



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES
A R A G O N

“MODELO DE SIMULACION EXPERIMENTAL
PARA TRATAMIENTO AVANZADO DE AGUAS
RESIDUALES”

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:

INGENIERO CIVIL

P R E S E N T A

ISAAC LOPEZ POZOS

MEXICO, D. F.

1988

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN



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 está 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.

CONTENIDO GENERAL

- APROBACION, iii
- DEDICATORIAS, iv
- AGRADECIMIENTOS, v
- CONTENIDO GENERAL, vi
- CUADROS Y FIGURAS, viii
- PROLOGO, x
- RESUMEN, xi

- 1 MARCO DE REFERENCIA, 1
 - 1.1 GEOHIDROLOGIA DEL VALLE DE MEXICO, 1
 - 1.2 BALANCE HIDROLOGICO, 2
 - 1.3 CRECIMIENTO DEMOGRAFICO, 4
 - 1.4 USOS DEL AGUA EN EL VALLE, 6

- 2 CARACTERIZACION FISICO QUIMICA Y BIOLOGICA DE LAS AGUAS RESIDUALES EN EL INFLUENTE DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE CERRO DE LA ESTRELLA, 9
 - 2.1 IDENTIFICACION DE LAS ZONAS DE APORTACION, 9
 - 2.2 SELECCION DE PARAMETROS FISICO QUIMICOS Y BIOLOGICOS (FQB), 10
 - 2.3 SELECCION DE TECNICAS ANALITICAS Y DE CONTROL DE CALIDAD, 10
 - 2.4 TECNICAS DE MUESTREO, 10
 - 2.5 SELECCION DE LAS ESTACIONES DE MONITOREO, 13
 - 2.6 FRECUENCIA DE MUESTREO, 13
 - 2.7 PROCESAMIENTO DE INFORMACION, 13
 - 2.8 ESTRUCTURACION DE LOS INDICES DE CALIDAD DE AGUAS RESIDUALES, 14
 - 2.9 INTERPRETACION DE RESULTADOS, 19

- 3 CRITERIOS PARA SANCIONAR LA CALIDAD FISICO QUIMICA Y BIOLOGICA - DE LAS AGUAS RENOVADAS, 30
 - 3.1 USOS AGRICOLAS, RECREATIVOS Y MUNICIPALES NO POTABLES, 31
 - 3.1.1 IRRIGACION DE FORRAJES, CULTIVOS INDUSTRIALES Y AREAS VERDES, 31
 - 3.1.2 ABBEADEROS, 32
 - 3.1.3 CULTIVOS PARA CONSUMIRSE CRUDOS, 32
 - 3.1.4 NAVEGACION DEPORTIVA Y LLENADO DE LAGOS DE RECREO, 32
 - 3.1.5 USOS MUNICIPALES NO POTABLES, 32

- 3.1.6 IRRIGACION DE HUERTAS Y VIÑAS, 32
- 3.2 USO EN ACUACULTURA Y PESCA Y CON FINES RECREATIVOS, 33
 - 3.2.1 ACUACULTURA Y PESCA, 33
 - 3.2.2 NATACION, 33
- 3.3 USO CON FINES INDUSTRIALES Y POTABLE, 33
 - 3.3.1 INDUSTRIAL, 33
 - 3.3.2 POTABLE, 34
- 3.4 EFECTOS DE LOS CONTAMINANTES BIOLÓGICOS, 35
- 3.5 CRITERIOS DE CALIDAD FQB DE LAS AGUAS RENOVADAS, 36
- 3.6 INDICE DE CALIDAD DE LAS AGUAS RENOVADAS, 40

- 4 DISPOSITIVOS EXPERIMENTALES DE TRATAMIENTO AVANZADO DE AGUAS RESIDUALES, 42
 - 4.1 DESCRIPCION DE LOS PROCESOS AMBIENTALES, 42
 - 4.2 RELACION ENTRE LOS PROCESOS AMBIENTALES Y LOS CONTAMINANTES DE LAS AGUAS RESIDUALES, 45
 - 4.3 RELACION ENTRE LOS PROCESOS AMBIENTALES Y OPERACIONES Y PROCESOS UNITARIOS, 47
 - 4.4 EFICIENCIAS DE REMOCION POR OPERACION Y PROCESO UNITARIO, 49
 - 4.5 INTEGRACION DE LOS DISPOSITIVOS EXPERIMENTALES DE TRATAMIENTO AVANZADO DE AGUAS RESIDUALES (PLANTA PILOTO), 51
 - 4.5.1 TANQUE DE IGUALACION, 58
 - 4.5.2 ESPUMACION, 58
 - 4.5.3 TRATAMIENTO FISICO-QUIMICO, 60
 - 4.5.4 REMOCION DE AMONIACO (DESORCION), 64
 - 4.5.5 RECARBONATAACION, 64
 - 4.5.6 FILTRACION, 67
 - 4.5.7 OZONACION, 68
 - 4.5.8 ADSORCION CON CARBON ACTIVADO, 70
 - 4.5.9 OSMOSIS INVERSA, 72
 - 4.5.10 DESINFECCION, 75
 - 4.6 MODELO DE SIMULACION, 77

- 5 DISEÑO EXPERIMENTAL PARA LA POTABILIZACION DEL AGUA RESIDUAL, 82
 - 5.1 EVALUACION DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE CERRO DE LA ESTRELLA, 82
 - 5.2 SIMULACION DE TRATAMIENTO AVANZADO DE AGUAS RESIDUALES, 87
 - 5.2.1 PROGRAMA DE PRUEBAS, 87
 - 5.3 PRUEBAS DE TRATABILIDAD EN LOS DETAAAR, 99
 - 5.3.1 PARAMETROS DE OPERACION Y CONTROL DE LOS PROCESOS EN CAMPO, 104
 - 5.3.2 PROGRAMA DE ANALISIS FISICOS QUIMICOS Y BIOLÓGICOS, 104
 - 5.3.3 DESARROLLO DEL EXPERIMENTO, 106

- CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES GENERALES, 115

- REFERENCIAS, 118

CUADROS Y FIGURAS

Cuadros

- 2.1 Grupo de contaminantes seleccionados para analizar en el agua residual, 12
- 2.2 Análisis probabilístico de las concentraciones esperadas en el estiaje '85-'86, 16
- 2.3 Análisis probabilístico de las concentraciones esperadas en las lluvias de '86, 17
- 2.4 Análisis probabilístico de las concentraciones esperadas en el estiaje de '86-'87, 18
- 3.1 Criterios de calidad de agua renovada para doce usos potenciales, 37-39
- 4.1 Relación entre los procesos ambientales y las propiedades físicas y químicas de los contaminantes, 43
- 4.2 Relación entre procesos ambientales y operaciones y procesos unitarios, 48
- 4.3 Eficiencias teóricas de remoción por operación o proceso unitario, 52-54
- 4.4 Niveles de tratamiento para las aguas residuales, 57
- 5.1 Resultados de la simulación con tratamiento secundario y desinfección para agua con destino al llenado de lagos de recreo, 84 - 85
- 5.2 Resultados probabilísticos del muestreo realizado al agua tratada por la planta de Cerro de la Estrella, 86
- 5.3 Resultados de la simulación con los procesos 1,2,6 y 10 para agua con destino al llenado de lagos recreativos, 88-89
- 5.4 Resultados de la simulación con los procesos 1,2,6,8 y 10 para agua con destino al llenado de lagos recreativos, 90-91
- 5.5 Resultados de la simulación con los procesos 2,3,4,5,6,8 y 7 para aguas con destino a la producción de vapor, 94-95
- 5.6 Resultados de la simulación con los procesos 3,4,5,6 y 8 para agua con destino a la acuicultura y pesca, 97-98
- 5.7 Resultados de la simulación en el que se incluyen todos los procesos de la planta piloto, para agua con uso potable, 100-101
- 5.8 Parámetros de operación y control en campo de los dispositivos experimentales de tratamiento avanzado de aguas residuales, 105
- 5.9 Programa de análisis fisicoquímicos y biológicos por cada proceso de tratamiento, 107-108
- 5.10 Parámetros que se detectaron en cada uno de los procesos y su comportamiento a través de ellos, 111
- 5.11 Comportamiento de los contaminantes a través de los procesos de tratamiento, 112

Figuras

- 1.1 Balance hidrológico del Valle de México, 3
- 1.2 Incremento territorial y demográfico en el D.F. durante los últimos 80 años, 5
- 2.1 Croquis de localización y colector de alimentación, 11
- 2.2 Procedimiento gráfico para el cálculo de la probabilidad, 15
- 2.3 Comportamiento de los contaminantes en los periodos de estiaje y lluvia durante 1986, 21

- 2.4 Comportamiento de los contaminantes en los periodos de estiaje y lluvias durante 1986, 22
- 2.5 Comportamiento de los contaminantes en los periodos de estiaje y lluvias durante 1986, 23
- 4.1 Isométrico del tanque de igualación y línea hidráulica de alimentación, 59
- 4.2 Isométrico de la unidad de espumación, línea hidráulica y de aire, 61
- 4.3 Isométrico de la unidad de tratamiento fisicoquímico y línea hidráulica, 63
- 4.4 Isométrico de la unidad de desorción y línea hidráulica correspondiente, 65
- 4.5 Isométrico de la unidad de recarbonatación y línea hidráulica correspondiente, 66
- 4.6 Isométrico de la unidad de filtración y línea hidráulica correspondiente, 69
- 4.7 Isométrico de la unidad de ozonación y línea hidráulica de alimentación, 71
- 4.8 Isométrico de la unidad de adsorción con carbón activado y línea hidráulica correspondiente, 73
- 4.9 Isométrico de la unidad de ósmosis inversa y línea hidráulica, 76
- 4.10 Isométrico de la unidad de desinfección y línea hidráulica correspondiente, 78
- 5.1 Simulación para tres trenes de tratamiento de aguas residuales - con destino al riego de áreas verdes y llenado de lagos recreativos, 92
- 5.2 Resumen esquemático de las simulaciones realizadas con el modelo para obtener agua renovada para la producción de vapor, acuicultura y pesca, 102
- 5.3 Resumen esquemático de las simulaciones realizadas con el modelo para obtener agua potable, 103

PROLOGO

El ritmo de vida actual exige dinámica de cambio y actualización de los medios para no correr el riesgo de caer en lo obsoleto. Por lo tanto, la ingeniería civil tampoco está exenta de este proceso de transformación y dentro de sus especialidades; específicamente la sanitaria, no sólo se requiere del conocimiento en el tendido de líneas de conducción para el suministro y desalojo de las aguas de una población (como el D.F.); sino que debido al deterioro ecológico, la calidad del agua se ha visto afectada; siendo necesario depurarla para garantizar la calidad física, química y biológica (FQB), lo cual implica diseño y construcción de sistemas de tratamiento; pero es necesario comprender los complicados mecanismos que se ejercen entre los procesos ambientales, los procesos y operaciones unitarias y la composición de las aguas residuales, para proyectarlos correctamente a las bases de diseño de la ingeniería básica y construir instalaciones más eficientes; por lo que el ingeniero civil actual, aparte de adquirir conocimiento de los métodos constructivos y sanitarios, debe involucrarse al campo de la bioquímica para convertirse en un profesional más integral en el área ambiental.

Por lo anterior, el presente trabajo pretende servir como apoyo a los alumnos de octavo y noveno semestre con inquietudes hacia la ingeniería sanitaria; porque, además de incluir conceptos básicos de las características FQB del agua, también describe los procesos que actualmente se utilizan para su remoción.

I. L. P.

RESUMEN

Capítulo 1. El crecimiento demográfico y la ubicación geográfica del Distrito Federal, ha provocado un desequilibrio entre la infraestructura de bienes y servicios; y la demanda requerida cada vez es más difícil de satisfacerla plenamente. Entre las prioridades se encuentra el suministro de agua potable a la población, cuyas necesidades tienden a aumentar desproporcionadamente con respecto al tiempo. Para cubrir las necesidades, son sobreexplotados los mantos acuíferos del Valle de México e importadas de fuentes externas superficiales. Pero de la diversidad de actividades que se desarrollan en la capital de la república, sólo un pequeño porcentaje se utiliza para consumo humano, el restante podría sustituirse por aguas residuales previo tratamiento; siendo la base para la implantación de tecnologías de tratamiento avanzado, con el propósito de sustituir aguas de primer uso por renovadas.

Capítulo 2. El agua residual forma una mezcla compleja de contaminantes con repercusiones directas al ecosistema en general; para su caracterización, se identificaron y cuantificaron los parámetros con un programa de monitoreo; además, la información obtenida se procesó estadísticamente, los resultados fueron los siguientes: El Índice de Calidad de aguas residuales fue de 2.48 clasificándola dentro de las domésticas con baja influencia industrial, altas concentraciones de nutrientes y pequeñas cantidades de materia orgánica.

Capítulo 3. Con revisión bibliográfica, se establecieron los criterios máximos permisibles para los contaminantes involucrados en usos potenciales; agrupándolos en tres esquemas conceptuales que comparten ele-

mentos bióticos comunes; señalando los efectos que pueden ocasionar al hacer uso del recurso; además, se estableció un índice de calidad para las aguas renovadas (ICAREN).

Capítulo 4. La descripción de los procesos ambientales y la relación -- que guardan con los contaminantes y las operaciones y procesos unitarios, permiten predecir cuantitativamente el comportamiento y desarrollo de cada uno de ellos; siendo el principio para la formación de un sistema de tratamiento de aguas residuales, capaz de convertir un agua de desecho en renovada, que pueda destinarse con fines potables; para ello, la planta piloto está integrada con nueve unidades como son: El tanque de igualación, la unidad de espumación, el tratamiento físico-químico, desorción, recarbonatación, filtración, ozonación, adsorción, ósmosis inversa y desinfección; que apoyado con un modelo de simulación facilita la tarea en la programación y formulación de corridas experimentales.

Capítulo 5. Se establecieron los diseños experimentales para tratar con niveles avanzados, las aguas residuales para usos industriales, acuacultura y potable. Se realizó una evaluación de las eficiencias de remoción -- del agua tratada, en la planta de Cerro de la Estrella (1odos activados) y se sugirieron algunas políticas de operación para mejorarla. La primera simulación con el modelo se realizó para agua con destino a la producción de vapor, involucrando siete procesos y operaciones unitarias; la segunda para acuacultura y pesca y la última se desarrolló para agua potable. Los resultados en corridas reales en los DETAAR fueron: De 112 parámetros analizados, solo el 8% no cumplió con los requerimientos necesarios y la eficiencia global del tren estuvo por arriba del 88%.

CAPITULO 1

MARCO DE REFERENCIA

1.1 GEOHIDROLOGIA DEL VALLE DE MEXICO

El Valle de México es una cuenca cerrada, que se sitúa en el Sur de la Mesa Central, con una extensión aproximada de 9600 km². Está completamente rodeado por montañas, en donde las altitudes de la planicie central oscilan entre los 2240 y 2390 metros sobre el nivel del mar y no tiene salidas naturales para los escurrimientos que se generan por efecto de la lluvia dentro de la misma.

Dentro del Valle existieron varios lagos como el de Texcoco, Zumpango y Chalco. Hacia el noreste se ubica un área con numerosas elevaciones volcánicas y depresiones que ocupan algunas lagunas someras -- como las de Apan, Tochac y Tecocomulco, las cuales desaparecen en el estiaje.

El clima se clasifica como subtropical de altura, templado, semiseco y sin estación invernal bien definida. Las lluvias ocurren de mayo a octubre y la época de secas abarca el resto del año; la precipitación media anual equivale a una lámina de 700 milímetros, (DDF, 1982 p.1.3).

La distribución de las lluvias en el Valle de México es muy desfavorable para su aprovechamiento y control, ya que casi la totalidad de la precipitación de un año se concentra en un número reducido de -- tormentas, pues en una sola de ellas, es posible que se precipite --

entre el 7% y el 10% de la lluvia media anual.

Por lo tanto, las características espaciales y temporales del agua superficial, han impedido que este recurso se aproveche integralmente para satisfacer las necesidades de las poblaciones dentro del -- Valle de México. Por ello manantiales y acuíferos, han jugado un -- papel importante en la tarea de satisfacer la demanda.

1.2 BALANCE HIDROLOGICO

En la época prehispánica, el funcionamiento hidrológico de la cuenca, produjo una serie de lagos y lagunas. Extensos bosques cubrían las laderas montañosas y mantenían fijo el suelo de estas áreas, por lo que los escurrimientos contenían poco azolve. Los depósitos subterráneos llenos a su capacidad, mantenían el flujo de numerosos manantiales. El suelo era estable, la evaporación y transpiración de los -- lagos; así como la vegetación, propiciaban un clima confortable y -- menos variable que el actual. El volumen de lluvia que no se perdía por evapotranspiración, se depositaba en los lagos y lagunas, para -- posteriormente evaporarse en estiaje. Con el transcurso del tiempo se modificó este ciclo, por lo que las zonas de recarga disminuyeron debido a la creciente urbanización. De este modo, el balance hidrológico actual tiene el siguiente comportamiento, (Fig. No. 1.1).

El volumen de lluvia media anual, equivale a un caudal aproximado de 213 m³/seg. Del total se evapotranspiran 171 m³/seg que no pueden -- ser aprovechados; y de los 42 m³/seg restantes, 23 recargan el acuífero y 19 escurren superficialmente; de éstos últimos son regulados 3 m³/seg para su aprovechamiento y se desalojan 16 m³/seg a través -- del drenaje, (DDF, 1982, pp. 1.9 - 1.13).

Por lo que respecta al abastecimiento de agua, para satisfacer la demanda de 60 m³/seg se importan 11 m³/seg de agua superficial de acuíferos sobreexplotados de la cuenca del río Lerma y 4 m³/seg del río Cutzamala. De los acuíferos del Valle de México, también sobreexplo

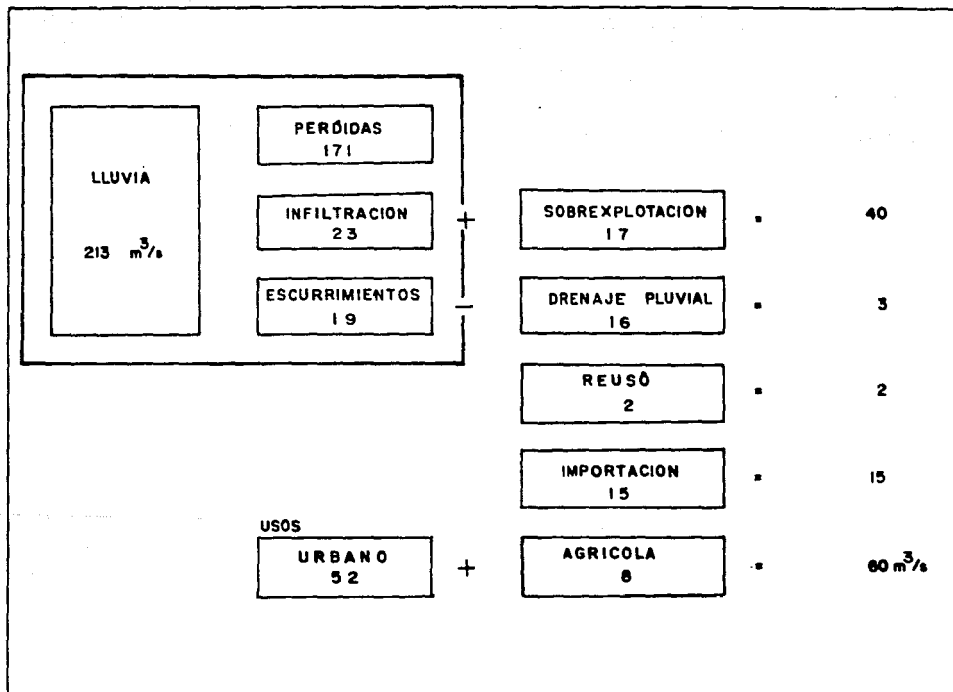


Figura 1.1 Balance hidrológico del Valle de México

tados, se extraen 40 m³/seg; de ellos, 23 m³/seg provienen del caudal renovado por el proceso de infiltración y 17 m³/seg, del volumen almacenado en el subsuelo durante los milenios en que no se explotaron -- esos acuíferos. Para completar el abastecimiento, se emplean 2 m³/seg de aguas residuales tratadas así como los 3 m³/seg de aguas superficiales reguladas. De los 60 m³/seg, se destinan 52 m³/seg al uso -- urbano y 8 m³/seg al agrícola.

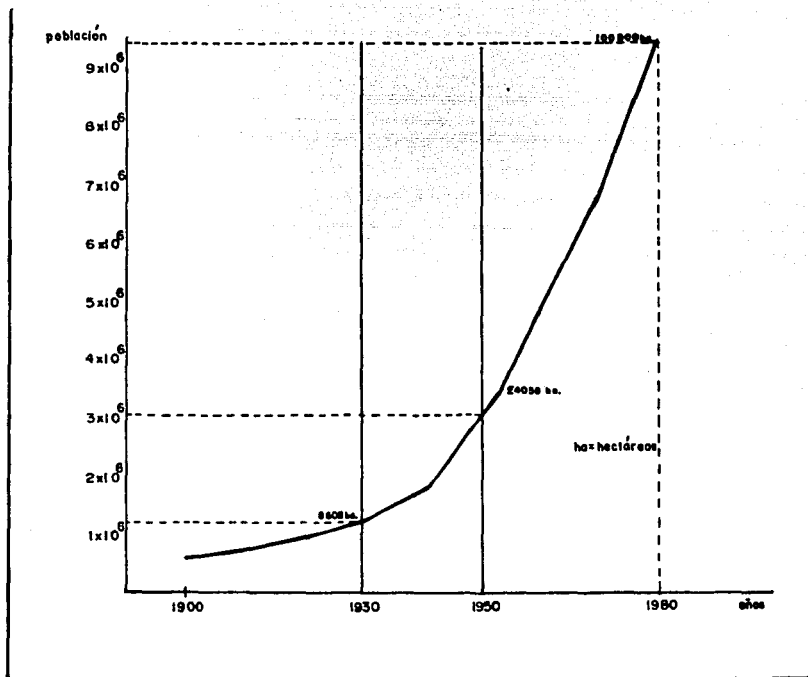
La producción de aguas residuales es de 40 m³/seg. De este volumen, el 5% se trata y reusa para el riego de parques y llenado de lagos; -- el 20%, se utiliza para regar 18,000has. en el Valle de México y el -- resto para regar la zona agrícola del Valle de Tula que tiene una -- extensión de 56,000has. Las aguas residuales desalojadas tienen un -- caudal constante a lo largo del año y se conducen a través de tuberías y cauces abiertos existentes.

1.3 CRECIMIENTO DEMOGRAFICO

La población del Distrito Federal sigue creciendo rápidamente a causa de una alta concentración de la actividad económica; como consecuencia, el área urbana también se ha incrementado, formando hoy en día, una zona metropolitana que incluye 11 municipios del Estado de México. La dinámica de crecimiento de la ciudad durante este siglo, puede dividirse en tres periodos; figura No.1.2, (DDF, 1982, pp. 1.18 - 1.20).

El primero abarca hasta 1930, cuando la ciudad circunscrita dentro de los límites de las delegaciones centrales, registró tasas de crecimiento demográfico mayores de las que se observaron en las delegaciones que la rodeaban. En la ciudad central residía el 98% de la población, mientras el 2% restante se distribuía en las delegaciones de -- Coyoacán y Azcapotzalco.

En el segundo periodo de 1930 a 1950, las delegaciones periféricas -- crecieron con mayor rapidez que la ciudad central, principalmente en la segunda década. En ese decenio se inició la desconcentración de



FIGURAL 2 Incremento territorial y demográfico en el D.F. durante los últimos 80 años

comercios y servicios del centro a la periferia inmediata, lo que -- aceleró el crecimiento demográfico.

Durante el tercer periodo de 1950 a la fecha, se rebasaron los límites del Distrito Federal. De 1950 a 1960 el ritmo de urbanización fue mayor en la periferia metropolitana, lo que mostró un proceso de metropolización claramente definido. Alrededor de 1970 culminó el cambio en la actividad económica de la industria a los servicios. Actualmente la tercera parte de la población del área urbana vive en los municipios del Estado de México; sin embargo, hay que tomar en cuenta que la mayoría de ella labora en la ciudad y por lo tanto utiliza la infraestructura urbana.

1.4 USOS DEL AGUA EN EL VALLE

Por otro lado, los usos del agua más comunes dentro del Valle se clasifican en doméstico, industrial, comercial y público o municipal.

El doméstico es el que prácticamente está destinado en la vivienda, para satisfacer las necesidades más elementales como la higiene, alimentación y condiciones sanitarias de su habitat.

El uso industrial puede subclasificarse en otros más específicos dentro de cada factoría, debido a la diversidad de productos; no obstante, pueden distinguirse algunos de ellos como en los procesos para la generación de vapor, enfriamiento y servicios generales.

Los usos municipales ocupan a todos los servicios públicos que proporciona el DDF, tales como:

- Parques, jardines y lagos recreativos
- Mercados públicos
- Centros hospitalarios
- Universidades, etc.

De acuerdo con estimaciones realizadas, los cuatro usuarios principa-

les del Sistema Hidráulico (SHDF) se reparten en los siguientes porcentajes: doméstico 68.7%, industrial 15.3%, servicios 12.3% y comer cios 3.7%. De los cuales sólo el 5% del total se destinan para beber y cocinar, (DGCOH, 1982, p.p. 25 - 26).

Como puede observarse, una mínima cantidad de agua del total suministrado es destinada para consumo humano y por lo tanto, debe garantizar una calidad FQB confiable, el restante puede substituirse paulatinamente con aguas residuales tratadas, siempre y cuando cumplan con los requisitos de calidad indispensables.

Como la dinámica de crecimiento demográfico no puede detenerse y -- tampoco la actividad económica, las demandas de agua tienden a incrementarse a mediano y largo plazo, pero debido a las dificultades técnicas y los altos costos de infraestructura para satisfacer la totalidad de los requerimientos, se hace factible aprovechar las aguas residuales previo tratamiento, como un recurso potencial para suministrar agua a la población en actividades donde no se requiera una calidad similar a la potable.

En resumen, el marco de referencia presentado tiene como propósito -- visualizar las dificultades técnicas y económicas que presenta el suministrar y desalojar las aguas en el D. F. y zona metropolitana, que sigue creciendo en forma incontrolable, lo que provoca mayores demandas de infraestructura y por lo tanto, planeaciones improvisadas de solución emergente. Así, una alternativa para aliviar la escasez de agua está en aprovechar el potencial que ofrecen las aguas residuales, como sustituto en actividades donde la calidad requerida sea menor a la potable; sin embargo, para hacer uso de este recurso es imprescindible desarrollar otras actividades acordes, como la determinación de la calidad de las aguas residuales que se generan en las subcuencas, ya que los diferentes asentamientos humanos e industriales producen agua de calidad FQB variable a lo largo del tiempo. Otras variables lo son, la capacidad de los diferentes colectores para captar aguas pluviales y la operación misma del sistema de drenaje, para evitar --

riesgos de inundación; paralelamente realizar un análisis para evaluar la tecnología existente. Además, es importante mencionar que los procesos de tratamiento actuales no tienen capacidad para remover compuestos orgánicos y aunque tienen influencia en la remoción parcial de metales alcalinos y alcalinotérreos (solubles y totales), metales pesados y otros grupos de menor importancia, no son lo suficientemente -- confiables para producir efluentes de calidad adecuada; por lo que se deduce la necesidad de implantar procesos complementarios a los tratamientos actuales.

El propósito fundamental y medular de este trabajo, es demostrar a -- través de un diseño experimental en una planta piloto de tratamiento avanzado, que la calidad del agua renovada está en función del nivel de tratamiento a que sea sometida y puede variar desde usos para el riego de áreas verdes y llenado de lagos con tratamientos biológicos, hasta para consumo humano con procesos más complejos como adsorción y ósmosis inversa.

CAPITULO 2

CARACTERIZACION FISICO QUIMICA Y BIOLOGICA DE LAS AGUAS RESIDUALES EN EL INFLUENTE DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE CERRO DE LA ESTRELLA

Considerando que la industria consume un porcentaje importante de agua potable, es necesario catalogar el tipo y cantidad de contaminantes que son descargados al sistema de drenaje, con el fin de visualizar las dificultades técnicas que deben superarse para tratar las aguas residuales y emplearlas a diferentes niveles de usuarios.

El presente capítulo hace una caracterización física, química y biológica (FQB) de las aguas residuales que entran a la planta de tratamiento de Cerro de la Estrella, pues aunque existen resultados que indiquen la presencia de una gran diversidad de mezclas, en términos de los parámetros analizados, no hay información respecto a la identificación y cuantificación de contaminantes orgánicos sintéticos, biológicos, elementos traza y biocidas, que requieren de una interpretación diferente a la que tradicionalmente se ha dado con el limitado número de parámetros analizados.

2.1 IDENTIFICACION DE LAS ZONAS DE APORTACION

La planta es abastecida por el cárcamo de bombeo de Aculco, que a su vez recibe las aguas residuales que conduce el colector Apatlaco, en donde descargan industrias de los más diversos giros (elaboración de alimentos, textiles, procesos, papel, laminadoras, etc), aguas domésticas y pluviales.

En el mismo lugar, el agua recibe un tratamiento preliminar con rejillas de separación para remover sólidos de gran tamaño, que pueden afectar a los sistemas de bombeo por obstrucción o abrasión; posteriormente es enviada a la planta a través de una tubería de concreto reforzado de 1.83 metros de diámetro, con un trayecto de 8 km hasta la caja de llegada, en donde se reparte a dos unidades para el tratamiento respectivo a nivel biológico antes de llegar a la planta piloto, figura 2.1.

2.2 SELECCION DE PARAMETROS FISICO QUIMICOS Y BIOLOGICOS (FQB)

La selección de los parámetros a analizar en las aguas residuales, se determinó en base a lo realizado por la Dirección General de Construcción y Operación Hidráulica; en el cual se efectuó un análisis de los contaminantes presentes en el Distrito Federal y área metropolitana, (Dirección General de Construcción y Operación Hidráulica, 1980, citado por Laboratorios ABC, 1981, p. 7).

Se concedió especial interés a metales pesados y mediciones indirectas de la materia orgánica y bacteriológica como la demanda bioquímica de oxígeno, demanda química de oxígeno, carbono orgánico total y coliformes. Los parámetros y contaminantes seleccionados se presentan en el cuadro 2.1.

2.3 SELECCION DE TECNICAS ANALITICAS Y DE CONTROL DE CALIDAD

Las técnicas analíticas utilizadas para la determinación de los parámetros seleccionados fueron las indicadas por el Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, (Lab. ABC, 1981, FASE II, Tomo I, p. 11).

2.4 TECNICAS DE MUESTREO

Las técnicas de muestreo utilizadas estuvieron determinadas por el Manual para Muestreo de Aguas Residuales y Renovadas del Departamento del D.F., que señala cantidad y formas de preservación de las muestras.

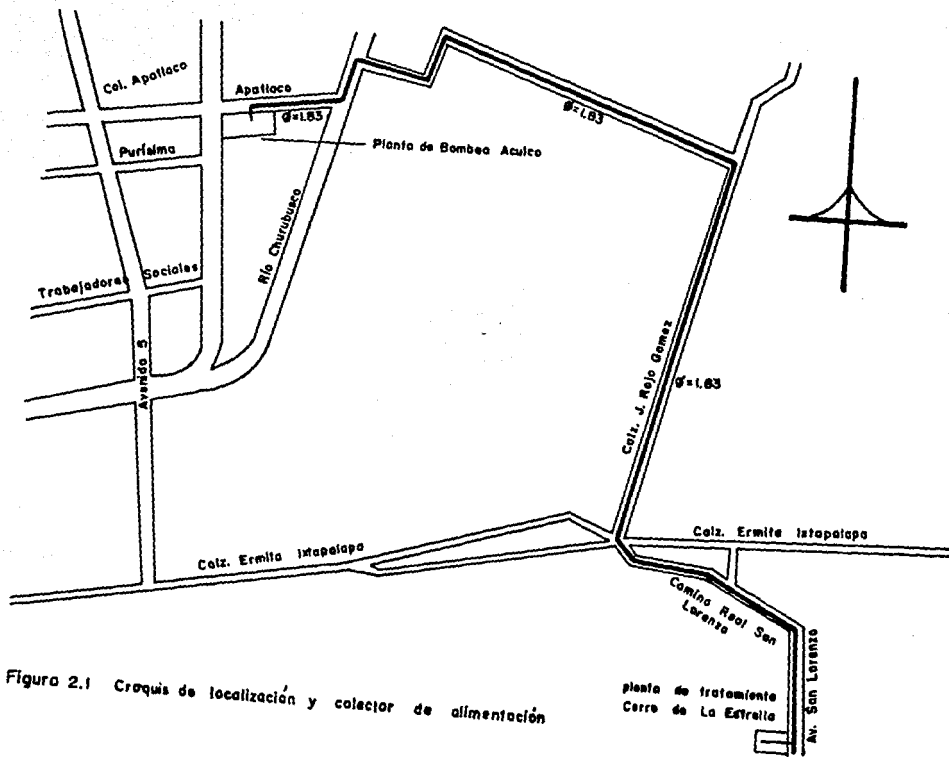


Figura 2.1 Croquis de localización y colector de alimentación

GRUPO	NUMERO CONTAMINANTES	NUMERO DE PARAMETROS
FISICOS	-	3
MINERALES	2	8
SOLIDOS	1	10
RELACION DE ADSORCION DE SODIO	-	2
NUTRIENTES	3	4
METALES ALCALINOS Y ALCALINOTERREOS SOLUBLES	4	4
METALES ALCALINOS Y ALCALINOTERREOS TOTALES	4	4
METALES PESADOS SOLUBLES	7	7
METALES PESADOS TOTALES	7	7
BIOLOGICOS	2	2
MATERIA ORGANICA	-	3
GRASAS Y ACEITES	-	1
SAAM	1	1

CUADRO 2.1 Grupo de contaminantes seleccionados para analizar en el agua residual.

Aunque es importante mencionar que para este caso, no se utilizaron medios de preservación puesto que las muestras se procesaron antes de su tiempo de caducidad, salvo en casos excepcionales fueron guardadas en hielo y/o se les adicionó ácido sulfúrico hasta lograr un pH de 1.5.

2.5 SELECCION DE LAS ESTACIONES DE MONITOREO

El sitio seleccionado fue el influente (caja de llegada) de la planta de tratamiento de Cerro de la Estrella, por ser el más representativo para determinar la calidad FQB del agua residual en el tiempo.

2.6 FRECUENCIA DE MUESTREO

El muestreo comprendió del 1 de abril '85 al 30 de abril '87 con una frecuencia quincenal y en el periodo de estiaje se intensificó a una vez por semana.

