



UNIVERSIDAD NACIONAL  
AUTÓNOMA DE MÉXICO

DIVISIÓN DE ESTUDIOS DE POSGRADO  
FACULTAD DE INGENIERÍA

CAMPUS MORELOS

01168  
2  
2e

# METODOLOGÍA PARA LA EVALUACIÓN DE PROYECTOS DE INVERSIÓN EN SISTEMAS DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES

QUE COMO REQUISITO PARA OBTENER EL GRADO DE

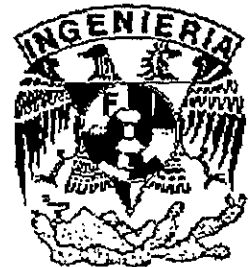
**MAESTRÍA EN INGENIERIA EN  
INVESTIGACIÓN DE OPERACIONES  
(OPCIÓN FINANZAS)**

PRESENTA:

**LUIS ALBERTO SEGUI AMÓRTEGUI**

CD. UNIVERSITARIA, MÉXICO D.F.

JUNIO DE 1998



265067

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN



Universidad Nacional  
Autónoma de México



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

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

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

## Contenido

|  |           |
|--|-----------|
| <b>RESUMEN .....</b>   | <b>1</b>  |
| <b>CAPITULO 1</b>  |           |
| <b>INTRODUCCIÓN .....</b>  | <b>2</b>  |
| 1.1 SITUACIÓN ACTUAL .....   | 2         |
| 1.2 LOS PROYECTOS DE INVERSIÓN .....   | 6         |
| <b>CAPITULO 2</b>  |           |
| <b>ESTUDIO DE MERCADO.....</b>   | <b>9</b>  |
| 2.1 ESTRUCTURA DE MERCADO.....   | 9         |
| 2.2 IDENTIFICACIÓN DEL PRODUCTO .....  | 9         |
| 2.3 ANÁLISIS DE LA DEMANDA.....  | 10        |
| 2.3.1 Factores que afectan la demanda .....  | 11        |
| 2.3.2 Demanda Intermedia.....  | 13        |
| 2.3.3 Proyección de la demanda .....   | 13        |
| 2.4 ANÁLISIS DE LA OFERTA.....   | 14        |
| 2.4.1 Clasificación de la oferta.....  | 14        |
| 2.4.2 Oferta actual .....  | 15        |
| 2.4.3 Factores que afectan la oferta.....  | 15        |
| 2.4.4 Proyección de la oferta .....  | 16        |
| 2.5 TAMAÑO DEL MERCADO.....  | 16        |
| 2.6 COMERCIALIZACIÓN .....   | 16        |
| 2.6.1 Precios.....   | 17        |
| 2.6.2 Canales de comercialización .....  | 18        |
| <b>CAPITULO 3</b>  |           |
| <b>ESTUDIO TÉCNICO .....</b>   | <b>19</b> |
| 3.1 CALIDAD DEL AGUA PARA CUMPLIR CON LA LEGISLACIÓN VIGENTE.....                              | 20        |
| 3.2 CUMPLIR CON LOS REQUERIMIENTOS DE CALIDAD PARA EL REUSO.....                               | 20        |
| 3.2.1 Reúso urbano .....   | 21        |
| 3.2.2 Reúso agrícola.....  | 22        |
| 3.2.3.- Reúso industrial.....  | 24        |
| 3.2.3.1 Reúso en procesos.....   | 24        |
| 3.2.3.2 Reúso en enfriamiento.....   | 24        |
| 3.2.3.3.- Reúso de agua para calderas.....   | 24        |
| 3.2.4.- Reúso para servicios .....   | 25        |
| 3.2.5.- Reúso para actividades acuícolas.....  | 25        |
| 3.2.6 Reúso para actividades recreativas .....   | 25        |
| 3.2.7.- Reúso para recarga de acuíferos.....   | 26        |
| 3.3.-OPERACIONES UNITARIAS QUE CONSTITUYEN LOS TRENES DE TRATAMIENTO PARA AGUAS RESIDUALES ... | 27        |
| 3.3.1.- Tratamiento primario .....   | 27        |
| 3.3.1.1.- Pretratamiento .....   | 27        |
| 3.3.1.2.- Sedimentación primaria.....  | 27        |
| 3.3.2.- Tratamiento secundario.....  | 29        |
| 3.3.2.1. Los sistemas lagunares .....  | 30        |
| 3.3.2.2.- Tratamiento de lodos activados convencional .....                                    | 31        |
| 3.3.2.3. Tratamiento de lodos activados con aireación extendida .....                          | 33        |
| 3.3.2.4. Zanjias de oxidación .....  | 34        |
| 3.3.2.5. Filtros rociadores .....  | 34        |
| 3.3.2.6. Los biodiscos .....   | 36        |

|   |              |
|---|--------------|
| 3.3.2.7. Sistemas anaerobios .....                          | 36           |
| 3.3.2.8.- Lechos de plantas acuáticas .....                 | 39           |
| 3.3.3. Tratamiento terciario.....                           | 40           |
| 3.3.3.1. Desinfección .....                                 | 41           |
| 3.3.3.2. Remoción de Nitrógeno .....                        | 41           |
| 3.3.3.3. Remoción de Fósforo.....                           | 42           |
| 3.3.3.4. Remoción de Sólidos Suspendidos y coloidales.....  | 42           |
| 3.3.3.5. Otros procesos .....                               | 44           |
| 3.4. SELECCIÓN DE LAS UNIDADES DEL TREN DE TRATAMIENTO..... | 48           |
| <b>CAPITULO 4</b>   |              |
| <b>ESTUDIO FINANCIERO.....</b>                              | <b>49</b>    |
| 4.1 CONCEPTUALIZACIÓN GENERAL .....                         | 49           |
| 4.2. ESTADOS FINANCIEROS.....                               | 51           |
| 4.3. PRESUPUESTOS .....                                     | 51           |
| 4.3.1 Presupuesto de inversión.....                         | 53           |
| 4.3.1.1 Inversión fija.....                                 | 53           |
| 4.3.1.2 Inversión diferida.....                             | 54           |
| 4.3.1.3 Capital de trabajo.....                             | 55           |
| 4.3.1.4 Cronograma de inversiones.....                      | 56           |
| 4.3.2 Presupuestos de operación.....                        | 56           |
| 4.3.2.1 Presupuesto de ingresos de operación.....           | 56           |
| 4.3.2.2 Presupuestos de egresos de operación.....           | 57           |
| 4.4 ESTRUCTURA FINANCIERA.....                              | 59           |
| <b>CAPITULO 5</b>   |              |
| <b>EVALUACIÓN .....</b>                                     | <b>62</b>    |
| 5.1. CONDICIONES PARA LA EVALUACIÓN .....                   | 62           |
| 5.2. EVALUACIÓN FINANCIERA.....                             | 64           |
| 5.3. SISTEMA DE EVALUACIÓN FINANCIERA.....                  | 65           |
| <b>CAPITULO 6</b>   |              |
| <b>CONCLUSIONES .....</b>                                   | <b>82</b>    |
| <b>BIBLIOGRAFÍA .....</b>                                   | <b>83</b>    |
| <b>ANEXO 1</b>  |              |
| <b>CALIDAD DEL AGUA REQUERIDA PARA DIFERENTES USO .....</b> | <b>A.1.1</b> |
| <b>ANEXO 2</b>  |              |
| <b>CASO DE APLICACIÓN .....</b>                             | <b>A.2.1</b> |

