    ' pide introducir a través de un inputbox el valor de la  
    ' profundidad promedio  
    datos = "Profundidad promedio"  
    mensaje = "Por favor escriba la profundidad promedio del embalse D"  
    D = InputBox$(mensaje, datos)  
ManejadorErr:  
    ' sale del procedimiento si el usuario pulsa Cancelar o
```

```
' ingresa un dato no numérico o un formato de número no válido  
End Sub
```

```
Private Sub Command10_Click()  
' Maneja los posible errores  
On Error GoTo ManejadorErr:  
' al hacer click sobre el botón mencionado  
' pide introducir a través de un "inputbox" el valor de la  
' demanda bioquímica de oxígeno inicial  
datos = "Valor inicial de Demanda Bioquímica de Oxígeno Lo"  
mensaje = "Por favor escriba el valor de Lo"  
Lo = InputBox$(mensaje, datos)  
ManejadorErr:  
' sale del procedimiento si el usuario pulsa Cancelar o  
' ingresa un dato no numérico o un formato de número no válido  
End Sub
```

```
Private Sub Command11_Click()  
' Maneja los posible errores  
On Error GoTo ManejadorErr:  
' al hacer click sobre el botón mencionado  
' pide introducir a través de un inputbox el valor del  
' oxígeno disuelto inicial  
datos = "Valor inicial del Oxígeno Disuelto Co"  
mensaje = "Por favor escriba el valor de Co"  
Co = InputBox$(mensaje, datos)  
ManejadorErr:  
' sale del procedimiento si el usuario pulsa Cancelar o  
' ingresa un dato no numérico o un formato de número no válido  
End Sub
```

```
Private Sub Command1_Click()  
' carga y muestra la forma 2  
Load Form2  
Form2.Show  
' muestra en las siguientes etiquetas, contenidas en la  
' forma 2, los valores de las variables previamente obtenidos  
' del usuario  
Form2.Controls!Label9.Caption = k1  
Form2.Controls!Label10.Caption = k2
```

```
Form2.Controls!Label11.Caption = Qt
Form2.Controls!Label12.Caption = Cs
Form2.Controls!Label15.Caption = D
Form2.Controls!Label17.Caption = Lo
Form2.Controls!Label19.Caption = Co
End Sub
```

```
Private Sub Command2_Click()
' termina la ejecución del programa
End
End Sub
```

Formulario 2:

```
Private Sub Command1_Click(Index As Integer)
' carga y muestra la forma 3
Load Form3
Form3.Show
End Sub
```

```
Private Sub Command2_Click(Index As Integer)
' termina la ejecución del programa
End
End Sub
```

```
Private Sub Command3_Click()
' muestra la forma 1
Form1.Show
End Sub
```

Formulario 3:

```
Private Sub Command1_Click()
dato = "Canales"
mensaje = "Introduzca número de canales"
' asigna a la variable m el valor de inputbox
' que es el del número de canales
m = InputBox$(mensaje, dato)
' dimensiona las columnas de la hoja de cálculo (MSFlexGrid)
MSFlexGrid1.Cols = m + 1
End Sub
```

```

Private Sub Command2_Click()
    dato = "Caídas"
    mensaje = "Introduzca número de caídas"
    ' asigna a la variable n el valor de inputbox
    ' que es el del número de caídas de potencial
    n = InputBox$(mensaje, dato)
    ' dimensiona el número de filas de la hoja de cálculo(MSFlexGrid)
    MSFlexGrid1.Rows = n + 1
End Sub

```

```

Private Sub Command3_Click()
    ' hace que el objeto MSFlexGrid1 sea visible
    MSFlexGrid1.Visible = True
    ' el comando with permite usar varias propiedades de
    ' un mismo elemento
    With MSFlexGrid1
        ' da formato a cada una de las celdas del MSFlexGrid
        For j = 1 To m
            For i = 0 To n
                .Row = i
                .Col = j
                .CellAlignment = flexAlignCenterCenter
            Next i
        Next j
    End With
    ' redimensiona la matriz de variables dinámica (datagrid)
    ReDim datagrid(n, m)
    ' coloca la numeración de los encabezados
    For i = 1 To m
        MSFlexGrid1.TextMatrix(0, i) = i
    Next i
    For i = 1 To n
        MSFlexGrid1.TextMatrix(i, 0) = i
    Next i
    ' lee datos a través de un InputBox para cada valor de
    ' la celda de la matriz datagrid
    For j = 1 To m
        For i = 1 To n
            ' se posiciona en la celda respectiva del MSFlexgrid
            ' para hacer visible el valor que se este pidiendo

```

```
MSFlexGrid1.TextMatrix(i, j) = "A" & (i) & "," & (j)
dato = "Áreas"
mensaje = "Introduzca el área: " & (i) & "," & (j)
datagrid(i, j) = InputBox$(mensaje, dato)
Next i
Next j
End Sub
```

```
Private Sub Command4_Click()
MSFlexGrid1.Visible = True
For j = 1 To m
For i = 1 To n
' muestra en el MSFlexgrid los valores de cada área
' introducida en datagrid
MSFlexGrid1.TextMatrix(i, j) = datagrid(i, j)
Next i
Next j
End Sub
```

```
Private Sub Command5_Click()
' termina la ejecución del programa
End
End Sub
```

```
Private Sub Command6_Click()
' muestra la forma 2
Form2.Show
End Sub
```

```
Private Sub Command7_Click()
' carga y muestra la forma 4
Load Form4
Form4.Show
' redimensiona la matriz de datos l()
ReDim l(n, m)
' dimensiona el MSFlexGrid contenido en la forma 4 de acuerdo
' al número de canales y caídas de potencial
Form4.MSFlexGrid1.Rows = n + 1
Form4.MSFlexGrid1.Cols = m + 1
Form4.MSFlexGrid1.Visible = True
```

```

' coloca la numeración de los encabezados y da formato
' a cada celda
Form4.MSFlexGrid1.Row = 0
Form4.MSFlexGrid1.Col = 0
Form4.MSFlexGrid1.CellAlignment = flexAlignCenterCenter
Form4.MSFlexGrid1.TextMatrix(0, 0) = "DBO"
For i = 1 To m
    Form4.MSFlexGrid1.TextMatrix(0, i) = i
Next i
For i = 1 To n
    Form4.MSFlexGrid1.TextMatrix(i, 0) = i
Next i
For j = 1 To m
    For i = 1 To n
        ' calcula los valores de l para cada celdilla
        If i = 1 Then l(i - 1, j) = Lo
        ' asigna al primer valor de L(i,j-1) el de la DBO inicial (Lo)
        l(i, j) = l(i - 1, j) / (1 + ((k1 / 86400) * datagrid(i, j) * D) / (Qt / m))
    Next i
Next j
For j = 1 To m
    For i = 1 To n
        ' Muestra en el MSFlexGrid los resultados obtenidos
        ' correspondientes a la DBO
        Form4.MSFlexGrid1.TextMatrix(i, j) = l(i, j)
    Next i
Next j
End Sub

```

Formulario 4:

```

Private Sub Command1_Click()
    ' termina la ejecución del programa
    End
End Sub

```

```

Private Sub Command2_Click()
    ' muestra la forma 3
    Form3.Show
End Sub

```