2.7 PROCESAMIENTO DE INFORMACION

Para la evaluación de la información obtenida en el análisis FQB del muestreo realizado, se realizó un estudio estadístico mediante el cual se determinaron el número de muestreos efectuados, muestreos en los que se detectó cada parámetro, media aritmética, media geométrica, desviación estandar, valores máximos y valores mínimos.

En los casos en los que no se detectó algún parámetro mediante el análisis de la muestra, al procesarlo estadísticamente, se le asignó el valor límite de detección de la técnica analítica particular, puesto que no es posible asegurar que la concentración de ese parámetro sea cero.

Por otra parte, los datos obtenidos fueron sometidos a un análisis ---

probabilístico, basados en el ajuste de datos a una distribución logarítmica-normal, la cual tiene mejor correlación que la distribución aritmética normal. Para efectuar el ajuste se utilizó un programa de computadora, que transforma los datos a sus respectivos logaritmos -- decimales y les aplica un análisis de frecuencia acumulativa porcentual mediante la formación de pares de datos (X, Y), definidos por -- las siguientes expresiones:

$$X = \frac{C - \bar{X}}{S}$$

$$Y = \log C$$

C, concentración del parámetro

\bar{X} , media aritmética

S, desviación estandar

El procedimiento de análisis, se muestra gráficamente en la figura -- 2.2 y en los cuadros 2.2, 2.3 y 2.4 se observan los valores esperados al 50, 80 y 95%, (P50, P80 y P95%) de probabilidad esperada que el -- compuesto alcance la concentración indicada, (Lab. ABC, 1981, FASE II, Tomo I, p.p. 32 - 33).

2.8 ESTRUCTURACION DE LOS INDICES DE CALIDAD DE AGUAS RESIDUALES

La diversidad de la cantidad de información generada en el programa de muestreo y análisis, hace necesaria la utilización de herramientas que permita manejar los datos en forma general sin perder validez. -- De esta manera se estructuró un índice de calidad para el agua residual que a continuación se describe:

El Índice de Calidad de las Aguas Residuales (ICAR), está estructurado para determinar la influencia industrial que presenta un agua residual utilizando como criterio de comparación las características FQB registradas en el influente de la planta de tratamiento de aguas residuales de Chapultepec, por considerarse ésta como el caudal más representativo de un agua de tipo doméstica, según lo demostraron los moni

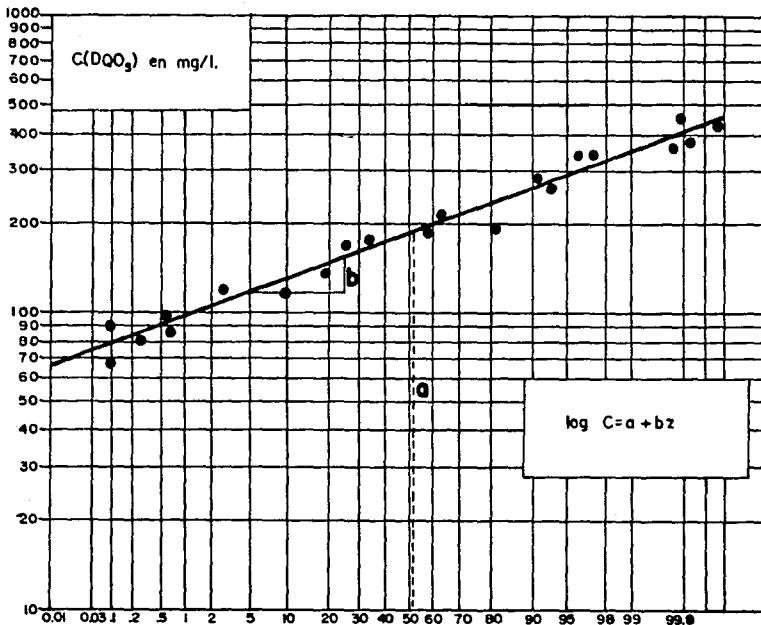


Figura 2.2 Procedimiento gráfico para el cálculo de la probabilidad

DEPARTAMENTO DEL DISTRITO FEDERAL
 DIRECCION GENERAL DE CONSTRUCCION Y OPERACION HIDRAULICA
 DIRECCION TECNICA
 SUBDIRECCION DE DESARROLLO
 ANALISIS PROBABILISTICO

REPORTE #04

SITIO RANCHO DE ARANCO
 NOMBRE INFIE P1 C ESTRELLA
 PERIODO ANALIZADO 01/10/85 AL 30/ABR/86

HOJA NO: 1

CLAVE	PARAMETRO	NUM. DISTRIBUCION	NIVEL	VALORES CALCULADOS	LIMITE CONFIANZA 90%	ECUACION DE RECTA	CORFIC
101 PM	66 NORMAL 20 0%	75447E+01	77149E+01	74548E+01	73334E+01	77393E+01	50832
102 COLOR	65 NORMAL 20 0%	18402E+03	24833E+03	30765E+03	86278E+02	28178E+03	261 85164
103 TURBIDEZ	65 NORMAL 20 0%	70468E+02	94159E+02	11675E+02	34453E+02	10640E+03	29 24552
104 TEMPERATURA	37 LOG-NO 20 0%	17703E+02	17190E+02	20724E+02	15666E+02	20912E+02	31458
201 ALCALINIDAD TOTAL	4 LOG-NO 0 0%	27150E+03	37223E+03	37844E+03	28998E+03	35226E+03	51430E+01
202 ALCALINIDAD LA FEM	4 LOG-NO 0 0%	10000E+02	10000E+02	10000E+02	10000E+02	10000E+02	0 00000
203 DUREZA TOTAL	25 NORMAL 0 0%	15154E+03	16333E+03	17378E+03	13488E+03	16898E+03	57 40532
204 CARBONATOS	21 NORMAL 0 0%	10000E+02	10000E+02	10000E+02	10000E+02	10000E+02	0 00000
205 DICARBONATOS	63 NORMAL 1 0%	27023E+03	30488E+03	33741E+03	21757E+03	32290E+03	176 21701
206 HIDROXIDOS	21 NORMAL 0 0%	10000E+02	10000E+02	10000E+02	10000E+02	10000E+02	0 00000
207 CONDUCTIVIDAD ELECTR	66 LOG-NO 20 0%	78717E+03	87162E+03	95057E+03	67423E+03	91907E+03	43266
208 CLORUROS	65 LOG-NO 20 0%	56545E+02	62205E+02	67139E+02	48906E+02	65377E+02	33440
209 PHO	65 NORMAL 20 0%	30749E+02	34762E+02	40751E+02	10367E+02	43214E+02	51574
301 SOL TOTALES	64 NORMAL 0 0%	819513E+03	819513E+03	819513E+03	819513E+03	819513E+03	819 82827
302 SOLIDOS TOTALES FIJO	65 NORMAL 0 0%	42723E+03	49664E+03	54330E+03	37692E+03	51765E+03	274 77851
303 SOL TOTALES VOLATIL	65 LOG-NO 0 0%	24790E+03	37331E+03	54306E+03	12786E+03	47325E+03	21168
304 SOL DISUUELTOS TOTAL	1 NORMAL 0 0%	66672E+03	67363E+03	67363E+03	67363E+03	67363E+03	0 00000
305 SOL DISUUELTOS FIJOS	1 NORMAL 0 0%	45370E+03	45370E+03	45370E+03	45370E+03	45370E+03	0 00000
306 SOL DISUUELTOS VOL	1 NORMAL 0 0%	20740E+03	20740E+03	20740E+03	20740E+03	20740E+03	0 00000
307 SOL SUSPENDIDOS TOT	2 NORMAL 0 0%	47650E+02	47650E+02	47650E+02	47650E+02	47650E+02	0 00000
308 SOL SUSPENDIDOS FIJ	2 NORMAL 0 0%	12852E+02	12852E+02	12852E+02	12852E+02	12852E+02	0 00000
309 SOL SUSPENDIDOS VOL	2 NORMAL 0 0%	34800E+02	34800E+02	34800E+02	34800E+02	34800E+02	0 00000
310 SOL SEDIMENTALES	62 NORMAL 0 0%	63225E+02	12875E+02	13173E+02	14122E+02	26168E+02	6 52459
501 NITROGENO AMONIAICAL	39 LOG-NO 0 0%	15677E+02	26224E+02	42847E+02	71652E+01	34277E+02	3 10570
502 NITROGENO TOTAL	44 LOG-NO 0 0%	22316E+02	38846E+02	65900E+02	96040E+02	16696E+02	0 00000
504 FOSFORO TOTAL	66 NORMAL 20 0%	62318E+01	76474E+01	90703E+01	40231E+01	84405E+01	5 90478
505 FOSFATOS TOTALES	65 NORMAL 20 0%	19123E+02	21650E+02	27947E+02	12242E+02	26004E+02	10 32676
506 CALCIO TOTAL	65 LOG-NO 20 0%	42918E+02	31237E+02	35110E+02	26153E+02	32866E+02	8 37507
602 MAGNESIO SOLUBLE	50 LOG-NO 10 0%	18807E+02	18807E+02	18807E+02	18807E+02	18807E+02	0 00000
603 SODIO SOLUBLE	50 NORMAL 20 0%	84806E+02	15641E+02	16610E+02	60304E+02	10131E+02	45 16384
604 POTASIO SOLUBLE	50 NORMAL 5 0%	15361E+02	15361E+02	15361E+02	15361E+02	15361E+02	0 00000
605 N DESCRIPCION	1 NORMAL 0 0%	20900E+02	10900E+02	21457E+02	16700E+02	16696E+02	0 00000
701 CALCIO TOTAL	51 LOG-NO 20 0%	31653E+02	33776E+02	36120E+02	28770E+02	34847E+02	26092
702 MAGNESIO TOTAL	51 LOG-NO 20 0%	19280E+02	20105E+02	20925E+02	16980E+02	20540E+02	1 7173
703 SODIO TOTAL	51 NORMAL 20 0%	84845E+02	96218E+02	10786E+02	47556E+02	10213E+02	47 01246
704 POTASIO TOTAL	51 NORMAL 5 0%	15480E+02	17797E+02	20007E+02	11958E+02	19002E+02	10 47204
801 FIERRO SOLUBLE	58 LOG-NO 20 0%	11380E+02	16920E+02	24667E+02	62271E+01	20797E+02	1 74750
802 MANGANESO SOLUBLE	58 NORMAL 10 0%	16880E+02	14190E+02	17844E+02	51665E+01	16052E+02	11991
803 PLOMO SOLUBLE	58 NORMAL 0 0%	20090E+01	20090E+01	20090E+01	20090E+01	20090E+01	0 00000
804 CADMIO SOLUBLE	58 NORMAL 0 0%	14000E+02	14000E+02	14000E+02	14000E+02	14000E+02	0 00000
805 MERCURIO SOLUBLE	58 NORMAL 0 0%	11724E+03	22780E+03	33324E+03	5083E+04	20531E+03	0 00011
806 ARSENICO SOLUBLE	58 NORMAL 2 0%	12951E+02	24584E+02	35678E+02	4734E+02	70635E+02	0 00006
807 CROMO SOLUBLE	58 NORMAL 0 0%	98181E+01	10122E+02	176737E+01	10055E+02	13113E+02	90942
901 FIERRO TOTAL	51 LOG-NO 20 0%	49132E+02	10484E+02	12184E+02	3744E+02	51791E+02	3 18171
902 MANGANERO TOTAL	51 NORMAL 10 0%	13380E+02	18711E+02	23780E+02	5253E+01	21407E+02	23447
903 PLOMO TOTAL	51 NORMAL 0 0%	35396E+01	20551E+01	12367E+02	3329E+01	10409E+02	29848
904 CADMIO TOTAL	51 NORMAL 0 0%	34745E+02	12466E+02	21039E+01	1019E+01	17142E+01	0 07749
905 MERCURIO TOTAL	43 NORMAL 0 0%	43210E+03	13153E+03	22440E+02	22440E+02	22440E+02	0 00000
906 ARSENICO TOTAL	51 LOG-NO 0 0%	89970E+03	27738E+02	81164E+02	16650E+03	49822E+02	4 78208E+01
907 CROMO TOTAL	51 NORMAL 0 0%	24186E+01	52004E+01	78533E+01	1810E+01	66475E+01	13572
1102 D B O SOLUBLE	2 NORMAL 0 0%	82280E+02	17960E+02	27850E+03	6507E+02	23027E+03	314 31329
1103 D O TOTAL	42 LOG-NO 0 0%	28744E+03	50834E+03	87557E+03	12080E+03	68204E+03	2 81174
1104 D O SOLUBLE	28 NORMAL 26 0%	74624E+03	21847E+03	25440E+02	25440E+02	25440E+02	172 87012E+02
1105 CARB DRG TOT FIJO	1 NORMAL 0 0%	53800E+01	10938E+02	21457E+02	16700E+02	16696E+02	0 00000
1201 GRASAS Y ACEITES	62 LOG-NO 20 0%	30447E+02	85633E+02	22558E+03	63217E+01	14664E+03	4 38755
1301 S A S A M	64 NORMAL 20 0%	12825E+02	15521E+02	18644E+02	72151E+01	17235E+02	13 12409

Cuadro 2.2 Analisis probabilistico de las concentraciones esperadas en el estioje '85-86

PIRMEP04

DEPARTAMENTO DEL DISTRITO FEDERAL
DIRECCION GENERAL DE CONSTRUCCION Y OPERACION HIDRAULICA

REPORTE R04.

DIRECCION TECNICA
SUBDIRECCION DE CONTROL
ANALISIS PROBABILISTICO

RCEL446

SITIO : ROYSDOBE04060
MONDE: INPTE PT C ESTRELLA
PERIODO ANALIZADO 01/MAY/86 AL 30/SEP/86

HOJA NO:

CI	AF	PARAMETRO	NUM DISTR	NIVEL	VALORES CALCULADOS		LIMITE CONFIANZA 80%		EQUACION DE RECTA	COEF				
					MUE	PROBAB CRITIC	INFERIOR	SUPERIOR			PENSIENIE	INTERECC		
101	PM		19	NORMAL	20	0%	76000E+01	77611E+01	79147E+01	73558E+01	70448E+01	6546	76117E+01	.96
102	TURB		20	NORMAL	20	0%	79833E+02	14722E+03	26379E+03	31519E+02	20236E+03	2.50156	30272E+01	.90
103	CORRDEZ		20	NORMAL	20	0%	4500E+02	59922E+02	73198E+02	24837E+02	47143E+02	54.60531	17410E+02	.96
201	ALCALINIDAD	TOTAL	20	NORMAL	20	0%	2320E+03	25277E+03	30491E+03	17754E+03	28823E+03	141.41159	16047E+03	.97
203	DUREZA	TOTAL	20	NORMAL	20	0%	17104E+03	18970E+03	20816E+03	10404E+03	19908E+03	76.37372	13014E+03	.97
205	RICARBOHATOS		20	NORMAL	20	0%	83311E+03	26334E+03	38288E+03	17004E+03	28818E+03	141.04614	16027E+03	.97
207	CONDUCTIVIDAD	FLECTR	20	NORMAL	20	0%	45320E+02	51814E+02	58007E+02	35448E+02	55192E+02	25.63281	31951E+02	.98
208	CLORUROS		20	NORMAL	20	0%	39475E+02	48400E+02	57391E+02	18729E+02	69468E+02	41559	61727E+01	.96
209	BORO		20	NORMAL	20	0%	36111E+01	45744E+01	52731E+01	80349E+01	54621E+01	44905	13361E+01	.98
302	SOLIDOS	TOTALES FIJO	20	NORMAL	20	0%	40490E+03	43778E+03	46999E+03	35245E+03	45535E+03	134.57361	33448E+03	.96
303	SOL	TOTALES VOLATIL	20	LOC-NO	20	0%	10619E+03	22912E+03	27925E+03	13502E+03	25523E+03	7989	48449E+01	.90
304	SOL	DISUELTOS TOTAL	19	NORMAL	20	0%	5125E+01	59116E+01	65294E+01	39920E+01	65594E+01	294.87262	31476E+01	.98
305	SOL	DISUELTOS FIJOS	19	NORMAL	20	0%	37465E+01	41894E+01	46122E+01	28791E+01	44021E+01	177.34072	28990E+01	.98
306	SOL	DISUELTOS VOLAT	19	LOC-NO	20	0%	13004E+03	17478E+03	23171E+03	80260E+02	20203E+03	1.17914	40711E+01	.98
307	SOL	SUSPENDIDOS TOT	19	LOC-NO	20	0%	62781E+02	12667E+03	24737E+03	21599E+02	10240E+03	2.6392	28715E+01	.98
308	SOL	SUSPENDIDOS FIJ	19	LOC-NO	20	0%	22475E+02	45451E+02	89791E+02	74521E+01	66010E+02	2.68763	18280E+01	.98
309	SOL	SUSPENDIDOS VOL	19	LOC-NO	20	0%	34800E+02	45452E+02	88888E+02	10357E+02	13204E+03	3.20910	19747E+01	.97
310	SOL	SEDIMENTALES	20	NORMAL	0	0%	35100E+00	80101E+00	12304E+01	-33310E+00	10751E+01	1.8958	3899E+00	.97
401	NITROGENO	AMONIAICAL	19	LOC-NO	20	0%	11171E+02	15088E+02	20032E+02	70742E+01	17639E+02	1.82418	17794E+01	.97
402	NITROGENO	TOTAL	20	LOC-NO	20	0%	18643E+02	22958E+02	31201E+02	10204E+02	27140E+02	1.3399	21732E+01	.93
504	POSFORO	TOTAL	20	LOC-NO	20	0%	34174E+01	44925E+01	52234E+01	24027E+01	50284E+01	8.8217	16657E+00	.98
505	POSFATOS	TOTALES	20	LOC-NO	20	0%	11101E+02	13707E+02	16922E+02	75948E+01	15432E+02	8.8267	19851E+01	.97
601	CALCIO	SOLUBLE	20	NORMAL	20	0%	31743E+02	37171E+02	42349E+02	23489E+02	33993E+02	22.4388	21454E+01	.92
602	MAGNESIO	SOLUBLE	20	NORMAL	20	0%	20638E+02	23662E+02	26547E+02	14039E+02	25238E+02	12.18147	14221E+02	.96
603	SODIO	SOLUBLE	20	NORMAL	20	0%	72498E+02	81668E+02	99421E+02	59537E+02	86443E+02	35.91046	53765E+02	.96
604	POTASIO	SOLUBLE	20	NORMAL	20	0%	15654E+02	17422E+02	19881E+02	12997E+02	18054E+02	28.47095	25108E+01	.99
701	CALCIO	TOTAL	20	NORMAL	20	0%	33495E+02	38603E+02	42797E+02	26254E+02	40773E+02	28.85553	28472E+02	.98
702	MAGNESIO	TOTAL	20	NORMAL	20	0%	21824E+02	23989E+02	26815E+02	14517E+02	19253E+02	11.15422	14733E+02	.98
703	SODIO	TOTAL	20	NORMAL	20	0%	70416E+02	82282E+02	95512E+02	50800E+02	69944E+02	53.51614	41855E+02	.91
704	POTASIO	TOTAL	20	LOC-NO	20	0%	15946E+02	17878E+02	19940E+02	13400E+02	18975E+02	43920	25467E+01	.99
801	FIERRO	SOLUBLE	20	LOC-NO	20	0%	19177E+00	16292E+00	18384E+00	75022E-01	19120E+00	1.10444	2897E+01	.98
802	MANGANESEO	SOLUBLE	20	NORMAL	20	0%	10715E+00	14181E+00	17345E+00	35040E-02	25900E+00	15235	3141E+01	.91
903	PLOMO	SOLUBLE	20	NORMAL	0	0%	20000E-01	20000E-01	20000E-01	20000E-01	20000E-01	0.6858	1643E+01	2.67
904	CADMIU	SOLUBLE	20	NORMAL	0	0%	14000E-02	14000E-02	14000E-02	14000E-02	14000E-02	0.0781	8414E+03	0.00
905	MERCURIO	SOLUBLE	20	NORMAL	0	0%	17850E-03	42850E-03	46174E-03	-1975E-03	55425E-03	0.0182	6273E+03	.98
906	ARSENICO	SOLUBLE	20	NORMAL	0	0%	35000E-02	25040E-02	61446E-02	30138E-03	42146E-02	3.87113	8824E+01	.98
907	CROMO	SOLUBLE	20	NORMAL	0	0%	35000E-02	25040E-02	61446E-02	30138E-03	42146E-02	3.87113	8824E+01	.98
908	MANGANESEO	TOTAL	20	LOC-NO	20	0%	12519E+00	16595E+00	20995E+00	59202E-01	19117E+00	20665	26339E+01	.92
909	ALUMINO	TOTAL	20	NORMAL	0	0%	34450E-01	75384E-01	11442E+00	-2778E-01	96677E-01	2.3611	7890E+01	.00
904	CADMIU	TOTAL	20	NORMAL	0	0%	14000E-02	14000E-02	14000E-02	14000E-02	14000E-02	0.0781	8414E+03	0.00
905	MERCURIO	TOTAL	20	NORMAL	0	0%	14000E-02	14000E-02	14000E-02	14000E-02	14000E-02	0.0781	8414E+03	0.00
906	ARSENICO	TOTAL	20	NORMAL	0	0%	21500E-02	30324E-02	38813E-02	80285E-03	34972E-02	0.0359	4071E+03	.95
907	CROMO	TOTAL	20	NORMAL	0	0%	10475E-01	31348E-01	51824E-01	-2126E-01	42005E-01	1.5747	5823E+01	.98
1001	COLIFORMES	FECALES	1	NORMAL	0	0%	43000E+01	10983E+02	21481E+02	-1670E+02	16494E+02	0.0000	6089E+01	0.00
1002	COLIFORMES	TOTALES	18	LOC-NO	0	0%	14754E-02	18999E-02	17810E-02	12781E-05	22086E-02	17.40041	1487E+08	1.06
1101	D.O.	TOTAL	18	NORMAL	20	0%	63911E+02	98673E+02	16191E+03	16191E+03	10457E+03	108.4964	10043E+02	.97
1102	D.O.	SOLURLI	19	NORMAL	20	0%	37253E+02	55820E+02	73546E+02	90121E+01	65493E+02	74.01038	79338E+01	.97
1103	D.O.	TOTAL	19	LOC-NO	20	0%	18639E+03	26598E+03	37336E+03	10854E+03	50700E+03	1.40874	45077E+01	.96
1104	D.O.	SOLUBLE	20	LOC-NO	20	0%	98814E+02	12187E+03	16701E+03	65484E+02	14865E+03	1.83199	40721E+01	.98
1201	GRASA	Y ACEITES	20	NORMAL	20	0%	15225E+02	18977E+02	16450E+03	15878E+01	72154E+02	3.80038	11254E+01	.97
1201	% A.R.		20	NORMAL	20	0%	72400E+01	10979E+02	12013E+02	29174E+01	11577E+02	11.36968	16627E+01	.96

Cuadro 2.3 Analisis probabilistico de las concentraciones esperadas en las lluvias de '86

REPORTE: 864

SUBDIRECCION DE DESARROLLO
ANALISIS PROBABILISTICO

SITIO : 809808E94860
NOMBRE: INFE. PT C ESTRELLA
PERIODO ANALIZADO: 01/OCT/86 AL 30/ABR/87

HOJA NO: 1

CL/ME	PARAMETRO	NUM DISTR	NIVEL	VALORES CALCULADOS		LIMITE CONFIANZA 80%		EQUACION DE PECTA	COEFIC						
				MUE PROBAB	CRITIC	-INFERIOR-	-SUPERIOR-			PENDIENTE	INTERSECC				
101	PH	16	L	NO	00	0X	76680E+01	78410E+01	80119E+01	74080E+01	79240E+01	00000	10000E+01	.00	
105	COLOR	16	L	NORMAL	00	0X	82969E+02	89485E+02	11471E+03	2700E+02	10323E+03	10000	10000E+01	.00	
103	INDICEZ	16	L	NO	00	0X	41680E+02	46730E+02	63730E+02	87350E+02	27390E+02	80110E+02	1.40001	31.4640E+01	.00
861	ALCALINIDAD TOTAL	16	L	NO	00	0X	25380E+03	27401E+03	29460E+03	22430E+03	28640E+03	20000	25000E+01	.00	
803	UREZA TOTAL	15	L	NO	00	0X	15255E+03	17015E+03	18060E+03	12920E+03	18005E+03	40700	48160E+01	.00	
808	BICARBONATOS	16	L	NO	00	0X	25380E+03	27401E+03	29460E+03	22430E+03	28640E+03	31200	38000E+01	.00	
897	CONDUCTIVIDAD ELECTR	16	L	NO	00	0X	65495E+03	68530E+03	71650E+03	60919E+03	70201E+03	10000	12000E+01	.00	
104	CLORURO	16	L	NO	00	0X	47100E+02	50490E+02	53850E+02	42430E+02	52275E+02	87900	37100E+01	.00	
809	DORO	16	L	NORMAL	00	0X	29400E+00	26470E+00	25470E+00	-11740E+00	75560E+00	1.00001	1.8750E+01	.00	
101	SOL. TOTALES	16	L	NO	00	0X	64107E+03	72106E+03	82597E+03	52634E+03	76800E+03	50424	62215E+01	.00	
300	SOLIDOS TOTALES FIJO	16	L	NO	00	0X	41194E+03	44819E+03	51145E+03	34811E+03	48740E+03	42271	58100E+01	.00	
302	SOL. TOTALES VOLATIL	16	L	NO	00	0X	22420E+03	28467E+03	35747E+03	15595E+03	32823E+03	99810	49120E+01	.00	
304	SOL. DISUELTOS TOTAL	15	L	NO	00	0X	49190E+03	53015E+03	58386E+03	45845E+03	54880E+03	23900	28970E+01	.00	
305	SOL. DISUELTOS FIJOS	15	L	NO	00	0X	36363E+03	39224E+03	42289E+03	32333E+03	40890E+03	30001	37470E+01	.00	
306	SOL. DISUELTOS VOLAT	15	L	NO	00	0X	12793E+03	16243E+03	20445E+03	88821E+02	16425E+03	95024	43820E+01	.00	
307	SOL. SUSPENDIDOS TOJ	16	L	NO	00	0X	10653E+03	21283E+03	41178E+03	37203E+02	30560E+03	3.10435	30100E+01	.00	
308	SOL. SUSPENDIDOS FIJ	15	L	NO	00	0X	29231E+00	69674E+00	15953E+03	78051E+01	10947E+03	3.41395	16700E+01	.00	
309	SOL. SUSPENDIDOS VOL	15	L	NO	00	0X	87290E+02	13512E+03	20499E+03	44911E+02	19661E+03	1.73530	16660E+01	.00	
310	SOL. SEDIMENTALES	16	L	NO	00	0X	78720E+00	42840E+01	81300E+02	61030E+01	10377E+02	7.48040	42000E+01	.00	
501	NITROGENO AMONIACAL	16	L	NO	00	0X	14047E+00	16803E+02	19427E+02	10914E+02	18070E+02	1.70549	22497E+01	.00	
508	NITROGENO TOTAL	16	L	NO	00	0X	21739E+02	24614E+02	27711E+02	17997E+02	26250E+02	50424	40200E+01	.00	
504	FOSFORO TOTAL	16	NORMAL	00	00	0X	46000E+01	68760E+01	78780E+01	20234E+01	71460E+01	7.40771	47880E+00	.00	
505	FOSFORO TOTALES	16	NORMAL	00	00	0X	14851E+02	20911E+02	24895E+02	89657E+01	23757E+02	25.62418	13750E+01	.00	
401	CALCIO SOLUBLE	16	L	NO	00	0X	24815E+02	30435E+02	36840E+02	22119E+02	32507E+02	1.54070	30310E+01	.00	
402	MAGNESIO SOLUBLE	16	L	NO	00	0X	19774E+02	22304E+02	25016E+02	16470E+02	23744E+02	47520	27540E+01	.00	
602	SOJIN SOLUBLE	16	L	NO	00	0X	73850E+02	79761E+02	88830E+02	45693E+02	83021E+02	2.8471	41020E+01	.00	
604	POTASIO SOLUBLE	16	L	NO	00	0X	18747E+02	19506E+02	22272E+02	13740E+02	20969E+02	55461	25701E+01	.00	
701	CALCIO TOTAL	16	L	NO	00	0X	20150E+02	23015E+02	25741E+02	13377E+02	20997E+02	50824	30920E+01	.00	
702	MAGNESIO TOTAL	16	L	NO	00	0X	20122E+02	22208E+02	25300E+02	16130E+02	24053E+02	44000	28400E+01	.00	
703	SODIO TOTAL	16	NORMAL	00	0X	0X	78650E+02	84797E+02	98283E+02	49142E+02	62153E+02	74.79242	29730E+02	.00	
704	POTASIO TOTAL	16	L	NO	00	10X	17263E+02	19804E+02	22575E+02	14011E+02	21271E+02	52898E+01	.00	.00	
801	FIERRO SOLUBLE	16	L	NO	00	0X	73339E+01	89946E+01	10920E+02	53773E+01	10000E+00	80395	3019E+01	.00	
802	MANGANESO SOLUBLE	16	NORMAL	00	00	0X	74920E+01	85955E+01	11555E+02	42025E+01	10630E+00	10037	8920E+01	.00	
803	PLOMO SOLUBLE	16	NORMAL	00	00	0X	23000E+01	23000E+01	20000E+01	20000E+01	20000E+01	0.0000	0.0000E+00	.00	
804	CADMIO SOLUBLE	17	NORMAL	00	00	0X	14000E+00	14000E+00	14000E+00	14000E+00	14000E+00	0.0000	0.0000E+00	.00	
805	MERCURIO SOLUBLE	14	NORMAL	00	00	0X	10000E+03	10000E+03	10000E+03	10000E+03	10000E+03	0.0049	1.2027E+03	.00	
806	ARSENICO SOLUBLE	14	NORMAL	00	00	0X	10465E+02	13478E+02	25059E+03	12108E+02	0.0019	1.2040E+03	.00		
807	CROMO SOLUBLE	16	NORMAL	00	00	0X	35000E+02	35000E+02	35000E+02	35000E+02	35000E+02	0.0000	0.0000E+00	.00	
101	FIERRO TOTAL	16	L	NO	00	0X	31565E+00	43318E+00	53180E+00	17650E+00	22490E+00	2.00719	1.9780E+01	.00	
102	MANGANESO TOTAL	16	L	NO	00	0X	89330E+01	10493E+02	12233E+02	69900E+01	11400E+02	64904	27450E+01	.00	
103	PLOMO TOTAL	16	NORMAL	00	00	0X	23622E+01	32166E+01	40370E+01	10484E+01	13644E+01	04732	2739E+02	.00	
104	CADMIO TOTAL	15	NORMAL	00	00	0X	14000E+02	14000E+02	14000E+02	14000E+02	14000E+02	0.0550	2790E+03	.00	
105	MERCURIO TOTAL	14	NORMAL	00	00	0X	45029E+03	95041E+03	18234E+07	13530E+03	10539E+02	0.016A	3174E+03	.00	
106	ARSENICO TOTAL	14	L	NO	00	0X	92751E+03	18647E+02	32002E+03	26814E+02	3.00849	8.490E+01	.00		
107	CROMO TOTAL	16	NORMAL	00	00	0X	57170E+02	18023E+01	14122E+01	18248E+01	18248E+01	0.2661	7.649E+02	.00	
1002	CALCIFORMES TOTALES	16	L	NO	00	0X	37542E+03	34746E+01	24085E+01	38504E+06	36443E+00	20.13933	1.6760E+02	.00	
1101	D. B. O. TOTAL	16	NORMAL	00	00	0X	95250E+02	10916E+03	18242E+03	74111E+02	11439E+03	55.43254	4.6236E+02	.00	
1102	D. B. O. SOLUBLE	16	NORMAL	00	00	0X	45817E+00	54157E+02	62532E+02	32025E+02	50725E+02	35.97473	87310E+02	.00	
1103	D. B. O. TOTAL	16	L	NO	00	0X	27067E+03	32701E+03	39168E+03	20298E+01	31683E+03	70679	35521E+01	.00	
1104	D. G. O. SOLUBLE	16	L	NO	00	0X	10837E+03	12780E+03	14920E+03	83957E+01	79300E+01	14004	43147E+01	.00	
1201	GRASAS Y ACEITES	15	L	NO	00	0X	33561E+02	96401E+02	26370E+03	67487E+01	64900E+03	4.60613	10650E+01	.00	
1301	S. A. A. N	16	L	NO	00	0X	52497E+01	35712E+02	22294E+03	28465E+00	96819E+01	9.87105	3775E+01	.00	

Cuadro 2.4 Análisis probabilístico de las concentraciones esperadas en el estado de '86-'87

toreos realizados en 1981, (Lab. ABC, 1981, FASE II, Tomo I, p. 34).

La expresión matemática es:

$$ICAR = \frac{\sum_{i=1}^n [(V_{pi}/V_{Ci}) + 1]}{n}$$

donde:

V_{pi}, Valor del parámetro i del agua problema

V_{ci}, Valor del parámetro i en el 80% de las veces para el influente de la planta de tratamiento de Chapultepec

n, Número de parámetros

La sensibilidad del ICAR respecto a la influencia industrial fue determinada utilizando como indicadores las concentraciones de Plomo, - Cadmio, Mercurio, Arsénico, Cromo y de los compuestos orgánicos sintéticos al 50% de probabilidad; de su análisis se obtuvieron los rangos que corresponden al grado de influencia industrial presente en las aguas residuales: Nula si el ICAR es menor o igual a tres unidades; baja si es mayor de tres, pero menor o igual a seis; media si es mayor que seis y menor o igual que nueve; alta si varía entre nueve y doce y muy alta si el ICAR correspondiente es mayor de 12, (Lab. ABC, 1981, FASE II, Tomo I, p.p. 34 - 35).

Nula	$0 \leq ICAR \leq 3$
Baja	$3 < ICAR \leq 6$
Media	$6 < ICAR \leq 9$
Alta	$9 < ICAR \leq 12$
Muy alta	$12 < ICAR$

2.9 INTERPRETACION DE RESULTADOS

Para facilidad de interpretación de la información generada por el monitoreo, se seleccionaron los parámetros más representativos, se agruparon en función directa de la relación que guardan entre sí y se gra

ficaron en diagramas de barras para cada uno de los periodos comprendidos, (estiaje del 01 de diciembre de '85 al 30 de abril de '86, lluvias del 01 de mayo al 30 de septiembre de '86 y segundo periodo de estiaje del 01 de octubre de '86 al 30 de abril '87); figuras 2.3, -- 2.4 y 2.5. Esto con el propósito de visualizar y determinar tendencias de la calidad del agua residual, que llega a la planta de Cerro de la Estrella con respecto al tiempo.

De estos diagramas de barras, se observó una ligera tendencia a la -- baja en los tres periodos considerados de la conductividad eléctrica, los sólidos disueltos totales, los metales alcalinos y alcalinotérreos totales, el nitrógeno total, la DQO, la DBO y los coliformes; mientras que para los otros grupos restantes, tienen un comportamiento desordenado, sobre todo en los sólidos totales, suspendidos totales y sedimentables. El fósforo total, las grasas y aceites y el SAAM, tienen un comportamiento similar.