## Índice de Tablas y Figuras

|  |        |
|--|--------|
| TABLA 3.1. CALIDAD DEL AGUA EN UN TRATAMIENTO PRIMARIO.....  | 29     |
| TABLA 3.2. CALIDAD DEL AGUA EN UN TRATAMIENTO LAGUNAR.....   | 31     |
| TABLA 3.3. CALIDAD DEL AGUA EN UN TRATAMIENTO CONVENCIONAL DE LODOS ACTIVADOS.....   | 32     |
| TABLA 3.4. CALIDAD DEL AGUA EN UN TRATAMIENTO DE LODOS ACTIVADOS TIPO AIREACIÓN EXTENDIDA.....   | 33     |
| TABLA 3.5. CALIDAD DEL AGUA EN UN TRATAMIENTO DE ZANJAS DE OXIDACIÓN.....  | 34     |
| TABLA 3.6.- CALIDAD DEL AGUA EN UN TRATAMIENTO DE FILTROS ROCIADORES.....  | 35     |
| TABLA 3.7. CALIDAD DEL AGUA EN UN TRATAMIENTO DE BIODISCOS.....  | 36     |
| TABLA 3.8.- CALIDAD DEL AGUA EN UN REACTOR UASB.....   | 37     |
| TABLA 3.9.-CALIDAD DEL AGUA EN UN REACTOR UASB.....  | 37     |
| TABLA 3.10.- TIPOS DE EMPAQUES UTILIZADOS EN FUENTES ANAEROBIOS.....   | 38     |
| TABLA 3.11.- CALIDAD DEL AGUA EN UN FILTRO ANAEROBIO.....  | 39     |
| TABLA 3.12. REMOCIÓN DE SUBSTANCIAS POR COAGULACIÓN-SEDIMENTACIÓN.....   | 43     |
| TABLA 3.13. EFICIENCIAS DE REMOCIÓN DE CONTAMINANTES POR DIVERSOS PROCESOS.....  | 46     |
| TABLA 3.14. VENTAJAS Y DESVENTAJAS FUNCIONALES DE LOS PROCESOS DE TRATAMIENTO.....   | 47     |
| TABLA 4.1.- PRESUPUESTOS PARA LA ELABORACIÓN DE UN ESTUDIO FINANCIERO.....   | 52     |
| TABLA 4.2.- PRESUPUESTOS DE INVERSIÓN.....   | 52     |
| TABLA 4.3.- PRESUPUESTOS DE EGRESOS DE OPERACIÓN.....  | 52     |
| TABLA A-1.- NOM-001-ECOL-1996.....   | A.1.1  |
| TABLA A-2.- CALIDAD DEL AGUA REQUERIDA PARA REÚSO URBANO (NO RESTRINGIDO).....   | A.1.2  |
| TABLA A-3.- CALIDAD DEL AGUA REQUERIDA PARA REÚSO URBANO. (RESTRINGIDO).....   | A.1.2  |
| TABLA A-4.- CALIDAD DEL AGUA REQUERIDA PARA REÚSO URBANO.....  | A.1.3  |
| TABLA A-5.- CALIDAD DEL AGUA REQUERIDA PARA REÚSO EN AGRICULTURA (CULTIVOS DE ALIMENTOS NO PROCESADOS COMERCIALMENTE).....   | A.1.4  |
| TABLA A-6.- CALIDAD DEL AGUA REQUERIDA PARA REÚSO EN AGRICULTURA (CULTIVOS DE ALIMENTOS COMERCIALMENTE PROCESADOS, IRRIGACIÓN SUPERFICIAL DE HUERTOS Y VIÑEDOS).....       | A.1.4  |
| TABLA A-7.- CALIDAD DEL AGUA REQUERIDA PARA REÚSO EN AGRICULTURA (PARA CULTIVOS NO ALIMENTICIOS, PASTURA PARA ANIMALES LECHEROS, PIENSO, FIBRA Y CULTIVOS DE SEMILLA)..... | A.1.4  |
| TABLA A-8.- LIMITES RECOMENDADOS DE ELEMENTOS TRAZA Y SÓLIDOS DISUELTOS PARA IRRIGACIÓN CON AGUA TRATADA.....  | A.1.5  |
| TABLA A-9.- CALIDAD DEL AGUA REQUERIDA PARA REÚSO AGRÍCOLA.....  | A.1.6  |
| TABLA A-10.- CALIDAD DEL AGUA REQUERIDA EN AGUA PARA ENFRIAMIENTO (SISTEMAS DE RECIRCULACIÓN).....   | A.1.7  |
| TABLA A-11 CALIDAD DEL AGUA REQUERIDA PARA REÚSO DE AGUA EN CALDERAS.....  | A.1.8  |
| TABLA A-12.- CALIDAD DEL AGUA REQUERIDA PARA REÚSO PARA SERVICIOS.....   | A.1.9  |
| TABLA A-13.- CALIDAD DEL AGUA REQUERIDA PARA SU REÚSO EN ACUACULTURA.....  | A.1.10 |
| TABLA A-14.- CALIDAD DEL AGUA REQUERIDA PARA EL REÚSO RECREATIVO (NO RESTRINGIDO).....   | A.1.10 |
| TABLA A-15.- CALIDAD DEL AGUA REQUERIDA PARA REÚSO RECREATIVO (RESTRINGIDO).....   | A.1.11 |
| TABLA A-16 CALIDAD DEL AGUA REQUERIDA PARA SU REÚSO EN LA RECARGA DE ACUÍFEROS.....  | A.1.12 |
| TABLA A.2.1.- TRENES TÉCNICAMENTE VIABLES.....   | A.2.8  |
| TABLA A.2.2.- INVERSIONES REQUERIDAS.....  | A.2.8  |
| TABLA A.2.3.- COSTOS DE OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO.....   | A.2.8  |
| TABLA A.2.4.- COSTOS DE AGUA DE PRIMER USO , DE AGUA TRATADA.....  | A.2.8  |
| FIGURA 1.1 SITUACIÓN DE LAS AGUAS RESIDUALES EN MÉXICO.....  | 3      |
| FIGURA 1.2. FUNCIONAMIENTO DE LAS PLANTAS DE TRATAMIENTO EN MÉXICO.....  | 3      |
| FIGURA 1.3. EFICIENCIA DE LAS PLANTAS DE TRATAMIENTO EN MÉXICO.....  | 4      |
| FIGURA 1.4. DISTRIBUCIÓN DE LOS PROCESOS DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES EN MÉXICO.....   | 5      |
| FIGURA 1.5. SITUACIÓN DE LOS PROYECTOS DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES EN MÉXICO.....   | 6      |
| FIGURA 1.6 ETAPAS DE LOS PROYECTOS DE INVERSIÓN.....   | 7      |
| FIGURA 1.7 RELACIÓN INSUMO – PRODUCTO – NECESIDADES.....   | 8      |
| FIGURA 3.1. ETAPAS DEL ESTUDIO TÉCNICO.....  | 19     |
| FIGURA 3.2.- USOS POTENCIALES DEL AGUA RESIDUAL TRATADA.....   | 21     |
| FIGURA 3.3. DIAGRAMA DE FLUJO GENERAL PARA EL TRATAMIENTO DE LAS AGUAS RESIDUALES.....   | 28     |