```

Private Sub Command3_Click()
    ' carga y muestra la forma 5
    Load Form5
    Form5.Show
    ' redimensiona las matrices de datos l1() y c()
    ReDim l1(n, m)
    ReDim c(n, m)
    ' dimensiona el MSFlexGrid contenido en la forma 5 de acuerdo
    ' al número de canales y caídas de potencial
    Form5.MSFlexGrid2.Rows = n + 1
    Form5.MSFlexGrid2.Cols = m + 1
    Form5.MSFlexGrid2.Visible = True
    ' coloca la numeración de los encabezados y da formato
    ' a cada celda
    Form5.MSFlexGrid2.Row = 0
    Form5.MSFlexGrid2.Col = 0
    Form5.MSFlexGrid2.CellAlignment = flexAlignCenterCenter
    Form5.MSFlexGrid2.TextMatrix(0, 0) = "OD"
    For i = 1 To m
        Form5.MSFlexGrid2.TextMatrix(0, i) = i
    Next i
    For i = 1 To n
        Form5.MSFlexGrid2.TextMatrix(i, 0) = i
    Next i
    For j = 1 To m
        For i = 1 To n
            ' calcula los valores l y c para cada celda
            If i = 1 Then l1(i - 1, j) = Lo
            ' asigna al primer valor de L(i,j-1) el de la DBO inicial (Lo)
            l1(i, j) = l1(i - 1, j) / (1 + ((k1 / 86400) * datagrid(i, j) * D) / (Qt / m))
            If i = 1 Then c(i - 1, j) = Co
            ' asigna al primer valor de C(i,j-1) el del OD inicial (Co)
            c(i, j) = (c(i - 1, j) + ((k2 / 86400) * Cs - ((k1 / 86400) * l1(i, j))) *
                *(datagrid(i, j) * D) / (Qt / m)) / (1 + (((k2 / 86400) * (datagrid(i, j) * D)) / (Qt / m)))
        Next i
    Next j
    For j = 1 To m
        For i = 1 To n
            ' Muestra en el MSFlexGrid los resultados obtenidos
            ' correspondientes al OD

```

```
Form5.MSFlexGrid2.TextMatrix(i, j) = c(i, j)
```

```
Next i
```

```
Next j
```

```
End Sub
```

```
Private Sub mnuCerrarItem_Click()
```

```
' desaparece el MSFlexGrid 1
```

```
MSFlexGrid1.Visible = False
```

```
End Sub
```

```
Private Sub mnuFuentesItem_Click()
```

```
'Forzar un error si el usuario pulsa el botón Cancelar
```

```
CommonDialog1.CancelError = True
```

```
On Error GoTo ManejadorErr:
```

```
'Definir banderas para efectos especiales y
```

```
'para todas las fuentes disponibles
```

```
CommonDialog1.Flags = cd!CFEffects Or cd!CFBoth
```

```
'Mostrar el cuadro de diálogo de fuentes
```

```
CommonDialog1.ShowFont
```

```
'Definir las propiedades de formato teniendo en cuenta
```

```
'las opciones elegidas por el usuario:
```

```
For j = 1 To m
```

```
For i = 1 To n
```

```
MSFlexGrid1.Row = i
```

```
MSFlexGrid1.Col = j
```

```
MSFlexGrid1.CellFontName = CommonDialog1.FontName
```

```
MSFlexGrid1.CellFontSize = CommonDialog1.FontSize
```

```
MSFlexGrid1.CellBackColor = CommonDialog1.Color
```

```
MSFlexGrid1.CellFontBold = CommonDialog1.FontBold
```

```
MSFlexGrid1.CellFontItalic = CommonDialog1.FontItalic
```

```
MSFlexGrid1.CellFontUnderline = CommonDialog1.FontUnderline
```

```
MSFlexGrid1.CellFontStrikeThrough = CommonDialog1.FontStrikethru
```

```
Next i
```

```
Next j
```

```
ManejadorErr:
```

```
' salir del procedimiento si el usuario pulsa Cancelar
```

```
End Sub
```

```
Private Sub mnuImprimirItem_Click()
```

```
For j = 1 To m
```

```
For i = 1 To n
    ' imprime los resultados obtenidos
    ' correspondientes a la DBO
    Printer.CurrentX = -700 + j * 1200
    Printer.CurrentY = -200 + i * 250
    Print I(i, j)
Next i
Next j
End Sub
```

```
Private Sub mnuSalirItem_Click()
    ' sale del programa
End
End Sub
```

Fórmula 5:

```
Private Sub Command1_Click()
    ' termina la ejecución del programa
End
End Sub
```

```
Private Sub Command2_Click()
    ' muestra la forma 4
    Form4.Show
End Sub
```

```
Private Sub mnuCerrarItem_Click()
    ' desaparece el MSFlexGrid 2
    MSFlexGrid2.Visible = False
End Sub
```

```
Private Sub mnuFuenteItem_Click()
    'Forzar un error si el usuario pulsa el botón Cancelar
    CommonDialog1.CancelError = True
    On Error GoTo ManejadorErr.
    'Definir banderas para efectos especiales y
    'para todas las fuentes disponibles
    CommonDialog1.Flags = cdlCFEffects Or cdlCFBoth
    'Mostrar el cuadro de diálogo de fuentes
    CommonDialog1.ShowFont
    'Definir las propiedades de formato teniendo en cuenta
```

```

'las opciones elegidas por el usuario:
For j = 1 To m
For i = 1 To n
    MSFlexGrid2.Row = i
    MSFlexGrid2.Col = j
    MSFlexGrid2.CellFontName = CommonDialog1.FontName
    MSFlexGrid2.CellFontSize = CommonDialog1.FontSize
    MSFlexGrid2.CellBackColor = CommonDialog1.Color
    MSFlexGrid2.CellFontBold = CommonDialog1.FontBold
    MSFlexGrid2.CellFontItalic = CommonDialog1.FontItalic
    MSFlexGrid2.CellFontItalic = CommonDialog1.FontUnderline
    MSFlexGrid2.CellFontStrikeThrough = CommonDialog1.FontStrikethru
Next i
Next j
ManejadorErr:
' salir del procedimiento si el usuario pulsa Cancelar
End Sub

```

```

Private Sub mnulprimirItem_Click()
For j = 1 To m
For i = 1 To n
    ' imprime los resultados obtenidos
    ' correspondientes al OD
    Printer.CurrentX = -700 + j * 1200
    Printer.CurrentY = -200 + i * 250
    Print c(i, j)
Next i
Next j
End Sub

```

```

Private Sub mnuSalirItem_Click()
' sale del programa
End
End Sub

```

Adicionalmente se cuenta con un módulo de clase que es donde se declaran las variables públicas, es decir las variables que están disponibles en todos los formularios:

Modulo de clase:

```

'declara las siguientes variables como públicas para

```

'poder ser utilizadas en todas las formas

Public k1 As Double

Public k2 As Double

Public Qt As Double

Public Cs As Double

Public m As Double

Public n As Double

Public D As Double

Public Co As Double

Public Lo As Double

'asigna como base 1 a las matrices

Option Base 1

'declara las matrices de variables como públicas

Public datagrid() As Double

Public l() As Single

Public c() As Single

Public l1() As Single

5.5 Gráficas.

En este capítulo se muestra el aspecto final que tienen los formularios en tiempo de ejecución:

La siguiente figura demuestra el aspecto del formulario 1 (Datos de entrada)

Datos de entrada

Ingrese los siguientes datos

Coefficiente de desoxigenación K1 (día ⁻¹)	Ingresar K1
Coefficiente de reasación K2 (día ⁻¹)	Ingresar K2
Gasto Total Qt (m ³ /s)	Ingresar Qt
Oxígeno a la saturación Cs (mg/l)	Ingresar Cs
Profundidad promedio D (m)	Ingresar D
Valor inicial de Demanda Bioquímica de Oxígeno Lo (mg/l)	Ingresar Lo
Valor inicial de Oxígeno disuelto Co (mg/l)	Ingresar Co

Siguiete > Salir

La siguiente figura muestra el aspecto del formulario 2:

Datos

Si la información listada a continuación es correcta oprima el botón siguiente. Si la información no es correcta oprima el botón atrás y corríjala.

Coefficiente de desoxigenación K1 (día ⁻¹)	006
Coefficiente de reoxigenación K2 (día ⁻¹)	005
Gasto Total Q _T (m ³ /s)	159.56
Oxígeno a la saturación C _s (mg/l)	5
Profundidad promedio D (m)	5.33
Valor inicial de Demanda Bioquímica de Oxígeno L ₀ (mg/l)	85
Valor inicial de Oxígeno disuelto C ₀ (mg/l)	3

< Atras Siguiete > Salir

La siguiente figura muestra el aspecto del formulario 3 (áreas de celdillas):

Áreas de celdillas

Número de canales

Número de celdas

Introducir Áreas

Mostrar valores

	1	2	3	4	5
1	A1.1	A1.2	A1.3	A1.4	A1.5
2	A2.1	A2.2	A2.3	A2.4	A2.5
3	A3.1	A3.2	A3.3	A3.4	A3.5
4	A4.1	A4.2	A4.3	A4.4	A4.5
5	A5.1	A5.2	A5.3	A5.4	A5.5
6	A6.1	A6.2	A6.3	A6.4	A6.5

< Anterior Siguiete > Salir

En la siguiente figura se muestra el aspecto del formulario 4 (resultados de DBO):

Resultados DBO

Archivo Formato

dbO	1	2	3	4	5
1	8 455315	0 9892783	5 205527	1 126091	1 125935
2	0 1537692	0 157144	7 829938E-02	0 1791737	0 6895395
3	1 999047E-03	2 144198E-02	1 177747E-03	0 1782116	0 3942778
4	2 72766E-04	2 840661E-03	1 118515E-03	0 1076354	6 209842E-04
5	4 340004E-05	3 763344E-04	7 263646E-04	1.619505E-03	4 062727E-04
6	5 913425E-06	3 533999E-04	4 389101E-04	2 145244E-04	4 037186E-04

< Anterior Siguiete > Salir

En la siguiente figura se muestra el aspecto del formulario 5 (resultados de OD):

Resultados OD

Archivo Formato

OD	1	2	3	4	5
1	2 96428	3 701921	1 533669	3 548225	3 548397
2	4 775224	4 606449	4 845352	4 556134	3 763913
3	4 994141	4 915644	4 995829	4 557164	4 037084
4	4 996791	4 984055	4 995949	4 667893	4 997475
5	4 999734	4 997149	4 996935	4 992116	4 998098
6	4 999952	4 997271	4 997831	4 998561	4 998106

< Anterior Salir

5.7 Resultados.

Los resultados están dados en los formularios 4 y 5. En el formulario número 4 se muestran los resultados obtenidos para la Demanda Bioquímica de Oxígeno, mientras que en el formulario 5 los resultados del Oxígeno Disuelto. En ambos casos los valores están dados en miligramos por litro.

Los formularios de resultados se pueden imprimir accediendo al menú Archivos y de ahí al comando imprimir. También se puede modificar el formato de los números (tamaño, tipo de letra, etc.).

CAPÍTULO VI

CASO ESTUDIO

CASO ESTUDIO

6.1 Región y cuenca hidrológica.

El sistema hidrológico Lerma-Chapala-Santiago ha sido clasificado como un cuerpo receptor de primer orden, ocupando el segundo lugar de las 11 cuencas que se encuentran en esta clasificación. Las aguas de este sistema benefician numerosos núcleos urbanos e industriales establecidos en las márgenes de la cuenca, siendo utilizado a la vez como cuerpo receptor de los efluentes que se producen y que son arrastrados hacia el Lago de Chapala.

La cuenca del sistema Lerma-Chapala-Santiago tiene un área total de 125,555 km² desde sus orígenes en los manantiales de Almoloya del río en el valle de Toluca hasta su desembocadura en el Océano Pacífico en el estado de Nayarit. Abarca una gran parte de la zona media o central poniente del país y esta comprendida entre los meridianos 99° 18' y 105° 29' de longitud oeste y los paralelos 19°04' y 23°25' de latitud Norte.

El lago de Chapala es un lugar de esparcimiento, regulador de la temperatura de la región y abastecedor por excelencia del agua de la zona metropolitana de Guadalajara, el lago de Chapala se muere a causa de la contaminación y las bajas aportaciones del río Lerma.

El lago de Chapala, que significa lugar de chapulines sobre el agua, se encuentra situado entre los estados de Jalisco y Michoacán y cuenta con una extensión de mil 109 kilómetros cuadrados, se alimenta de los ríos Duero, Zula y Lerma y es el más grande de la República Mexicana.

Es el abastecimiento principal de agua de la ciudad de Guadalajara. En esta ciudad se distribuyen según datos del Sistema Intermunicipal de los Servicios de Agua y Alcantarillado (SIAPA), 12 metros cúbicos por segundo, sin embargo el 35 por ciento de esta cantidad se desperdicia en: 28 por ciento en fugas domiciliarias y siete por ciento en tomas clandestinas.