Esta disparidad de resultados puede deberse a dos causas principalmente. La primera de ellas, que durante el periodo de lluvia de 1986, -- la lámina precipitada fue mayor a la de la temporada pasada y afectó directamente a la calidad del agua residual, por la dilución en las -- concentraciones de los contaminantes; y la otra y más importante durante los últimos meses de 1985 y primeros de 86' el Laboratorio Central de Control (lugar donde se procesaron las muestras), estaba perfeccionando sus técnicas analíticas, por lo que algunos de sus resultados -- no fueron muy confiables, pues existieron grandes variaciones, como -- lo demuestra el análisis probabilístico para este periodo, (Cuadro -- 2.2), que aunque el número de muestras capturadas fue mayor a las -- otras dos temporadas, los coeficientes de correlación en la mayoría -- de los parámetros estuvo por abajo de 0.9.

De los últimos dos periodos, el de estiaje de 86 - 87, fue el designado para hacer la caracterización del agua porque los valores no -- varían en gran medida y son los resultados más recientes que pueden ser

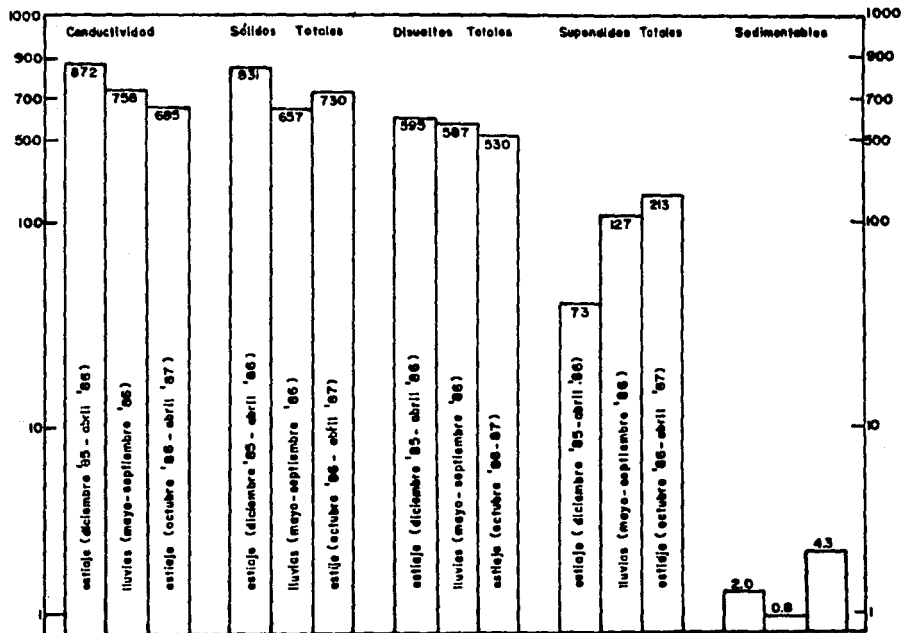


Figura 2.3 Comportamiento de los contaminantes en los periodos de estiaje y lluvias durante 1966

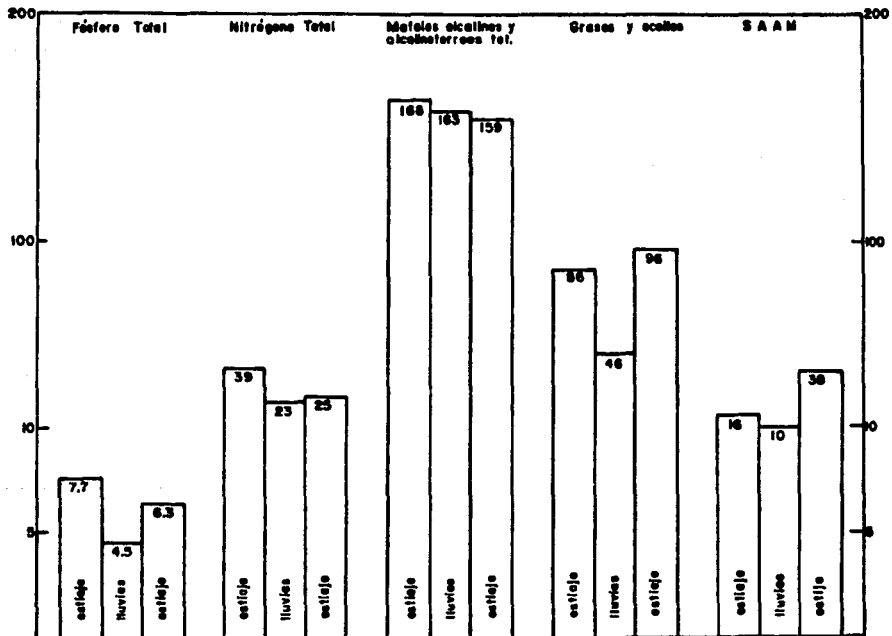


Figura 2.4 Comportamiento de los contaminantes en los periodos de estiaje y lluvias durante 1986

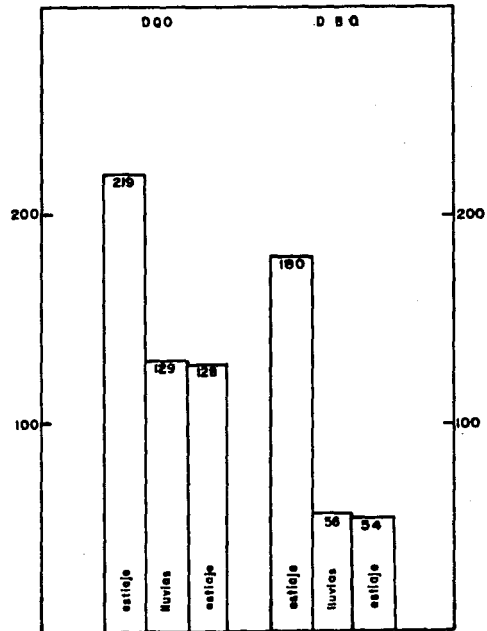
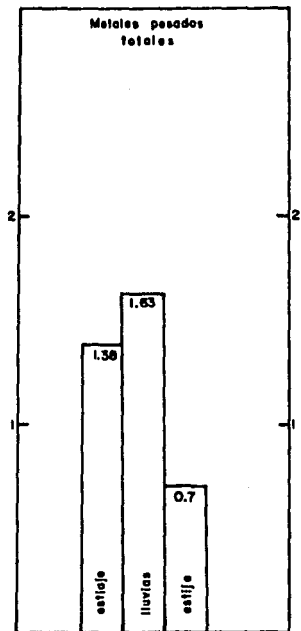


Figura 2.5 Comportamiento de los contaminantes en los periodos de estiaje y lluvias durante 1986

aprovechados; además, sus factores de correlación en la mayoría de los pa rámetros, es mayor a 0.94 indicando un grado de confiabilidad más alto que los demás.

La composición y calidad de las aguas residuales, se refiere a los constituyentes físicos, químicos y biológicos que tienen efectos directos sobre los cuerpos receptores, a los sistemas de tratamiento y al medio ambiente.

Los parámetros físicos como el pH, reportado en el último periodo (7.6 u nidades), indican una ligera tendencia a la alcalinidad, pero no la suficiente para causar problemas de incrustación, prácticamente el agua es neutra y puede ser sometida a tratamientos con procesos biológicos sin que éstos sean interferidos. La alcalinidad, como resultado de la presencia de carbonatos y bicarbonatos que pueden ser de calcio, magnesio, sodio, potasio, etc., no reflejan un alto contenido (254 mg/l), lo cual es confirmado por el pH; éste es importante cuando el agua va a ser tratada con métodos fisicoquímicos.

La conductividad eléctrica, como medida indirecta de los sólidos disueltos (metales en forma de sales), indican bajas concentraciones (654 u hos/cm); el color también como medida indirecta de la materia orgánica, indica valores bajos para un agua residual.

Otro parámetro de importancia en la calidad, son los cloruros que provienen, tanto de las aguas subterráneas como de los desechos domésticos e industriales y puesto que los métodos convencionales de tratamiento no los remueven, es necesario el cuidado de la descarga de altas concentraciones. Para este caso en particular, la concentración reportada (47 mg/l), no indican valores altos en comparación con agua de tipo doméstico.

Los sólidos totales con su división, en totales fijos y totales volátiles; están definidos como el material remanente después de evaporar una muestra de agua a 105 °C previamente filtrada; incluye materia orgánica e

inorgánica y puede ocasionar problemas de obstrucción en las líneas de conducción y contaminación; sin embargo, el valor reportado (641 mg/lit) no indica un alto contenido de este parámetro. Los sólidos disueltos, que también involucra materia orgánica e inorgánica en forma de sales y coloides, se encuentra en un valor que no representa dificultad para removerlos con algunos procesos de precipitación y oxidación (497 mg/lit) lo cual concuerda con la baja turbidez reportada (47 UTN).

Los sólidos suspendidos en la categoría de los sólidos, representa la suma de los volátiles y fijos, después de que una muestra ha sido sometida a 600°C, tampoco representa altos contenidos de material, pues -- una parte puede ser removida por sedimentación y la otra por oxidación. Finalmente, los sólidos sedimentables representan una medida aproximada de la cantidad de lodos que pueden ser removidos por sedimentación, indica un bajo contenido de éstos.

El nitrógeno amoniacal, nitrógeno total, fósforo y fosfatos totales, cuyos valores son 14.0, 22.0, 4.6 y 20.7 mg/lit respectivamente; son nutrientes bioestimulantes para el crecimiento de vegetales y poblaciones microbianas que favorecen hasta cierto punto el desarrollo de los procesos biológicos, pero cuando son descargados a cuerpos receptores provocan problemas de eutroficación. El nitrógeno amoniacal, es importante porque es un indicador de la descomposición del agua, en la solución acuosa se puede encontrar en forma de iones de amonio que dependiendo del pH y de acuerdo a la reacción de equilibrio



éste puede desplazarse a la izquierda o derecha.

El fósforo se encuentra en ortofosfatos, polifosfatos y fosfatos orgánicos, éstos dos últimos son fácilmente convertidos a ortofosfatos y pueden ser removidos por precipitación.

Para el caso del agua residual en Cerro de la Estrella, la concentra--

ción del nitrógeno amoniacal es alto y para su reducción es necesario elevar el pH y favorecer la formación de nitratos y nitritos. El fósforo y fosfatos, también están considerados dentro de niveles altos, - pero es característico para un agua con influencia doméstica.

Las características químicas del agua residual, incluye materia orgánica e inorgánica y gases. En el agua residual el 75% de los sólidos -- suspendidos y el 40% de los sólidos filtrables son materia orgánica -- que se deriva de animales, plantas y actividades relacionadas a la síntesis de compuestos orgánicos que normalmente son una combinación de -- carbón, hidrógeno y oxígeno; aunque también pueden estar presentes el nitrógeno, sulfuro y fósforo.

El principal grupo de las sustancias orgánicas son las proteínas (40 al 60%), carbohidratos (25 al 50%) y grasas y aceites (10%); aunque -- también existen cantidades pequeñas de un gran número de moléculas orgánicas sintéticas de estructuras extremadamente complejas, entre las que se encuentran los materiales surfactantes, fenoles y pesticidas.

El contenido de materia orgánica en un agua residual, puede establecerse por la demanda bioquímica de oxígeno (DBO), demanda química de oxígeno (DQO) o carbón orgánico total. Los comúnmente usados son los dos primeros.

La DBO determina la cantidad aproximada de oxígeno requerido, para estabilizar biológicamente la materia orgánica presente, la facilidad de tratamiento del agua y para evaluar la eficiencia de los procesos biológicos. Sin embargo, esta prueba tiene sus limitaciones; debido a -- ello, es posible utilizar la DQO también como parámetro de referencia, ya que sus métodos de análisis son más rápidos y dependen de menos --- variables. El valor de DQO generalmente es mayor a la DBO, porque en este caso el parámetro estabiliza la materia orgánica y compuestos que pueden ser oxidados químicamente. Puesto que se puede establecer una correlación entre DQO/DBO, ésta puede utilizarse como parámetro de con

trol en la operación de las plantas.

Para el caso de las aguas residuales influentes a la planta Cerro de la Estrella, las cargas de materia orgánica como DBO son relativamente bajas, para un agua de este tipo (95 mg/lt), lo que puede llegar a causar problemas a los procesos biológicos, por las cantidades reducidas de sustrato suministradas.

En relación con la DQO (271 mg/lt), mucha de la materia orgánica contenida es químicamente oxidable y por lo tanto de mayor dificultad para la estabilización, ésto refleja en parte la influencia industrial y en menor grado las descargas domésticas. La correlación entre DBO/DQO es de ± 0.34 .

Para el adecuado funcionamiento de un proceso biológico, específicamente el de lodos activados, debe existir un equilibrio entre la DBO:N:P; que debe guardar los siguientes valores 100:5:2 respectivamente. Para el agua residual en cuestión, la relación debe ser 95:4.75:1.9; sin embargo, los valores de N y P reportados para este mismo periodo (N:24.6;P:6.3 mg/lt), implican bajas concentraciones de sustrato que va a ser suministrado y altos contenidos de nutrientes, afectando directamente al proceso en un incremento apreciable de la población microbiana y altas tasas de respiración endógena, por no haber el sustrato suficiente con que sustentarse.

Las grasas y aceites contenidos en el agua residual, involucra todos los provenientes de origen vegetal, animal y de los derivados del petróleo, los efectos que puede causar son obstrucciones a las líneas de conducción, por la formación de natas e inhibición e interferencia al desarrollo de las poblaciones bacterianas. Para el caso del agua que se esta analizando, la concentración de este parámetro (34 mg/lt) es relativamente alta, por lo que es necesario removerlas o eliminarlas para evitar los problemas mencionados.

Otro parámetro de importancia en la caracterización del agua residual

son los detergentes, medidos como sustancias activas al azul de metileno (SAAM), ya que provocan grandes volúmenes de espumas, que se esparcen con el viento: además de no ser biodegradables e inhibir los procesos bacterianos. La concentración de SAAM reportada (5.2 mg/lt), se encuentra en términos medios; sin embargo, como este tipo de aguas recibe tratamientos biológicos, que posteriormente son usados para el riego de áreas verdes, es deseable eliminarlo para evitar problemas de control en el proceso y de estética en el uso.

Las caracterizaciones bacteriológicas del agua, se midieron en función de los coliformes totales, debido a que son organismos patógenos provenientes de los humanos, que pueden estar enfermos de tifoidea, disentería, diarrea, cólera, etc. El promedio de descarga por persona por día es de 100 a 400 billones y es deseable eliminarlos en su totalidad por el alto riesgo de toxicidad que representan.

Finalmente las aguas residuales tienen otros compuestos tóxicos de gran importancia, para la disposición y tratamiento de las aguas residuales. La plata, cromo, arsénico y boro inhiben a los microorganismos y por lo tanto, deben ser considerados en el diseño de plantas de tratamiento biológico; algunos otros aniones tóxicos como el cianuro y flúor, deben ser removidos antes de ser descargados.

Los metales pesados como el fierro, manganeso, plomo, cadmio, mercurio, arsénico y cromo, son componentes importantes de las aguas residuales. Algunos de ellos, son importantes para el crecimiento biológico, pero en cantidades excesivas son tóxicos, por lo que es deseable un control adecuado de estos contaminantes. Para el agua de Cerro de la Estrella, los valores reportados de esos parámetros, son relativamente bajos considerando que tiene influencia industrial.

En términos generales, aplicando el índice de calidad de aguas residuales (ICAR = 2.48); las que llegan a la planta de Cerro de la Estrella para ser tratadas, se clasifican dentro de las domésticas con influencia industrial baja; aunque es importante observar, que algunas indus

trías de las que tienen mayor participación son las de producción de alimentos, por los altos contenidos de nutrientes.

CAPITULO 3

CRITERIOS PARA SANCIONAR LA CALIDAD FISICO QUIMICA Y BIOLOGICA DE LAS AGUAS RENOVADAS

En este capítulo, se presenta una estructura de los usos potenciales y criterios que sancionan la calidad física, química y biológica del agua renovada, los riesgos ambientales y a la salud humana, por el contacto directo e indirecto con este producto.

En el Plan Maestro de Tratamiento y Reuso de las Aguas Residuales del D. F. se plantean, dependiendo del origen de las aguas, distintos usos potenciales que son:

Públicos:

Potable (bebida, doméstica)

No potable (comercios y servicios)

Recreativo (natación, llenado de lagos de recreo y navegación deportiva)

Agricultura y ganadería:

Irrigación de forrajes, fibras, huertas y viñas, productos agrícolas que se consumen crudos; productos agrícolas que se consumen después de su preparación y plantas ornamentales (áreas verdes)

Abrevaderos

Acuicultura y pesca

Industria:

- Procesos
- Enfriamiento
- Producción de vapor
- Servicios generales

Estos usos se agruparon en tres esquemas conceptuales, considerando aspectos toxicológicos, que comparten elementos bióticos comunes, lo cual implica, que la calidad FQB de las aguas renovadas, difiera en la concentración de los contaminantes, que afectan particularmente a los distintos elementos involucrados en ese uso, es por ello, que al determinarse su estructura, se tomaron en cuenta las siguientes consideraciones. (Laboratorios ABC/DDF, 1982, pp. 305-306).

3.1 USOS AGRICOLAS, RECREATIVOS Y MUNICIPALES NO POTABLES

En este esquema se agruparon aspectos agronómicos y recreativos, que tienen semejanza en sus elementos bióticos. A continuación se hace una evaluación detallada de los riesgos, que el empleo de las aguas renovadas puede presentar, según el uso al que se le destine.

3.1.1 IRRIGACION DE FORRAJES, CULTIVOS INDUSTRIALES Y AREAS VERDES

En este caso, se contempla la irrigación de cultivos destinados a la alimentación de ganado, a la producción de textiles y al riego de -- áreas verdes; compuestos como el aldrín, dieldrín, policlorobifenilos, clordano, cloruro de vinilo, dicloroberciclina, heptacloro, hexaclorobenceno e hidrocarburos aromáticos polinucleares, son agentes carcinógenos potenciales, por la bioacumulación en el animal y su posterior transferencia al hombre. Además, son compuestos absorbibles por la piel y debido a su gran estabilidad, favorece su magnificación, que afecta directamente a los cultivos textiles, por lo que la exposición por contacto es factible.

3.1.2 ABREVADEROS

La calidad necesaria de las aguas renovadas para abrevaderos de animales, debe ser tal que no afecte a corto, mediano y largo plazo la salud de los animales, debiéndose conceder especial atención a los metales pesados y a los compuestos orgánicos sintéticos bioacumulables, - que puedan ejercer efectos sobre el hombre.

3.1.3 CULTIVOS PARA CONSUMIRSE CRUDOS

La calidad del agua renovada necesaria, para este tipo de cultivos, -- (principalmente hortalizas y frutas) que se consumen directamente, requiere de bajas concentraciones de compuestos organoclorados, principalmente pesticidas y otros compuestos sintéticos, como el naftaleno, nitrobenzeno y nitrosaminas.

3.1.4 NAVEGACION DEPORTIVA Y LLENADO DE LAGOS DE RECREO

Incluye aspectos recreativos y su principal ruta de acceso, es por contacto, el tipo y número de patógenos son la restricción más importante a sancionar, en esta aplicación.

3.1.5 USOS MUNICIPALES NO POTABLES

Comprende servicios comerciales, control de incendios y lavado de -- calles entre otros; la vía de acceso es por contacto, por lo que deben considerarse algunos nitrocompuestos aromáticos y la presencia de patógenos.

3.1.6 IRRIGACION DE HUERTAS Y VIÑAS

Destinada para la irrigación de huertas y viñedos; el agua no tiene - contacto con los frutos, de manera que la calidad bacteriológica no - es importante respecto a compuestos fitotóxicos y bioacumulables, se requieren bajas concentraciones, principalmente de pesticidas organoclorados, compuestos orgánicos sintéticos y metales pesados.

3.2 USO EN ACUACULTURA Y PESCA Y CON FINES RECREATIVOS

3.2.1 ACUACULTURA Y PESCA

Los sistemas acuáticos son más sensibles a la acción de los contaminantes, por carecer de mecanismos de inducción específicos (mecanismos - enzimáticos) y su alta dependencia de las condiciones ambientales.

Las especiaciones químicas de compuestos orgánicos, compuestos sintéticos y metales pesados y la forma de éstos (solubles o insolubles), determinan el acceso al primer nivel trófico (fitoplancton), al cual se puede considerar como el primer nivel selectivo, ya que la sobrevivencia en éste, determinan el grado de afectación a otros niveles.

Las formas insolubles de los contaminantes, tienen rápido acceso a los sistemas bentónicos y al sedimento donde la transformación de estos - compuestos mediante microorganismos específicos, determina la formación de especiaciones de más rápido acceso a los sistemas biológicos y al hombre mismo cuando las consume. Las especies nectónicas son sensibles al mercurio, plomo, clordano, DDT, toxafeno, etc, debido a la posición en las tramas tróficas.

3.2.2 NATACION

La presencia de patógenos se restringe en esta actividad, porque existen riesgos por contacto e ingestión accidental del agua.

3.3 USO CON FINES INDUSTRIALES Y POTABLE

3.3.1 INDUSTRIAL

En la industria existen varios usos potenciales como son:

Procesos. Que incluye la utilización del agua dentro de los procesos, como la alimentaria, metalmeccánica, textil, petroquímica, etc.

Enfriamiento. Se emplea para intercambio de calor en procesos de condensación de vapores y en la regulación térmica de materiales; la --

calidad FQB del agua, debe garantizar que no existan repercusiones en las instalaciones como corrosión, incrustación y taponamientos.

Producción de vapor. Se considera sólo para calderas de media y baja presión, la calidad FQB del agua renovada es importante para evitar - daños potenciales a los sistemas de conducción por incrustación u oxidación.

Usos generales. Se utiliza para limpieza de instalaciones y riego de jardines, por lo que su calidad, debe ser similar al agua municipal no potable.

3.3.2 POTABLE

La calidad del agua requerida para uso potable, implica la reducción o eliminación de compuestos clorados por su riesgo como carcinógenos. En este uso, el principal componente biótico es el ser humano, el cual ingiere un promedio de dos litros por día durante toda su existencia; por lo tanto, la calidad no debe afectarlo a mediano y largo plazo en su salud. En el caso de los componentes abióticos, el agua renovada no debe tener características corrosivas o incrustantes.

Los compuestos químicos orgánicos e inorgánicos presentes en el agua renovada no son aislados, sino que forman mezclas que interactúan de manera compleja, sobre la salud humana y que hasta cierto punto son - desconocidas; el conocimiento de las propiedades FQB y los mecanismos de absorción y metabolismo son importantes para atenuar y medir el -- riesgo aunque no se eliminen. Para el caso de la toxicidad a mediano y largo plazo, se consideran los efectos mutagénicos, teratogénicos y carcinogénicos que a continuación se detallan.

Teratogenidad. Este efecto consiste en la inducción de anomalías en el embrión, feto o recién nacido, como consecuencia de la exposición de la madre a agentes nocivos durante periodos críticos del desarrollo del producto; su importancia radica en que los efectos no se manifiestan de inmediato, sino hasta después del parto. Por otra parte, la detección de daños en la madre, no constituye un rasgo diagnóstico

para los teratógenos, pues muchos actúan a dosis que no son ofensivas para la madre.

Mutagenidad. Este efecto consiste en alteraciones al ácido desoxirribonucleico (ADN), el cual concentra la información genética produciendo el cambio de la secuencia, intercalación, sustitución o pérdida de las bases púricas y pirimídicas. Las alteraciones son hereditarias a nivel celular.

En ciertos casos, existen mecanismos de restauración capaces de controlar la aparición de mutaciones, generalmente irreversibles. De acuerdo con lo anterior, la mutación puede darse a dos niveles: el llamado germinal, donde la mutación aparece en una de las células sexuales y por lo tanto, no se manifiesta en el organismo que lo sufrió, sino en su descendencia y en el somático, con dos repercusiones posibles: alteración en el funcionamiento de un órgano o tejido o en la pérdida de los mecanismos que inhiben la reproducción celular.

Carcinogenidad. Consiste en la aparición de células que no responden a los mecanismos que controlan la división celular, invadiendo y destruyendo los tejidos vecinos al tiempo que proliferan. Dado que la información de la célula, incluyendo su capacidad para multiplicarse esta contenida en el ADN, es razonable suponer que uno de los mecanismos en la carcinogénesis, sea la alteración de dicha información y de allí, su relación con la mutagénesis.

3.4 EFECTOS DE LOS CONTAMINANTES BIOLÓGICOS

Aparte de las sustancias químicas presentes en las aguas residuales, existen gran cantidad de microorganismos patógenos al hombre. Aunque la mayoría de éstos son destruidos en los sistemas de tratamiento; debido a las altas concentraciones que se encuentran en los influentes (hasta 10^8 microorganismos/100 ml), aún con remociones del 99.9% pueden sobrevivir hasta 10^4 organismos,ps/100ml. De acuerdo a su naturaleza, los contaminantes biológicos se pueden clasificar en virus, bacterias y parásitos.

En algunas aguas renovadas, pueden identificarse huevos infectantes de otros gusanos planos como la Tenia, capaces de producir cisticercosis, cuyas consecuencias dependen del órgano donde se aloja la larva. También es posible hallar huevos viables de Ascaris lumbricoides del oxiuro Enterobius vermicularis y del Tricocéfalo trichiuris trichiura. En ocasiones, especies no parásitas como las amibas del género Naegleria, pueden causar cuadros graves al ser ingeridos por los nadadores.

3.5 CRITERIOS DE CALIDAD FOB DE LAS AGUAS RENOVADAS

A diferencia de las normas de calidad, el criterio representa la concentración de una sustancia cuyo límite se basa en juicios científicos sobre su efecto ambiental o a la salud humana; además, la norma connota una entidad legal establecida después de un análisis de factores toxicológicos, identificación de la tecnología analítica para la detección, cuantificación y tecnología de tratamiento de aguas residuales, (Lab. ABC/DDF, 1981, p. 323).

Mediante el análisis de información bibliográfica, se estructuraron - criterios para los 12 usos potenciales, los valores se presentan en - el cuadro 3.1 y el número de contaminantes sancionados son:

No.	PARAMETROS SANCIONADOS
1. Potable	152
2. Producción de vapor	56
3. Enfriamiento	56
4. Acuicultura y pesca	149
5. Natación	150
6. Abrevaderos	149
7. Riego de vegetales comestibles crudos	149
8. Agua municipal no potable	57
9. Riego de vegetales comestibles elaborados, huertas y viñas	148
10. Riego de forrajes, textiles y áreas verdes	148

PARAMETRO T/O CONTAMINANTE	USO											
	TOTAL	IRRIGACION	ACUICULTURA Y PESCA	AMPERUROS	RITMO DE CULTIVO MULTICROSALES	RITMO DE HERBAS Y VINOS	RITMO DE PIRUALES Y AGUAS VERDES	ORDEN DE LAJOS DE PIEDRA	NAVIGACION DEPORTIVA	AGUA MUNICIPAL NO POTABLE	INDUSTRIACION DE VINO	PARCELAMIENTO
FISICOS												
PH	7	7	7.5	7	6.5	6.5	6.5	7.7	7.5	7.5	7.5	7.5
COLOR	5	15	16	15	60	60	60	37.6	16	60	41	60
TURBIDIDAD	6	10	10	10	10	20	20	15	15	10	6	10
QUIMICOS												
ALC. TOTAL (CO ₂)	300	500	600	720	600	600	600	600	550	300	250	300
ALC. FENOLTALEINA (CO ₂)	10	10	50	10	10	10	10	10	50	50	60	60
CARBONATOS	10	10	50	10	10	10	10	50	50	50	50	60
BICARBONATOS (CO ₂)	300	600	450	720	600	600	500	450	260	300	200	250
NITROGENOS (CO ₂)	10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	15	10
CONDUCTIVIDAD ELECTRICA	1500	1500	500	500	3000	3000	3000	3000	3000	6000	1500	5000
CLORUROS	250	250	600	500	600	750	500	500	1000	500	500	500
BORO	2	2	2	2	2	2	2	2	2	NS	NS	NS
SOLIDOS												
SOLIDOS TOTALES	600	1600	600	3000	1000	1000	1500	2000	2000	1000	600	1600
SOLIDOS TOTALES FIJOS	450	1400	550	1900	500	500	1000	1000	1500	800	400	1000
SOLIDOS TOTALES VOLATILES	50	100	50	100	100	500	500	200	600	200	100	600
SOLIDOS DISUELTOS TOTALES	600	1500	600	1900	900	1000	1000	1000	1000	900	600	900
SOLIDOS DISUELTOS FIJOS	450	1400	470	2320	870	800	500	500	800	700	400	400
SOLIDOS DISUELTOS VOLATILES	50	100	50	100	80	480	480	180	480	200	100	500
SOLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES	10	10	100	100	100	600	600	1000	1000	100	10	100
SOLIDOS SUSPENDIDOS FIJOS	10	10	100	80	80	200	800	500	800	80	10	100
SOLIDOS SUSPENDIDOS VOLATILES	10	10	10	10	10	15	16	15	15	0	10	100
SOLIDOS SEDIMENTABLES	0.1	0.2	0.01	0.01	0.01	0.01	1	1	1	0.01	0.01	0.01
R.A.S.												
R.A.S. SOLUBLE	NS	NS	NS	NS	NS	NS	1.489	NS	NS	NS	1.743	3.4
R.A.S. TOTAL	NS	NS	NS	NS	NS	NS	1.489	NS	NS	NS	1.743	3.4
NUTRIENTES												
NITROGENO AMONIACAL	0.5	2.5	1	2	2.5	6	6	2.5	2.5	2.5	2	6
NITROGENO TOTAL	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
NITRATOS	25	75	50	25	50	50	50	50	50	100	25	75
FOSFORO TOTAL	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50
METALES ALCALINOS Y ALICANOTERREOS SOLUBLES												
CALCIO SOLUBLE	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	30	30
MAGNESIO SOLUBLE	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	100	100
SODIO SOLUBLE	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	60	100
POTASIO SOLUBLE	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	100	100
METALES ALCALINOS Y ALICANOTERREOS TOTALES												
CALCIO TOTAL	300	100	100	100	100	100	100	160	150	150	30	30
MAGNESIO TOTAL	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
SODIO TOTAL	100	100	200	200	100	100	100	250	250	250	60	100
POTASIO TOTAL	100	100	150	150	160	150	150	100	100	100	100	100
METALES PESADOS SOLUBLES												
PLUMBO SOLUBLE	NS	NS	NS	NS	NS	NS	0.3	NS	NS	NS	NS	.07
MANGANESO SOLUBLE	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	.12
PLUMBO TOTAL	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	.05
CADMIO SOLUBLE	NS	NS	NS	NS	NS	NS	.01	NS	NS	NS	NS	.01
MERCURIO SOLUBLE	NS	NS	NS	NS	NS	NS	1.1E-4	NS	NS	NS	NS	1.2E-4
ARSENICO SOLUBLE	NS	NS	NS	NS	NS	NS	1.7E-4	NS	NS	NS	NS	2.7E-5
CROMO SOLUBLE	NS	NS	NS	NS	NS	NS	.02	NS	NS	NS	NS	.02
METALES PESADOS TOTALES												
PLUMBO TOTAL	.05	.05	.1	.1	.3	.3	.3	.3	.3	.3	.07	.1
MANGANESO TOTAL	.05	.05	.1	.1	.02	.02	.05	.1	.1	.1	.1	.5
PLUMBO TOTAL	.05	.1	.1	.1	.5	.5	.5	.5	.5	.5	.05	.1
CADMIO TOTAL	.01	.01	.01	.01	.01	.01	.01	.01	.01	.01	.01	.01
MERCURIO TOTAL	1.1E-4	1.1E-4	1.1E-4	1.1E-4	1.1E-4	1.1E-4	1.1E-4	1.1E-4	1.1E-4	1.1E-4	1.1E-4	1.1E-4
ARSENICO TOTAL	1.7E-5	1.7E-5	1.7E-5	1.7E-5	1.7E-5	1.7E-5	1.7E-5	1.7E-5	1.7E-5	1.7E-5	1.7E-5	1.7E-5
CROMO TOTAL	.05	.05	.05	.1	.05	.1	.1	.1	.1	.05	.05	.05
BIOLOGICOS												
CELULOSAS FECALES	1 E-6	10E-6	100E-6	1000E-6	10E-6	100E-6	1000E-6	10E-6	10E-6	10E-6	10E-6	10E-6
CELULOSAS TOTALES	10E-6	100E-6	1000E-6	10000E-6	10E-6	10E-6	10E-6	10E-6	10E-6	10E-6	10E-6	10E-6
MATERIA ORGANICA												
NS SOLUBLE	2.5	2.5	3	3	20	20	10	20	20	10	2.5	20
NS SOLUBLE	4	4	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
CARBONO ORGANICO TOTAL FIJO	1	1	1	2	10	10	10	10	10	10	1	20

CONTINUA . . .