|  |       |
|--|-------|
| FIGURA 4.1.- IDEA CONCEPTUAL DE LA METODOLOGÍA A DESARROLLAR.....  | 49    |
| FIGURA 4.4.- DISTRIBUCIÓN EQUITATIVA DE LOS COSTOS DE TRATAMIENTO.....   | 50    |
| FIGURA 5.1 DETERMINACIÓN DEL COSTO POR CONTAMINAR .....  | 63    |
| FIGURA 5.2.- DETERMINACIÓN DEL PRECIO DE VENTA DEL AGUA TRATADA.....   | 64    |
| FIGURA 5.3. HOJA DE INICIO .....   | 71    |
| FIGURA 5.4. INFORMACIÓN DEL ESTUDIO DE MERCADO.....  | 72    |
| FIGURA 5.5. DATOS DEL AGUA RESIDUAL.....   | 73    |
| FIGURA 5.6. DATOS DEL AGUA DE PRIMER USO .....   | 74    |
| FIGURA 5.7. INFORMACIÓN TÉCNICA DE LOS COSTOS DE LAS UNIDADES DE TRATAMIENTO.....                                  | 75    |
| FIGURA 5.8. INFORMACIÓN REFERENTE AL TERRENO PARA LA CONSTRUCCION DE LA PLANTA.....                                | 76    |
| FIGURA 5.9. INFORMACIÓN REFERENTE AL ARRANQUE Y OPERACIÓN DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO.....                         | 77    |
| FIGURA 5.10. EJEMPLO DE LA INFORMACIÓN SOLICITADA POR CADA UNIDAD QUE CONFORMA EL TREN DE<br>TRATAMIENTO .....     | 78    |
| FIGURA 5.11. INFORMACIÓN FINANCIERA.....   | 79    |
| FIGURA 5.12. DESPLIEGUE DE RESULTADOS REFERENTES AL COSTO DE TRATAMIENTO POR METRO CUBICO DE<br>AGUA TRATADA ..... | 80    |
| FIGURA 5.13. DESPLIEGUE DE RESULTADOS REFERENTES A LA TASA DE INTERNA DE RETORNO .....                             | 81    |
| FIGURA A.1 GRÁFICAS DE LAS CARACTERÍSTICAS DEL AGUA RESIDUAL .....   | A.2.3 |
| FIGURA A.2 GRAFICA DEL COMPORTAMIENTO DEL GASTO MEDIO. ....  | A.2.6 |
| FIGURA A.3. TRENES DE TRATAMIENTO TECNICAMENTE VIABLES.....  | A.2.7 |

**El presente trabajo se desarrollo en el Campus Morelos de la División de estudios de Posgrado de la Facultad de Ingeniería de la UNAM, bajo la dirección del Dr. Ricardo Aceves García.**

---

Seguí Amórtegui Luis Alberto. 1998. Metodología para la evaluación de proyectos de inversión en sistemas de tratamiento de aguas residuales. Universidad Nacional Autónoma de México. División de Estudios de Posgrado de la Facultad de Ingeniería. Campus Morelos.

## **Resumen**

Dos terceras partes del territorio mexicano tienen un régimen climático árido o semiárido, por lo que los problemas de escasez de agua se hacen críticos en gran parte del país. A falta de una cultura relacionada con la importancia del agua, en México se piensa en los sistemas de tratamiento de aguas residuales (STAR) como una carga financiera, tanto en el sector público como en el privado. Este hecho se acentúa dado el poco desarrollo que ésta área ha tenido en el país, lo que en la práctica se ha traducido en fallas considerables tanto en el diseño como en la operación y mantenimiento, y por consiguiente en los costos asociados y en la eficiencia de tratamiento. Esto puede ser fácilmente apreciado si se analiza la situación que guardan la mayoría de las plantas de tratamiento de aguas residuales en México, particularmente las dependientes del estado. Si a esto aunamos la baja capacidad económica de los gobiernos municipales, en especial aquellos municipios con poco crecimiento económico, entonces podemos entender el porque existen tan pocos STAR operando en el país. Esta situación, sin embargo, no puede ser sostenida, en primer lugar debido a la baja disponibilidad del recurso hídrico y la necesidad consiguiente de reusar el agua y por otro, porque, tal vez motivada esta condición, se ha emitido una serie de leyes y normas que establecen la obligación de los municipios y particulares de ajustar sus descargas de aguas residuales a ciertas condiciones, fijadas precisamente en estas leyes y normas y que obliga, en consecuencia, a tratar sus efluentes.