La contaminación en las fuentes de abastecimiento incrementa los costos de potabilización, ya que se requiere de mayores cantidades de insumos químicos para realizar este proceso.

Existen dos problemas mayores en el lago, uno es la cantidad del agua y otro es la calidad de la misma, el mayor aportador de agua al lago, el Río Lerma se encuentra es una de las cuencas más importantes del país, lo que ha dado lugar ha que se tenga que autorizar un gran número de permisos para beneficiar al mayor número de habitantes posible.

De 1947 a 1956 se desato una sequía que bajo el nivel del lago, aunado a esto contribuyó la desviación de aguas del río Lerma hacía el Distrito Federal. Por tal razón el caudal del río Santiago, que emana del Lago de Chapala disminuyó considerablemente y las plantas hidroeléctricas que se alimentan del mismo dejaron de funcionar por falta del líquido lo que genero una severa crisis en Guadalajara y sus alrededores, hasta que el nivel empezó a elevarse en 1957.

Con respecto a la calidad del agua, este es un punto que todavía se puede mejorar. En su cuenca directa, el mismo lago recibe descargas de aguas residuales sin tratar o con tratamiento deficiente. Además el lago se convirtió en depósito de materias contaminantes que arrastra el río Lerma a su paso por las zonas industriales de los estados de México y Guanajuato. Esto sin contar los aportes de las granjas porcícolas que se encuentran en la región cercana a La Piedad, Michoacán.

Sin embargo el concepto de tratamiento de agua en general no ha logrado consolidarse ya que aún se sigue observando como un gasto innecesario y no como una inversión. En el momento que se proyecte la construcción de una planta de aguas residuales en la cuenca del Lerma y se tenga contemplado el uso que va a tener posteriormente esta agua entonces se podrá hablar de un verdadero ciclo de tratamiento.

Adicionalmente la situación económica del país no permite “darse el lujo” de la construcción de este tipo de plantas, ya que no solamente significa la inversión en la construcción de la planta de tratamiento, sino también se encuentran los gastos de operación y mantenimiento de la misma.

En el lago de Chapala existen plantas de tratamiento de aguas residuales cuyo costo de operación lo aporta el Gobierno del Estado; estas se encuentran en San Antonio Tlayacapan, Tuxcueca, Santa Cruz de la Soledad, Chante, Chapaia, San Juan Cosalá, Xocotepec, San Nicolás, San Luis Soyotlán, Ocotlán y La Barca. Aún cuando se está hablando de que todas estas plantas cuentan con sistemas de tipo biológico de nivel secundario, de cualquier manera se está gastando dinero en el tratamiento de agua residual y no está recibiendo otro uso más que el de vertirse hacia el Lago.

Otro de los problemas graves con los que cuenta el Lago de Chapala son las descargas de aguas residuales provenientes directamente de las poblaciones ubicadas alrededor, las cuales a pesar de contar con plantas de tratamiento no todas reciben las descargas completas de aguas residual debido a que aproximadamente el 20 por ciento de las viviendas no están conectadas al sistema de agua y alcantarillado, enviando directamente sus desechos hacia el Lago. Por otra parte el asunto del Lago de Chapala se ha politizado a partir de convertirse en una promesa de campaña por los candidatos a diversos puestos de elección popular, adicional a un sin número de organizaciones, comités y consejos que han nacido “en pro del Lago de Chapala”, donde todos vierten su opinión.

Capacidad de almacenamiento.

Según datos de la Secretaría del Medio Ambiente Recursos Naturales y Pesca (SEMARNAP) y Comisión Nacional del Agua (CNA), el lago tiene una profundidad máxima de siete metros y una media de 4.5 metros. Datos de la Universidad de Guadalajara (U de G) indican que el río Lerma aportaba el 50 por ciento de agua al lago de Chapala, pero ha descendido hasta encontrarse en un 10 por ciento.

Su mayor nivel de capacidad lo alcanzó en 1973 con ocho millones 148 mil metros cúbicos, mientras que en sus momentos críticos entre 1946 y 1957 bajo hasta un millón 576 mil metros cúbicos. Según la CNA, en la actualidad el lago de Chapala se encuentra al 33 por ciento de su capacidad, es decir dos millones 688 mil 840 metros cúbicos.

Para medir el nivel de almacenamiento del lago se han fijado cotas máxima y mínima, con base 100, que corresponde a la altitud del lago, en donde 91 significa cota mínima, con almacenamiento nulo y 98.38 es la cota máxima, en donde se permite almacenar siete millones 830 metros cúbicos, en esta última existen riesgos de inundación; hasta marzo del año 2000 la cota registrada fue de 92.46.

Otra de las fuentes que abastecen el Lago de Chapala es la lluvia. Según registros de la Secretaría de Recursos Hidráulicos y de la CNA, la estación hidrométrica que se encuentra en Chapala ha registrado desde 1981 a la fecha una media anual de 969.4 milímetros, siendo su año más bajo en 1982 con 619.4 milímetros, año en el cual la cota registrada fue de 93.50, mientras que el año de 1992 se registro la mayor cantidad de lluvia con 1,193.6 milímetros y su cota máxima fue 94.

Como se mencionó anteriormente son muchas las opiniones sobre que es lo que se debe hacer para ayudar al Lago de Chapala, sin embargo no son muchas las acciones concretas. Tal vez estas medidas radiquen en la construcción y mejoramiento de la infraestructura para el tratamiento del agua, así como lograr que la mayoría de los domicilios se conecten a la red de alcantarillado.