USO PARAMETRO Y/O CONTAMINANTE												
	INTABLE	MANEJO	MANEJO Y PESCA	ABRIGADOS	ESTERILIZACION DE LA COMIDA	ESTERILIZACION DE LAS CUBIERTAS Y VASOS	ESTERILIZACION DE LAS VENTANAS Y PUERTOS	ESTERILIZACION DE LOS RECIPIENTES	MANEJO DOMESTICO	MANEJO INDUSTRIAL	MANEJO DE VEHICULOS	MANEJO DE MAQUINARIA
GRASAS Y ACEITES	1	1	10	1	5	5	5	10	10	20	1	20
SUSTANCIAS ACTIVAS AL AZUL DE METILANO S.A.A.M.	.5	1	.5	.5	.5	1	1	5	5	5	.5	5
ETERES HALOGENADOS												
2 CLOROETILVINIL ETER	.0347	.122	.06	.06	.122	.122	.122	.122	.122	NS	NS	NS
MIS 2 (CLOROETIL-ETER)	.0318	.122	.06	.06	.122	.122	.122	.122	.122	NS	NS	NS
MIS 2 CLOROETILMETANO	.06	.122	.06	.06	.122	.122	.122	.122	.122	NS	NS	NS
4 CLOROETILVINIL ETER	2E-4	.014	.08	.06	.087	.087	.645	.54	.54	NS	NS	NS
MIS 2 (CLOROETIL-ETER)	2E-4	.122	.06	.06	.122	.122	.122	NS	NS	NS	NS	NS
4 BROMOETIL-ETER	3E-4	.013	3E-3	3E-3	.087	.087	.54	.54	.54	NS	NS	NS
MIS 2 (CLOROETIL-ETER)	.0347	.122	.06	.06	.122	.122	.122	NS	NS	NS	NS	NS
NITROCOMPLEJOS ALIFATICOS												
N-NITROSO-DIMETILAMINA	8E-6	.161	.161	.161	.161	.32	.565	NS	NS	NS	NS	NS
N-NITROSO-D-N-PROPILAMINA	8E-6	.161	.161	.161	.32	.565	NS	NS	NS	NS	NS	NS
NITROCOMPUUESTOS AROMATICOS												
NITROBENZENO	.07	.05	.03	.03	.03	.03	.38	NS	NS	NS	NS	NS
2,4-DINITROTOLUENO	1.1E-3	.091	.23	.091	.091	.11	.23	.5	.5	NS	NS	NS
2,6-DINITROTOLUENO	1.1E-3	.091	.23	.091	.091	.11	.23	.5	.5	NS	NS	NS
BENZOINA	1.1E-2	2E-6	2E-5	2E-6	2E-6	2E-6	2E-3	.1	.1	.06	NS	NS
1,2-DIFENIL HIDRACINA	1.1E-4	.1226	.066	.122	3E-3	6.1E-3	1E-1	1.613	1.613	NS	NS	NS
NITROSO-DIFENILAMINA	.069	5.8E-161	.161	.161	.32	.565	NS	NS	NS	NS	NS	NS
2-NITROFENOL	.06	.3	.15	.1	.15	.2	.22	NS	NS	NS	NS	NS
4-NITROFENOL	.06	.3	.15	.1	.15	.2	.22	NS	NS	NS	NS	NS
2,4-DINITROFENOL	.07	.07	14.3	14.3	14.3	14.3	14.3	NS	NS	NS	NS	NS
2,6-DINITRO-P-CRESOL	.07	.0134	.15	.765	1.34	1.34	1.5	1.5	1.5	NS	NS	NS
3,3-DICLOROBENZOINA	1E-4	2E-4	2E-4	8E-3	2E-3	2E-3	2E-3	5E-2	5E-2	NS	NS	NS
FENOLES												
FENOL	.55	.3	.4	.4	.5	2.56	2.56	2.5	2.48	NS	NS	NS
2,4-DIMETILFENOL	.4	.6	.4	.4	.5	.8	1.8	2.12	NS	NS	NS	NS
FENOLES CLORADOS												
1,2,4-TRICLOROFENOL	.02	.02	.05	.03	.06	.1	.15	.15	.15	NS	NS	NS
3-CLORO-P-CRESOL	1.8	2.5	.3	2.5	.3	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS
2-CLOROFENOL	1E-3	.06	.1	.1	.15	.06	.06	.7	.7	NS	NS	NS
2,4-DICLOROFENOL	4E-3	8E-5	1E-4	1E-4	1E-4	1.5E-4	1E-4	2E-4	2E-4	NS	NS	NS
2,4,6-DICLOROFENOL	.012	.036	.036	.02	.02	.036	.036	.1	.1	NS	NS	NS
POLICLOROFENILUS AROMATICOS	6E-7	2E-4	8E-7	8E-7	1E-7	1E-4	1E-4	1E-5	1E-5	NS	NS	NS
PESTICIDAS CLORADOS												
ENDOSULFAN (a y b)	.074	.159	.159	.159	.3	.3	.3	.3	.3	NS	NS	NS
8HC (a,b,g,i)	3E-3	5E-3	3E-2	3E-2	.01	.01	.01	NS	NS	NS	NS	NS
ALDRIN	7.4E-7	7.6E-6	8E-7	7E-7	7E-5	2E-3	1E-3	1E-3	1E-6	NS	NS	NS
DIELDRIN	7E-7	8E-4	2E-6	7E-4	8E-5	8E-4	2E-3	2E-3	2E-3	NS	NS	NS
4,4'-DDE	2E-7	1.4E-4	2E-6	2E-6	2E-6	1E-4	.05	1E-3	1E-3	NS	NS	NS
4,4'-DDD	1E-7	1.4E-4	2E-6	2E-6	2E-6	1E-4	.05	1E-3	1E-3	NS	NS	NS
4,4'-DDE	2E-7	1.4E-4	2E-6	2E-6	2E-6	1E-4	.05	1E-3	1E-3	NS	NS	NS
HEPTACLORO	2E-7	8E-4	2E-6	4E-6	1E-5	1E-6	.01	.01	.01	NS	NS	NS
HEPTACLORO EPOXIDO	2E-7	8E-4	2E-6	4E-6	1E-5	1E-6	.01	.01	.01	NS	NS	NS
CLORCICO	6E-6	1E-3	4E-6	4E-3	1E-3	4.6	4.6	4.6	4.6	NS	NS	NS
TOXAFENO	7E-6	4E-4	7E-6	7E-6	7E-8	1E-6	.01	.01	.01	NS	NS	NS
LETROES DEL ACIDO PALICO												
MIS 12 ETILACETIL PALATO	.015	3.7	3E-3	3.13	3.13	3.13	3.13	NS	NS	NS	NS	NS
DIMETIL PALATO	.01	3.13	3E-3	3.13	3.13	3.13	3.13	NS	NS	NS	NS	NS
DIMETIL PALATO	.013	3.13	3E-3	3.13	3.13	3.13	3.13	NS	NS	NS	NS	NS
DIETIL PALATO	.034	3.13	3E-3	3.13	3.13	3.13	3.13	NS	NS	NS	NS	NS
1,2-DIETILPALATO	3.13	3.13	3E-3	3.13	3.13	3.13	3.13	NS	NS	NS	NS	NS
1,3-DIETILPALATO	.26	3.13	3E-3	3.13	3.13	3.13	3.13	NS	NS	NS	NS	NS
HIDROCARBONOS ALIFATICOS HALOGENADOS												
1,1-DICLOROETANO	1.7E-3	.067	.087	.087	.027	.54	.54	.54	.54	NS	NS	NS
1,1-DICLOROPETANO	1.3E-4	.0183	.0183	.0183	.25	.25	.25	NS	NS	NS	NS	NS
1,1,2-TRICLOROETANO	8E-3	.087	.087	.017	.087	.087	.54	.54	.54	NS	NS	NS
1,1,2-TRICLOROPETANO	3E-3	.017	.087	.017	.087	.087	.54	.54	.54	NS	NS	NS
CLOROFORMO	1.9E-3	.1	.1	.1	.25	.25	.25	NS	NS	NS	NS	NS
1,1,1-TRICLOROETANO	.087	1.64	14.1	14.1	12.4	25	22	NS	NS	NS	NS	NS
1,3-DICLOROPETANO	.027	1.64	14.1	14.1	12.4	25	22	NS	NS	NS	NS	NS
CLORURO DE METILO	1.9E-3	1.27	5.3E-3	5.3E-3	.11	.11	.11	NS	NS	NS	NS	NS

CONTINUA . . .

PARAMETRO Y/O CONTAMINANTE	USO											
	POTABLE	IRRIGACION	ACUICULTURA Y PESCA	ABREVADEROS	RIEGO DE CULTIVOS PARA CONSUMO CRUIDOS	RIEGO DE HUERTAS Y VIÑAS	RIEGO DE FERRAZES Y AREAS VERDES	LLEVADE DE LAGOS DE RECREO	NAVEGACION DEPORTIVA	AGUA MUNICIPAL NO POTABLE	PRODUCCION DE VAPOR	ENFRIAMIENTO
BROMURO DE METILO	2E-3	5.25	5.25	5.25	11	11	11	NS	NS	NS	NS	NS
BROMOFORMO	1E-3	5.25	5.25	5.26	11	11	11	NS	NS	NS	NS	NS
DICLOROBROMOMETANO	2E-3	5.25	5.25	5.25	11	11	11	NS	NS	NS	NS	NS
TRICLOROFLOROMETANO	1E-3	5.25	5.25	5.25	11	11	11	NS	NS	NS	NS	NS
DICLORODIFLUOROMETANO	1E-3	5.25	5.25	5.25	11	11	11	NS	NS	NS	NS	NS
CLORODIBROMOMETANO	.014	5.25	5.25	5.25	11	11	11	NS	NS	NS	NS	NS
TETRACLOROETILENO	8E-3	.088	.088	.088	.807	.807	.84	.84	.84	NS	NS	NS
TRICLOROETILENO	.027	.807	.807	.807	.807	.807	4.9	.807	.807	NS	NS	NS
CLORURO DE VINILO	.02	.02	5.25	5.25	5.25	5.25	5.25	5.25	5.25	NS	NS	NS
1,2 TRANS DICLOROETILENO	3E-4	3E-4	.019	.018	.25	.25	.25	.25	.25	NS	NS	NS
TETRACLORO DE CARBONO	1E-4	1E-4	.54	.54	.54	.54	.54	.54	.54	NS	NS	NS
1,1 DICLOROMETANO	4E-3	.069	.069	.1	.1	.069	3.4	3.4	3.4	NS	NS	NS
1,1,1 TRICLOROMETANO	6E-3	.087	1E-3	1E-3	.087	.087	.54	.54	.54	NS	NS	NS
HEXAFLUORURO	.019	.087	.087	.017	.087	.087	.54	.54	.54	NS	NS	NS
HEXAFLUOROTADIENO	4E-3	4E-3	.5	.5	.5	.5	.5	.93	.93	NS	NS	NS
HEXAFLUOROCYCLOPENTADIENO	1E-3	2E-3	2E-3	2E-3	3E-3	5E-3	5E-3	5E-3	5E-3	NS	NS	NS
HIDROCARBUROS AROMATICOS HALOGENADOS												
CLOROBENCENO	.02	.02	.02	.04	.03	3E-3	.03	.02	.02	NS	NS	NS
1,2 DICLOROBENCENO	2E-3	.02	.04	.04	.05	.05	.05	.02	.02	NS	NS	NS
1,3 DICLOROBENCENO	2E-3	.02	.04	.04	.05	.05	.05	.02	.02	NS	NS	NS
1,4 DICLOROBENCENO	2E-3	.02	.04	.04	.05	.05	.05	.02	.02	NS	NS	NS
HIDROCARBUROS AROMATICOS												
BENCENO	6E-3	.04	.04	.04	.04	.04	.04	NS	NS	NS	NS	NS
TOLUENO	14.3	17.5	.434	.424	.424	.424	.424	NS	NS	NS	NS	NS
ETIL BENCENO	1.4	1.4	.32	.32	.2	.2	.2	NS	NS	NS	NS	NS
HEXAFLUOROBENCENO	7E-6	2E-3	7E-5	7E-5	7E-5	7E-5	7E-5	.01	.1	NS	NS	NS
1,2,4 TRICLOROBENCENO	2E-3	.03	.02	.04	.05	.06	.06	NS	NS	NS	NS	NS
HIDROCARBUROS POLIAROMATICOS												
NAFTALENO	.62	1.02	1.62	1.62	1.62	2	2	NS	NS	NS	NS	NS
ISOPHONA	5.2	5.2	52	52	52	117	520	520	520	NS	NS	NS
FLUORENO	.028	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS
FLUORANTENO	2E-4	.054	.054	.054	.054	.054	3.98	3.98	3.98	NS	NS	NS
CRISENO	3E-5	2E-3	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS
PIRENO	3E-5	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS
PENANTRENO	3E-5	2E-3	3E-3	3E-3	3E-3	3.1E-3	3E-3	3E-3	3E-3	NS	NS	NS
ANTRACENO	3E-5	2E-3	3E-3	3E-3	3E-3	3E-3	3E-3	3E-3	3E-3	NS	NS	NS
BENZO (A) ANTRACENO	2.8E-5	2E-3	3E-3	3E-3	3E-3	3E-3	3E-3	3E-3	3E-3	NS	NS	NS
BENZO (K) FLUORANTENO	3E-5	2E-3	3E-3	3E-3	3E-3	3E-3	3E-3	3E-3	3E-3	NS	NS	NS
BENZO (F) FLUORANTENO	3E-5	2E-3	3E-3	3E-3	3E-3	3E-3	3E-3	3E-3	3E-3	NS	NS	NS
BENZO (A) PIRENO	3E-5	2E-3	3E-3	3E-3	3E-3	3E-3	3E-3	3E-3	3E-3	NS	NS	NS
BENZO (G,H,I) PERILENO	3E-5	2E-3	3E-3	3E-3	3E-3	3E-3	3E-3	3E-3	3E-3	NS	NS	NS
INDENO (1,2,3,c,d) PIRENO	3E-5	2E-3	3E-3	3E-3	3E-3	3E-3	3E-3	3E-3	3E-3	NS	NS	NS
DIBENZO (E,H,I) ANTRACENO	3E-5	2E-3	3E-3	3E-3	3E-3	3E-3	3E-3	3E-3	3E-3	NS	NS	NS
ACENAPTELENO	1.02	2E-3	3E-3	3E-3	3E-3	3E-3	3E-3	3E-3	3E-3	NS	NS	NS
ACENAPTENO	5E-3	.01	.01	.02	.02	.04	.04	NS	NS	NS	NS	NS
HIDROCARBUROS POLIAROMATICOS HALOGENADOS												
2 CLORONAFTALENO	.5	1.6	1.6	1.6	1.6	1.6	1.6	NS	NS	NS	NS	NS

(*) Simbología: NS = No Sancionado. Todos los valores están expresados en mg/l, excepto pH (unidades); Color (unidades Pt-Co); Turbidez (unidades nefelométricas); Conductividad Eléctrica (ohm/cm); Coliformes fecales y totales (millones de colonias/100 ml).

Cuadro 3.1 Criterios de calidad de agua renovada para doce usos potenciales

11. Navegación deportiva	114
12. Llenado de lagos recreativos	125

La mayoría de los valores fueron seleccionados de las referencias 4, 5 y 6, y cuando no existía se extrapoló mediante factores de seguridad o fórmulas para calcular la concentración máxima posible a largo plazo.

3.6 INDICE DE CALIDAD DE LAS AGUAS RENOVADAS

Para determinar el potencial de utilización del agua renovada, se necesita comparar cada parámetro con los 12 criterios, lo cual resulta difícil de interpretar. Por lo tanto, la estructuración de un índice de calidad (ICARen), facilita la tarea para determinar en forma aproximada, el mejor uso al que puedan ser destinadas las aguas renovadas. La estructura matemática de este índice permite evitar en lo posible, el eclipsamiento o ambigüedad de los resultados; ya que cuando alguna de las concentraciones de los parámetros FQB del agua renovada resultan mayores que el valor de comparación (criterio de calidad de agua potable), el índice toma valores altos.

La estructura del ICARen es el siguiente:

$$ICARen = \ln \left[\frac{\sum_{i=1}^n [(V_{pi}/V_{ci}) + 1]^3}{n} \right]$$

donde: V_{pi} = Valor del parámetro i

V_{ci} = Valor del parámetro i del criterio de calidad de agua potable

n = Número de parámetros involucrados

Aplicando este índice a los criterios de calidad del cuadro 3.1, se obtienen los siguientes valores:

No.	USO	ICARen
1.	Potable	1.95
2.	Producción de vapor	16.75
3.	Enfriamiento	17.25
4.	Acuicultura y pesca	25.45
5.	Natación	26.70
6.	Abrevaderos	27.00
7.	Riego de cultivos para consumir crudos	28.35
8.	Agua municipal no potable	31.10
9.	Riego de huertas y viñas	36.75
10.	Riego de forrajes, cultivos industriales y áreas verdes	36.77
11.	Navegación deportiva	37.02
12.	Llenado de lagos de recreo	37.02

Es importante señalar que los criterios de calidad estructurados, se basan en información bibliográfica extranjera, desarrollada y comprobada mediante bioensayos en organismos indicadores propios del país -- de origen; por lo tanto, es necesario adecuar esa información a la -- realidad mexicana. También se tomaron en cuenta los efectos a la salud humana y al medio ambiente y son los límites máximos permisibles para un uso seguro con riesgo conocido.

Los contaminantes carcinógenos están referidos a un riesgo de presentarse con esta concentración de un caso en 10,000 personas y la mayoría de los contaminantes son datos extrapolados de bioensayos en animales; como existen diferencias metabólicas y genéticas entre el hombre y estas especies, es recomendable efectuar estudios epidemiológicos sobre poblaciones expuestas a las aguas renovadas por diferentes rutas y tiempos de exposición para validar esta información.

CAPITULO 4

DISPOSITIVOS EXPERIMENTALES DE TRATAMIENTO AVANZADO DE AGUAS RESIDUALES

Los Dispositivos Experimentales de Tratamiento Avanzado de Aguas Residuales (DETAAR), fueron conceptualizados a partir de la relación entre la composición de las aguas residuales, procesos ambientales y procesos y operaciones unitarias y de la calidad final deseada; dando como resultado una planta piloto con nueve procesos lo suficientemente flexibles, para probar diferentes alternativas de tratamiento.

4.1 DESCRIPCION DE LOS PROCESOS AMBIENTALES

Los procesos físicos, químicos y biológicos que ocurren en la naturaleza, tienen efectos apreciables en los contaminantes de las aguas residuales, ya sea por interacciones o transformaciones; de esta manera, el establecimiento de la relación permite predecir cualitativamente los cambios de la calidad del agua durante su transporte a través del tiempo. En este inciso, se describen los principales procesos ambientales y sus mecanismos de acción sobre los contaminantes analizados.

Por procesos ambientales se definen, cuando de manera natural remueven o transforman los contaminantes vertidos en las aguas residuales y se clasifican como: fisicoquímicos (fotólisis, oxidación, hidrólisis y especiación química); de transporte (volatilización y sorción) y biológicos (bioacumulación y biodegradación); en el cuadro 4.1, se se

PROPIEDADES FISICAS Y QUIMICAS	ESTRUCTURA QUIMICA	PESO MOLECULAR	PUNTO DE FUSION	PUNTO DE EBULLICION	PRESION DE VAPOR	SOLUBILIDAD EN AGUA	COEFICIENTE DE PARTICION OCTANOL/AGUA (LOG. P)
PROCESOS AMBIENTALES							
FOTOLISIS	x	-	-	-	-	-	-
HIDROLISIS	x	-	-	-	-	x	-
OXIDACION	x	-	-	-	-	-	-
VOLATILIZACION	-	x	x	x	x	x	x
SORCION	-	x	-	-	x	x	x
BIOACUMULACION	-	x	-	-	x	x	x
BIODEGRADACION	x	-	-	-	-	x	x
ESPECIACION QUIMICA	x	x	-	-	-	x	x

Cuadro 4.1 Relación entre los procesos ambientales y las propiedades físicas y químicas de los contaminantes.

- No existe relación
- x Existe relación directa

hala la relación entre las propiedades físicas y químicas de los contaminantes y ocho procesos ambientales.

Fotólisis. La fotólisis es el proceso en el que en un cuerpo de agua en contacto con la luz solar, ocurren transformaciones químicas en algunos compuestos, dependiendo de su estructura química; la influencia de ésta sobre los contaminantes, se determina midiendo la concentración inicial y final después de haber transcurrido un tiempo y en condiciones óptimas de contacto con la luz.

Hidrólisis. La hidrólisis de compuestos orgánicos, generalmente se debe a la introducción de un grupo hidroxilo (-OH) en su estructura química con la pérdida de un grupo funcional, la velocidad de reacción se puede activar por la presencia de un ácido o una base.

Oxidación. La oxidación se entiende como la introducción de un átomo de oxígeno en un compuesto químico, que en condiciones apropiadas puede inducir su descomposición hasta dióxido de carbono y agua, como en el caso de la materia orgánica carbonácea.

Volatilización. La volatilización se presenta en compuestos químicos orgánicos e inorgánicos con alta presión de vapor o baja solubilidad, pero debido a la insuficiencia de información respecto a los factores que influyen en el proceso, es difícil aplicarlos a una evaluación ambiental.

Sorción. El término sorción incluye absorción y adsorción; es un proceso por el cual un componente se transfiere de una fase para acumularse en otra, particularmente cuando la segunda fase es sólida.

La absorción, se realiza cuando las moléculas o átomos de una fase penetran uniformemente en otra, formando una solución en ella; y la adsorción es la acumulación de sustancias en una superficie o interfase; el fenómeno puede ocurrir en la interfase entre líquido-líquido, gas-líquido o líquido-sólido.

Bioacumulación. La bioacumulación de compuestos químicos en varias especies vivas, presenta efectos ecológicos significativos y es espe-

cialmente importante en compuestos químicos hidrofóbicos, que sean solubles dentro de los tejidos grasos o lípidos. Keñaga y Goring (1979), establecieron una correlación entre el factor de bioacumulación, el coeficiente de partición octanol-agua y la solubilidad del compuesto, que se utiliza para determinar el potencial de bioacumulación.

Biodegradación. Es el resultado de la transformación de compuestos químicos a otros más simples, por las enzimas presentes en los organismos vivos, los cuales requieren para su crecimiento; energía y carbono principalmente. La tasa de biodegradación es función directa de la masa microbiana y de la concentración inicial del compuesto químico, bajo condiciones ambientales específicas.

Especiación química. Tiene importancia en el comportamiento de especies químicas como metales pesados, alcalinos y alcalinotérreos, porque dependiendo de las características del compuesto puede ser precipitado, absorbido o adsorbido por materia orgánica o inorgánica, permanecer en fase líquida como ión o formando moléculas complejas.

4.2 RELACION ENTRE LOS PROCESOS AMBIENTALES Y LOS CONTAMINANTES DE LAS AGUAS RESIDUALES

Los compuestos estudiados se agruparon atendiendo la similitud de estructura química, quedando de la siguiente manera:

Físicos	Hidrocarburos alifáticos halogenados
Minerales	Hidrocarburos aromáticos halogenados
Sólidos	Hidrocarburos aromáticos
Nutrientes	Hidrocarburos poliaromáticos
Metales alcalinos y alcalinotérreos (solubles y totales)	Eteres halogenados
Metales pesados (solubles y totales)	Nitrocompuestos alifáticos
Biológicos	Nitrocompuestos aromáticos
Materia orgánica (DBO, DQO, COT)	Fenoles
Grasas y aceites	Fenoles clorados
	Policlorobifenilos

SAAM

Pesticidas clorados
Esteres del ácido ftálico

De acuerdo a sus características de similitud, se puede predecir cualitativamente su comportamiento dentro de los sistemas acuáticos, -- frente a los procesos ambientales mencionados; a continuación se describe cada grupo y la influencia ejercida.

Metales pesados. El proceso ambiental con mayor influencia es la sorción aunque existe susceptibilidad a la volatilización y a la bioacumulación. En la primera de ellas, se presentan dos casos, cuando el metal se encuentra en forma soluble, existe sorción debido a las diferentes cargas eléctricas (cationes con carga positiva) y cuando se encuentra en forma insoluble (coloidal o floculada), se sorbe sobre la materia particulada por efectos de coprecipitación.

La bioacumulación se presenta sólo en los metales pesados (Cd, Cr, Pb, Hg, Mn, Fe), pero en los alcalinos (Na y K) y alcalinotérreos (Ca y Mg), no hay influencia de este proceso.

La especiación química se refiere al potencial del metal, para que en base a sus estados de oxidación, pueda combinarse en el ambiente acuático con los ligandos inorgánicos existentes y formar complejos organometálicos.

El transporte en la fase líquida se realiza por los siguientes mecanismos: a) en forma de sales solubles, b) sorbido a materia orgánica e inorgánica suspendida.

Hidrocarburos alifáticos halogenados, hidrocarburos aromáticos y aromáticos halogenados. El principal proceso de influencia para este -- grupo es la volatilización; sin embargo, no hay información suficiente respecto a la sensibilidad de este proceso para el hexacloroetano, diclorobromometano, dibromoclorometano y el hexaclorobenceno.

Hidrocarburos poliaromáticos y poliaromáticos halogenados. La sorción, es el proceso de mayor influencia sobre estos compuestos y en menor -

grado, la fotólisis y biodegradación, aunque la volatilización también se involucra.

Nitrocompuestos alifáticos, nitrocompuestos aromáticos y nitrocompuestos aromáticos halogenados. Los procesos de mayor influencia son la fotólisis, sorción y oxidación.

Fenoles y fenoles clorados. La fotólisis y oxidación son los procesos de mayor influencia, pero en los fenoles clorados existe mucha diversidad, para el 2-clorofenol y el 2-4-6 triclorofenol no se tiene evidencia de ninguno de los procesos; en el pentaclorofenol existe influencia de sorción, fotólisis, bioacumulación y biodegradación.

Eteres del ácido ftálico. El bis (2-etilhexil) ftalato es el compuesto más estudiado de este grupo, por la poca existencia de información para la mayoría de los compuestos. La solubilidad de este grupo varía de muy soluble hasta moderadamente soluble; todos ellos son probablemente adsorbidos en las partículas suspendidas y en la biota. En general la sorción, bioacumulación y biodegradación son los procesos de mayor influencia.

4.3 RELACION ENTRE LOS PROCESOS AMBIENTALES Y OPERACIONES Y PROCESOS UNITARIOS

Las eficiencias de remoción de los contaminantes presentes en el agua residual, que una operación o proceso unitario puede realizar, dependen fundamentalmente de los procesos naturales involucrados y de la caracterización FQB de la misma agua. Cuando una operación o proceso unitario, se ocupa de reproducir en condiciones controladas uno o varios procesos con influencia únicamente sobre grupos establecidos, la relación entre los procesos naturales y operaciones unitarias, proporciona información de utilidad para la selección de secuencias adecuadas al tipo de aguas por tratar.

En el cuadro 4.2 se muestran siete procesos ambientales con similitud en once operaciones y procesos unitarios; del cual puede observarse que la sorción se presenta en seis de los once casos, seguida por la

OPERACIONES Y PROCESOS UNITARIOS	SEDIMENTACION	FILTRACION	ADSORCION	MEZCLA	PRECIPITACION QUIMICA	COAGULACION FLOCULACION	TRANSFERENCIA DE GAS	OXIDACION QUIMICA	PROCESOS BIOLOGICOS	INTERCAMBIO IONICO	DESINFECCION:
	PROCESOS AMBIENTALES										
FOTOLISIS									X		X
HIDROLISIS					X	X		X			
OXIDACION				X			X	X	X		X
VOLATILIZACION				X			X				
SORCION	X	X	X		X	X			X		
RIOACUMULACION									X		
BIODEGRADACION									X		

Cuadro 4.2 Relación entre procesos ambientales y operaciones y procesos unitarios.

oxidación, hidrólisis, fotólisis, volatilización y bioacumulación.

4.4 EFICIENCIAS DE REMOCION POR OPERACION Y PROCESO UNITARIO

A continuación, se hacen los comentarios relativos a cada operación y proceso unitario involucrado, antes de definir las eficiencias de remoción, por cada uno de los 152 contaminantes.

Mezcla. Fase del tratamiento donde se busca el contacto íntimo, entre las sustancias contaminantes y los reactivos para alcanzar los objetivos deseados, como la transferencia de oxígeno o la floculación.

Sedimentación. Tiene influencia en la remoción de partículas gruesas y en suspensión, cuando se utiliza como tratamiento primario o flóculos de materia orgánica y microorganismos después de un tratamiento biológico, o bien flóculos químicos en la coagulación-floculación.

Coagulación-floculación. Esta operación incide directamente en la remoción de materia coloidal y algunos complejos organometálicos, mediante la adición de sustancias desestabilizadoras, aglomerándolas y provocando su sedimentación.

Filtración. Remueve sólidos suspendidos y metales. Generalmente, se emplea después del tratamiento secundario, para disminuir la carga de sólidos sobre el medio filtrante y evitar la oclusión de éste en periodos cortos.

Oxidación química. Se utiliza para remover amoníaco y reducir la concentración de materia orgánica, bacterias y virus mediante la adición de agentes oxidantes como el cloro o el ozono.

Precipitación química. La adición de compuestos químicos específicos, permiten disminuir la solubilidad de algunas sustancias disueltas, facilitando su remoción por sedimentación. Las eficiencias alcanzadas en la remoción, dependen de la cantidad agregada, de la naturaleza del agua, facilidad de floculación y carga eléctrica de las partículas -- presentes.

Transferencia de gases. Encuentra su principal aplicación, en los procesos biológicos y en la remoción de sustancias volátiles (como los alifáticos halogenados y amoníaco); para el primer caso, se suministra oxígeno mediante aire para satisfacer los requerimientos de la biomasa existente, mientras en el segundo, la remoción se efectúa por arrastre de los compuestos volátiles, por una corriente de aire en sentido inverso del flujo del agua.

Adsorción. Remueve compuestos orgánicos complejos y organometálicos disueltos, por atracción y acumulación en superficies adsorbentes, como el carbón activado. Las eficiencias, dependen de la polaridad, solubilidad, ramificación y del peso molecular del compuesto.

Desinfección. Infiere en la eliminación de microorganismos presentes en el agua residual; usualmente se emplean sustancias como el cloro, hipoclorito, dióxido de cloro, ozono y luz ultra violeta.

Procesos biológicos. Inciden en la coagulación de materia coloidal y en la estabilización de la materia orgánica por la biodegradación; produciéndose en algunos casos, desdoblamientos de moléculas orgánicas a otras de estructura más sencilla y en otros se obtienen como productos finales CO_2 y H_2O . La biodegradación, se puede efectuar por bacterias de tipo aerobio, anaerobio o facultativo, dependiendo de la manera en que el microorganismo tome el oxígeno de su medio.

Intercambio iónico. Tiene considerable influencia en la remoción de nutrientes (amoníaco y fósforo) e iones metálicos. No afecta salvo excepciones a los compuestos orgánicos, al carecer éstos cargas iónicas apreciables; lo cual, se explica considerando la naturaleza de sus enlaces.

Osmosis inversa. Remueve con gran eficiencia sustancias disueltas en forma de sales, mediante la microfiltración de una membrana semipermeable, trabajando a una presión mayor a la osmótica y en sentido inverso, también remueve compuestos orgánicos solubles de bajo peso molecular.

Electrodialisis. En este proceso, los componentes iónicos de una solución, se separan por medio de una membrana semipermeable selectiva

de iones. La aplicación de un potencial eléctrico entre dos electrodos, produce una corriente eléctrica, la cual pasa a través de una solución causando una migración de cationes hacia el electrodo negativo y de aniones hacia el electrodo positivo.

En el cuadro 4.3, se muestran los valores de las eficiencias teóricas de remoción por cada operación y proceso unitario de los 152 parámetros y contaminantes, (Lab. ABC/DGCOH, Fase II, Tomo II, 1981, pp. -- 245-247).

4.5 INTEGRACION DE LOS DISPOSITIVOS EXPERIMENTALES DE TRATAMIENTO AVANZADO DE AGUAS RESIDUALES (PLANTA PILOTO)

Los DETAAR, se integraron en base a la relación existente entre los procesos ambientales y contaminantes presentes en el agua residual, operaciones y procesos unitarios y eficiencias teóricas de remoción; dando como resultado un conjunto de operaciones y procesos unitarios ordenados secuencialmente para realizar la remoción de contaminantes específicos.