De acuerdo con lo hasta aquí expresado se ha planteado el presente trabajo, cuyo objetivo es adecuar la metodología general de la evaluación de proyectos de inversión a los Sistemas de Tratamiento de Aguas Residuales (STAR) con la finalidad de generar una herramienta que permita a los usuarios del recurso hídrico la toma de decisiones para invertir o no en estos sistemas.

En este trabajo se adecuo las diversas etapas de la evaluación de proyectos de inversión (estudios de mercado, técnico, financiero y la evaluación) a las condiciones específicas del sector hidráulico, particularmente en lo que al control de la contaminación se refiere.

Como aportaciones de este trabajo se obtuvieron en primer lugar una metodología para evaluación de proyectos de sistemas de tratamiento de aguas residuales que permita seleccionar el proceso de tratamiento más idóneo, es decir que técnicamente sea adecuado y financieramente sea rentable, asimismo, se incluye una recopilación nacional e internacional de los requisitos de calidad del agua que se deben cumplir para diversos usos y un software que permite de manera sencilla y práctica la evaluación financiera de los sistemas de tratamiento propuestos.



## CAPITULO 1 INTRODUCCIÓN

El saneamiento integral implica el análisis, evaluación e interrelación de varios factores para llegar a una solución, trátese de una región, una cuenca o un sitio determinado, el cual involucra a dependencias y organismos federales, estatales y municipales, e incluye la participación de los sectores públicos y privados, por lo que constituye un interesante reto a vencer.

A medida que la población aumenta y desarrolla su economía, las demandas de agua de primer uso siguen creciendo, en contraste con la oferta que proporciona el medio natural, la cual no puede crecer y, al contrario, disminuye debido a su deterioro que sufre en su calidad por la contaminación. En paralelo, con el desarrollo de la infraestructura hidráulica, se presenta el problema que implica el tratamiento y/o disposición de las aguas residuales utilizadas en las diversas actividades.

Basándose en la información del Consejo Nacional de Población (CONAPO), se estima que en 1995 el total de la población en México, es de 91.6 millones de habitantes. De esta, el 71% se concentra en las áreas urbanas, 22% en el valle de México, el 29% restante habita en 153,813 localidades rurales, de las cuales 108,307 tienen menos de 100 habitantes, lo que dificulta proporcionar los servicios de agua potable, alcantarillado y saneamiento en el medio rural.

Se estima que en el país se consumen aproximadamente 240 m<sup>3</sup>/s de agua potable, misma que se emplea para diversos usos, en los diferentes sectores productivos. De este volumen, se genera un gasto de 170 m<sup>3</sup>/s de aguas residuales de diferente calidad que, en la actualidad, están alterando las características de los cuerpos receptores, limitando sus usos.

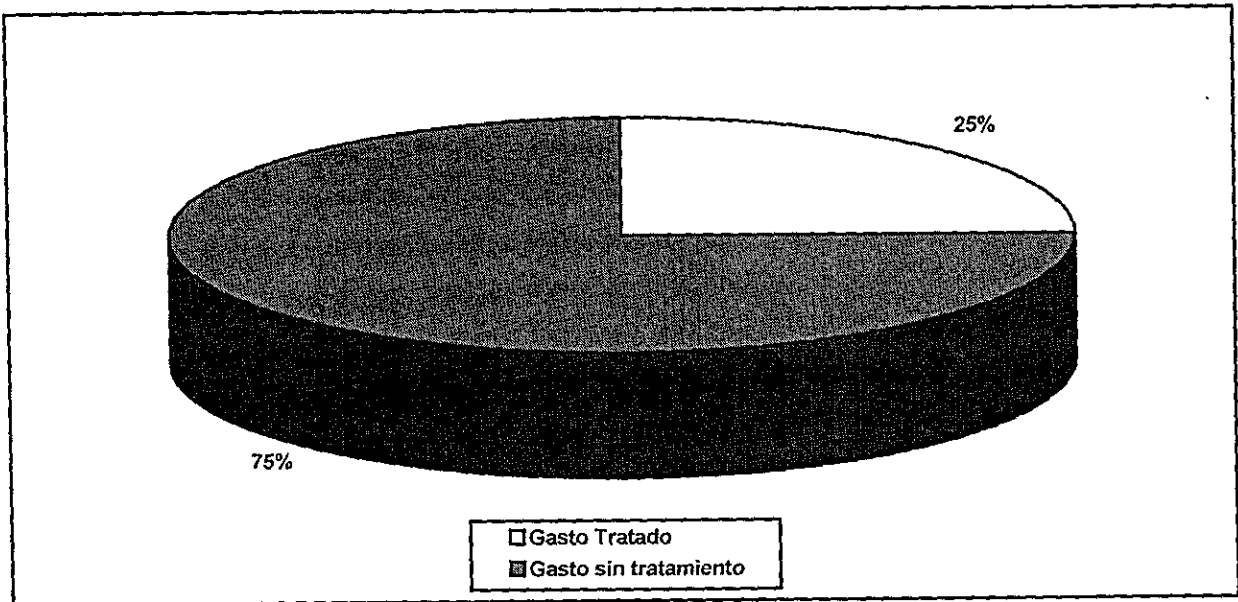
En 1995, se estimó que la cobertura de agua potable era del 87%, mientras que la de alcantarillado era del 67%. En función de los datos anteriores, se observa que solo se colectan, mediante el sistema de alcantarillado, 114 m<sup>3</sup>/s y que se requerirá incrementar las coberturas en el corto plazo, para satisfacer las necesidades de la población y evitar daños a la salud pública.