También hay que recordar que el mayor aporte que tiene el lago de Chapala es el río Lerma, en cuya cuenca vive un tercio de la población del país y que de alguna manera se ve beneficiada por este río, ya que toca los estados de México, Querétaro, Guanajuato, Michoacán y Jalisco. Ahí mucha agua es utilizada y como recompensa recibe aportaciones de contaminantes orgánicos e inorgánicos.

A pesar de los esfuerzos, finalmente la condición del lago no parece mejorar. Se necesita mucha voluntad política y una gran capacidad de negociación para converger a todas las corrientes involucradas en una acción específica común.

6.2 Programa de aforos, muestreos y análisis de muestras

Para la realización de los muestreos en la zona se diseñaron, fabricaron e instalaron 25 boyas de acero para localizar las estaciones de muestreo en el lago. Se instalaron 8 de estas boyas, (números 01 al 08) en el lado oeste del lago (zona Jocotepec); otras ocho (números 10 a 17) se colocaron en la región central (zona Chapala); las nueve restantes (números 20 a 28) fueron instaladas en la región este del lago (zona Ocotlán). El diseño de estas boyas se muestra en la figura 6.1.

El estudio consiste en hacer una serie de "fases" desarrolladas en intervalos de uno a dos meses. Durante cada fase se determinaron propiedades físicas, químicas, biológicas y bacteriológicas del lago en cada una de las 25 estaciones de muestreo y también en puntos apropiados en los ríos Lerma y Santiago. A finales de octubre y a principios de noviembre de noviembre de 1973, se efectuaron las operaciones correspondientes a la cuarta fase de muestreos.

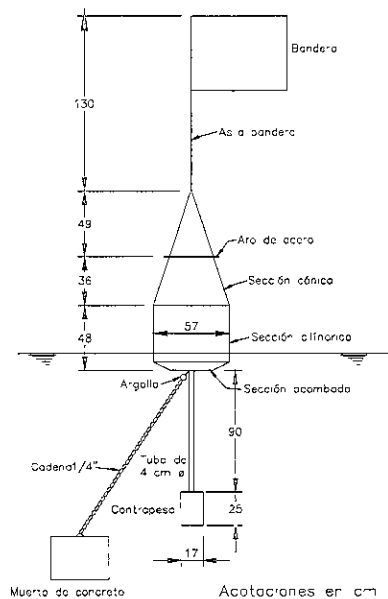


Figura 6.1

Durante la cuarta fase, la descarga del río Lerma fue de 54.9 a 92.4 m³/s con un promedio de 68.9 m³/s. La descarga media del río Santiago fue 172.6 m³/s, variando de 47.7 a 238.7 m³/s. La temperatura del agua estuvo entre 21° y 23°C. Fue imposible obtener mediciones continuas de la velocidad y dirección del viento en todas las estaciones, aunque se realizaron mediciones durante cada período de muestreo en cada boya. Los valores variaron de 0 a 7 m/s, la mayoría de las veces en la dirección este a oeste. Se empleó una velocidad promedio de 3.5 m/s para estimar el coeficiente de reaeración, $K_2 = 0.060 \text{ día}^{-1}$.

Las mediciones de la cuarta fase en la zona Ocotlán se obtuvieron del 23 al 25 de octubre. En la figura 6.2 se muestran los valores de DBO y OD determinados durante este período en las boyas 23 a 27 y en las estaciones del río Lerma. (L-1, L-2) y del Santiago (S-0).

La DBO real del río Lerma (4.8 mg/l) fue considerablemente menor que el valor $L_0 = 10$ utilizado en el ejemplo del capítulo 4.6. también el OD real (4.2 mg/l) fue ligeramente mayor que el valor $C_0 = 3$, seleccionado para el ejemplo. Además, en el cálculo de las celdillas de mezclado se hicieron diversas consideraciones sobre los valores de los distintos coeficientes, particularmente en el muy importante de desoxigenación. Aún así, existe concordancia razonable entre los valores observados y los calculados. Esto es especialmente verdadero para la distribución de oxígeno disuelto.

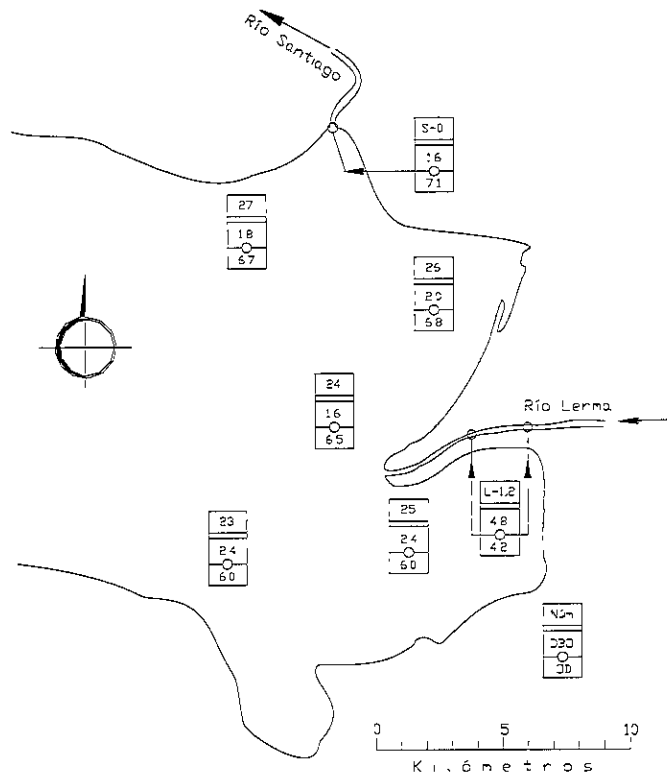


Figura 6.2

6.3 Aplicación del modelo matemático.

En este capítulo se hará el cálculo de la DBO y el OD del Lago de Chapala, primero con ayuda de las ecuaciones obtenidas en el capítulo 4 (Modelo de celdillas de mezclado) y posteriormente utilizando el programa aquí desarrollado con la finalidad de comparar los resultados obtenidos en ambos casos.

El lago de Chapala se encuentra más o menos a 50 km al sur de la ciudad de Guadalajara. Su longitud es de 80 km, su anchura varía de 6 a 25 km y su área superficial es, aproximadamente, 1,130 Km². La profundidad promedio es alrededor de 7 m y su capacidad es de aproximadamente 6,800 millones de m³.

Solo comprende dos ríos de significación: el Lerma, que entra al lago por el lado este y el Santiago, que fluye del lago cercano a la esquina noreste, a menos de 15 km desde la boca del Lerma. La elevación del lago se controla con una presa en Poncitlán, localizada a unos 25 km del lago, sobre el río Santiago. Una presa derivadora en el km 40 sobre el río Santiago desvía aproximadamente a 5 m³/s para el abastecimiento de agua de Guadalajara.

Se diseñó una red de flujo de la región del lago en la cuál se da la aportación del río Lerma y la salida hacia el río Santiago (figura 6.3). Esta consiste en 7 canales de flujo ($j = 1$ a 7) y 14 caídas de potencial ($k = 1$ a 14). Se midieron las áreas de los cuadrados conformados por las líneas de la red de flujo y se usó la profundidad promedio de $D = 7$ m, con estos datos se calculó el volumen de las celdillas de mezclado. Se consideró la

descarga del río Lerma como $Q_0 = 100 \text{ m}^3/\text{s}$ con lo que el flujo a través de cada canal fue de $Q_j = 14.29 \text{ m}^3/\text{s}$. los valores empleados para los diferentes coeficientes fueron:

$$L_0 = 10.0 \text{ mg/l}$$

$$C_0 = 3.0 \text{ mg/l}$$

$$C_s = 7.0 \text{ mg/l}$$

$$K_1 = 0.030 \text{ día}^{-1}$$

$$K_2 = 0.060 \text{ día}^{-1}$$

$$L^* = K_p = K_r = K_b = 0$$