La eficiencia de remoción por proceso está determinada por la siguiente expresión:

$$\eta = \frac{C_0 - C_f}{C_0} \times 100 \quad (4.1)$$

donde: η es el porcentaje de remoción de un contaminante específico
 C_0 es la concentración inicial de ese mismo contaminante
 C_f es la concentración final de ese contaminante después de pasar por el proceso

Cuando influyen dos procesos, la relación se modifica de la siguiente manera:

$$\eta_c = (C_1 + C_2) - (C_1 \cdot C_2) \quad (4.2)$$

PROCESOS Y OPERACIONES UNITARIAS Y CONTAMINANTES	UNIDAD											
	TURBIDIDAD	CONDUCIVIDAD	PH	RESISTENCIA	DETERMINACION	DETERMINACION	DETERMINACION	DETERMINACION	DETERMINACION	DETERMINACION	DETERMINACION	DETERMINACION
ODOR	0	10	20	0	0	0	0	0	0	0	0	0
TURBIDEZ	0	30	30	10	0	0	0	0	0	0	0	0
ALCALINIDAD TOTAL	0	0	36	0	0	0	0	0	1	80	0	0
ALCALINIDAD A LA FENFTALEINA	0	0	36	0	0	0	0	0	1	80	0	0
CARBONATOS	0	0	36	0	0	0	0	0	1	80	0	0
BICARBONATOS	0	0	36	0	0	0	0	0	1	80	0	0
NONCARBONATOS	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
CONDUCTIVIDAD ELECTRICA	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	96
CLORURO	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	11
SODIO	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	11
SOLIDOS TOTALES	10	15	20	0	0	25	0	0	0	10	10	10
SOLIDOS TOTALES FIJOS	10	15	15	0	0	20	0	0	0	10	10	10
SOLIDOS TOTALES VOLATILES	10	15	15	0	0	20	0	0	0	10	10	10
SOLIDOS DISUELTOS TOTALES	0	0	5	0	0	20	0	0	0	0	10	10
SOLIDOS DISUELTOS FIJOS	0	0	0	0	0	20	0	0	0	0	10	10
SOLIDOS DISUELTOS VOLATILES	0	0	5	0	0	20	0	0	0	0	10	10
SOLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES	10	60	85	0	0	70	0	0	0	70	10	96
SOLIDOS SUSPENDIDOS FIJOS	10	80	90	0	0	80	0	0	0	80	10	96
SOLIDOS SUSPENDIDOS VOLATILES	10	40	90	0	0	70	0	0	0	80	10	96
SOLIDOS SEDIMENTABLES	20	60	85	0	0	85	0	0	0	90	20	110
P.A.S. SOLUBLE	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
P.A.S. TOTAL	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
NITROGENO AMONIAO	0	15	40	15	0	20	85	85	0	30	20	85
NITROGENO TOTAL	0	30	30	10	0	25	80	80	0	10	0	80
NITRATOS	0	0	0	0	0	0	80	80	0	0	0	80
FOSFORO TOTAL	0	25	30	0	0	70	60	60	0	70	0	70
CALCIO SOLUBLE	0	0	10	0	0	20	0	0	30	10	0	0
MAGNESIO SOLUBLE	0	0	10	0	0	20	0	0	10	10	0	0
SODIO SOLUBLE	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
POTASIO SOLUBLE	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
CALCIO TOTAL	10	10	20	0	0	40	0	0	50	20	0	0
MAGNESIO TOTAL	10	10	20	0	0	0	0	0	40	0	0	0
SODIO TOTAL	10	10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
POTASIO TOTAL	10	10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
PIERO SOLUBLE	0	0	30	0	0	70	0	0	30	20	20	50
MANGANESO SOLUBLE	0	15	10	0	0	70	0	0	0	0	0	0
PLUMBO SOLUBLE	0	0	50	0	0	40	0	0	20	60	50	70
CADMIO SOLUBLE	0	0	50	0	0	70	0	0	20	40	30	60
MERCURIO SOLUBLE	0	0	10	0	0	10	0	0	20	20	10	20
ARSENICO SOLUBLE	0	0	50	0	0	5	0	0	10	20	10	40
CROMO SOLUBLE	0	0	30	0	0	60	0	0	20	40	30	60
PIERO TOTAL	10	60	50	0	0	90	0	0	30	30	30	60
MANGANESO TOTAL	10	30	25	0	0	90	0	0	30	30	30	60
PLUMBO TOTAL	10	50	50	0	0	60	0	0	30	70	40	80
CADMIO TOTAL	10	30	50	0	0	90	0	0	30	50	40	70
MERCURIO TOTAL	10	10	15	0	0	20	0	0	30	50	20	30
ARSENICO TOTAL	10	25	25	0	0	10	0	0	30	20	20	50
CROMO TOTAL	10	30	50	0	0	70	0	0	30	40	30	60
CALCIUM PEGADOS (10 ³ mg/l)	0	0	90	0	0	90	0	0	0	80	99.9	90
CALCIUM TOTALES (10 ³ mg/l)	0	0	0	0	0	90	0	0	0	80	99.9	90

CONTINUA - - -

PARAMETROS Y/O CONTAMINANTES	PROCESOS Y OPERACIONES UNITARIAS													
	TRATAMIENTO PRELIMINAR	SEDIMENTACION PRIMARIA	BAJOS NIVELADOS EN SEDIMENTACION	TRINCHON DE DETENCIÓN	MEZCLA INTIMA	FLOCULACION	SEDIMENTACION	FLOCULACION	SEDIMENTACION	FILTRACION	COAGULACION	ADSORCION	DESINFECCION PRIMARIA	DESINFECCION
ODOR SOLUBLE	0	15	90	0	10	50		0	0	80	80	85	90	0
ODOR NO SOLUBLE	0	10	80	0	10	0				10	40	80	90	
GRASAS Y ACEITES	0	0	70	0	10	0		0	0	30	50	65	80	0
SAW	0	0	40	95	10	55		17	0	0	10	70	70	0
1.1 DIOXIGENADO	0	0	60	10	15	40	40	50	70	0	0	0	60	80
1.1 DIOXIGENADO	0	0	80	10	15	40	40	50	70	0	0	0	50	80
1.1.2 TRIOXIGENADO	0	0	80	10	15	40	40	50	70	0	0	0	50	80
CLORENO	0	0	60	10	15	40	40	50	70	0	0	0	50	80
CLOROFONO	0	0	60	10	15	40	40	50	70	0	0	0	50	80
1.2 DIOXIGENADO	0	0	50	10	15	40	40	50	70	0	0	0	60	80
1.3 DIOXIGENADO	0	0	50	10	15	40	40	50	70	0	0	0	60	80
CLORO DE METILO	0	0	30	10	15	40	40	50	70	0	0	0	60	80
BROMO DE METILO	0	0	60	10	15	40	40	50	70	0	0	0	60	80
BROMONO	0	0	60	10	15	40	40	50	70	0	0	0	60	80
DICLOROMETANO	0	0	60	10	15	40	40	50	70	0	0	0	60	80
TRICLOROMETANO	0	0	60	10	15	40	40	50	70	0	0	0	60	80
DICLORODIFLUOROMETANO	0	0	60	10	15	40	40	50	70	0	0	0	60	80
CLORODIBROMOMETANO	0	0	30	10	15	40	40	50	70	0	0	0	60	80
TETRAFLUOROMETANO	0	0	80	10	15	40	40	50	70	0	0	0	60	80
TRICLORETILENO	0	0	80	10	15	40	40	50	70	0	0	0	60	80
CLORO DE VINILO	0	0	0	10	15	40	40	50	70	0	0	0	60	80
1,2-DICLORODIFLUOROMETANO	0	0	80	10	15	40	40	50	70	0	0	0	60	80
TETRAFLUORO DE CARBONO	0	50	80	10	15	50	50	60	70	0	0	0	60	80
1,2 DIOXIGENADO	0	0	80	10	15	40	40	50	70	0	0	0	60	80
1.1.1.1 TRIOXIGENADO	0	0	70	10	15	40	40	50	70	0	0	0	60	80
1.1.1.1.1 TRIOXIGENADO	0	0	60	10	15	40	40	50	70	0	0	0	60	80
HEXACLOROCICLOHEXANO	0	30	70	20	15	50	50	60	70	0	0	0	60	80
HEXACLOROCICLOHEXANO	0	40	80	20	15	60	60	70	80	0	0	0	60	80
CLORENO	0	30	50	30	15	50	50	60	70	0	0	0	60	80
DIOXIGENADO (1,2-)	0	30	85	30	15	50	50	60	70	0	0	0	60	80
1,3- DIOXIGENADO	0	30	50	30	15	50	50	60	70	0	0	0	60	80
1,4- DIOXIGENADO	0	30	50	30	15	50	50	60	70	0	0	0	60	80
BENCENO	0	30	50	30	15	50	50	60	70	0	0	0	60	80
TOLUENO	0	30	50	30	15	50	50	60	70	0	0	0	60	80
ETIL BENCENO	0	30	50	30	15	50	50	60	70	0	0	0	60	80
HEXACLOROCICLOHEXANO	0	50	50	30	10	10	19	30	40	0	0	70	50	80
1,2,4 TRICLOROBENCENO	0	50	60	30	10	20	20	30	40	0	0	70	50	80
NITRATO	0	50	60	10	0	50	50	20	0	20	40	60	80	80
SULFATO	0	40	50	10	0	50	50	20	0	20	40	60	80	80
FOSFATO	0	50	60	10	0	50	50	20	0	20	40	60	80	80
FLUORURO	0	50	60	10	0	50	50	20	0	20	40	60	80	80
CLORURO	0	50	60	10	0	50	50	20	0	20	40	60	80	80
FENOL	0	50	60	10	0	50	50	20	0	20	40	60	80	80
AMONIO	0	50	60	10	0	50	50	20	0	20	40	60	80	80
TRICLOROBENCENO	0	50	60	10	0	50	50	20	0	20	40	60	80	80
BENCENO (a) ANTRACENO	0	50	60	10	0	50	50	20	0	20	40	60	80	80
BENCENO (b) FLUORANTHACENO	0	50	60	10	0	50	50	20	0	20	40	60	80	80
BENCENO (c) FLUORANTHACENO	0	50	60	10	0	50	50	20	0	20	40	60	80	80
BENCENO (d) FENOL	0	50	60	10	0	50	50	20	0	20	40	60	80	80
BENCENO (e) FENOL	0	50	60	10	0	50	50	20	0	20	40	60	80	80

PARAMETROS Y/O CONTAMINANTES	PROCESOS Y OPERACIONES UNITARIAS													
	TRATAMIENTO PRELIMINAR	SEDIMENTACION PRIMARIA	FACTORES INFLUYENTES CON SEDIMENTACION	REACCION DE ENTUBAMIENTOS	RESEA MANTEN	FLOTACION	SEDIMENTACION	DESSEDIMENTACION	RECAMBIAMIENTO	FILTRACION	COAGULACION	ADSORCION	EXPOSICION INDICA	DESINFECTACION
DEBDO (1,2,3,c,d) PERO	0	50	80	10	0	50	50	20	0	20	60	80	0	
DEBDO (a,b) ANEXO	0	50	80	10	0	50	50	20	0	20	60	80	0	
GENETICO	0	50	80	10	0	50	50	20	0	20	60	80	0	
ACRIDICO	0	50	80	10	0	50	50	20	0	20	60	80	0	
2-CLOROANILINO	0	40	30	0	15	20	36	10	10	20	60	10	-10	
2-CLORO-ETIL-VINIL-ETER	0	0	20	0	10	30	37	10	10	20	60	10	-10	
Mis-2-(CLORETEL) ETER	0	0	40	0	10	30	37	20	10	20	60	10	-10	
Mis-2-(CLORETOCETANO	0	0	50	0	10	40	46	20	10	20	70	10	-10	
4-CLORURO ETER	0	0	40	0	10	30	37	30	10	20	70	20	-10	
Mis-2-(CLORETEL) ETER	0	0	40	0	10	30	37	20	15	20	30	10	-10	
4-BROMURO FENIL ETER	0	0	50	0	10	30	37	20	10	20	70	20	-10	
Mis-2-(CLOREPROPI) ETER	0	0	50	0	10	30	37	30	15	20	60	20	-10	
1-NITRODIBENZILAMINA	0	0	20	0	0	0	0	0	0	0	50	0	0	
1-NITRODI-4-PROPILAMINA	0	0	20	0	0	0	0	0	0	0	50	0	0	
NITROBENZO	0	30	40	10	0	40	40	0	10	20	80	80	0	
2,4-DICHLORURO	0	20	60	0	0	20	20	0	0	10	20	40	80	0
2,6 DICHLORURO	0	20	60	0	0	20	20	0	0	10	20	40	80	0
BENZINA	0	50	70	0	0	50	50	0	0	10	60	80	80	0
1,2-DICHLORURENA	0	30	40	0	0	30	30	0	0	20	20	40	80	0
1-NITRODIBENZILAMINA	0	20	60	0	0	40	40	0	0	20	20	40	80	0
2-NITROFENOL	0	20	70	0	0	40	40	0	0	10	20	40	80	0
4-NITROFENOL	0	20	60	0	0	40	40	0	0	10	20	40	80	0
2,4-DICHLOROFENOL	0	20	60	0	0	40	40	0	0	10	20	40	80	0
2,6-DICHLOROFENOL	0	20	60	0	0	40	40	0	0	10	20	40	80	0
3,3-DICHLOROBENZO FENOL	0	30	80	0	0	60	60	20	0	30	0	40	80	0
2,4-DICHLOROFENOL	0	20	90	0	15	40	40	20	0	10	40	60	70	20
2,4-DICHLOROFENOL	0	20	60	0	15	40	40	20	0	10	40	60	70	20
2,4-DICHLOROFENOL	0	30	70	20	0	60	60	0	0	0	40	70	80	-10
p-cloro-4-cresol	0	0	0	0	0	60	60	0	0	0	40	70	80	0
4-CLOROFENOL	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	40	70	80	-20
2,4-DICHLOROFENOL	0	0	30	0	0	0	0	0	0	0	40	70	80	-20
2,4,6-TRICHLOROFENOL	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	40	70	80	-20
ANILINOS	0	40	80	20	10	20	28	0	40	30	30	70	80	0
DIETILAM (a y b)	0	40	60	10	0	70	70	20	40	20	10	0	80	0
HC (a,b,c,d)	0	40	25	0	0	0	0	0	0	20	10	0	80	0
ALUMIN	0	50	50	10	0	60	60	0	0	30	10	70	80	0
BIDRON	0	50	50	10	0	60	60	0	0	30	10	70	80	0
4,4-DIE	0	50	50	10	0	60	60	0	0	30	10	70	80	0
4,4-DIE	0	50	50	10	0	60	60	0	0	30	10	70	80	0
4,4-DIE	0	50	50	10	0	60	60	20	0	30	10	70	80	0
4,4-DIE	0	50	50	10	0	60	60	20	0	30	10	70	80	0
HETACILIC	0	40	60	10	0	70	70	0	40	20	10	70	80	0
HETACILO PEROXO	0	40	60	10	0	70	70	0	40	20	10	70	80	0
CLOFANO	0	0	30	0	0	70	70	0	40	20	10	70	80	0
TRAFICO	0	40	60	10	0	70	70	0	40	20	10	70	80	0
Mis(2-ETILDIAMINATO)	0	40	70	0	0	60	60	20	0	20	0	10	80	0
Mi-6-OCTEPTALCO	0	40	60	0	0	40	40	15	0	20	0	40	80	0
DIETILFALCO	0	40	80	0	0	40	40	20	0	20	0	40	80	0
Mi-6-BUTILFALCO	0	40	50	0	0	70	70	20	0	20	0	70	80	0
BUTILDIETILFALCO	0	40	65	0	0	40	40	15	0	20	0	40	80	0

Cuadro 4.3 Eficiencias tébricas de remoción por operación o proceso unitario.

donde: η_t es la eficiencia total del sistema para remover un contaminante

C1, C2 es la eficiencia particular de la operación o proceso unitario

siendo ésta la base para el cálculo de las remociones de los trenes de tratamiento preliminares; cuando existe otra unidad adicional C3, la expresión se transforma en:

$$\eta_t = \left\{ \left[(C1 + C2) - (C1 \cdot C2) \right] + C3 \right\} - \left\{ \left[(C1 + C2) - (C1 \cdot C2) \right] C3 \right\}$$

----- (4.3)

y para la remoción de la n-ésima unidad con un valor de Cn se tiene

$$\eta_t = \left[(C1 + C2 + \dots + C_{n-1}) + C_n \right] - \left[(C1 \cdot C2 \cdot \dots \cdot C_{n-1}) + C_n \right]$$

----- (4.4)

también se puede manejar como:

$$\eta_2 = (C1 + C2) - (C1 \cdot C2)$$

$$\eta_3 = (\eta_2 + C3) - (\eta_2 \cdot C3)$$

----- (4.5)

$$\eta_4 = (\eta_3 + C4) - (\eta_3 \cdot C4)$$

.

.

.

$$\eta_n = (\eta_{n-1} + Cn) - (\eta_{n-1} \cdot Cn)$$

Por lo tanto, cuando se aumenta el número de procesos (Cn), el elemento se multiplica por el valor anterior obtenido en la operación aritmética según la fórmula, deduciéndose lo siguiente: "al entrar al sistema con una concentración inicial, ésta es removida en un porcentaje y el remanente será reducido también según la eficiencia del siguiente proceso", así sucesivamente hasta recorrer todo el tren de tratamiento.

En la selección de las operaciones y procesos unitarios de la planta piloto, se analizaron los resultados de un monitoreo realizado en 1981 para las aguas residuales que conduce el Sistema de Drenaje en el Distrito Federal, se consideraron los 152 parámetros y contaminantes ya citados y se les aplicaron diferentes procesos y operaciones con sus respectivas eficiencias de remoción, con la relación aritmética descrita en párrafos anteriores; el propósito, fue obtener un tren de tratamiento con los procesos necesarios, capaces de remover los contaminantes, para obtener una agua teórica con calidad potable desde el punto de vista FQB.

Para ello, fue necesario agrupar niveles de tratamiento como se muestra en el cuadro 4.4, posteriormente se definieron las operaciones y procesos unitarios que constituyeron la planta piloto. A continuación se hace una descripción detallada de la instalación, parámetros de operación, características y objetivos principales.

La planta incluye nueve unidades entre procesos y operaciones unitarias, los trabajos de construcción se iniciaron en 1983, en los terrenos de la planta de tratamiento de aguas residuales de Cerro de la Estrella, concluyéndose ese mismo año.

Durante 1984 y 1985, se desarrolló una etapa de optimización en la operación y hubo necesidad de hacer algunas modificaciones en los equipos; y es en 1986 cuando está lista para iniciar corridas de experimentación con aguas de diferente tipo.

El agua residual llega a la planta piloto, pero antes recibe un tratamiento primario y secundario. En el primero, separa la mayor cantidad de sólidos sedimentables y suspendidos, grasas, aceites y materia flotante; esto se logra, reduciendo la velocidad del agua a flujo laminar y dándole el tiempo de retención necesario para que los sólidos se vayan al fondo del tanque por gravedad; posteriormente, el agua pasa al tratamiento secundario, en donde en un reactor biológico se pro

NIVEL DE TRATAMIENTO	OPERACION y/o PROCESO
PRELIMINAR	1. Cribado 2. Molido 3. Desarenadores
PRIMARIO	1. Sedimentación 2. Flotación y remoción de grasas 3. Floculación y precipitación química
SECUNDARIO	1. Filtros percoladores 2. Lodos activados 3. Lagunas de oxidación y aereación extendida 4. Lagunas de estabilización <u>aerobios</u> , anaerobios facultativos 5. Biodiscos
TERCIARIO	1. Remoción de sólidos suspendidos a) Microcribado b) Coagulación-floculación c) Filtros rápidos d) <u>Filtros con diatomitas</u> 2. Remoción de compuestos orgánicos a) Adsorción b) Oxidación química 3. Remoción de compuestos inorgánicos disueltos a) Electrodialisis b) Intercambio iónico c) Osmosis inversa d) Precipitación química 4. Remoción de nutrientes (nitrógeno) a) Nitrificación-denitrificación b) Desgacificación c) Cloración d) Intercambio iónico
DESINFECCION	5. Desinfección a) Cloración b) Ozonación

Cuadro 4.4 Niveles de tratamiento para las aguas residuales.

veen todos los requerimientos de oxígeno, nutrientes, mezclado y -- otras condiciones ambientales más, para que los microorganismos existentes degraden la materia orgánica (medida como DBO, DQO o COT) contenida en el agua, después se efectúa la separación de la masa microbiana por gravedad, aprovechando la formación de flóculos de mayor -- densidad al agua; para ello, es necesario volver a reducir la velocidad e incrementarse el tiempo de retención hidráulico del agua en un sedimentador secundario.

En este tipo de proceso, se remueve principalmente la mayor cantidad de materia orgánica y no está considerada dentro de la planta piloto porque está implantado en el sistema de tratamiento de aguas residuales del Departamento del Distrito Federal.

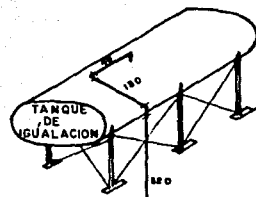
4.5.1 TANQUE DE IGUALACION

El tanque de igualación se compone de un recipiente cilíndrico metálico, con capacidad para almacenar 20 m³ de agua. Su objetivo, es suministrar a los procesos un agua con características FQB uniformes, evitando los picos indeseables presentados en el efluente del tratamiento secundario, como consecuencia de la variación de la calidad de las aguas residuales influentes y de la operación de la misma planta; en la figura 4.1 se muestra un isométrico más detallado y la línea hidráulica correspondiente.

4.5.2 ESPUMACION

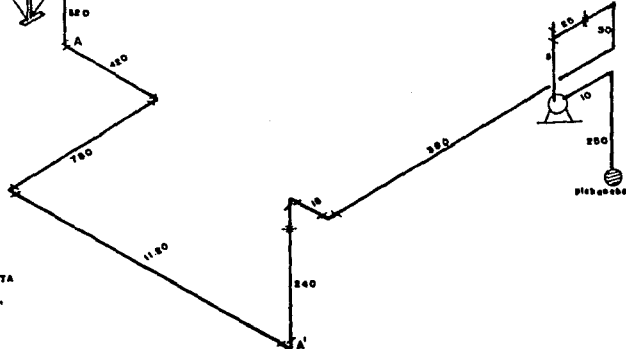
Está formada por una columna vertical cilíndrica de PVC de 40 cm de ϕ y 2.50 m de altura; cuenta con un sistema de difusión de aire de burbuja fina en el fondo y el nivel de agua dentro de la unidad es regulado por medio de una manguera flexible para controlar el tiempo de -- retención hidráulico.

El objetivo es la remoción de sustancias superficialmente activas -- (SAAM) en forma de espumas; ésto se logra inyectando aire a presión a contra corriente. La turbulencia provocada y la creación de una --



INFLUENTE SEDIMENTADOR SECUNDARIO

3750 cm de Fo. Go. de 2" \varnothing
 codo 90° Fo. Go. de 2" (12 pzas.)
 Tee Fo. Go. 2" (1 pza.)
 Tuerca unión Fo. Go. 2" (pzas.)
 Motobomba centrífuga 1,5 HP, 127 volts.



LA LINEA A-A' ES OCULTA

Figura 4.1 Isométrico del tanque de igualación y línea hidráulica de alimentación.

escalación en cm. y
sin escala

extensa área de interfase, propician la generación de espumas para -- ser arrastradas y desalojadas por la misma corriente, formada con la inyección de aire. Algunos otros compuestos como los orgánicos volátiles, también pueden ser removidos, aunque no es el objetivo principal.

Los parámetros de operación y control del proceso son el tiempo de -- retención del agua (t); la relación aire/agua ($r = Q_a/Q_w$); la altura de la columna de agua (h); el tamaño de la burbuja de aire; la altura del bordo libre y el mecanismo de remoción de espumas (% de rechazo); en la figura No. 4.2, se muestra un isométrico más detallado.

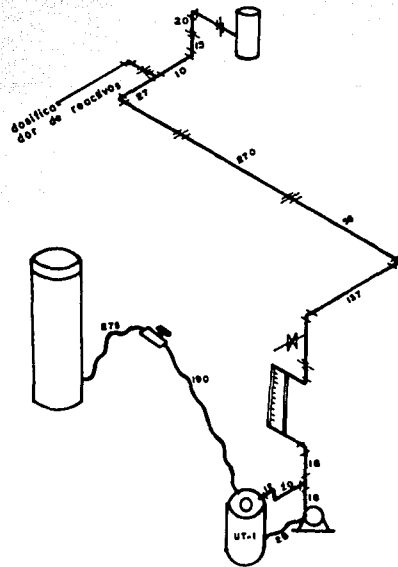
4.5.3 TRATAMIENTO FISICO-QUIMICO

El propósito es precipitar compuestos de fósforo, algunos metales pesados y material orgánico complejo en tres etapas, como mezcla rápida, floculación y sedimentación.

Los principales coagulantes empleados son las sales metálicas de Fe, Al, formulaciones de polímeros orgánicos y compuestos de calcio, como el hidróxido de calcio y cal.

El mecanismo de precipitación se desarrolla, aprovechando la existencia en el agua residual de cantidades considerables de fósforo en forma de ortofosfatos (iones), polifosfatos (o fosfatos condensados) y compuestos orgánicos fosforados. Durante un tratamiento biológico, los polímeros orgánicos fosfatados se utilizan en la formación del -- floc biológico y el material orgánico fosforado complejo, se hidroliza completamente produciendo ortofosfatos; como resultado, se tiene un efluente secundario bien tratado y una gran fracción del fósforo -- se encuentra presente en forma de ortofosfatos; lo cual, favorece del -- de el punto de vista del proceso la precipitación química, porque los ortofosfatos son la especie más fácil de precipitar.

La precipitación con cal, establece que los iones de calcio reaccio--



ESPUMACION-TRATAMIENTO QUIMICO

Materiales

- 44 cm de tubo 3/4" Ø PVC
- 967 cm de tubo PVC 1" Ø
- 465 cm de manguera flexible 1" Ø
- 20 cm de manguera flexible 1/2" Ø
- Tuerca unión PVC 1" Ø (6 pzas)
- Codo 90° PVC roscable 3/4" Ø (3 pzas)
- Codo 90° PVC roscable 1" Ø (7 pzas)
- Tea PVC Roscable 1" Ø (4 pzas)
- Válvula globo PVC roscable 3/4" Ø (1 pza)
- Válvula globo PVC roscable 1" Ø (3 pzas)
- Reducción PVC roscable de 1" a 3/4" Ø (1 pza)
- Rotámetro King Instrument 0-10 GM (1 pza)
- Motobomba centrífuga Siemens 1 HP 127 volts
- Cople PVC roscable 1" Ø (1 pza)

Dimensiones del espumador

Tubo PVC de 40.6 cm de Ø y 250 cm de altura con sistema de difusión de aire de burbuja fina en el fondo

Unidad de transferencia

Cilindro de vinil de 55 cm de Ø y 91 cm de altura

Figura 4.2 Isométrico de la unidad de espumación, línea hidráulica y de aire

cotaciones en cm y
sin escala

nan con el bicarbonato y con los iones de fósforo en presencia de -- iones hidróxilos para formar precipitados insolubles de carbonato de calcio e hidroxiapatita; la reacción es dependiente del pH y la solu bilidad de la hidroxiapatita es muy baja, a pH cercano a 9 es removi da una gran fracción de fósforo. No obstante, el pH de operación se selecciona en base a obtener una buena remoción de material sólido - suspendido y no tan sólo para garantizar la remoción del fósforo pre sente.

A pH de 9.5 prácticamente todo el fósforo puede ser precipitado como hidroxiapatita, pero generalmente, esto siempre va acompañada por una elevada turbiedad en el efluente; siendo común con precipitados de -- calcio y resulta de la dispersión de partículas coloidales; cuando el pH de las aguas se incrementa, empiezan a precipitarse los compuestos de magnesio y por su naturaleza gelatinosa tiende a producir un efluen te altamente clarificado, pero los lodos acumulados son muy difíciles de desaguar.

La mezcla rápida tiene lugar en un tanque de 40 cm de diámetro y un volumen de 50.0 l, adaptado en la parte superior un agitador de prope las.

El floculador esta integrado por tres cámaras dentro de las cuales gi ran paletas con un ancho de 8 cm cada una.

El sedimentador es una gran cámara con un área superficial de 0.75 m², dos canales de 60 cm de longitud cada una y 12 vertedores en "V" a 45 grados. En la figura 4.3, se esquematiza esta unidad de tratamien to.

Las variables de operación y control del proceso son las dosis de coa gulante en función del pH y la alcalinidad de las aguas; el gradiente de velocidad de agitación en mezcla rápida, los gradientes de velocidad en las cámaras de floculación, la carga hidráulica superficial --

**DESCARGA DEL SEDIMENTADOR
A LA UT-2**

Material

40 cm de manguera flexible entopada de 1 1/2 \varnothing
 200 cm de tubo PVC roscable de 2" \varnothing
 Cilindro de fibra de vidrio de 40 cm de \varnothing y
 60 cm de altura, con volumen aprox. de 60 l.
 Tuerca unión roscable 2" (1 pza)
 Codo 90° 2" \varnothing (3 pzas)

escala: 1 cm = 1 cm y 1/2 cm

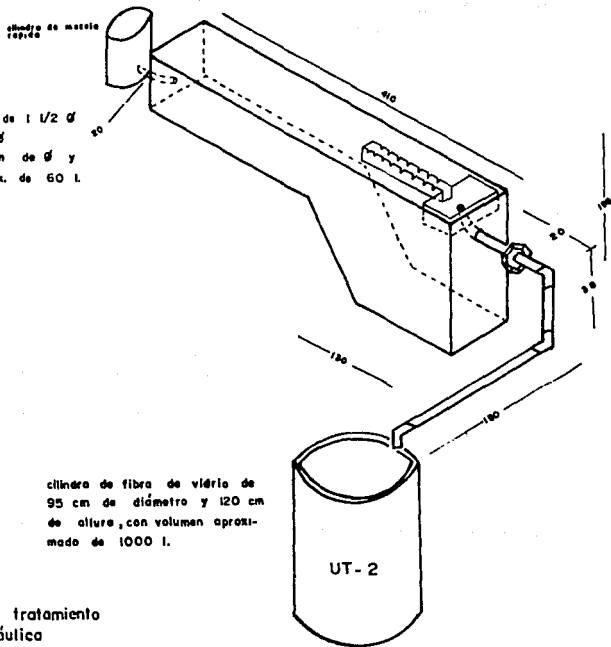


Figura 4.3 Isométrico de la unidad de tratamiento físicoquímico y línea hidráulica

(CHS) en el sedimentador y los tiempos de retención en las diferentes unidades del proceso. Los parámetros de control utilizados son el pH, la turbiedad y la concentración de fosfatos totales.

4.5.4 REMOCION DE AMONIACO (DESORCION)

En este proceso se remueve amoniaco (NH_3) mediante la interacción del amoniaco molecular con el aire, generalmente en sentido inverso al flujo del agua en torres de desorción. La eliminación del NH_3 gaseoso, se realiza posterior a un acondicionamiento del pH del agua residual en las torres de intercambio; además es función de las características físicas de éstas (dimensiones, medio de empaque, geometría, etc), de las características de volatilización del compuesto, la relación aire/agua, la carga hidráulica de la unidad, etc.

El flujo de aire a través de las columnas de remoción es inducido por equipos de extracción colocados en la parte superior de cada una de ellas, en la figura No. 4.4 se muestra un diagrama esquemático más detallado.

Los parámetros de operación son la relación aire/agua (r), altura de empaque, carga hidráulica superficial (CHS) y tiempo de retención (t).

4.5.5 RECARBONATACION

Este tratamiento tiene como finalidad, la neutralización de las aguas provenientes del tratamiento físico químico o de desorción. Para lograr la estabilidad se emplea anhídrido carbónico (CO_2), porque un agua con éstas características es altamente incrustante, causando problemas de deposición de carbonatos de calcio, difíciles de remover en los procesos posteriores.

La inyección del CO_2 se hace por succión en un venturi en línea, el parámetro de operación más importante es la dosificación que varía en función del pH requerido; en la figura 4.5, se muestra un isométrico

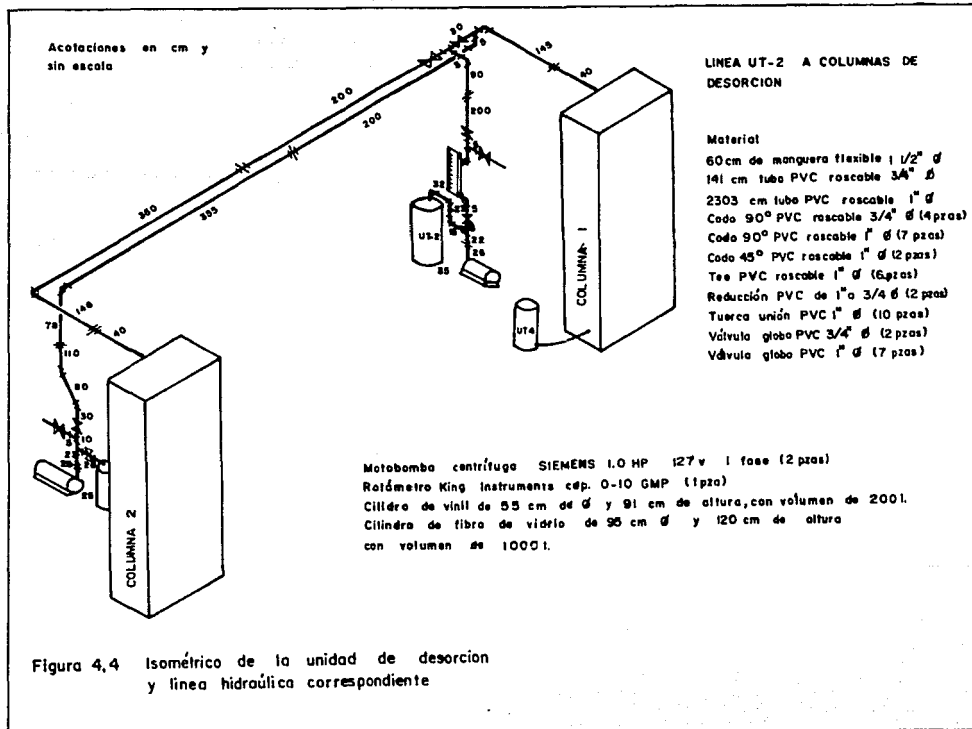
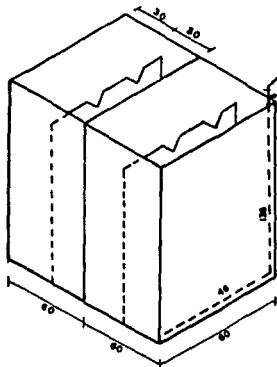


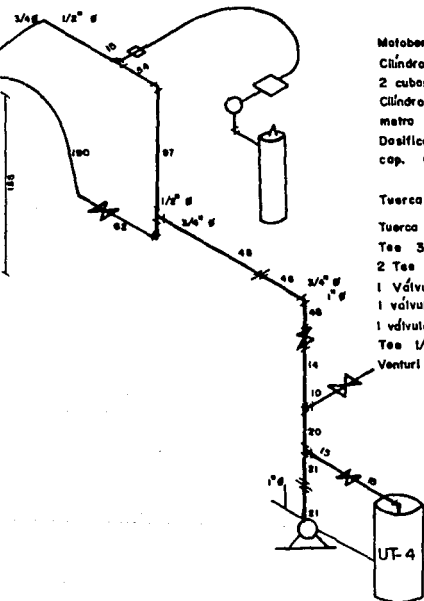
Figura 4.4 Isométrico de la unidad de desorción y línea hidráulica correspondiente

LINEA UT-4 RECARBONATAION



MATERIAL

- Tubo PVC roscable 1" \varnothing 158 cm
- Manguera flexible 1 1/2" \varnothing 20 cm
- Tubo PVC roscable 3/4" \varnothing 186 cm
- Tubo PVC roscable 1/2" \varnothing 188 cm
- 2 codos 90° 3/4"
- Un codo 90° 1"
- Un codo 90° 1/2"



- Motobomba centrífuga Siemens 1 HP
- Cilindro de vinil con vol. 200 l.
- 2 cubos de fibra de vidrio 500l.
- Cilindro CO₂ cap. 47 kg con manómetro de entrada de 0-200 kg/cm²
- Desflicador de CO₂ marca ADVANCE cap. 0-900 gr/hr

- Tuerca unión 1" \varnothing roscable
- Tuerca unión 3/4" roscable
- Tee 3/4" \varnothing roscable
- 2 Tee 1" \varnothing roscable
- 1 Válvula globo 1" \varnothing roscable
- 1 válvula globo 3/4" \varnothing roscable
- 1 válvula compuerta 3/4"
- Tee 1/2" \varnothing cementable
- Venturi de 1/2" \varnothing

Figura 4.5 Isométrico de la unidad de recarbonatión y línea hidráulica correspondiente

esquemático de unidad y la línea hidráulica respectiva.

4.5.6 FILTRACION

El proceso de filtración contribuye a mejorar sustancialmente la calidad del agua tanto de primer uso como residual. No sólo elimina la turbiedad provocada por los sólidos disueltos y suspendidos, sino también algunos microorganismos patógenos.

La planta piloto cuenta con cuatro unidades de filtración, que consisten de columnas empacadas con lechos granulares. Las especificaciones del medio filtrante son:

Gravilla sílica número nominal = 3/16"
 tamaño efectivo = mayor de 2.12 mm y
 menor de 4.76 mm

Arena sílica número nominal = 20/30
 tamaño efectivo = 0.8 mm
 coeficiente de uniformidad = 1.5

Antracita número = 1½
 tamaño efectivo = 0.9 mm
 coeficiente de uniformidad = 1.3

Espesor del lecho gravilla sílica = 13 cm
 arena sílica = 37 cm
 antracita = 41 cm

Tres de las columnas (F-1, F-2, F-3) tienen un diámetro de 30 cm y un área superficial de 0.0707 m². El cuarto filtro (F-4) el diámetro es de 15 cm y el área superficial de 0.01824 m².