### 1.1 Situación Actual.

La Comisión Nacional del Agua (CNA), organismo desconcentrado de la Secretaría del Medio Ambiente, Recursos Naturales y Pesca (SEMARNAP), es la autoridad federal para administrar las aguas nacionales y tiene como atribución, expedir Normas Oficiales Mexicanas (NOM) en los términos de la Ley Federal sobre Metrología y Normalización, referente a la conservación, seguridad y calidad en la explotación, uso, aprovechamiento y administración de las aguas nacionales.

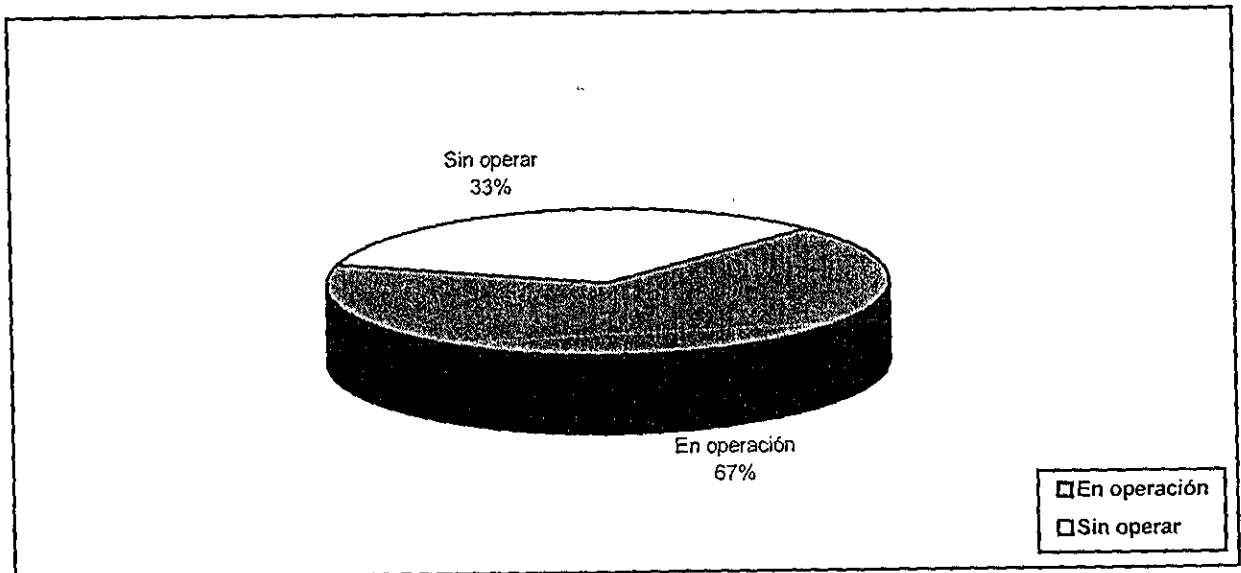
El agua residual generada de origen municipal estimada en 170 m<sup>3</sup>/s que, si se compara con la cantidad de agua municipal que se está tratando (43 m<sup>3</sup>/s), lo que significa, que solo se trata el 25% del volumen total generado, como se puede observar en la figura no. 1.1.

Figura 1.1 Situación de las aguas residuales en México



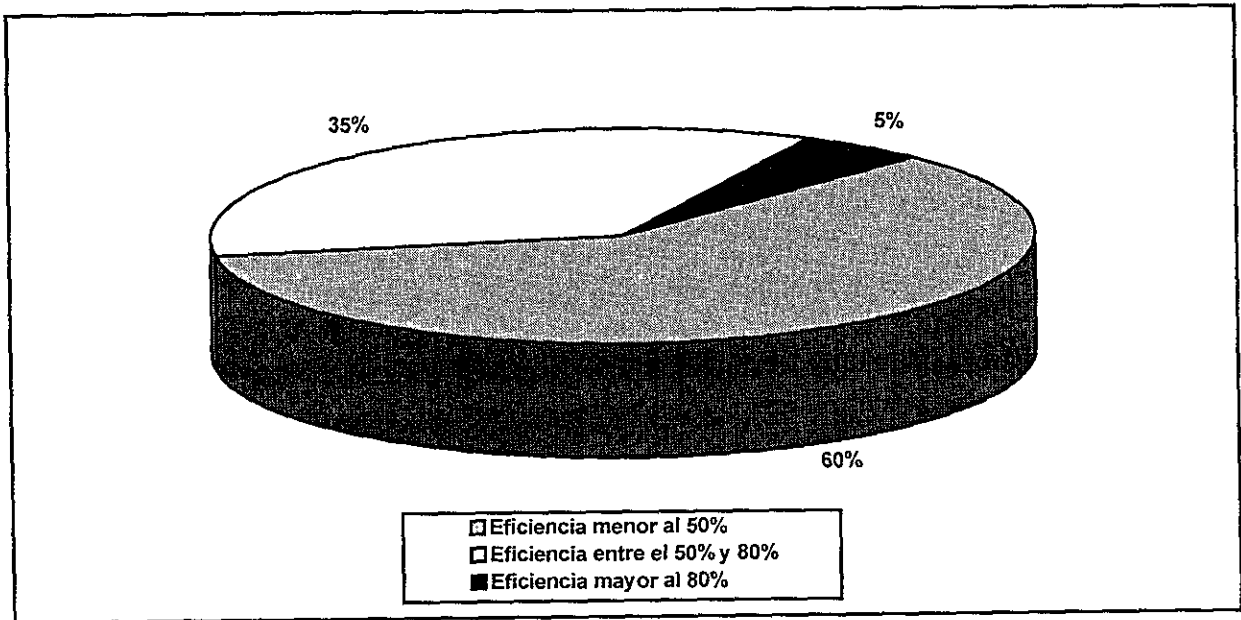
De acuerdo con el inventario Nacional de Plantas de tratamiento, que actualiza sistemáticamente la CNA, hasta 1995 se tienen 684 plantas construidas con una capacidad instalada de 53,902 lps, de estas el 67% se encuentra en operación con un gasto aproximadamente de 43 m<sup>3</sup>/s, como se aprecia en la figura no. 1.2.