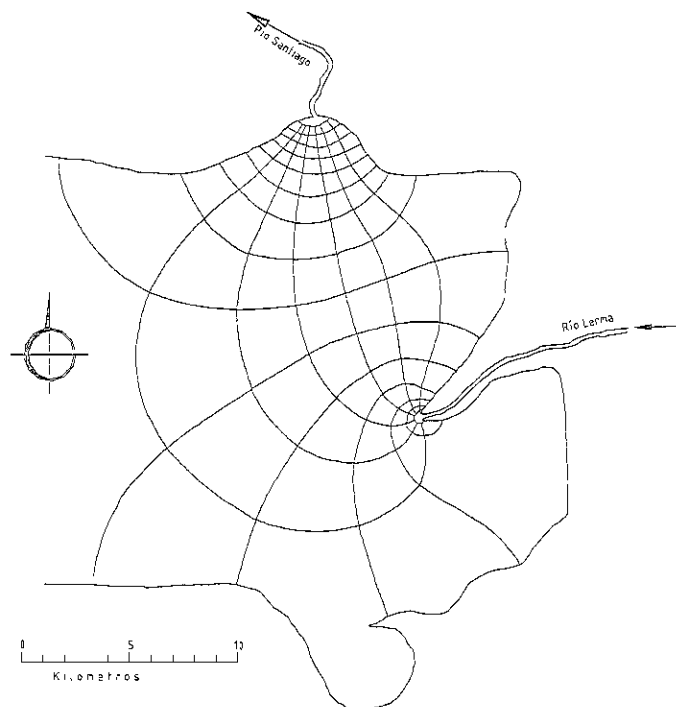


Figura 6.3

El valor $C_s = 7.0 \text{ mg/l}$ corresponde a la temperatura de $25 \text{ }^\circ\text{C}$ y a la presión atmosférica del lago de Chapala ($1,525 \text{ msnm}$; $p = 634 \text{ mm Hg}$).

Se desarrollo una correlación entre el coeficiente de reaereación, K_2 y la velocidad del viento. El valor de $K_2 = 0.60 \text{ día}^{-1}$ corresponde a una velocidad de viento de aproximadamente 3.5 m/s . El valor del coeficiente de desoxigenación, $K_1 = 0.030 \text{ día}^{-1}$ fue seleccionado arbitrariamente.

Estos valores numéricos fueron sustituidos en las ecuaciones 5.6 y 5.7 para calcular los valores de DBO y del OD en cada uno de las celdillas; los resultados se muestran en la tabla 1

Los valores numéricos que aparecen en la tabla 1 fueron dibujados en un mapa de la región este el lago y se trazaron curvas suaves a través de los valores iguales de DBO y OD. Los resultados se muestran en las figuras 6.4 y 6.5. la línea discontinua de la figura 6.5 muestra la localización del valor mínimo de OD que es aproximadamente de 2.55 mg/l.

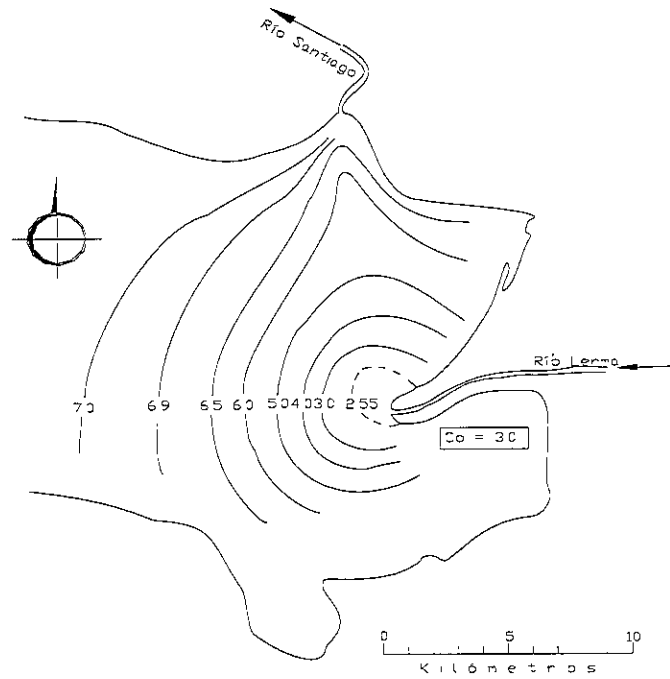


Figura 6.4

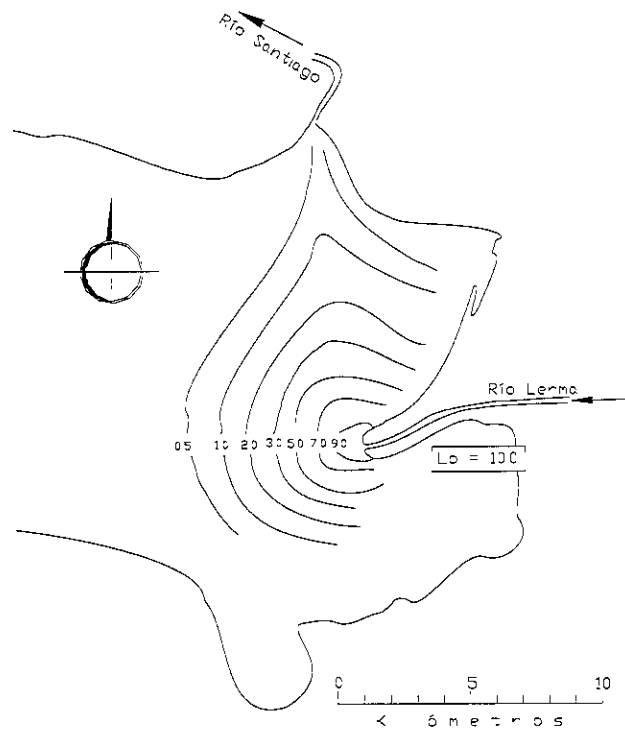


Figura 6.5

Tabla 6.1 Valores de DBO (números superiores) y de OD (números inferiores) para cada celdilla de la red de flujo en la zona Ocotlán del Lago de Chapala obtenidos con las ecuaciones obtenidas en el capítulo 4.

Valor de j:		1	2	3	4	5	6	7
Valor de k:	1	9.27 2.77	9.59 2.85	9.72 2.89	9.76 2.91	9.84 2.94	9.89 2.96	9.96 2.98
	2	0.86 6.19	7.49 2.60	8.49 2.62	9.18 2.73	9.39 2.79	9.55 2.84	9.80 2.92
	3	0.16 6.80	3.70 3.77	6.24 2.70	7.86 2.54	8.38 2.58	8.98 2.68	9.46 2.80
	4	0.03 6.95	1.09 5.73	3.19 3.98	5.45 2.86	6.67 2.57	7.24 2.54	7.71 2.56
	5	0.01 6.99	0.26 6.64	1.30 5.45	2.97 4.06	4.49 3.18	4.73 3.12	4.89 3.11
	6	0.00 7.00	0.05 6.91	0.53 6.27	1.61 5.10	2.67 4.21	2.33 4.53	1.72 5.12
	7		0.02 6.97	0.26 6.61	0.93 5.77	1.64 5.03	1.30 5.40	0.45 6.37
	8		0.01 6.98	0.17 6.73	0.63 6.11	1.15 5.50	0.93 5.77	0.33 6.51
	9		0.00 6.99	0.13 6.78	0.50 6.27	0.96 5.69	0.80 5.91	0.29 6.56
	10		0.00 7.00	0.12 6.80	0.44 6.35	0.86 5.81	0.73 5.98	0.27 6.59
	11			0.11 6.82	0.40 6.40	0.78 5.89	0.67 6.05	0.25 6.62
	12			0.10 6.86	0.37 6.43	0.74 5.94	0.63 6.09	0.24 6.64
	13			0.10 6.83	0.36 6.44	0.71 5.98	0.61 6.12	0.23 6.65
	14			0.10 6.84	0.35 6.45	0.70 5.99	0.60 6.13	0.22 6.65

Para la realización del cálculo utilizando el programa desarrollado se tomaron en primera instancia los mismos datos utilizados para el ejemplo anterior, para posteriormente realizar el cálculo con los datos resultantes de los análisis efectuados a las muestras tomadas; esto con la finalidad de verificar si el uso de la computadora arroja un resultado con mayor aproximación a las mediciones reales, utilizando los parámetros de entrada requeridos en el programa, idénticos a los que en realidad se tienen.

En la figura 6.6 se muestran las áreas obtenidas para cada celda formada por la red de flujo mostrada en la figura 6.3.

Figura 6.6.- Valor de áreas por celdas, en metros cuadrados.

	1	2	3	4	5	6	7
1	492181.29	203034.01	164133.7	109312.96	58161.38	32965.54	47193.56
2	39818128.39	2039706.64	750960.79	411242.13	213152.67	134324.03	110848.03
3	26163576.32	6612747.27	2509697.31	1222036.86	830131.57	420079.26	263195.63
4	39457072.66	12907043.02	5466439.76	2436466.22	1552897.59	1232191.54	1975323.14
5	31263247.45	18209205.61	8497511.37	4683164.74	2869598.6	2939733.36	3109842.29
6	65314341.49	25584653.81	8581053.27	4817611.66	3918911.09	3561086.18	9930087.75
7	24481210.92	11397874.33	5633201.02	4337595.64	3567803.57	4578799.21	17078660.82
8	3553469.29	4569034.71	3222612.21	3090536.18	2322316.07	2982178.81	2241229.87
9	1171927.78	1713241.06	1552262.83	1761126.72	1122487.64	1040710.01	837357.54
10	751421.5	906261.76	895472.96	1122665.73	700304.15	688434.77	672760.33
11	462452.92	422894.34	447221.93	539423.52	436879.22	465853.22	539167.97
12	279948.49	231924.93	292175.73	327262.16	269387.43	360118.63	510177.66
13	213625.62	118600.83	159537.17	230921.31	269387.43	360155.18	509600.76
14	198177.47	85667.19	108883.51	114877.85	122134.46	200320.04	148442.33

En la figura 6.7 y 6.8 se muestran los resultados obtenidos con la ayuda del programa y tomando iguales parámetros a los utilizados en el ejercicio anterior

Figura 6.7 Valores de DBO para cada celdilla de la red de flujo en la zona Ocotlán del Lago de Chapala obtenidos con el programa de computación.

DBO	1	2	3	4	5	6	7
1	9.227312	9.658153	9.728532	9.817412	9.902015	9.91069	9.920345
2	1.186852	7.169943	8.626184	9.175424	9.55548	9.689157	9.736715
3	0.2177134	3.373955	6.044991	7.596077	8.37291	9.042849	9.31636
4	2.822614E-02	1.055684	3.12652	5.370007	6.623046	7.47563	7.54975
5	4.466802E-03	0.2576036	1.278344	2.98867	4.450283	4.983212	4.937365
6	3.677428E-04	4.812372E-02	0.5196563	1.64243	2.670022	2.560539	1.835797
7	7.119615E-05	1.637295E-02	0.2653448	0.945015	1.661471	1.439288	0.4700249
8	4.43705E-05	9.211893E-03	0.1713791	0.6256273	1.19092	1.024165	0.3402733
9	3.69942E-05	7.13277E-03	0.135574	0.4813865	0.9999576	0.8701173	0.2978311
10	3.280076E-05	6.17989E-03	0.1176495	0.4041838	0.8934982	0.7788867	0.2672418
11	3.031258E-05	5.765087E-03	0.1093305	0.369057	0.8316793	0.721686	0.2447867
12	2.897678E-05	5.546236E-03	0.104153	0.3495918	0.7952313	0.680021	0.225236