Las cuatro unidades pueden trabajar de forma independiente o en galería, dependiendo de la carga superficial requerida. Cada columna tie

ne colocado cinco piezómetros, para realizar lecturas de las pérdidas de cargas, que están distribuidos de la siguiente manera:

PIEZOMETRO

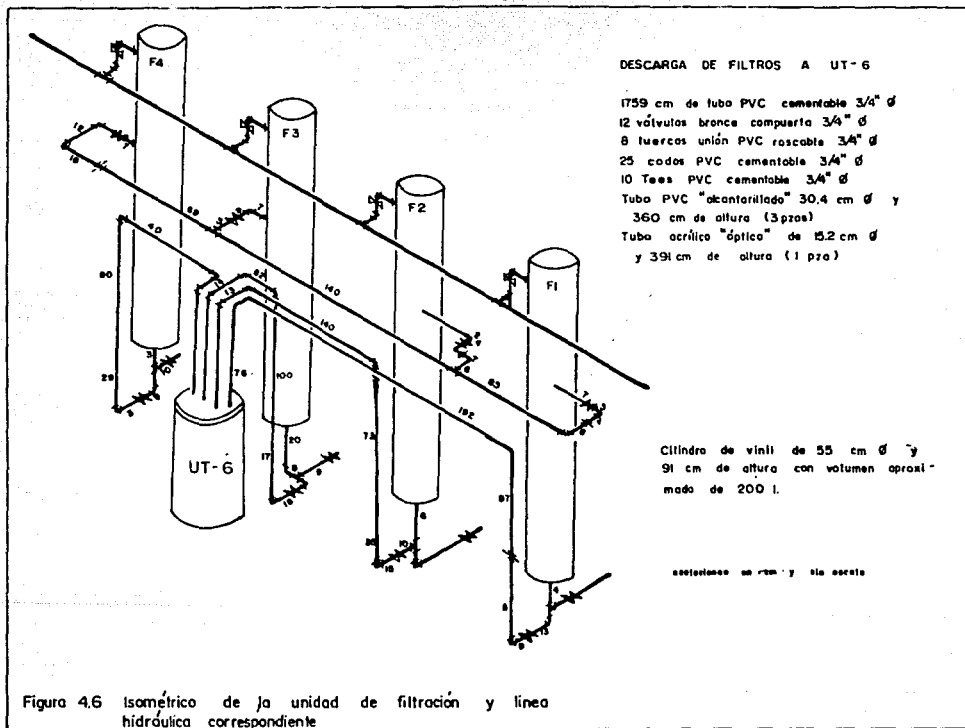
- 1 5 cm arriba del nivel superior del lecho de antracita
- 2 5 cm abajo del nivel superior del lecho de antracita
- 3 En la interfase antracita - arena
- 4 5 cm abajo de la interfase antracita - arena
- 5 En la interfase gravilla - arena

En la figura No. 4.6 se muestra un diagrama esquemático más detallado.

4.5.7 OZONACION

El uso del ozono en los dispositivos experimentales fue planeado con doble propósito: como auxiliar en la oxidación de la materia orgánica soluble remanente de las unidades de filtración y/o carbón activado - granular (CAG) y como desinfectante del influente a ósmosis inversa; adicionalmente se consideró la posibilidad de dosificar pequeñas cantidades a las columnas de filtración, como microfloculante y en la última de las cámaras del floculador mecánico de la unidad de tratamiento químico. Sin embargo, se encontraron otras posibilidades de usos y aplicación, ameritando ser consideradas, como:

- . Desinfección bacteriana
- . Inactivación de virus
- . Oxidación de hierro y manganeso solubles
- . Remoción de olor, sabor y color
- . Remoción de algas
- . Oxidación de orgánicos refractarios (detergentes, pesticidas, fenoles, etc)
- . Remoción de cianuros
- . Preparación de los lechos de carbón activado para la remoción de amoníaco y orgánicos disueltos



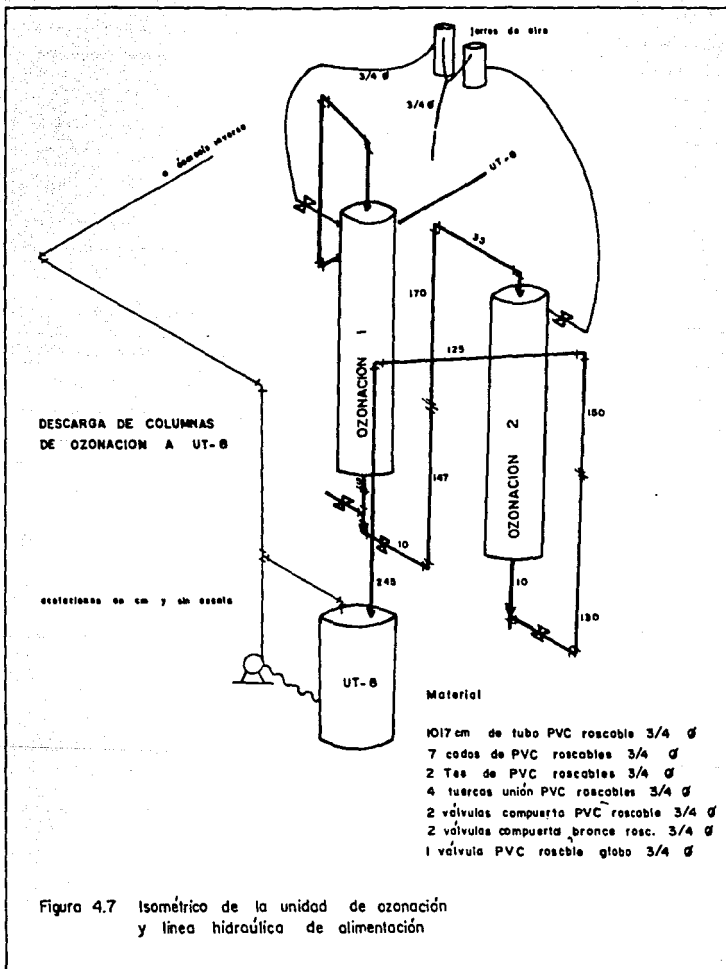
El sistema de aplicación consta de un generador de ozono tipo FL-32 - de U.S. Ozonair, con capacidad nominal de producción de 32 gr/hr a -- partir de aire seco; tratándose de una unidad comercial de línea equi pada con dieléctricos de cerámica de óxido de titanio que operan a ba jo voltaje; el sistema se enfría por circulación de agua en circuito abierto sobre los dieléctricos y por circulación forzada de aire en - los disipadores de calor y transformadores eléctricos. Adicionalmen te cuenta con elementos complementarios como un compresor sin aceite, un tanque de almacenamiento de aire a 80 Psi, un filtro particulado, un secador regenerativo sin calor empacado con alúmina y una válvula reguladora de presión.

La dosificación del ozono al agua se realiza por medio de inyectores tipo venturi en línea, la función es disolver el O_3 que en concentra ciones de 2 a 3% en volumen acarrea el aire ozonado, entrando a dos - cámaras de contacto construidas con PVC de 30 cm de diámetro y 3 m de longitud conectadas en serie; con tiempo de contacto en cada una de - ellas de 15 minutos, operando a un gasto medio de 0.5 l/seg; en la -- fig. 4.7 se muestra un isométrico más detallado y la línea hidráulica respectiva.

4.5.8 ADSORCION CON CARBON ACTIVADO

La adsorción con carbón activado se emplea principalmente, para reno ver un amplio espectro de compuestos orgánicos complejos, materiales refractarios, color, turbiedad, nutrientes y partículas de metales no solubilizados, además de la materia orgánica presente en el agua. El tratamiento se realiza percolando el líquido a través de un lecho fi jo, cuyas características granulares tienen un tamaño medio, entre -- las mallas estandar 8 y 30; no obstante, la capacidad relativa de ad sorción se estima con pruebas de isotermas y la eficiencia real del - proceso; pero las bases y criterios para el diseño se generan con si mulaciones a nivel piloto.

Los mecanismos de adsorción de los contaminantes del líquido a la --



fase sólida del medio de empaque (carbón activado), ocurre en tres pasos; en el primero, el movimiento de contaminante (soluta) a través de una película de agua que escurre superficialmente en la fase sólida (adsorbente); la difusión de los solutos en los poros del adsorbente; y finalmente la sorción del material en la superficie del medio adsorbente.

La unidad se compone de dos columnas de 45 cm de diámetro y longitud efectiva de 3.50 m por cada una, procede directamente después de las torres de filtración y ozonación, pero antecede a las de ósmosis inversa y desinfección. La operación es con flujo descendente para evitar el acarreo de partículas finas, que deterioren equipos posteriores; las características internas y dimensiones se calcularon considerando un gasto de 0.45 l/seg, dando los siguientes resultados:

CHS = 2.83 l/seg - m² = 4.17 gpm/pie²

Volumen de carbón = 0.60 m³

Altura del lecho de carbón = 1.89 m

Falso fondo=0.50 m

Expansión del lecho = 0.90 m

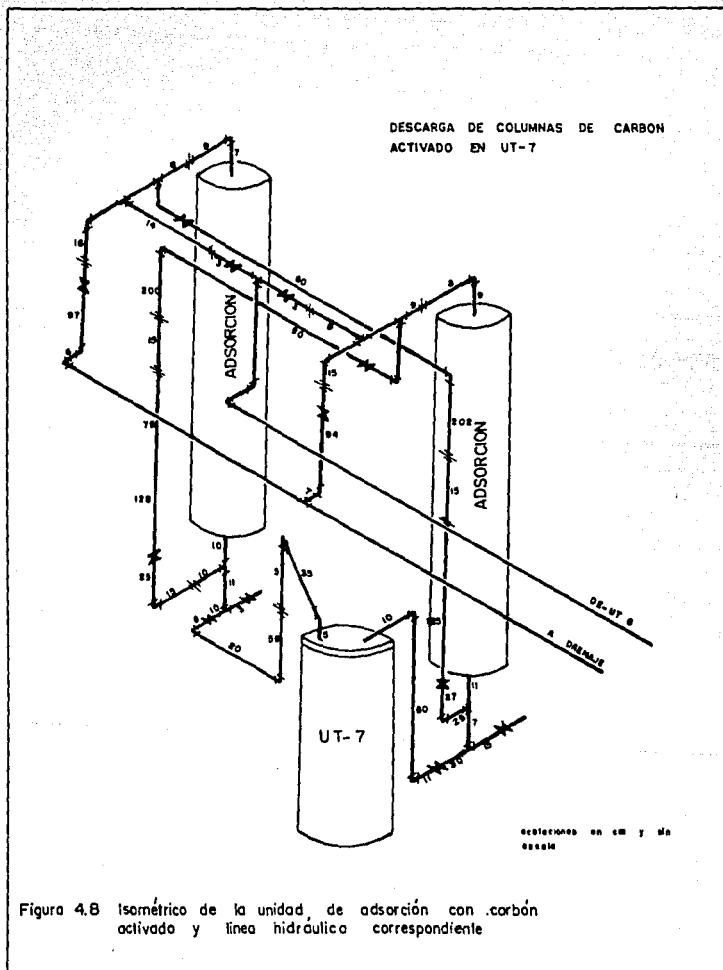
Bordo libre=0.21 m

Longitud total de la columna = 3.50 m

En la figura 4.8 se muestra un isométrico más detallado y la línea hidráulica que componen la unidad.

4.5.9 OSMOSIS INVERSA

Al fenómeno de movimiento espontáneo de un solvente (como el agua), a través de una membrana semipermeable de una solución diluida a una más concentrada, se conoce como ósmosis y la membrana sirve como barrera al paso de otras especies moleculares o iónicas. El movimiento de la solución diluida a la concentrada continúa hasta alcanzar un diferencial de presión, lo suficientemente grande para detener el flujo, a este diferencial se le conoce como presión de equilibrio osmótico y es



función de la concentración de sales en las soluciones y no de la membrana, la expresión matemática esta dada por la ecuación de Van't Hoff:

$$\pi = \sigma \frac{n}{v} R T \quad (4.6)$$

donde: π : presión osmótica
 σ : coeficiente de presión osmótica
 n/v : concentración iónica (moles/litro)
 R : constante universal de los gases = 0.083
 atm - litros/mol -°K
 T : temperatura absoluta

Como regla aproximada, la presión osmótica se incrementa del orden de 10 PSI por cada aumento de 1000 mg/l de NaCl y de un PSI por cada -- 1000 mg/l de orgánicos incrementados.

Cuando ocurre el movimiento de un fluido de una solución concentrada a una solución diluida, a través de una membrana semipermeable a consecuencia de la presión aplicada a la solución concentrada y que es superior a la presión de equilibrio osmótico, se le conoce como ósmosis inversa y la descripción del fenómeno del transporte de sales y solventes a través de una membrana no ideal semipermeable, se establece con dos ecuaciones básicas. La primera expresa el flujo del agua a través de la membrana, en función de la presión aplicada:

$$q = km (\Delta P - \Delta \pi) \quad (4.7)$$

donde: q = flujo de agua
 km = coeficiente de permeabilidad de la membrana, dependiente de espesor, tipo y composición
 ΔP = diferencial de presión aplicado
 $\Delta \pi$ = diferencial de presión osmótica en las soluciones a los lados de la membrana

La segunda ecuación describe el flujo de sales a través de la membrana, que depende casi exclusivamente de la diferencia de concentración

nes de sales de ambos lados.

$$S = k_s(\Delta C_i) \text{ ----- (4.8)}$$

donde: S = flujo de sales

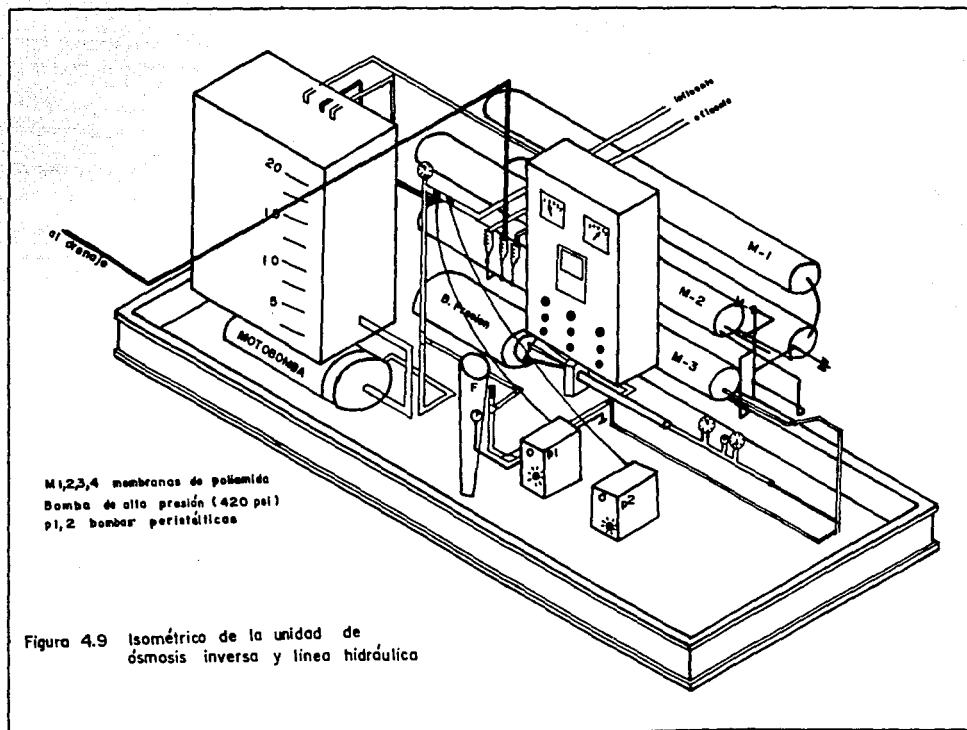
k_s = constante de permeabilidad de la sal

ΔC_i = diferencial de las concentraciones de la sal en las soluciones a ambos lados de la membrana

El proceso de ósmosis inversa remueve prácticamente la totalidad de contaminantes en el agua, incluyendo sales disueltas, trazas orgánicas, virus, color, turbiedad, etc; generalmente, se utiliza como pulimiento de las aguas previamente tratadas con procesos convencionales. En los módulos sólo una fracción del gasto de agua alimentada pasa a través de la membrana y queda libre de contaminantes, el resto es eliminado. Como la fracción que pasa es del 10%, entonces la fracción rechazada es del 90% y con el fin de incrementar el porcentaje de recuperación, es común alimentar el rechazo del primer módulo a uno posterior y así sucesivamente, hasta alcanzar valores del 40% al 90%, dependiendo del número de pasos secuenciales, de los rechazos y de la recirculación. Actualmente se están empleando membranas de poliamida y los parámetros de operación más importantes son: la temperatura, porque de ella dependen k_m , k_s ; la aceleración de compactación y deterioro de las membranas, presión, densidad del empaque, flujo, recuperación del agua y rechazo de sales; en la figura 4.9 se muestra el equipo de ósmosis inversa con las cuatro membranas y la bomba de alta presión.

4.5.10 DESINFECCION

La desinfección, es el proceso por el cual se busca la destrucción de organismos dañinos o de algunas formas objetables presentes en el agua, como las bacterias de origen intestinal, que pueden sobrevivir por semanas e incluso por meses, dependiendo de sus características fisiológicas y morfológicas, además de otros factores como pH, oxígeno di...



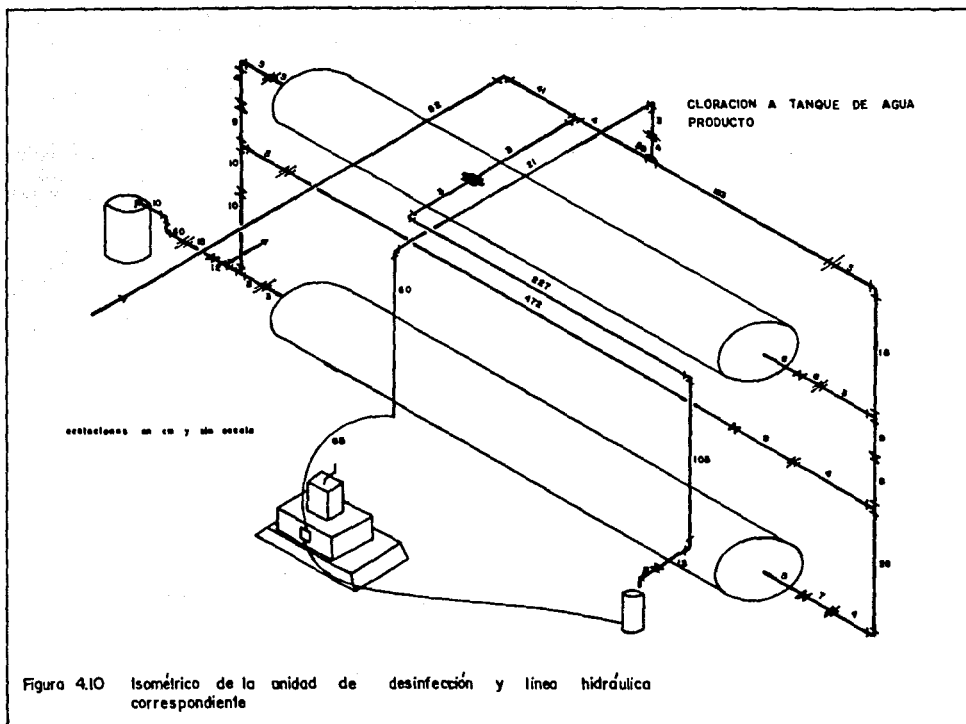
suelto, resistencia a agentes tóxicos, etc. Aunque durante la desinfección se eliminan la mayoría de los organismos vivos, no necesariamente lo realizan en su totalidad, pues se estaría hablando de una esterilización y no es propósito de esta unidad.

Entre los organismos potencialmente patógenos, susceptibles de control con la desinfección se encuentran diversos tipos de virus, protozoarios intestinales y algunos macroorganismos y los métodos y productos más utilizados son el cloro; con el tiempo y la práctica se ha establecido el incremento de eficiencias como una función de factores individuales involucrados en el proceso, como el tiempo de retención, el pH, la temperatura, la concentración de microorganismos, el tipo de los compuestos residuales de cloro, la mezcla inicial entre el cloro y los microorganismos, etc.

Esta unidad cuenta con dispositivos adecuados para simular a escala piloto la operación de desinfección, empleando básicamente sales solubles de cloro como los hipocloritos de sodio y de calcio y dos cámaras de contacto con tiempo de retención variable; además, la operación se efectúa generalmente al final del tren de procesos avanzados, pero también puede realizarse del efluente de cualquier otra operación unitaria individual. En la figura 4.10 se muestra un isométrico detallado de los componentes de la desinfección en los DETAAR.

4.6 MODELO DE SIMULACION

Una vez integrada la planta piloto físicamente, fue necesario desarrollar un modelo de simulación para computadora y así facilitar la tarea en la formulación de los programas de prueba. El modelo es una representación simplificada para simular el comportamiento de los contaminantes de un agua residual, mediante su paso por un tren de tratamiento estructurado. Al final, compara las concentraciones remanentes de cada parámetro o contaminante contra los criterios máximos permisibles para el uso destinado; así mismo, obtiene la eficiencia de remoción global del tren por cada contaminante. Es posible también,



calcular los índices de calidad para el agua residual influente (ICAR) y el agua renovada efluente (ICARen).

Para el desarrollo del modelo se utilizaron las eficiencias de remoción del cuadro 4.3 y los criterios de calidad del cuadro No. 3.1 del capítulo 3; al cual se le denominaron matriz de eficiencias y matriz de calidad. La primera matriz tuvo que ser ajustada a los procesos integrados en la planta piloto, quedando involucrados en la línea horizontal los siguientes:

1. Lodos activados, (incluye tratamiento primario y secundario)
2. Espumación
3. Tratamiento físico-químico
4. Desgasificación
5. Recarbonatación
6. Filtración
7. Ozonación
8. Adsorción
9. Osmosis inversa
10. Cloración

Y en las columnas los 152 parámetros y contaminantes, considerados anteriormente.

En la matriz de calidad, la línea horizontal quedó integrada con:

1. Potable
2. Natación
3. Acuicultura y pesca
4. Abrevaderos
5. Riego de cultivos que se consumen crudos
6. Huertas y viñas
7. Riego de áreas verdes
8. Llenado de lagos
9. Navegación deportiva

10. Municipal no potable
11. Producción de vapor
12. Enfriamiento

Y en las columnas los 152 parámetros y contaminantes considerados anteriormente.

Los contaminantes son removidos en función directa de la eficiencia de cada operación o proceso unitario, durante su paso por éste; es decir, si C_{i_0} es la concentración inicial o de entrada de un contaminante ha cia un proceso, cuya eficiencia de remoción es η_0 para ese parámetro; a la salida habrá una concentración remanente (C_{s_0}) determinada por la siguiente relación:

$$C_{s_0} = C_{i_0} (1 - \eta_0) \text{ ---- (4.9)}$$

donde: C_{i_0} es la concentración inicial
 C_{s_0} es la concentración remanente
 η_0 la eficiencia de remoción

Si la concentración de salida anterior entra a otro proceso (o al mismo nuevamente), con una eficiencia (η_1), la concentración de salida (C_{s_1}) para ese proceso, queda determinada de la siguiente forma:

$$C_{s_1} = C_{s_0} (1 - \eta_1) \text{ ---- (4.10)}$$

Si la concentración remanente de un contaminante pasa por un proceso que tiene $\eta = 0$, entonces

$$C_{s_1} = C_{s_0} \text{ ---- (4.11)}$$

El número de procesos u operaciones unitarias, por donde se hace pasar el agua residual, esta determinado por el tren que se quiera correr.

Como ejemplo, para un tren compuesto por tres procesos acoplados en -

serie (espunación, filtración y adsorción), el cálculo de la eficiencia global para boro es:

De la matriz de calidad para natación

De la matriz de eficiencias

	Espunación	Filtración	Adsorción
Boro = 2 mg/l	0%	0%	10%

$$\text{Boro } C_i = 2.5 \text{ mg/lit}$$

a) Espunación ($\eta = 0\%$)

$$C_s = C_i$$

b) Filtración ($\eta = 0\%$)

$$C_s = C_i$$

c) Adsorción ($\eta = 10\%$)

$$C_s = 2.5 (1 - 0.1) = 2.5 (0.9) = 2.25 \text{ mg/lit}$$

Comparando la concentración al final del tren de tratamiento con el criterio permisible para natación.

	Remanente	vs	Permissible
Boro	2.25 mg/l		2 mg/lit

Puede observarse, que el parámetro no cumple con el criterio de calidad; por lo tanto, es necesario hacer modificaciones ya sea anexando o cambiando otros procesos complementarios.

Para facilidad del cálculo, toda esta estructura se describió en un diagrama de flujo con los 152 parámetros, 12 usos y 11 operaciones y procesos unitarios; posteriormente se programó en una computadora -- APPLE y grabado en un disco blando, con un manual de instrucciones para su posterior operación, estando listo para ser utilizado en la programación y planeación de las pruebas experimentales en la planta piloto.

CAPITULO 5

DISEÑO EXPERIMENTAL PARA LA POTABILIZACION DEL AGUA RESIDUAL

Este capítulo, presenta el diseño y desarrollo experimental para tratar con niveles avanzados las aguas residuales influentes a la planta de Cerro de la Estrella, con el fin de obtener calidades que cumplan con los criterios establecidos para usos industriales, acuacultura y potable. Por restricción de tiempo, el programa de pruebas para los dos primeros usos quedó a nivel de simulación con el modelo y sus respectivos comentarios; mientras en el tercero (agua con calidad potable), después de establecido el diseño, se hicieron las pruebas respectivas en la planta piloto con los ajustes necesarios y un monitoreo de apoyo para la comprobación de los resultados analíticos.

5.1 EVALUACION DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE CERRO DE LA ESTRELLA

Como el agua residual por analizar previamente recibe un tratamiento secundario con lodos activados, en la planta de Cerro de la Estrella antes de llegar a los DETAAR, es menester hacer una descripción general del sistema y evaluación de las eficiencias reales, porque de ser necesario se sugieran algunas políticas de operación para mejorar los resultados de calidad del agua producida.

La planta se encuentra ubicada en la avenida San Lorenzo Tezonco S/N, colonia San Nicolás Tolentino, a un costado del Panteón Civil, Delegación Iztapalapa, D. F., ocupando un área aproximada de 9 hectáreas. La capacidad instalada de tratamiento es de 2000 l/s y se reparte en dos unidades de 1000 l/s para trabajar independientemente. El trata-

miento consiste en uno primario y secundario con lodos activados, al final se hace una desinfección con cloro para garantizar la calidad bacteriológica del agua.

Como primer paso para la evaluación, se consideraron los resultados analíticos de la caracterización del agua residual del capítulo II, de este trabajo (probabilidad al 80% de ocurrencia en el estiaje de 86-87), donde se clasificó al agua con características domésticas y baja influencia industrial, altas concentraciones de nutrientes (fósforo, nitrógeno y fosfatos) y pequeñas cantidades de materia orgánica medida como DBO y DCO.

Dicha información se tomó como datos iniciales para alimentar al programa del modelo de simulación, al cual se le dió instrucciones para procesarlos con un tratamiento secundario y desinfección y después - comparar las concentraciones finales con los criterios para el llenado de lagos de recreo para determinar su aceptabilidad con el uso. Finalmente que calculara la eficiencia global de remoción de cada parámetro involucrado y los índices ICAR e ICARen; los resultados se muestran en el cuadro 5.1; observándose que el color, nitrógeno amoniacal, mercurio, grasas y aceites y SAAM no cumplieron los criterios, sobrepasando sus valores. Posteriormente se comparó con los resultados probabilísticos al 80% de ocurrencia del muestreo realizado durante el período de mayo a septiembre de '85 en el efluente de la planta (agua tratada) con el mismo uso (cuadro 5.2) y los contaminantes que no cumplieron con el rango establecido fueron el color (10%) y las grasas y aceites (14.6%).

Estos últimos resultados son un indicativo del buen funcionamiento de la planta, pero debe tomarse en consideración el período de realización del muestreo, en el cual las aguas residuales y tratadas mejoraron su calidad FQB debido a las diluciones provocadas por las precipitaciones pluviales y la casi nula demanda de agua renovada. Por lo tanto, es indispensable extender estas evaluaciones a épocas críticas como las de estiaje, que es cuando requieren de la mayor capacidad de

URUN

DIRECCION GENERAL DE CONSTRUCCION

Y

OPERACION HIDRAULICA

1) POTABLE, 2) NATACION, 3) ACUAC Y PESCA, 4) AERFV
5) CULT F/CONS CRUDOS, 6) HUERT Y VINAS, 7) FOR Y AREAS VERDES
8) LAGOS, 9) NAV DEP, 10) HUNF N/POT, 11) VAPOR, 12) ENFRJAMIENTO

QUE USO ELIGET-8

1) TRAT SECUNDARIO, 2) ESPUMACION, 3) TRAT FISICOQUIMICO
4) DESGASIFICACION, 5) RECARBONATAACION, 6) FILTRACION, 7) OZONACION
8) ADSORCION, 9) OSMOBIS INVERSA, 10) CLORACION

CUANTOS TRATAMIENTOS TIENE EL TREN?-2

TRATAMIENTO #-1

TRATAMIENTO #-10

NUMERO DE PARAMETROS INVOLUCRADOS:55

PARAMET	C INIC	C FINAL	C PFRM	ACFFT	% FFJC
COLOR	89.45	64.464	37.5	0	78
TURB	66.7	9.336	15	1	86
ALC TOT	274.6	176.62	500	1	35
ALC FEN	0	0	50	1	0
CARBONAT	0	0	50	1	0
SICARB	274.6	176.62	450	1	35
HIDROX	0	0	0	1	0
CONDUCT	665	665	3000	1	0
CLORUROS	50.4	50.4	1000	1	0
BORO	.565	.565	2	1	0
ST	729.6	446.6376	2000	1	38.8
STF	460.2	277.13	1000	1	35
STV	264.7	185.055	200	1	35
SDT	530	265	1000	1	50
SDF	392.6	392.6	500	1	0
SDV	162.6	61.3	165	1	50
SST	212.6	11.4712	1000	1	94.6
SSF	69.7	1.374	500	1	98
SSV	135.4	7.3116	15	1	94.6
S SEDIM	4.3	.215	1	1	95
RAS S	0	0	-1	-1	0
RAS T	0	0	-1	-1	0
NH4-N	16.6	4.316	2.5	0	74
N TOT	24.6	7.2324	10	1	70.6
NOS	0	0	50	1	0
F TOT	6.3	2.9725	50	1	52.5
CA SOL	30.4	27.36	-1	-1	10

CONTINUA - - -

MG SOL	22.3	28.87	-1	-1	10
NA SOL	77.8	77.8	-1	-1	0
K SOL	17.5	17.5	-1	-1	0
CA TOT	31.8	28.8664	150	1	33.7
MG TOT	22.6	14.6446	100	1	33.7
NA TOT	84.8	68.666	250	1	19
K TOT	20	16.2	100	1	19
FE SOL	.87	.863	-1	-1	30
MN SOL	.875	.872675	-1	-1	28.5
FB SOL	.82	7E-03	-1	-1	80
CD SOL	1.4E-03	7E-04	-1	-1	50
HC SOL	1E-04	7E-05	-1	-1	10
AS SOL	1E-03	5E-04	-1	-1	50
CR SOL	3.5E-03	2.45E-03	-1	-1	30
FE TOT	.834	.11412	.3	1	67
MN TOT	.185	.6496125	.1	1	37.5
FB TOT	.832	7.2E-03	1	1	77.5
CD TOT	1.4E-03	3.767E-04	.1	1	71.65
HC TOT	8.5E-03	5.85225E-03	1.5E-03	0	31.15
AS TOT	1.9E-03	9.89E-04	.1	1	49
CR TOT	.81	3.15E-03	.1	1	68.5
COLI FEC	0	0	10	1	0
COLI TOT	.835	.835	1800	1	0
DBO SOL	54.16	4.80360001	20	1	91.5
DGO SOL	127.8	23.004	50	1	87
COT FIJ	0	0	10	1	0
GR Y AC	96.4	26.828	10	0	73
SAAH	35.7	21.42	5	0	40

CLAVE DE ACEPTACION:

1-ACEPTABLE
0-NO ACEPTABLE
-1- NO SANCIONADO

ICAR- 2.47697629 ICAREN- 8.97434836

Cuadro 5.1 Resultados de la simulación con tratamiento secundario y desinfección para agua con destino al llenado de lagos recreativos.