Figura 1.2. Funcionamiento de las plantas de tratamiento en México



En la figura no. 1.3. se puede observar que de los sistemas registrados en el inventario, se estima que el 60% opera con eficiencias bajas del 30 al 50% de remoción; el 35% operan con eficiencia del 50 al 80% de remoción y el 5% restante opera con eficiencias mayores al 80% de remoción.

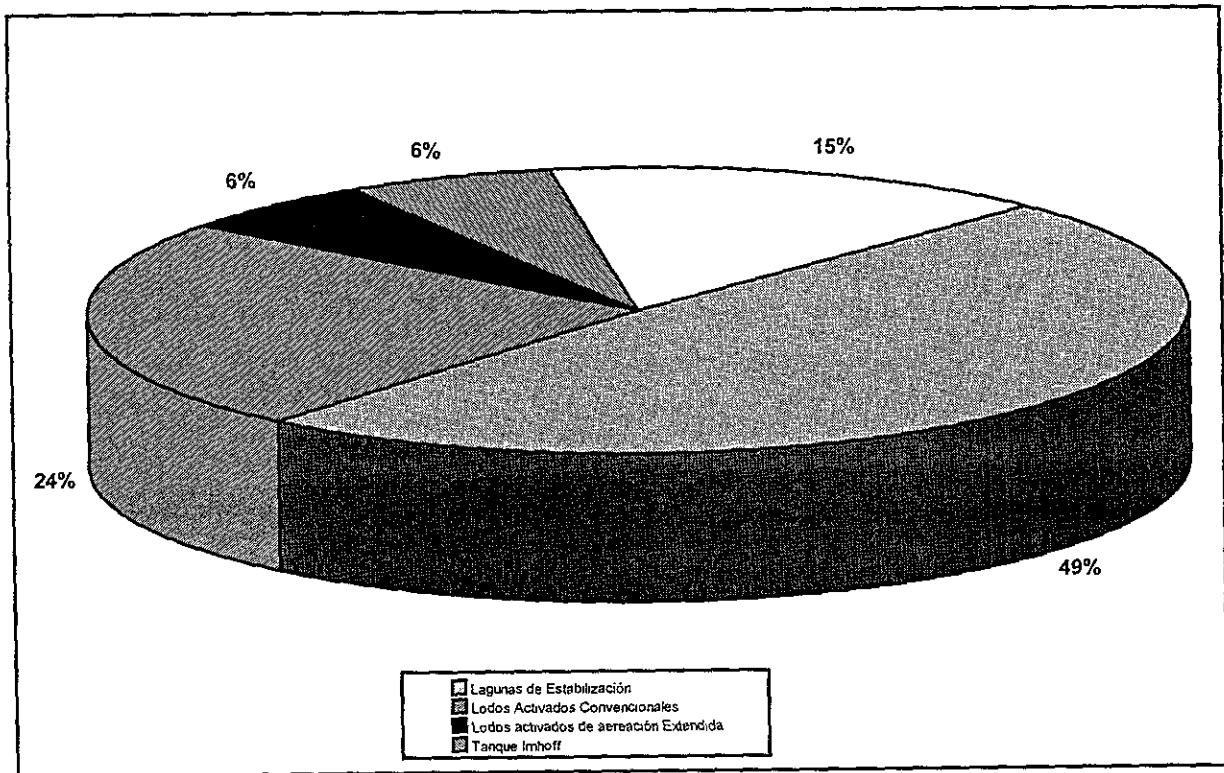
Figura 1.3. Eficiencia de las plantas de tratamiento en México



Del total de plantas construidas, 225 no están en operación, debido a diferentes problemas, que resultan desde un diseño mal concebido, a veces por no considerar adecuadamente la información de la localidad o por falta de datos de campo, fallas en la construcción, abandono de las unidades de tratamiento, falta de recursos económicos y falta de personal especializado, hasta problemas de carácter político.

Por otra parte, dentro del panorama de los procesos utilizados en el tratamiento, como se observa en la figura 1.4., las lagunas de estabilización son las de mayor uso con un 49%, debido a las ventajas que representa su bajo costo de operación y mantenimiento, además de una tecnología que permite el reuso del agua tratada en la agricultura, acuicultura y en la industria, también debido a su eficiencia en la remoción de organismos patógenos. En segundo término se utiliza el proceso de lodos activados convencional, representando un 24% y, en tercer lugar se encuentran los procesos de lodos activados en su modalidad de aireación extendida 6% y la sedimentación primaria mediante el uso de tanques Imhoff con el 6% también.

Figura 1.4. Distribución de los procesos de tratamiento de aguas residuales en México