13	2.796053E-05	5.436534E-03	0.1014003	0.336376	0.7603806	0.6407577	0.207259
14	2.704851E-05	5.358433E-03	9.955603E-02	0.3299275	0.7449017	0.619639	0.2021534

Figura 6.8 Valores de DBO para cada celdilla de la red de flujo en la zona Ocotlán del Lago de Chapala obtenidos con el programa de computación.

DB	1	2	3	4	5	6	7
1	2.911969	2.94519	2.954288	2.967411	2.981544	2.989087	2.984824
2	6.166882	3.137685	2.899849	2.899265	2.930196	2.946894	2.953813
3	6.817956	4.645723	3.396254	2.988168	2.904503	2.888323	2.903158
4	6.974247	6.133055	4.725004	3.589587	3.175545	2.99877	3.0058
5	6.995746	6.768624	5.940471	4.766887	3.965678	3.753705	3.790131
6	6.999641	6.954578	6.536163	5.648838	4.93677	5.039989	5.5587
7	6.99993	6.984181	6.753793	6.170603	5.612594	5.795471	6.587892
8	6.999956	6.991005	6.897749	6.481581	5.962169	6.105473	6.692585
9	6.999963	6.993004	6.870399	6.554385	6.110821	6.225633	6.727739
10	6.999968	6.993925	6.886929	6.6217	6.195962	6.29869	6.753563
11	6.99997	6.994327	6.894643	6.652687	6.246203	6.345276	6.772795
12	6.999971	6.994539	6.899461	6.669973	6.276111	6.379632	6.789745
13	6.999972	6.994645	6.902028	6.681764	6.304971	6.412363	6.805507
14	6.999973	6.994721	6.908749	6.68753	6.317842	6.43011	6.809999

En las figuras 6.9 y 6.10 se muestran los resultados obtenidos con la ayuda del programa y tomando los parámetros obtenidos en las mediciones realizadas en campo.

Figura 6.9 Valores de DBO para cada celdilla de la red de flujo en la zona Ocotlán del Lago de Chapala obtenidos con el programa de computación y parámetros medidos en campo.

DBO	1	2	3	4	5	6	7
1	4.48871E-01	4.66830E-01	4.691501	4.72719	4.760984	4.764443	4.768293
2	0.679083E-01	3.622273	4.242586	4.468277	4.622164	4.675905	4.694964
3	0.144891E-01	1.875127	3.13425	3.811914	4.188198	4.414605	4.525849
4	2.208856E-02	0.6652631	1.767717	2.837718	3.395239	3.761535	3.791174
5	4.086655E-03	0.1865724	0.80449	1.709607	2.417691	2.659807	2.636088
6	3.994351E-04	4.051586E-02	0.3641733	1.018844	1.557608	1.491285	1.098751
7	8.977186E-05	1.554726E-02	0.2030259	0.6320508	1.036533	0.9064677	0.3225537
8	5.982039E-05	9.458203E-03	0.1396258	0.4442362	0.7809814	0.6786699	0.2451402
9	5.134259E-05	7.618994E-03	0.1143679	0.3559169	0.6743332	0.5918762	0.2192641
10	4.642687E-05	6.756261E-03	0.101732	0.3073056	0.61377	0.5395417	0.200279
11	4.347173E-05	6.376318E-03	9.570142E-02	0.2848525	0.578179	0.5063079	0.1861382
12	4.187313E-05	6.174542E-03	9.191736E-02	0.2722964	0.5570355	0.4818578	0.173655
13	4.064957E-05	6.073055E-03	8.989632E-02	0.2637158	0.5366652	0.4585861	0.162017
14	3.954532E-05	6.000624E-03	8.853798E-02	0.2595152	0.527586	0.4459977	0.1586977

Figura 6.10 Valores de OD para cada celdilla de la red de flujo en la zona Ocotlán del Lago de Chapala obtenidos con el programa de computación y parámetros medidos en campo.

OD	1	2	3	4	5	6	7
1	4.26768	4.225936	4.220082	4.219041	4.206765	4.206144	4.205458
2	6.464687	4.577402	4.335118	4.270454	4.234085	4.222779	4.219
3	6.872273	5.543828	4.789875	4.481424	4.366196	4.283104	4.255025
4	6.979328	6.425083	5.59524	4.929111	4.651172	4.498608	4.492273
5	6.996058	6.828163	6.302431	5.620961	5.160864	5.029388	5.04792
6	6.999608	6.961279	6.667107	6.121868	5.717323	5.777184	6.08133
7	6.999911	6.984879	6.809063	6.431041	6.100561	6.210751	6.708426
8	6.999941	6.990728	6.86671	6.58995	6.301883	6.391466	6.773648
9	6.999949	6.992507	6.88984	6.66693	6.388619	6.462353	6.796098
10	6.999954	6.993344	6.901787	6.710051	6.438807	6.505878	6.81264
11	6.999957	6.993713	6.907424	6.73014	6.468634	6.533841	6.825072
12	6.999958	6.993909	6.91097	6.74143	6.486475	6.554592	6.836146
13	6.999959	6.994008	6.912867	6.749172	6.503775	6.574505	6.846553
14	6.99996	6.994079	6.914143	6.752969	6.511508	6.585326	6.849528

Como se observa en los tres casos se tienen resultados bastante parecidos entre sí y a las mediciones realizadas en el campo. En los dos primeros ejercicios en los cuales se consideró idénticos datos iniciales los resultados son casi iguales, aun así se observó que el empleo del programa nos da una mejor aproximación a los datos obtenidos por medio de los muestreos, en el tercer ejemplo en el que se tomó los datos de entrada iguales a los medidos en campo, los resultados obtenidos para el oxígeno disuelto llegan a un valor mínimo de 4.20 mg/l mayor que el medido en campo de 2.55 mg/l.

Por lo tanto es necesario aunque no indispensable tener muestreos de la zona de estudio para poder “calibrar” los datos de entrada.

6.4 Evaluación de las características de la calidad del agua.

Como se vio en el Capítulo 2, el índice de calidad del agua varía de 0 a 100. el valor cero corresponde al caso de mayor contaminación y el máximo a la calidad óptima. El índice de calidad se puede conocer aplicando la siguiente fórmula:

$$I = \frac{\sum_{i=1}^n (I_i * W_i)}{\sum_{i=1}^n W_i}$$

Donde:

- I = Índice de calidad general
- I_i = Índice de calidad del parámetro considerado
- W_i = Valor de importancia relativa del parámetro considerado

En este caso se valuó el índice de calidad considerando solo los datos de la Demanda Bioquímica de Oxígeno y el Oxígeno Disuelto.

La importancia relativa de estos parámetros es:

Parámetro	Importancia relativa
DBO	5.0
Oxígeno disuelto	5.0

Los índices de calidad de cada uno de estos parámetros están dados por:

Oxígeno disuelto:

$$I_{OD} = \frac{OD}{OD_{SAT}} 100$$

Donde:

OD = Oxígeno disuelto de campo en mg/l

OD_{SAT} = Oxígeno disuelto a la saturación mg/l

Demanda Bioquímica de Oxígeno

$$I_{DBO} = 120(DBO)^{-0.673}$$

Donde:

DBO = Demanda Bioquímica de Oxígeno en mg/l

Sustituyendo valores, se tiene:

$$I_{OD} = \frac{4.2 \text{ mg/l}}{7 \text{ mg/l}} 100$$

$$I_{OD} = 60$$

$$I_{DBO} = 120(4.8)^{-0.673}$$

$$I_{OD} = 41.75$$

Finalmente sustituyendo en la ecuación general

$$I = \frac{60 * 5 + 495.24 * 5}{5 + 5}$$

$$I = 50.88$$

De acuerdo a este resultado se puede decir que:

Esta agua para fines de abastecimiento público requiere una mayor necesidad de tratamiento e incluso se puede considerar dudoso su uso para estos fines. Para

recreación se puede considerar que no es recomendable en general y su uso es dudoso en actividades que requieran contacto directo. Para pesca y vida acuática es apta solo para organismos muy resistentes y dudoso para especies sensibles. Para uso industrial y agrícola requerirá de tratamiento en la mayor parte de la industria. En cuanto a la navegación y transporte de desechos tratados es aceptable su uso.

CAPÍTULO VII

CONCLUSIONES

CONCLUSIONES

Las leyes son importantes en el control de la contaminación del agua, pues nos permiten controlar la descarga de contaminantes que degradan el medio ambiente. Pero también es importante establecer estrategias adecuadas que permitan el cumplimiento de dichas leyes.

Para ayudar al cumplimiento de estas leyes es de utilidad contar con métodos que nos permitan cuantificar y predecir los efectos de los contaminantes vertidos en el agua, para poder así alcanzar los parámetros que nos indican las normas.

La realización de un modelo matemático es de gran ayuda para cuantificar los efectos que tengan los contaminantes en la calidad del cuerpo receptor. Además con la ayuda de un modelo se puede ayudar a controlar el nivel de contaminación en el embalse, pues se puede predecir el comportamiento que tendrá el mismo al recibir la aportación de algún contaminante y con estos datos se pueden llevar a cabo medidas de control y mitigación de los efectos de la carga vertida en el influente del embalse.

La investigación a fondo del modelo es importante para que los resultados a los que se llegan sean lo más apegados a la realidad; y así cumpla con uno de sus principales objetivos, que es el de determinar de manera confiable los efectos que se tengan.

Para llegar a estos resultados es importante el poder calibrar el modelo, es decir tener información real tomada de muestreos realizados en el sitio para poder así comparar y si es el caso adecuar alguno o algunos de los datos de entrada para que los resultados a los que lleguemos sean verídicos.

Con estos modelos de predicción se ayuda en el control de la contaminación del medio ambiente en general, pues proporcionan información en forma precisa, y con la ayuda de la computadora, en un tiempo corto.

Cabe señalar que los datos que se tomaron para el presente estudio datan de 1973; pues el principal objetivo es el de obtener un modelo llevado a un lenguaje de programación de computadora, lo más preciso posible. Así pues los datos obtenidos en ese año sirvieron para poder calibrar el modelo de celdillas de mezclado.

BIBLIOGRAFIA

Leyes y reglamentos

Ley de Aguas Nacionales

Diario Oficial de la Federación del día 27 de noviembre de 1992

Ley General del Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente

Diario Oficial de la Federación del día 23 de diciembre de 1987

Ley General de Derechos

Diario Oficial de la Federación del día 29 de diciembre de 1998

Reglamento de la Ley de Aguas Nacionales

Libros

B. Banks Robert

Modelo de Celdillas de Mezclado para Calcular OD y DBO en Ríos y Lagos
UNAM 1974

C. Ralange Ralph

Control de la Contaminación del Agua
Documento Técnico del Banco Mundial No. 735 1989

Fair, y Geyer

Abastecimiento de Agua y Remoción de Aguas Residuales
LIMUSA 1990

J. Jeffrey, P. Aarne

Environmental Pollution and Control
Butterworth-Heinemann 1990

K. Biswas Asit

Models for Water Quality Management
McGraw Hill 1981

Leithold Louis

El Cálculo con Geometría Analítica
HARLA 1987

Linvil G. Rich

Environmental Systems Engineering
McGraw Hill 1973

M. Masters Gilbert

Introduction to Environmental Engineering and Science
Prentice Hall 1991

Mackenzie L. Davis, David A. Cornwell
Introduction to Environmental Engineering
McGraw Hill 1991

Mancilla León, Javier Rosas
Introducción a los Métodos Numéricos
Teoría y Practica en Lenguajes de Programación

Murguía Vaca Ernesto
Evaluación, Efectos y Solución de la Contaminación del Agua
Editado por el autor

Metcalf - Eddy
Ingeniería Sanitaria Tratamiento, Evacuación y Reutilización de Aguas Residuales
Labor 1985

Nelson Nemerow
Stream, Lake Estuary and Ocean Pollution
Van Nostrand Reinhold 1991

Ottensmann John
Quick Basic Manual de Bolsillo
Addison Wesley 1988

Streeter
Mecánica de Fluidos
McGraw Hill 1992

Tebbutt
Fundamentos de Control de la Calidad del Agua
Editorial LIMUSA

Turk Wittes
Ecología, Contaminación y Medio Ambiente
Interamericana 1973

Turk Wittes
Tratado de Ecología
Interamericana 1978

Warren Viessman
Water Supply and Pollution Control
Garper Collins College Publisher 1993

Artículos

Oivera Viascan Victor
Estudio de Eutroficación en la Presa Valle de Bravo
Revista Ingeniería Hidráulica en México Vol. VII núms. 2/3