REPORTE R04

SITIO T09S08E04699
 NOMBRE PT C DE ESTRELLA
 PERIODO ANALIZADO 01/MAY/86 AL 30/SEP/86

HOJA NO 1

CLAVE	PARAMETRO	MUM	DISTRIB	NIVEL	VALORES CALCULADOS	LIMITE CONFIANZA 80%	ECUACION DE RECTA	COEFF
181	PH	18	NORMAL	20	0X	78311E+01	80424E+01	8439E+01
102	COLOR	18	LOG-NO	20	0X	29037E+02	41463E+02	58239E+02
103	TURBIDEZ	18	LOG-NO	20	0X	26232E+01	44191E+01	72669E+01
201	ALCALINIDAD TOTAL	17	NORMAL	5	0X	15867E+03	19371E+03	22712E+03
203	DUREZA TOTAL	18	NORMAL	20	0X	16623E+03	16388E+03	20071E+03
205	DICARBONATOS	15	LOG-NO	20	0X	14878E+02	14878E+02	18544E+02
207	CONDUCTIVIDAD LEC	18	LOG-NO	20	0X	47175E+03	71658E+03	76211E+03
208	CLORUROS	19	NORMAL	0	0X	49823E+02	60071E+02	69444E+02
209	BORO	17	NORMAL	20	0X	28118E+00	48795E+00	58977E+00
301	SOL. TOTALES	18	LOG-NO	20	0X	53852E+03	57304E+03	68001E+03
302	SOLIDOS TOTALES F1J0	18	LOG-NO	20	0X	40782E+03	43255E+03	45832E+03
303	SOL. TOTALES VOLATIL	18	LOG-NO	20	0X	12980E+03	15601E+03	18596E+03
304	SOL. DISUELTOS TOTAL	18	LOG-NO	0	0X	59443E+03	42733E+03	14172E+04
305	SOL. DISUELTOS FIJOS	18	NORMAL	20	0X	40137E+03	42571E+03	44892E+03
306	SOL. DISUELTOS VOLAT	18	NORMAL	20	0X	12311E+03	14546E+03	16678E+03
307	SOL. SUSPENDIDOS TOT	18	LOG-NO	20	0X	13262E+02	13262E+02	16122E+02
308	SOL. SUSPENDIDOS F1J0	18	LOG-NO	20	0X	48423E+01	10385E+02	21542E+02
309	SOL. SUSPENDIDOS VUL	18	LOG-NO	20	0X	80845E+01	13536E+02	22182E+02
310	SOL. SEDIMENTALES	18	NORMAL	0	0X	10000E+01	10000E+01	10000E+01
501	NITROGENO AMONIACAL	18	NORMAL	0	0X	88278E+00	21177E+01	33144E+01
502	NITROGENO TOTAL	18	LOG-NO	10	0X	16011E+01	29162E+01	44289E+01
504	FOSFORO TOTAL	16	NORMAL	20	0X	28317E+01	41804E+01	54647E+01
505	FOSFATOS TOTALES	16	NORMAL	20	0X	86809E+01	12939E+02	16797E+02
601	CALCIO SOLUBLE	18	NORMAL	20	0X	31625E+02	36686E+02	41606E+02
602	MAGNESIO SOLUBLE	18	LOG-NO	20	0X	29709E+02	32671E+02	34465E+02
603	SODIO SOLUBLE	18	LOG-NO	20	0X	78442E+02	85228E+02	91247E+02
604	POTASIO SOLUBLE	18	LOG-NO	20	0X	16249E+02	18416E+02	20634E+02
701	CALCIO TOTAL	18	NORMAL	20	0X	31902E+02	36930E+02	41725E+02
702	MAGNESIO TOTAL	18	LOG-NO	20	0X	20998E+02	23744E+02	25444E+02
703	SODIO TOTAL	18	NORMAL	5	0X	76054E+02	87522E+02	98451E+02
704	POTASIO TOTAL	18	LOG-NO	20	0X	16437E+02	18501E+02	20734E+02
901	FIERRO SOLUBLE	18	NORMAL	20	0X	52572E+01	70116E+01	86833E+01
902	MANGANESO SOLUBLE	18	NORMAL	0	0X	95558E+02	25076E+01	39877E+01
903	PLOMO SOLUBLE	18	NORMAL	0	0X	20000E+01	20000E+01	20000E+01
904	CADMIO SOLUBLE	18	NORMAL	0	0X	14000E+02	14000E+02	14000E+02
905	MERCURIO SOLUBLE	18	NORMAL	0	0X	10000E+03	10000E+03	10000E+03
006	ARSENICO SOLUBLE	18	NORMAL	20	0X	10489E+02	15626E+02	20532E+02
906	CROMO SOLUBLE	18	NORMAL	0	0X	33808E+02	38072E+02	4214E+02
901	FIERRO TOTAL	18	LOG-NO	20	0X	13525E+01	13203E+00	7819E+00
902	MANGANESO TOTAL	18	NORMAL	5	0X	27028E+01	44291E+01	59827E+01
903	PLOMO TOTAL	18	LOG-NO	0	0X	29187E+01	29187E+01	33146E+01
904	CADMIO TOTAL	18	NORMAL	0	0X	14000E+02	14000E+02	14000E+02
905	MERCURIO TOTAL	18	NORMAL	0	0X	14000E+02	14000E+02	14000E+02
906	ARSENICO TOTAL	18	LOG-NO	20	0X	15401E+02	1923E+02	3070E+02
707	CROMO TOTAL	18	NORMAL	0	0X	44722E+02	79453E+02	11256E+01
1004	COLIFORMES FECALDES	15	LOG-NO	20	0X	17673E+01	53044E+01	7357E+04
1002	COLIFORMES TOTALES	17	LOG-NO	20	0X	66173E+02	21935E+00	5678E+01
1101	D. B. O. TOTAL	16	NORMAL	20	0X	29012E+01	46287E+01	61999E+01
1102	D. B. O. SOLUBLE	15	LOG-NO	10	0X	42307E+01	27707E+01	40524E+01
1103	D. B. O. TOTAL	18	LOG-NO	20	0X	14606E+02	50946E+02	81392E+02
1104	D. O. SOLUBLE	17	LOG-NO	20	0X	31237E+02	41902E+02	55453E+02
1201	CRAGAS Y ACEITES	18	LOG-NO	20	0X	37723E+01	11680E+02	19980E+02
1301	S A A M	18	NORMAL	20	0X	21144E+01	25120E+01	37491E+01

Cuadro 5.2 Resultados probabilísticos del muestreo realizado al agua tratada por la planta de Cerro de la Estrella

producción y la calidad del agua residual se deteriora enormemente. Además, cuando la planta opera a una producción mayor del 40% se tienen problemas operacionales originados por el diseño de las instalaciones, debido a una desproporción entre las bases de diseño de la ingeniería básica y los parámetros de operación, provocando altos tiempos de retención hidráulica, grandes zonas muertas y cortos circuitos en los sedimentadores primarios y secundarios. En el reactor biológico no se logran establecer las relaciones ideales de sustrato - biomasa ($F/M = 0.3$) porque los sistemas de recirculación de lodos no proporcionan el caudal requerido por el tamaño de sus dimensiones transversales.

Como el agua simulada con el modelo no cumplió con algunos parámetros, se pidió al programa la reprocesación de la información obtenida después del tratamiento secundario con espumación, filtración y cloración; en la cual sólo se logró que el SAAM quedara por debajo del criterio, sobrepasándolo el color, el nitrógeno amoniacal, mercurio total y las grasas y aceites (cuadro 5.3). Se modificó la corrida anexándole la unidad de adsorción con carbón activado antes de la cloración y el mercurio fue el único parámetro que sobrepasó el criterio, los resultados se presentan en el cuadro 5.4 y en la figura 5.1 se muestra una esquematización de las tres corridas realizadas para alcanzar la calidad correspondiente al uso de llenado de lagos.

5.2 SIMULACION DE TRATAMIENTO AVANZADO DE AGUAS RESIDUALES

5.2.1 PROGRAMA DE PRUEBAS

El programa de pruebas se desarrolló para obtener agua para producción de vapor en calderas de baja presión, acuicultura y pesca y potable. Los datos de calidad FQB del agua que alimentaron al modelo fueron los mismos resultados probabilísticos al 80% de ocurrencia del monitoreo realizado en el efluente de la planta (aguas tratadas), durante el periodo de mayo a septiembre de '86 (cuadro 5.2).

La primera simulación se hizo para agua destinada a producción de vapor. Se efectuó un análisis preliminar de la información de entrada y de la calidad requerida para una aproximación de la estructuración.

URUN

DIRECCION GENERAL DE CONSTRUCCION
Y
OPERACION HIDRAULICA

1) POTABLE. 2) NATACION. 3) ACUAC Y PESCA. 4) AGRIC
5) CULT P/CONS CRUDOS. 6) HUERT Y VINAS. 7) FOR Y AREAS VERDES
8) LAGOS. 9) NAV DEP. 10) MUNF N/POT. 11) VAPOR. 12) ENFRIAMIENTO

QUE USO ELIGE? - 6

1) TRAT SECUNDARIO. 2) ESPUMACION. 3) TRAT FISICOQUIMICO
4) DEBAGSIFICACION. 5) RECARRONATAACION. 6) FLOTACION. 7) OZONACION
8) ADSORCION. 9) OSMOSIS INVERSA. 10) CLORACION

CUANTOS TRATAMIENTOS TIENE EL TRFN? - 4

TRATAMIENTO # - 1

TRATAMIENTO # - 2

TRATAMIENTO # - 6

TRATAMIENTO # - 10

NUMERO DE PARAMETROS INVOLUCRADOS: 36

PARAMET	C INIC	C FINAL	C PERM	ACFT	% FFIC
COLOR	87.45	38.6424	37.5	0	56.8
TURB	66.7	3.36166	15	1	94.96
ALC TOT	274.6	35.724	500	1	87
ALC FEN	0	0	50	1	0
CARBONAT	0	0	50	1	0
SICARS	274.6	35.724	450	1	87
HIDROX	0	0	0	1	0
CONDUCT	685	685	3000	1	0
CLORURO	50.4	50.4	1000	1	0
BORG	.565	.565	7	1	0
ST	729.6	401.97364	2000	1	44.97
STF	460.2	267.217	1000	1	41.5
STV	284.7	166.5495	200	1	41.5
SDT	330	265	1000	1	50
SDF	392.6	392.6	500	1	0
SDV	162.6	81.3	165	1	50
SST	212.6	3.44756	1000	1	98.36
SSF	67.7	.5576	500	1	99.7
SSV	135.4	1.46232	15	1	98.97
S SEDIM	4.3	.1075	1	1	97.5
RAS B	0	0	-1	-1	0
RAS T	0	0	-1	-1	0
NH4-N	16.6	2.71966	7.5	0	83.62
N TOT	24.6	5.858244	10	1	76.186

CONTINUA _ _ _

NOS	0	0	50	1	0
F TOT	6.3	.67775	50	1	85.75
CA SOL	30.4	24.624	-1	-1	19
MG SOL	22.3	18.063	-1	-1	19
NA SOL	79.6	79.6	-1	-1	0
K SOL	19.5	19.5	-1	-1	0
CA TOT	31.6	16.48512	100	1	48.16
MG TOT	22.6	11.71584	100	1	48.16
NA TOT	84.6	68.688	250	1	19
K TOT	20	16.2	100	1	19
FE SOL	.09	.0504	-1	-1	44
HN SOL	.095	.072675	-1	-1	23.5
PS SOL	.02	1.6E-03	-1	-1	92
CO SOL	1.4E-03	4.2E-04	-1	-1	70
HG SOL	1E-04	7.2E-05	-1	-1	78
AS SOL	1E-03	4E-04	-1	-1	60
CR SOL	3.0E-03	9.8E-04	-1	-1	72
FE TOT	.634	.0798640001	.3	1	67.4
HN TOT	.105	.03967	.1	1	67.2
PS TOT	.032	2.16E-03	1	1	93.25
CO TOT	1.4E-03	1.9845E-04	.1	1	85.825
HG TOT	8.0E-03	2.926125E-03	1.5F-03	0	63.575
AS TOT	1.9E-03	7.752E-04	.1	1	59.2
CR TOT	.01	9.45E-04	.1	1	90.55
COLI FEC	0	0	10	1	0
COLI TOT	.035	7E-03	1600	1	80
DBO SOL	54.16	1.84144	20	1	96.6
DOO SOL	127.8	20.7036	50	1	83.8
COT FIJ	0	0	10	1	0
GR Y AC	96.4	16.2176	10	0	81.1
SAAN	55.7	1.071	5	1	97

 CLAVE DE ACEPTACION:

1-ACEPTABLE
 0-NO ACEPTARIF
 -1- NO SANCIONADO

ICAR- 2.47697629 ICAREN- 7.47512105

Cuadro 5.3 Resultados de la simulación con los procesos 1, 2,6 y 10 para agua con destino al llenado de lagos recreativos

RUN

DIRECCION GENERAL DE CONSTRUCCION
Y
OPERACION HIDRAULICA

1)FOTABLE.2)NATAACION.3)ACUAC Y PESCA.4)ARRFV
5)CULT P/CONS CRUDDS.6)HUERT Y VINAS.7)FOR Y ARFAS VERDPS
8)LAGOS.9)NAV DEP.10)MUNP N/FOT.11)VAPOR.12)FNFRJAMJFNT0

QUE USO ELIGE?-6

1)TRAT SECUNDARIO. 2) ESPUMACION. 3) TRAT FISICOQUIMICO
4) DEBOSIFICACION. 5)RECARBONATAACION. 6)FILTRACION. 7)OZONACION
8)ADSORCION. 9)OSMOSIS INVERSA. 10)CLORACION

CUANTOS TRATAMIENTOS TIENE EL TREN?-5

TRATAMIENTO #-1
TRATAMIENTO #-2
TRATAMIENTO #-6
TRATAMIENTO #-8
TRATAMIENTO #-10

NUMERO DE PARAMETROS INVOLUCRADOS:55

PARAMET	C INIC	C FINAL	C PERM	ACEPT	% EFIC
COLOR	69.45	5.023512	37.5	1	94.384
TURB	66.7	.504251999	15	1	99.244
ALC TOT	274.8	35.724	500	1	87
ALC FEN	0	0	50	1	0
CARBONAT	0	0	50	1	0
BICARB	274.8	35.724	450	1	87
HIDROX	0	0	0	1	0
CONDUCT	685	685	3000	1	0
CLOFURDS	58.4	45.36	1000	1	10
BORO	.565	.5665	2	1	10
ST	729.6	361.776456	2000	1	50.428
STF	460.2	242.2953	1000	1	47.35
STV	284.7	149.69455	200	1	47.35
SOT	530	238.5	1000	1	55
SOF	392.8	353.52	500	1	10
SDV	162.6	73.17	165	1	55
SST	212.8	.172368	1000	1	99.717
SSF	69.7	.02786	500	1	99.76
SSV	155.4	.073116	15	1	99.946
S SEDIM	4.3	0	1	1	100
RAS S	0	0	-1	-1	0
RAS T	0	0	-1	-1	0
NH4-N	16.6	.407862	2.5	1	97.543
N TOT	24.6	2.5432976	10	1	90.4744

CONTINUA _ _ _

NO3	0	0	50	1	0
F TOT	6.3	.269325	50	1	95.725
CA SOL	30.4	24.624	-1	-1	19
HO SOL	22.3	16.063	-1	-1	19
NA SOL	79.8	79.8	-1	-1	0
K SOL	19.5	19.5	-1	-1	0
CA TOT	31.6	16.48312	100	1	46.16
HO TOT	22.6	11.71564	100	1	46.16
NA TOT	64.8	66.666	200	1	19
K TOT	20	16.2	100	1	19
FE SOL	.09	.0252	-1	-1	72
MN SOL	.095	.072675	-1	-1	23.5
FB SOL	.02	4.6E-04	-1	-1	97.6
CD SOL	1.4E-03	1.68E-04	-1	-1	66
HC SOL	1E-04	5.76E-05	-1	-1	42.4
AS SOL	1E-03	2.4E-04	-1	-1	76
CR SOL	3.5E-03	3.92E-04	-1	-1	66.6
FE TOT	.634	.0319536	.3	1	94.96
MN TOT	.105	.015876	.1	1	64.66
FB TOT	.032	4.32E-04	1	1	96.65
CD TOT	1.4E-03	5.955E-05	.1	1	95.7475
HC TOT	6.5E-03	2.0462675E-03	1.5E-030	1	75.9025
AS TOT	1.9E-03	3.676E-04	.1	1	79.6
CR TOT	.01	1.69E-04	.1	1	96.11
CGLI FEC	0	0	10	1	0
CGLI TOT	.035	7.00000001E-041600	1	1	96
DBO SOL	54.16	.276216	20	1	99.49
DBO SOL	127.6	4.14072	50	1	96.76
COT FIJ	0	0	10	1	0
CA Y AC	96.4	6.37666	10	1	93.365
SAAN	33.7	.3213	5	1	99.1

 CLAVE DE ACEPTACION:

1-ACEPTABLE
 0-NO ACEPTABLE
 -1- NO SANCIONADO

ICAR- 2.47697629 ICAREN- 5.66005937

Cuadro 5.4 Resultados de la simulación con los procesos 1, 2,6,8 y 10 para agua con destino al llenado de lagos recreativos

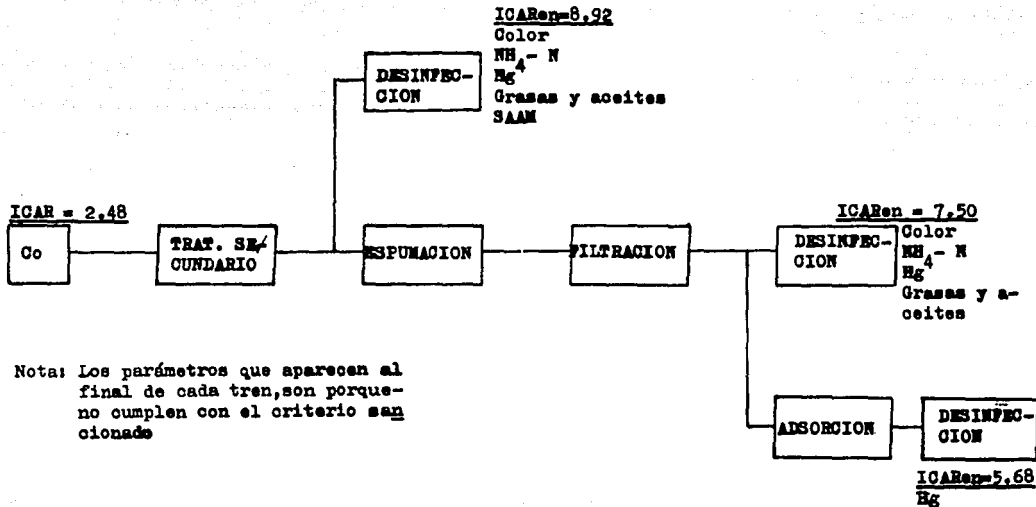


Figura 5.1 Simulación para tres trenes de tratamiento de aguas residuales con destino al riego de áreas verdes y llenado de lagos recreativos

del tren en función de las eficiencias de remoción de los procesos involucrados. Se dieron instrucciones al modelo para procesar los datos con la secuencia seleccionada y se evaluó el número de parámetros que sobrepasaban los criterios, con base en ello, se modificó el tren varias veces ya sea eliminando o anexando otros procesos y operaciones unitarias, según conviniera al caso, hasta obtener uno definitivo el cual incluyó espumación, tratamiento químico, desorción, recarbonatación, filtración, adsorción y ozonación.

Los parámetros que sobrepasaron el criterio fueron los sólidos disueltos totales (20%), sodio total (75%), mercurio (0.78%), arsénico y grasas y aceites (28%); sin embargo, estas cantidades son pequeñas y pueden ser mejoradas con pasar el agua nuevamente por adsorción y ozonación o incrementando los tiempos de retención en las dos unidades, -- también puede establecerse un balance proporcional para la dilución -- del agua renovada con potable para disminuir las cantidades reportadas y cumplir con los criterios establecidos. Se reconoció como el tren óptimo porque la mayoría de los parámetros se removieron por arriba del 95%, excepto la conductividad, cloruros, algunos sólidos y metales en estado soluble. El ICARen fue de 5.56 estando muy por debajo al establecido para este uso, pero es necesario ampliar la simulación para -- contaminantes orgánicos que no se realizaron en esta serie de pruebas debido a la falta de información de este tipo; en el cuadro 5.5 se -- presentan los resultados finales de la última corrida optimizada para este uso en particular.

La siguiente simulación se enfocó para aguas con destino a la acuacultura y pesca; la información de entrada al modelo fue la misma que se utilizó para las corridas anteriores y el procedimiento de selección del tren preliminar también fue similar. Después de varias interacciones intercambiando procesos y operaciones se estableció un tren óptimo que incluyó tratamiento físico-químico para precipitación de nutrientes, desorción para eliminación de nitrógeno amoniacal, recarbonatación para neutralización del agua, filtración para la remoción de sólidos suspendidos y adsorción para la eliminación de algunos otros pa-

GRUN

DIRECCION GENERAL DE CONSTRUCCION
Y
OPERACION HIDRAULICA

1)FOTABLE,2)NATACION,3)ACUAC Y PESCA,4)ARREV
5)CULT P/CONS CRUDOS,6)HUERT Y VJNAS,7)FOR Y ARFAS VFRDFA
8)LAGOS,9)NAV DEP,10)MUNF N/POT,11)VAFOR,12)FNFRJAMTENTG

QUE USO ELIGE?-11

1)TRAT SECUNDARIO, 2) ESPUMACION, 3) TRAT FISICOQUIMICO
4) DEGASIFICACION, 5)RECARBONATACION, 6)FILTRACION, 7)OZONACION
8)ADSORCION, 9)OSMOSIS INVERSA, 10)CLORACION

CUANTOS TRATAMIENTOS TIENE EL TRFN?-7

TRATAMIENTO #-2
TRATAMIENTO #-3
TRATAMIENTO #-4
TRATAMIENTO #-5
TRATAMIENTO #-6
TRATAMIENTO #-6
TRATAMIENTO #-7

NUMERO DE PARAMETROS INVOLUCRADOS:55

PARAMET	C INIC	C FINAL	C PERM	ACCEPT	% EFFIC
COLOR	41.46	.34725704	41	1	99.1576
TURB	4.41	.16267646	5	1	97.6677
ALC TOT	193.7	23.244	200	1	86
ALC FEN	0	0	50	1	0
CARBONAT	0	0	50	1	0
BICARB	162.02	21.6424	200	1	86
HIDROX	0	0	15	1	0
CONDUCT	716.5	429.9	15000	1	40
CLORURO	60	46.6	500	1	17
SGRO	.466	.37526	0	0	17
ST	573	313.26775	500	1	45.375
STF	432	251.7424	400	1	41.66
STV	156	70.7772	100	1	41.66
SDT	927	660.676	500	0	30.7
SDF	425	275.4	400	1	30.7
SDV	145.5	74.264	100	1	30.7
SST	20.7	.6636350062	0	0	99.595
SSF	10.4	.67466	0	0	99.76
SSV	13.5	.63645	0	0	99.73
S SEDIM	.01	0	0	1	100

CONTINUA _ _ _

RMS S	0	0	-1	-1	0
RMS I	0	0	-1	-1	0
NH4-N	2.11	.01914192	2	1	99.0978
N TOT	2.9	.14094	10	1	99.14
NOS	0	0	25	1	0
F TOT	4	.0432	50	1	98.97
CA SOL	36.7	18.4968	-1	-1	99.6
HG SOL	22.7	14.7096	-1	-1	99.7
NA SOL	86.2	86.2	-1	-1	0
K SOL	18.4	18.4	-1	-1	0
CA TOT	36.9	8.856	30	1	76
HG TOT	22.7	10.896	100	1	99
NA TOT	87.5	87.5	50	0	0
K TOT	18.5	18.5	100	1	0
FE SOL	.07	4.704E-03	-1	-1	99.78
MN SOL	.023	7.5E-03	-1	-1	70
FB SOL	.02	5.76E-04	-1	-1	97.17
CD SOL	1.4E-03	5.6448E-05	-1	-1	99.968
HG SOL	1E-04	4.1472E-05	-1	-1	98.998
AS SOL	1.4E-03	5.1104E-04	-1	-1	80.56
CR SOL	3.8E-03	1.36172E-04	-1	-1	98.416
FE TOT	.33	4.5276E-03	.07	1	98.878
MN TOT	.064	1.06352E-03	.1	1	98.437
FB TOT	.061	6.1488E-04	.05	1	98.997
CD TOT	.014	6.82080001E-05	.01	1	99.97
HG TOT	9E-04	1.4112E-04	1.4E-04	0	84.37
AS TOT	2.2E-03	4.4332E-04	7.2E-05	0	79.84
CR TOT	7.9E-03	4.977E-05	.05	1	99.57
COLI FEC	0	0	10	1	0
COLI TOT	.21	4.20000001E-05	2	1	99.98
DBO SOL	2.7	.01456	7.5	1	99.46
DBO SOL	41.9	4.07268	10	1	90.28
COT FIJ	0	0	1	1	0
GR Y AC	11.65	1.2844125	1	0	88.975
SAAM	2.75	.0209678625	.5	1	99.789775

 CLAVE DE ACEPTACION:

1-ACEPTABLE
 0-NO ACEPTABLE
 -1- NO SANCIONADO

ICAR- 1.91746726 ICAREN- 5.53972401

Cuadro 5.5 Resultados de la simulación con los procesos 2, 3,4,5,6,8 y 7 para aguas con destino a la producción de vapor

rámetros como DQO, color, etc.

Los parámetros que quedaron por arriba de los criterios establecidos fueron los sólidos totales volátiles, disueltos totales, mercurio y arsénico. Siendo el ozono un oxidante altamente agresivo, se le adicionó al tren buscando la forma de oxidar estos contaminantes, pero el mercurio fue el único que disminuyó y los sólidos siguieron sobrepasando en un 100% la cantidad permisible; por lo tanto es necesario buscar la remoción en otras unidades como tratamiento físico-químico, filtración y adsorción, modificando los parámetros de operación para la - - optimización de sus eficiencias.

En el cuadro 5.6 se presentan los resultados de la corrida optimizada para este uso en específico, se involucraron 55 contaminantes porque no se contó con información reciente sobre orgánicos. En las dos primeras columnas, después del nombre, aparece la concentración inicial y final de cada parámetro para posteriormente compararlas con los criterios y determinar su aceptabilidad; finalmente reporta la eficiencia global del tren por cada parámetro y el índice de calidad del agua renovada (ICARen = 6.2).

La última simulación se realizó para agua potable, la estructura de la secuencia se desarrolló tomando como tren básico los 6 primeros procesos (tratamiento secundario, espumación, tratamiento físico-químico, desorción, recarbonatación y filtración); posteriormente se adicionaron otros complementarios en función de remover la totalidad de los parámetros.

La primera corrida, además del tren básico, se adicionó adsorción y cloración, pero varios contaminantes sobrepasaron los niveles establecidos; entre ellos: los sólidos totales volátiles (STV), sólidos disueltos volátiles (SDV), sólidos disueltos totales (SDT), mercurio (Hg), - arsénico (As), DQO y grasas y aceites; se amplió el tren con la unidad de ozonación para oxidarlos pero no repercutió en forma significativa; por lo tanto, estos mismos parámetros no pudieron cumplir con los valo

URUN

DIRECCION GENERAL DE CONSTRUCCION
Y
OPERACION HIDRAULICA

1) POTABLE. 2) NATACION. 3) ACUAC Y PESCA. 4) APREV
5) CULT P/CONS CRUDDS. 6) HUERT Y VINAS. 7) FOR Y AREAS VERDES
8) LAGOS. 9) NAV DEP. 10) HUMP N/POT. 11) VAPOR. 12) ENFRJANTFNTQ

QUE USO ELIGE? -3

1) TRAT SECUNDARIO. 2) ESPUMACION. 3) TRAT FISICOQUIMICO
4) DESGASIFICACION. 5) RECARBONATACION. 6) FLOTACION. 7) OZONACION
8) ADSORCION. 9) OSMOSIS INVERSA. 10) CLORACION

CUANTOS TRATAMIENTOS TIENE EL TREN? -3

TRATAMIENTO # -3

TRATAMIENTO # -1

TRATAMIENTO # -3

TRATAMIENTO # -6

TRATAMIENTO # -6

NUMERO DE PARAMETROS INVOLUCRADOS: 55

PARAMET	C INIC	C FINAL	C PERM	ACEPT	% EFIC
COLOR	41.46	1.1641766	15	1	97.177
TURB	4.41	.127006	16	1	97.17
ALC TOT	173.7	23.244	500	1	86
ALC FEN	0	0	50	1	0
CARBONAT	0	0	50	1	0
BICARB	162.02	21.6424	450	1	86
HIDROX	0	0	0	1	0
CONDUCT	716.5	429.7	500	1	40
CLORUROS	60	46.6	500	1	17
SDRO	.466	.37526	2	1	17
ST	573	346.8775	600	1	37.25
STF	452	277.936	550	1	37.2
STV	156	101.866	50	0	35.2
SDT	927	667.44	500	0	26
SDF	425	306	450	1	76
SDV	145.5	104.76	50	0	76
SS1	20.7	.07315600002	100	1	97.55
SS2	10.4	.0632	100	1	97.2
SSV	13.5	.0465	0	0	97.7
S SEDIM	.01	0	0	1	100
RAS S	0	0	-1	-1	0
RAS T	0	0	-1	-1	0
NH4-N	2.11	.026566	1	1	96.74
N TOT	2.7	.1566	10	1	94.6

CONTINUA _ _ _

NOS	0	0	50	1	0
F TOT	4	.0432	50	1	98.97
CA SOL	36.7	18.4968	-1	-1	47.6
HG SOL	22.7	14.7096	-1	-1	35.7
NA SOL	86.2	86.2	-1	-1	0
K SOL	18.4	18.4	-1	-1	0
CA TOT	36.9	6.856	100	1	76
HG TOT	22.7	10.896	100	1	57
NA TOT	87.5	87.5	700	1	0
K TOT	18.5	18.5	150	1	0
FE SOL	.07	5.88E-03	-1	-1	91.6
MN SOL	.025	7.5E-03	-1	-1	70
FB SOL	.02	1.152E-03	-1	-1	94.24
CD SOL	1.4E-03	8.064E-03	-1	-1	94.24
HG SOL	1E-04	4.608E-03	-1	-1	53.97
AS SOL	1.6E-03	3.456E-04	-1	-1	78.4
CR SOL	3.8E-03	1.9456E-04	-1	-1	94.68
FE TOT	.33	6.468E-03	.1	1	98.04
MN TOT	.064	1.4336E-03	.1	1	97.76
FB TOT	.061	1.0248E-03	.1	1	98.37
CD TOT	.014	1.47E-04	.011	1	98.95
HG TOT	9E-04	1.764E-04	1.48E-040		80.4
AS TOT	2.2E-03	5.544E-04	1.73E-040		74.6
CR TOT	7.9E-03	9.954E-05	.05	1	98.74
CGLI FEC	0	0	1000	1	0
CGLI TOT	.21	4.20000001E-041600		1	99.8
DBO SOL	2.7	.0728999999	3	1	97.3
DBO SOL	41.9	6.7876	10	1	83.6
COT FIJ	0	0	2	1	0
GR Y AC	11.65	2.568825	10	1	77.95
SAAN	2.95	.4659325	.5	1	84.205

CLAVE DE ACEPTACION:

1-ACEPTABLE
0-NO ACEPTABLE
-1- NO SANCIONADO

ICAR- 1.91946726 ICAREN- 6.19777247

Cuadro 5.6 Resultados de la simulación con los procesos 3, 4,5,6 y 8 para agua con destino a la acuicultura y pesca

lores necesarios para que el agua pudiera usarse con fines potables, optándose a probar otras secuencias.

Se estructuró otra corrida con espumación, desorción, filtración, ósmosis inversa y cloración, pero el arsénico y las grasas y aceites no pudieron cumplir con el criterio; sin embargo, buscando una optimización de los procesos y como una preparación del agua, antes de entrar a adsorción y ósmosis inversa, se decidió involucrar todo el tren básico, quedando finalmente con espumación, tratamiento físico químico, desgasificación, recarbonatación, filtración, adsorción, ozono, ósmosis inversa y desinfección. Se dieron instrucciones al modelo para procesar la información de entrada con esta secuencia y cuyos resultados se muestran en el cuadro 5.7, del cual se observa lo siguiente.

El arsénico fue el único que superó el valor del criterio, las eficiencias globales de remoción del tren en la mayoría de los contaminantes fue por arriba del 95% y el ICAREN fue de 2.36; no obstante, las concentraciones remanentes de algunos parámetros están muy por debajo de lo establecido en las normas de calidad para agua potable, siendo necesario enriquecerla ya sea combinando aguas de primer uso con las -- aguas renovadas o bien agregando los requerimientos necesarios. Para la comprobación de los resultados técnicos emanados de esta última simulación, se corrieron pruebas en los dispositivos experimentales apoyado con muestreos de campo y análisis de laboratorio. Finalmente en -- las figuras 5.2 y 5.3 se muestran las últimas secuencias para los 3 usos estructurados.

5.3 PRUEBAS DE TRATABILIDAD EN LOS DETAAR

De los resultados de las corridas de simulación para potabilizar el agua residual, el tren de mayor eficiencia de remoción sobre los contaminantes incluyó los nueve procesos involucrados en la planta piloto, además del de lodos activados, siendo el arsénico el único parámetro que no cumplió con el criterio establecido para ese uso. Como una forma de comprobar el grado de aproximación del modelo con las eficiencias reales y determinar la posibilidad técnica de potabilizar el --

RUH

DIRECCION GENERAL DE CONSTRUCCION
Y
OPERACION HIDRAULICA

1) POTABLE. 2) NATACION. 3) ACUAC Y PESCA. 4) ARRFV
5) CULT P/CONS CRUDOS. 6) HUERT Y VINAS. 7) FOR Y ARFAS VFRDPS
8) LAGOS. 9) NAV DEP. 10) HUNF N/POT. 11) VAPOR. 12) ENFERIAHENTO

QUE USO ELIGE?-1

1) TRAT SECUNDARIO. 2) ESPUMACION. 3) TRAT FISIQUIMICO
4) DEBGASIFICACION. 5) RECARBONATAACION. 6) FTI TRACCION. 7) OZONACION
8) ADSORCION. 9) OSNOSIS INVERSA. 10) CLORACION

CUANTOS TRATAMIENTOS TIENE EL TREN?-9

TRATAMIENTO #-2
TRATAMIENTO #-3
TRATAMIENTO #-4
TRATAMIENTO #-5
TRATAMIENTO #-6
TRATAMIENTO #-6
TRATAMIENTO #-7
TRATAMIENTO #-9
TRATAMIENTO #-10

NUMERO DE PARAMETROS INVOLUCRADOS:55

PARAMET	C INIC	C FINAL	C PERH	ACCEPT	% EFIC
COLOR	41.46	.139703616	5	1	97.66504
TURB	4.41	.10267646	5	1	97.6677
ALC TOT	193.7	6.9732	300	1	96.4
ALC FEN	0	0	10	1	0
CARBONAT	0	0	10	1	0
SICARS	182.02	6.55272	300	1	96.4
HIDROX	0	0	0	1	0
CONDUCT	716.5	25.794	1500	1	96.4
CLORUROS	60	7.72	250	1	83.6
SGRO	.486	.079056	2	1	83.6
BT	573	31.928775	300	1	94.5375
STF	432	25.17424	450	1	94.166
STV	156	9.09792002	50	1	94.166
SDT	927	60.0696001	300	1	93.57
SDF	423	27.54	450	1	93.57
SDV	140.5	9.42840001	50	1	93.57
SST	20.7	.0888350002	0	0	99.595
SSF	10.4	.07466	0	0	99.76
SSV	13.5	.09645	0	0	99.73
S SEDIH	.01	0	0	1	100
RAS S	0	0	-1	-1	0

CONTINUA _ _ _

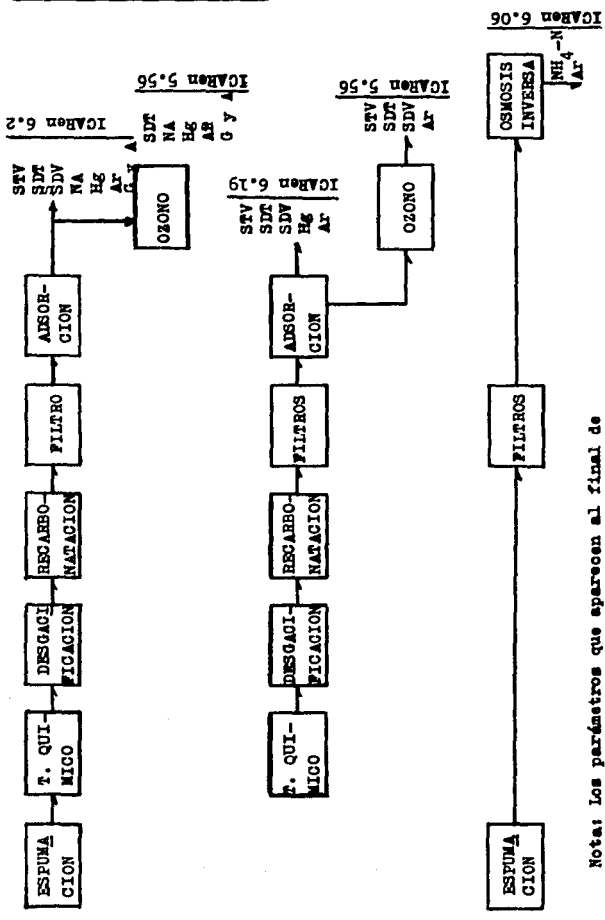
RAB T	0	0	-1	-1	0
NHA-N	2.11	7.65676779E-03.5	1	1	99.63712
N TOT	2.9	.042282	10	1	98.547
NOS	0	0	25	1	0
F TOT	4	.0432	30	1	98.97
CA SOL	36.7	5.54904	-1	-1	84.88
HC SOL	22.7	4.41288	-1	-1	86.56
HA SOL	66.2	25.86	-1	-1	70
K SOL	18.4	5.52	-1	-1	76
CA TOT	36.9	1.7712	30	1	95.7
HC TOT	22.7	2.1792	100	1	98.4
HA TOT	67.5	17.5	100	1	80
K TOT	18.5	3.7	100	1	80
FE SOL	.07	1.4112E-03	-1	-1	97.984
HN SOL	.025	7.5E-03	-1	-1	70
PB SOL	.02	6.912E-03	-1	-1	99.6544
CD SOL	1.4E-03	5.64480001E-06-1	-1	-1	99.5968
HC SOL	1E-04	6.2208E-06	-1	-1	93.7797
AS SOL	1.6E-03	1.24416E-04	-1	-1	97.774
CR SOL	3.8E-03	9.53343779E-05-1	-1	-1	97.4912
FE TOT	.03	9.0552E-04	.05	1	99.7256
HN TOT	.064	2.00704E-04	.05	1	99.6864
PB TOT	.061	1.22976E-04	.05	1	99.7984
CD TOT	.014	4.41000001E-06.01	1	1	99.9685
HC TOT	9E-04	1.4112E-05	1.4E-04	1	98.437
AS TOT	2.2E-03	1.33056E-04	2.2E-03	0	98.957
CR TOT	7.9E-03	9.954E-06	.05	1	99.674
COLI FEC	0	0	?	1	0
COLI TOT	.21	4.20000001E-06.50	1	1	99.978
DBO SOL	2.7	1.458E-03	7.5	1	99.946
DQO SOL	41.7	.407268	4	1	99.028
COT FIJ	0	0	?	1	0
GR Y AC	11.65	.513765	1	1	95.59
SAAM	2.95	6.27635876E-03.5	1	1	99.7867675

CLAVE DE ACEPTACION:

- 1-ACEPTABLE
- 0-NO ACEPTABLE
- 1- NO SANCIONADO

ICAR- 1.91946726 ICAREN- 2.36367607

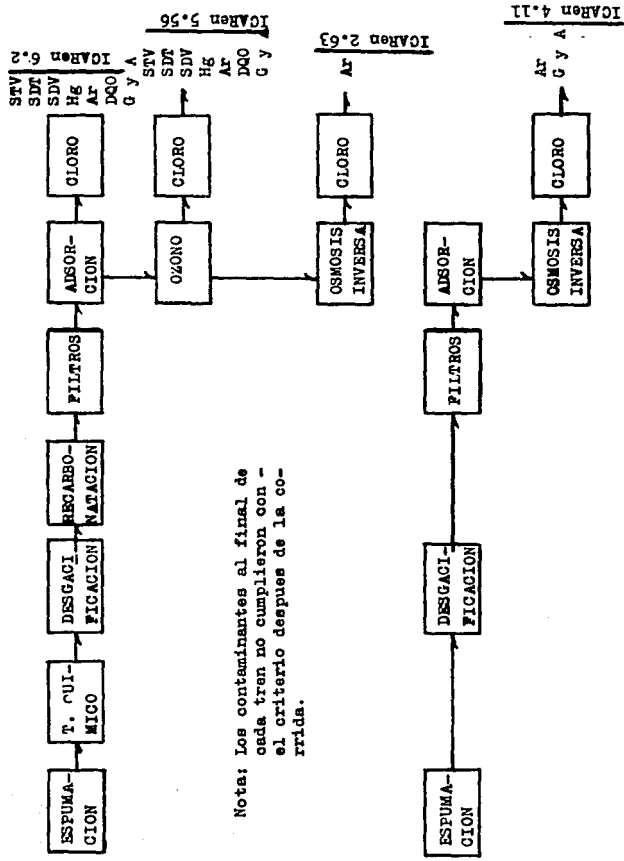
Cuadro 5.7 Resultados de la simulación en el que se incluyen todos los procesos de la planta piloto, para agua con uno potable



Nota: Los parámetros que aparecen al final de cada tren son los que no cumplen con el criterio después de la corrida.