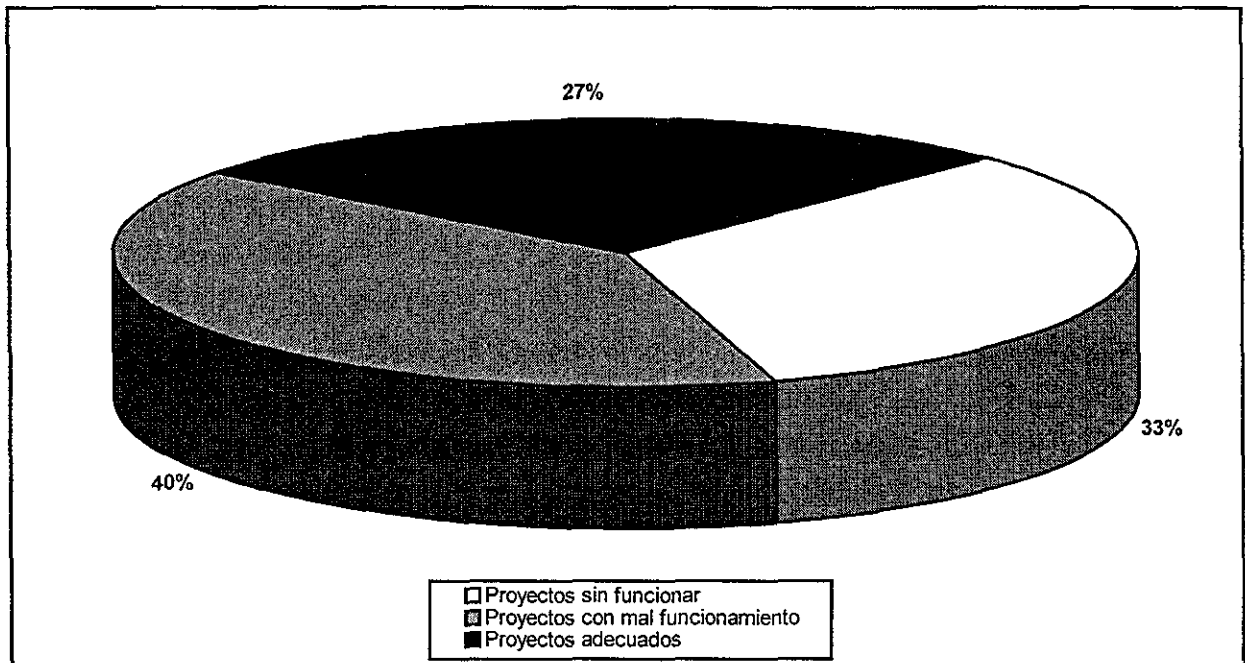


Con anterioridad los procesos de tratamiento se elegían en función de: la inversión inicial, la disponibilidad del terreno, las ventajas de la operación y mantenimiento, los costos de operación y de las condiciones particulares de descarga (generalmente rigurosas), entre otros factores. Sin embargo, como no hemos sido capaces de solucionar los problemas concernientes a la formulación, evaluación, desarrollo y seguimiento de los proyectos de tratamiento de aguas residuales, la legislación vigente, se ha corregido, tendiendo hacer más laxas las normas establecidas con la finalidad de que los sistemas de tratamiento se ajusten a un buen funcionamiento.

Paralelo a la operación de las plantas de tratamiento, se presenta el problema del manejo y disposición final de los lodos, subproducto del proceso de tratamiento, que sin analizar su calidad y sin importar las repercusiones que pueden provocar al ambiente, se disponen en forma cruda o semitratada en tiraderos a cielo abierto y, en algunos casos, en rellenos sanitarios. Anteriormente, su tratamiento no se había tomado en consideración debido a que repercute significativamente en el costo global del tratamiento de aguas residuales, sin embargo, dentro de la Ley de Aguas Nacionales y la Ley del Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente, se considera la prevención de la contaminación del medio ambiente promoviendo el tratamiento de lodos y la disposición sanitaria de este producto.

Lo anterior solo esboza que las evaluaciones de los proyectos de tratamiento de aguas residuales en el país han sido mal realizadas, como se observa en la figura no. 1.5., de 684 proyectos, 225 de estos no se encuentran funcionando y los 459 restantes sólo el 27% (187 plantas) funcionan en los rangos de eficiencia para los cuales fueron diseñados, asumiendo que son sistemas de tratamiento secundario.

Figura 1.5. Situación de los proyectos de tratamiento de aguas residuales en México



Este trabajo presenta una metodología para evaluar los Sistemas de Tratamiento de Aguas residuales (STAR) de manera que se consideren todas las variantes que deberán ser analizadas para tomar la decisión de invertir en el proyecto de tratamiento mas adecuado.

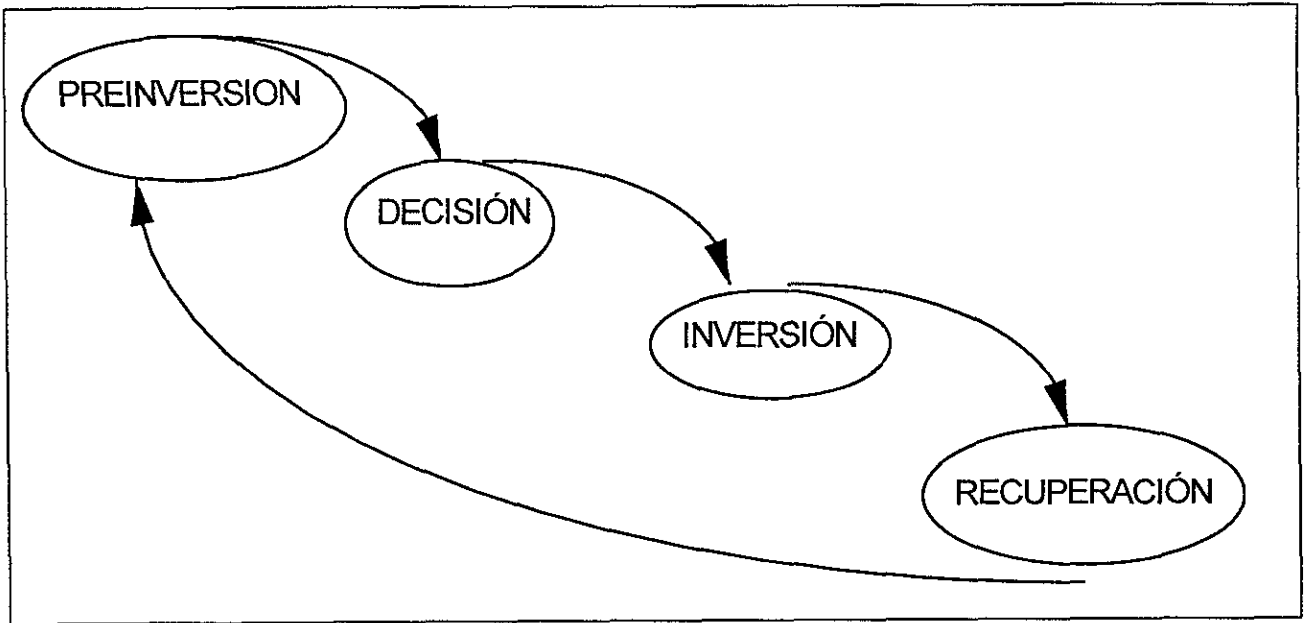
## 1.2 Los proyectos de inversión

En los procesos de inversión se asignan recursos económicos con fines productivos, mediante la formación bruta de capital fijo, cabe detenerse a reflexionar que en la nueva corriente del desarrollo sustentable uno de los pilares fundamentales es entender a los recursos naturales como parte de estos capitales fijos, con el propósito de recuperar con creces los recursos asignados. Es mediante esta óptica que debemos concebir los proyectos de inversión en sistemas de tratamiento de aguas residuales.