Figura 5.2 Resumen esquemático de las simulaciones realizadas con el modelo para obtener agua renovada para producción de vapor, acuicultura y pesca.

A G U A C O N C A L I D A D P O T A B L E



Nota: Los contaminantes al final de cada tren no cumplieron con el criterio despues de la co-rrida.

Figura 5.3 Resumen esquemático de las simulaciones realizadas con el modelo para obtener agua potable

agua residual, se desarrolló esta misma secuencia en los DETAAR.

5.3.1 PARAMETROS DE OPERACION Y CONTROL DE LOS PROCESOS EN CAMPO

Los parámetros de operación asignados a cada uno de los procesos se obtuvieron de las pruebas de optimización realizadas durante 1985, en la misma planta piloto y los de control están en función de los contaminantes específicos por remover en cada uno de ellos. En el cuadro 5.8 se describen por proceso los parámetros de operación y control en campo.

Los pH de 10.5, las dosis de cal de 320 mg/l y los gradientes de velocidad para el tratamiento químico se establecieron en base a pruebas de jarras preliminares; la dosis de CO₂ asignada, es la requerida para bajar el pH del agua de 10.8 a 7.5 y la presión de entrada y pH, en la unidad de ósmosis inversa, son especificaciones del fabricante para operar el equipo. Los tiempos de retención hidráulico y cargas hidráulicas superficiales se calcularon considerando un gasto de agua efluente a los DETAAR de 0.5 l/seg.

5.3.2 PROGRAMA DE ANALISIS FISICOS QUIMICOS Y BIOLOGICOS

Para determinar las eficiencias reales individuales y globales de cada parámetro por proceso y por tren, se diseñó un programa de monitoreo que involucró las nueve unidades de tratamiento, en donde en el tanque de igualación y el efluente de ósmosis inversa se midieron la totalidad de los contaminantes, mientras en espumación sólo se determinó -- SAAM, DQO y DBO; para tratamiento químico, se analizaron nutrientes, metales pesados y materia orgánica; para desorción solo nitrógeno amoniacal, nitratos y nitritos; en recarbonatación, como el propósito es sólo neutralizar el agua las determinaciones se hicieron en campo y correspondieron a pH y dureza; para la unidad de filtración, los parámetros de interés fueron todos los pertenecientes al grupo de los sólidos además de los biológicos y materia orgánica; en adsorción se midieron los mismos parámetros más virus; en ozono, se analizaron todos los sólidos disueltos, conductividad, metales alcalinos y pesados, materia orgánica, virus y coliformes; y finalmente en la unidad de ósno

PROCESO	PARAMETROS DE OPERACION	PARAMETROS DE CONTROL EN CAMPO
Deposición	$r = Q_0/Q_e = 7$ $h = 1.9 \text{ m}$ $i = 1$ $\% \text{ de rechazo} = 3$ $t = 8 \text{ minutos}$	Color, turbiedad, pH, PO_4 , alcalinidad, dureza.
Tratamiento químico Nasola rápida	<p>pH = 10.5 ± 0.2 $t = 1.7 \text{ min.}$ $h = 40 \text{ cm}$ Dosis de sal 320 mg/l Vel. de agitación = 320 RPM Gradientes 100, 71, 25 (cm/seg)/cm $t = 22 \text{ min.}$</p>	pH
Floculación	<p>Gradientes 100, 71, 25 (cm/seg)/cm $t = 22 \text{ min.}$ $CMS = 56 \text{ m}^3/\text{día/m}^2$ $CMS \text{ en canales} = 36 \text{ m}^3/\text{día/m}$</p>	pH
Sedimentación	<p>$r = Q_0/Q_e = 1500$ Altura de empaque = 366 cm Sección horizontal = 74 cm^2 $CMS = 58.4 \text{ m}^3/\text{día/m}^2$ $t = 91 \text{ min.}$</p>	Color turbiedad, pH, temperatura, PO_4 , alcalinidad y dureza.
Desgaseificación	<p>$r = Q_0/Q_e = 1500$ Altura de empaque = 366 cm Sección horizontal = 74 cm^2 $CMS = 58.4 \text{ m}^3/\text{día/m}^2$ $t = 91 \text{ min.}$</p>	pH, color, temperatura, alcalinidad, dureza.
Recarbonatación	Dosis $CO_2 = 320 \text{ mg/l}$	pH, color, temperatura, turbidez, alcalinidad y dureza.
Filtración	$CMS = 296 \text{ m}^3/\text{día/m}^2$	Pérdida de carga, turbiedad, color, temperatura.
Adsorción	$CMS = 272 \text{ m}^3/\text{día/m}^2$	pH, color, temperatura, turbiedad, alcalinidad y dureza.
Ozonación	Dosis = 4.4 mg/l $t = 13.8 \text{ min.}$	pH, color, temperatura, turbiedad, alcalinidad, dureza y olor residual.
Osmosis inversa	Presión de entrada 420 Psi pH = 5.5 $\% \text{ de recuperación} = 40$	Conductividad eléctrica, color, temperatura, turbiedad y pH.
Desinfección	Dosis de cloro esta en función de la demanda requerida $t = 15 \text{ minutos}$	Cloro libre residual

Cuadro 5.8 Parámetros de operación y control en campo de los Dispositivos Experimentales de Tratamiento Avanzado de Aguas Residuales.

sis inversa, se programó la misma determinación de parámetros; en el cuadro 5.9 se establece detalladamente el análisis de cada contaminante por proceso.

La frecuencia de toma de muestras del programa se realizó cada 24 horas durante el periodo de la experimentación y los parámetros de control en campo, señalados en el inciso anterior, cada 4 horas.

5.3.3 DESARROLLO DEL EXPERIMENTO

La experimentación se inició formalmente a partir del 13 de septiembre de 1987 y durante la primera semana de operación se estabilizó cada -- proceso; sin embargo, durante este periodo surgieron algunos imprevistos que afectaron directamente el desarrollo de las actividades, entre las más importantes fue el siniestro ocurrido en las instalaciones del Laboratorio Central de Control del Departamento del Distrito Federal - (lugar donde se realizaron los análisis FQB del agua muestreada).

Debido a lo anterior se hicieron algunos ajustes en la programación -- del muestreo quedando dos periodos; en el primero (del 25 de septiembre al 13 de octubre de 1987) se tomarían muestras para la determinación -- de orgánicos que no estaban previstas en un principio, ampliándose el rango a 73 compuestos más, cuya relación a continuación se describe; -- esto para darle tiempo a la reubicación e instalación improvisada de algunos equipos para el análisis de los parámetros restantes. El segun -- do periodo comprendería del 11 al 21 de noviembre del mismo año y co -- rrespondería a la toma de muestras para físicos, biológicos, materia -- orgánica y metales pesados.

2 nitrofenol	4 nitrofenol
2,4 dinitrofenol	2,6 dinitro-o-cresol
fenol	2,4 dimetilfenol
pentaclorofenol	p-cloro-m-cresol
clorofenol	2,4 diclorofenol
2,4,6 triclorofenol	1,3 diclorobenceno
1,4 diclorobenceno	bis-2-cloroetil éter

CLAVE PARAMETRO	UNIDADES	T. TIDUACION	ESFUMACION	T. QUMICO	DESORCION	RECARBONATAION	FILTRACION	ADSORCION	COAGUACION	GENESIS	DESINFECTACION
0101 PH		*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
0102 COLOR	Pt/Co	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
0103 TURBIDEZ	UTN	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
0201 ALCAL. TOTAL	mg/l (CaCO ₃)	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
0202 ALCAL. A LA FENOLTALEINA	mg/l (CaCO ₃)	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
0203 DUREZA TOTAL	mg/l (CaCO ₃)	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
0204 CARBONATOS	mg/l (CaCO ₃)	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
0205 BICARBONATOS	mg/l (CaCO ₃)	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
0206 HIDROXIDOS	mg/l (CaCO ₃)	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
0207 CONDUCTIVIDAD ELECTRICA	umhos/cm	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
0208 CLORUROS	mg/l	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
0209 BORO	mg/l	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
0301 SOL. TOTALES	mg/l	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
0302 SOL. TOTALES FIJOS	mg/l	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
0303 SOL. TOTALES VOLATILES	mg/l	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
0304 SOL. DISUELTOS TOTALES	mg/l	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
0305 SOL. DISUELTOS FIJOS	mg/l	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
0306 SOL. DISUELTOS VOLATILES	mg/l	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
0307 SOL. SUSPENDIDOS TOTALES	mg/l	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
0308 SOL. SUSPENDIDOS FIJOS	mg/l	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
0309 SOL. SUSPENDIDOS VOLATILES	mg/l	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
0310 SOL. SEDIMENTABLES	ml/l	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
0501 NITROGENO AMONIACAL	ml/l	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
0502 NITROGENO TOTAL	ml/l	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
0505 FOSFORO TOTAL	mg/l	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
0506 FOSFATOS TOTALES	mg/l	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
0601 CALCIO SOLUBLE	mg/l	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
0602 MAGNESIO SOLUBLE	mg/l	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
0603 SODIO SOLUBLE	mg/l	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
0604 POTASIO SOLUBLE	mg/l	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
0701 CALCIO TOTAL	mg/l	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
0702 MAGNESIO TOTAL	mg/l	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
0703 SODIO TOTAL	mg/l	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*

CONTINUA

CLAVE	PARAMETRO	UNIDADES	T. IONIZACION	RESUFUMACION	T. QUIMICO	DESINFECION	REDOXONIZACION	FILTRACION	AERACION	OZONIZACION	COAGULACION	DESINFECION
0704	FOTASIO TOTAL	mg/l	•	•						•	•	
0801	FIERRO SOLUBLE	mg/l	•									•
0802	MANGANESO SOLUBLE	mg/l	•									•
0803	PLOMO SOLUBLE	mg/l	•									•
0804	CADMIO SOLUBLE	mg/l	•									•
0805	MERCURIO SOLUBLE	mg/l	•									•
0806	ARSENICO SOLUBLE	mg/l	•									•
0807	CROMO SOLUBLE	mg/l	•									•
0901	FIERRO TOTAL	mg/l	•	•						•	•	
0902	MANGANESO TOTAL	mg/l	•	•						•	•	
0903	PLOMO TOTAL	mg/l	•	•						•	•	
0904	CADMIO TOTAL	mg/l	•	•						•	•	
0905	MERCURIO TOTAL	mg/l	•	•						•	•	
0906	ARSENICO TOTAL	mg/l	•	•						•	•	
0907	CROMO TOTAL	mg/l	•	•						•	•	
1002	COLIFORMES TOTALES	NFE/100ml	•					•	•	•	•	•
1101	DBO ₅ TOTAL	mg/l	•					•	•	•	•	•
1102	DBO ₅ SOLUBLE	mg/l	•					•	•	•	•	•
1103	DQO TOTAL	mg/l	•	•	•			•	•	•	•	•
1104	DQO SOLUBLE	mg/l	•	•	•			•	•	•	•	•
1201	GRASAS Y ACEI	mg/l	•					•	•	•	•	•
1301	S.A.A.M.	mg/l	•	•								•
	COLIFORMES FECALES		•							•	•	•
	VIRUS		•							•	•	•
	NITRATOS		•		•							•
	NITRITOS		•		•							•
	NITROGENO PROTEICO		•		•							•

Cuadro 5.9 Programa de análisis fisicoquímicos y biológicos por cada proceso de tratamiento.

hexacloroetano	bis-(2 cloroisopropil-éter)
nitrosodipropilamina	nitrobenzono
hexaclorobutadieno	isofurona
1,2,4 triclorobenceno	naftaleno
hexaclorociclopentadieno	2 cloronaftaleno
acenaftaleno	acenafteno
dimetilftalato	2,6 dinitrotolueno
fluoreno	4 clorofenil-éter
2,4 dinitrotolueno	1,2 difenilhidracina
dietilftalato	n-nitrosodifenilamina
hexaclorobenceno	4 bromofenil-fenil-éter
fenantreno	antraceno
di-n-butilftalato	fluoranteno
pireno	bencidina
butil-bencil-ftalato	bis-(2 etil-hexil-ftalato)
benzo (a) pireno	benzo (a) antraceno
di-n-octilftalato	3,3' dicloro - bencidina
benzo (k) fluoranteno	benzo (b) fluoranteno
1,1,1 tricloroetano	1,1 dicloroetano
dibromodiclorometano	cloroformo
tetracloroetano	bromoformo
1,1 dicloroetileno	cloruro de metilo
1,2 dicloroetano	trans-1,2- dicloroetileno
1,2 dicloropropano	tetracloruro de carbono
dibromoclorometano	tricloroetileno
clorobenceno	1,1,2,2 tetracloroetileno
volátiles no identificados	1,3 dicloropropeno
endosulfan I	volátiles totales
a BCH	endosulfan II

La operación fue continua de lunes a viernes e interrumpiéndose los sábados y domingos para limpieza y mantenimiento de las instalaciones, - principalmente en el tratamiento fisicoquímico, reiniciándose el mismo día a las 22 horas. También se tuvo especial cuidado en mantener --

los parámetros de operación en el rango preestablecido en el diseño original.

El número total de muestras para orgánicos fue de 6 (25 de septiembre, 02, 07, 09, 12 y 13 de octubre) intercalados entre el tanque de igualación, filtros, adsorción, ósmosis inversa y ozonación.

De las determinaciones analíticas realizadas, la mayoría de los parámetros, no se detectaron tanto en el influente (tanque de igualación) como en las otras unidades, excepto el DI-n-BUTILFTALATO presentándose en las 6 muestras tomadas; pero se removió en el tren básico, aunque posteriormente se incrementó al ozonarse el agua, el bis(2etil hexilftalato) se detectó dos veces y aunque se removió el 50% o más en su paso del tanque de igualación a los filtros, también se vio incrementado al ozonarse el agua, el butilbencilftalato se registró una só la vez pero también fue en la unidad de ozonación. Otros parámetros detectados fueron el cloroformo, los volátiles no identificados y los volátiles totales; todos ellos removidos en cada uno de los procesos y sólo el primero se incrementó en la unidad de filtración; en el cuadro 5.10 se presentan las concentraciones registradas de cada uno de los parámetros detectados y las fechas en que fueron realizados los muestreos.

En el segundo periodo de muestreo, la cobertura de la toma de muestras se amplió a una más, siendo en total 8 (11, 12, 13, 16, 17, 18, 19 y 20 de noviembre) del cual, después de un análisis preliminar se observaron las variaciones de las concentraciones de los contaminantes a la entrada y salida de cada proceso; por lo tanto, para mayor facilidad de interpretación de la información generada se aplicó la media geométrica para determinar tendencias de comportamiento del agua a través del tren de tratamiento, cuadro 5.11.

De los resultados analíticos de los muestreos puede observarse que los valores del tanque de igualación, son menores con respecto a los reportados en la probabilidad al 80% que alimentó al modelo de simulación;

UNIDADES DE TRATAMIENTO	FECHA DEL MUESTREO	TANQUE DE IGUALACION	FILTROS	ADSORCION	OSMOSIS INVERSA	OZONO	OBSERVACIONES
DI-n-BUTILFTALATO bis(2ETIL HEXILFTALATO)	Sep.25	0.01 0.08	ND 0.04	NE NE	ND ND	7E-3 0.09	
DI-n-BUTILFTALATO bis(2ETIL HEXILFTALATO)	Oct.02	0.04 6E-3	ND ND	ND 8E-3	NE NE	7E-3 0.05	
DI-n-BUTILFTALATO BUTILBENCILFTALATO	Oct.07	NE NE	3E-3 ND	ND ND	ND ND	8E-3 2E-3	
DI-n-BUTILFTALATO	Oct.09	NE	ND	ND	0.01	0.01	
DI-n-BUTILFTALATO CLOROFORMO VOLATILES NO IDENTIFICADOS VOLATILES TOTALES	Oct.12	ND 0.02 0.51 0.53	0.10 0.04 0.40 0.44	NE NE NE NE	ND ND 0.11 0.11	ND 0.03 0.41 0.44	
DI-n-BUTILFTALATO VOLATILES NO IDENTIFICADOS VOLATILES TOTALES	Oct.13	0.01 0.12 0.12	0.01 ND ND	NE NE NE	ND ND ND	0.02 ND ND	

Cuadro No. 5.10 Parámetros que se detectaron en cada uno de los procesos y su comportamiento a través de ellos.

ND = NO DETECTADO

NE = NO EFECTUADO

PARAMETROS	TANQUE	TRATAMIENTO					OSMOSIS INVERSA	REMOCION %
	IGUALACION	ESPUMACION	QUIMICO	FILTRACION	ADSORCION			
	C6	C1	C2	C3	C7			
	7X	6X	6X	5X	5X	3X		
pH	7.72				7.11	7.91	5.85	
TURBIDIDAD	1.08				0.50	0.30	0.267	75
ALCALINIDAD TOTAL	216.51				202.00	196.00	10.63	95
DUREZA TOTAL	145.70				176.00	176.00	N D	99
BICARBONATOS	216.51				202.00	196.00	10.63	95
CONDUCTIVIDAD	656.96				647.00	642.00	48.33	93
CLORUROS	48.42				45.60	44.60	10.0	79
SOLIDOS TOTALES	441.89		486.88		444.50	448.00	54	88
SOLIDOS TOTALES FIJOS	358.99				352.00	356.00	38	89
SOLIDOS TOTALES VOLATILES	83.38				72.00	92.00	15.33	82
SOLIDOS DISUELTOS TOTALES	425.85				473.43	448.00	54.0	87
SOLIDOS DISUELTOS FIJOS	349.85				352.00	356.00	38.0	89
SOLIDOS DISUELTOS VOLATILES	75.51				72.00	92.00	15.33	80
SOLIDOS SUSPENDIDOS TOT.	4.00		29.55		4.00	4.00	4.0	4.0
SOLIDOS SUSPENDIDOS FIJOS	4.00				4.00	4.00	4.0	4.0
SOLIDOS SUSPENDIDOS VOL.	4.00				4.00	4.00	4.0	4.0
SOLIDOS SEDIMENTABLES	0.10				0.10	0.10	0.1	0.1
NITROGENO AMONIAICAL	4.57		4.56		N E	3.31	1.6	55
NITROGENO TOTAL	5.56				N E	2.80	1.7	69
NITROGENO DE NITRATOS	3.69				7.3	7.43	0.217	94
POSFATO TOTAL	3.32				0.05	0.05	0.05	98
POSFATOS TOTALES	9.54	8.61	0.23		0.15	0.15	0.15	98
NITROGENO DE NITRITOS	0.33				0.49	1.10	0.157	52
CALCIO TOTAL	31.26				53.00	55.0	0.7	98
MAGNESIO TOTAL	16.34				10.50	9.4	0.233	99
SODIO TOTAL	56.53				69.80	68.9	3.86	93
POTASIO TOTAL	14.15				14.10	13.5	1.0	93
FIERRO TOTAL	0.05				0.05	0.05	0.05	0.05
MAGNESIO TOTAL	0.018				0.018	0.018	0.218	0.018
PLOMO TOTAL	0.05				0.05	0.05	0.05	0.05
CALCIO TOTAL	0.008				0.008	0.008	0.008	0.008
MERCURIO TOTAL	0.0002				0.0002	0.0002	0.0002	0.0002
ARSENICO TOTAL	0.004				0.0013	0.0017	0.0004	90
CROMO TOTAL	0.008				0.008	0.008	0.008	0.008
COLIFORMES FECALES	13.5E3		7.6E3		24E2	24E2	N E	
COLI.FECALES TOTALES	13.5E3		7.6E3		24E2	24E2	N E	
ODG TOTAL	28.70	26.16	20.14		20.16	11.90	1.8	94
GRASAS Y ACEITES	4.12					4.33	7.63	?
SAAN	2.14	1.21			N E	N E	0.02	99

Cuadro No. 5.1] Comportamiento de los contaminantes a través de los procesos de tratamiento.

en éstas últimas, la mayoría de los parámetros están muy por arriba con respecto a los primeros y algunos otros como la turbiedad, los sólidos disueltos totales, fierro, manganeso, mercurio y grasas y aceites, sobrepasan los niveles hasta un 200% y los únicos que presentan mayores concentraciones en el influente son los bicarbonatos, los sólidos sedimentables, el nitrógeno amoniacal, el arsénico y el cromo; por lo tanto, el agua debe presentar menores dificultades para ser tratada.

En la unidad de espumación los fosfatos totales, la DQO total y el SAAM tuvieron una remoción del 10, 9 y 44% respectivamente observándose se que el parámetro de interés para este proceso es el SAAM; sin embargo, en el transcurso de su desarrollo también se remueven en forma secundaria otros contaminantes. En el tratamiento físico químico, los sólidos totales y suspendidos totales tuvieron un incremento del 10 y 63% ocasionado por la adición de los reactivos y una deficiencia en el sedimentador; aunque los parámetros restantes (nitrógeno amoniacal, fosfatos totales, coliformes fecales y totales y la DQO total), se removieron significativamente. En su paso por las columnas de filtración, los sólidos suspendidos totales se removieron en un 87%, pero hubo algunos otros que se mantuvieron en el mismo margen, como los sólidos disueltos, la dureza y por consecuencia el calcio y el magnesio. En la unidad de adsorción, el contaminante de mayor remoción fue la DQO, los coliformes y algunos metales.

Al llegar a este nivel de tratamiento, se hizo una revisión de los contaminantes remanentes y se compararon con los criterios establecidos para ese uso, para determinar la necesidad de pasar el agua por la unidad de ósmosis inversa, concluyéndose lo siguiente:

En el efluente de adsorción se consideraron todos los contaminantes físicos, minerales, sólidos, nutrientes, metales, biológicos, materia orgánica y orgánicos sintéticos que se determinaron en las series de muestras; en total de las 112 analizadas, el 8% no alcanzó los niveles requeridos para agua potable, entre ellos; los sólidos totales voláti

les y disueltos volátiles, el nitrógeno de nitratos y nitritos, calcio, mercurio, arsénico, grasas y aceites, el bis (2 etil-hexil-ftalato), -- cloroformo, volátiles no identificados y volátiles totales. De estos, -- los de más alto riesgo por su impacto en los sistemas bióticos y abióti-- cos son los sólidos disueltos, el mercurio, arsénico y los orgánicos sin-- téticos, viéndose la necesidad de pasar el agua por la unidad de ósmo-- sis inversa y ozonación para su remoción total. Los resultados también se muestran en el cuadro 5.11; observándose que después de ósmosis in-- versa los únicos parámetros mayores al criterio, son mercurio, arséni-- co y grasas y aceites, pero existen otros de concentraciones excesiva-- mente bajas (minerales), siendo necesario enriquecer el agua tratada -- para alcanzar la calidad de potable.

En el cuadro 5.11 no se incluyeron las unidades de desorción, recarbona-- tación, ozono y cloro, porque en estas dos últimas, no se tuvieron medi-- ciones consistentes de nitrógeno amoniacal, y parámetros oxidados con -- este producto; recarbonatación fue controlado con parámetros de campo; y desinfección con cloro definitivamente no se realizó, aunque es de -- mencionarse que al ozonarse el agua elimina bacterias y virus y la can-- tidad agregada sólo sería para garantizar cloro residual.

Finalmente, la eficiencia global de remoción por contaminante estuvo -- por arriba del 85%, excepto para algunos nutrientes (60 - 70%); aunque también es importante señalar la gran cantidad de contaminantes reteni-- dos por ósmosis inversa, siendo necesario la optimización del equipo.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES GENERALES

La falta de una planeación integral, en el aprovechamiento de los recursos disponibles y potenciales, ha provocado en la Ciudad de México, severos cambios en su estructura topográfica y ambiental, a través del tiempo. Por otra parte; como consecuencia misma de la trayectoria - político-económica centralizada, ejercida en el país; el crecimiento demográfico en el Distrito Federal, sigue un comportamiento exponencial, donde cada vez hay mayor demanda de infraestructura de servicios; los cuales, no pueden ser suministrados al ritmo requerido; por lo tanto, muchas veces se toman soluciones improvisadas de carácter emergente, sin atender efectos colaterales y los resultados pueden ser -- catastróficos a largo plazo.

Entre estos servicios tiene prioridad la dotación de agua potable a la población, con una demanda superior a la oferta; pero debido a los altos costos y dificultades técnicas para extraerla e importarla, cada vez se alejan más las posibilidades de satisfacerla completamente; sin embargo, existen actividades donde la calidad del líquido no necesariamente debe ser similar a la potable, aunque deben existir criterios para garantizar el buen uso. Con base en ésto, se hace atractiva la alternativa de aprovechar las aguas residuales, como fuente sustituta de la potable, pero es indispensable, iniciar acciones tendientes a conocer más específicamente las características físicas, químicas y biológicas de la materia prima en el tiempo y espacio, definir las necesidades de los usuarios potenciales, evaluar el sistema de tratamiento actual y desarrollar o adaptar nuevas tecnologías; acorde a las condiciones y posibilidades actuales.

En términos generales, el agua residual influente a la planta de Cerro de la Estrella se clasificó dentro del tipo doméstico con muy baja influencia industrial; pero con un desequilibrio entre la relación de DBO:N:P, causando problemas en las poblaciones microbianas de depuración del sistema. En cuanto a los compuestos descargados por las industrias, no representan cantidades alarmantes y no deben tener problemas en la remoción con los procesos avanzados.

Los criterios de calidad máximos permisibles, para los doce usos potenciales, se basaron en tres esquemas diferentes; donde se comparten elementos bióticos y abióticos, la interrelación entre los contaminantes, el uso destinado y los efectos ocasionados al medio ambiente, en zonas expuestas al contacto directo. Esta información debe ser validada, -- pues aunque actualmente se maneja como un índice de referencia, ésta se obtuvo de recopilación bibliográfica extranjera; donde las condiciones ambientales, recursos e idiosincracia, difieren con respecto a las nacionales; en consecuencia, estos valores tienen que ser revisados y ajustados para reflejar una realidad propia, porque cuando la salud se involucra, no se deben escatimar esfuerzos para garantizar el uso confiable del producto.

De los resultados de las pruebas de simulación para la evaluación del tratamiento secundario, se determinaron los parámetros cuyos valores fueron mayores a los sancionados, para el riego de áreas verdes y la necesidad de anexar procesos complementarios, como filtración y adsorción.

Los resultados analíticos de la corrida experimental para potabilizar agua a partir de la residual, se realizó en dos fases, en la primera de ellas se determinaron exclusivamente compuestos orgánicos y posteriormente los físicos, biológicos, materia orgánica y metales pesados; lo ideal, debió ser simultáneo para una interpretación más completa; sin embargo, los valores reportados son alentadores porque tan sólo en la unidad de adsorción el 92% de los 112 contaminantes se había removido lo suficiente, para cumplir con los criterios de calidad potable

y el 8% seguía rebasando los límites establecidos. Al pasar el agua por ósmosis inversa, el mercurio, arsénico y grasas y aceites fueron los -- únicos parámetros que sobrepasaron ligeramente las concentraciones máximas permisibles, más es de señalarse el grado de restricción para estos dos contaminantes (Hg y As). Las eficiencias globales del tren estuvieron por arriba del 85% en la mayoría de los parámetros, aunque gran parte se retuvo en el último proceso.

A pesar de los resultados anteriores, es indispensable ampliar la experimentación por periodos más largos, para garantizar el grado de confiabilidad del producto y disminuir la variación de la calidad como resultado de una depuración tecnológica, pues aunque se demostró la posibilidad de convertir agua residual en potable desde el punto de vista físico y químico; es también necesario enfocarse a otras áreas para medir la sensibilidad de aceptación pública del recurso.

Por otro lado, también es necesario apoyar esta serie de estudios con actividades alternas como programas de bioensayos para garantizar a mediano y largo plazo un uso confiable, sin que haya repercusiones a la salud humana y medio ambiente.

Finalmente y como recomendación a los DETAAR, se requiere de estudios detallados para cada uno de los procesos, debido a las bajas eficiencias que desarrollan; principalmente, porque en la mayoría de las veces se desconocen los mecanismos y ecuaciones que describan su comportamiento, tales como desorción, ozono, etc, y evitar en lo posible su actuación como "caja negra".

REFERENCIAS

- Aieta, M., Roberts, P., Hernández, M. (1984). Determination of chlorine dioxide, chlorine, chlorite, and chlorate in water. Research & Technology, 64-69
- Barahona, A., Barahona, F. (1984). Metodología de trabajos científicos. Bogotá: IPLER
- Departamento del Distrito Federal. (1982). El sistema hidráulico del Distrito Federal. Distrito Federal: Offset Setenta, S.A.
- Dirección General de Construcción y Operación/DDF. (1982). Manual para muestreo de aguas residuales y renovadas. (Disponible (Dirección General de Construcción y Operación Hidráulica, avenida División del Norte N° 3330 Col. Cd. Jardín, C.P. 04370))
- Dirección General de Construcción y Operación Hidráulica/DDF. (1982). Manual de operación planta de tratamiento de aguas residuales Cerro de la Estrella. (Disponible (Dirección General de Construcción y Operación Hidráulica, avenida División del Norte N° 3330 Col. Cd. Jardín C.P. 04370))
- Dirección General de Construcción y Operación Hidráulica/DDF. (1980). Metodología analítica para el monitoreo y control de la calidad de las aguas residuales tratadas. Distrito Federal: Laboratorios ABC, Química Investigación y Análisis, S.A.
- Dirección General de Construcción y Operación Hidráulica/DDF. (1982). Plan maestro de tratamiento y reuso. Distrito Federal: Imprenta oficial del gobierno
- Environmental Protection Agency. (1983). Sampling, analysis, monitoring and compliance. Trihalomethanes in Drinking Water, 24, 31
- Environmental Protection Agency. (1986). Standard methods for the examination of water and wastewater.
- Flores, F. (1980). Consideraciones cinéticas e hidráulicas sobre diversos modelos de tratabilidad de aguas residuales. México: Ciudad Universitaria
- Rodier, J. (1981). Análisis de las aguas. Barcelona: Omega.

- Laboratorios ABC Química, Investigación y Análisis para el Departamento del Distrito Federal.(1981). Evaluación de daños a la salud por el uso de aguas renovadas (Fase II, Tomos 1-2). Distrito Federal: (Disponible (Dirección General de Construcción y Operación Hidráulica, avenida División del Norte N° 3330 col. Cd. Jardín, C.P. 04370))
- Metcalf and Eddy, Inc.(1979). Wastewater engineering treatment disposal - (2a. ed.).USA:Frank J. Cerra-J.W. Maisel
- Orange County Water District.(1979). Water factory 21 virus study. California:Author
- P.V. Danckerts.(1953). Continuous flow systems. Chemical Engineering -- Science, 2, 1-13
- Pavoni, J.(Ed.).(1977). Handbook of water quality management planning. - New York: Author
- Pérez, J.(1981). Manual de instrucción. Programa regional OPS/EHP/CEPIS - de mejoramiento de calidad de agua para consumo humano:OPS/EHP/CEPIS
- Rav-Acha, Ch.(1983). The reactions of chlorine dioxide with aquatic organic materials and their health effects.Water Res, 18, (11), 1329-1341
- Wesley, W., Patoczka, J., Watking, A.(1986).Wastewater treatment. Feature -- report, 60-74