Se entiende por proyecto de inversión a una propuesta de inversión, documentada y analizada técnica y económicamente, destinada a una futura unidad productiva, que prevé la obtención organizada de bienes o de servicios para satisfacer las necesidades físicas y psicosociales de una comunidad, en un tiempo y espacio definidos.

Los componentes de un proyecto de inversión completamente diferenciables en contenido y prácticamente sucesivas e irreductibles se observan en la figura no 1.6.

Figura 1.6 Etapas de los proyectos de inversión

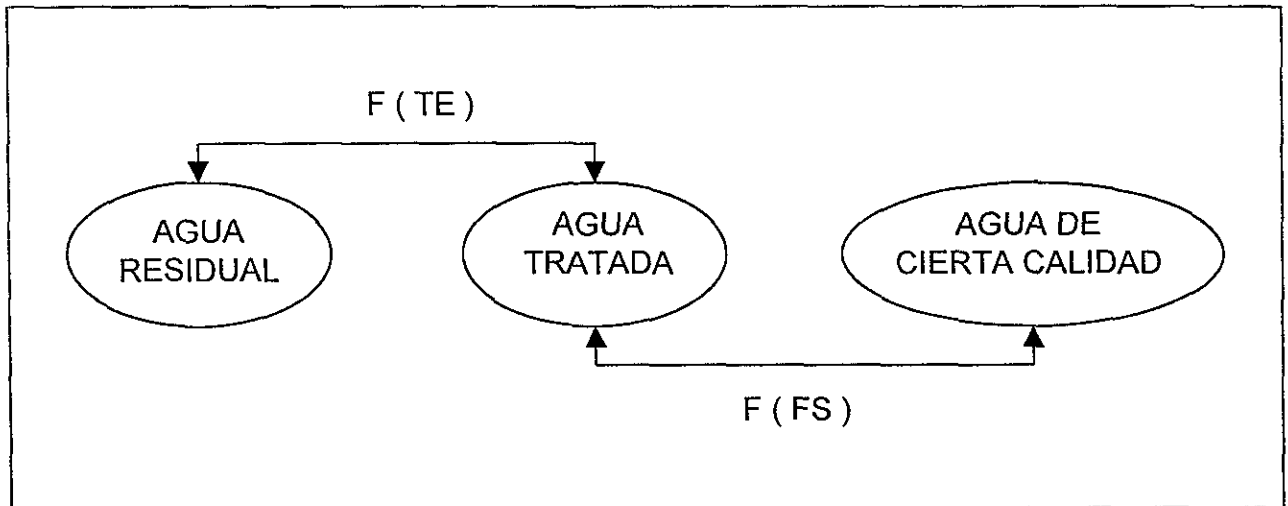


La Preinversión es la primera etapa del desarrollo de un proyecto de inversión, es durante esta que se lleva a cabo la planeación para obtener el mayor número de opciones, se minimizan costos y se facilita el análisis para el mejor desarrollo de las fases subsecuentes.

Dentro de la Preinversión, la identificación cuya finalidad es detectar las necesidades y recursos para buscar su satisfacción y aprovechamiento eficiente, se apoya básicamente en dos relaciones: La técnica - económica existente entre insumos y productos, y la físico - social existente entre productos y necesidades.

Como se aprecia en la figura no. 1.7., la relación técnico-económica (TE) es una función de la producción y su importancia se refleja en el eficiente aprovechamiento de las materias primas y otros materiales por unidad de producto. En ese sentido, es importante su consideración desde el punto de vista de la oferta. Complementariamente, la relación físico-social (FS) tiene influencia determinante desde el punto de vista de la demanda de un proyecto.

Figura 1.7 Relación insumo – producto – necesidades



La evaluación de un proyecto tiene la finalidad, una vez generadas, comparadas y seleccionadas las alternativas técnico-económicas, elegir la más eficiente, para satisfacer una necesidad específica.

La evaluación de proyectos busca presentar un ordenamiento de preferencias entre las distintas alternativas, a partir de criterios de decisión previamente definidos (el de mayor rentabilidad) a través de algún método de evaluación específico. Su objetivo es establecer un orden de preferencia entre las opciones técnico-económicas, desde la óptima hasta las que se descartan.

En resumen, la evaluación de proyectos, consiste en realizar un análisis comparativo de las distintas alternativas con el fin de obtener un orden de preferencia para su realización desde " la opción óptima y su viabilidad técnica, económica y financiera", hasta las descartadas por inviables.

## **CAPITULO 2**

### **ESTUDIO DE MERCADO**

El estudio de mercado tiene como finalidad estimar el volumen de agua tratada que, dadas ciertas condiciones, presentan una demanda que justifica la puesta en marcha de un determinado Sistema de Tratamiento de Aguas Residuales (STAR), en un periodo determinado; sus especificaciones y el precio que los consumidores están dispuestos a pagar.

#### **2.1 Estructura de mercado**

Se entiende como mercado al conjunto de demandantes y oferentes que se interrelacionan para el intercambio de un bien o servicio. Esa concurrencia puede ser directa o indirecta. Por esa razón es importante detectar las formas en que se caracteriza a un mercado en particular.

#### **2.2 Identificación del producto**

El producto a ofrecer al mercado es el agua tratada, los aspectos más importantes que permiten tener una clara descripción de este producto son:

- Por su uso se clasifica como un producto intermediario ya que es demandado por los procesos productivos de las empresas y municipios, para ser consumida y/o transformada, es decir, incorporada a otros insumos.
- Por su efecto en el mercado se clasifica como un producto sustituto, debido a que sin ser igual al agua de primer uso, eventualmente, puede sustituirla. En el estudio de mercado, esta consideración es de suma importancia, toda vez que la producción del sustituto puede atender a una demanda insatisfecha, no revelada en el análisis de la oferta de los bienes o servicios iguales. La sustituibilidad se ve fuertemente influida por los niveles de ingreso y las preferencias de los demandantes, por lo tanto, el análisis de cada mercado debe observar las exigencias y flexibilidades por estrato económico.
- Por su densidad económica, es decir, la relación que guardan precio / peso / distancia. Con relación a este aspecto el agua tratada se considera como de una baja densidad económica, debido a que sus condiciones físicas como lo son el peso y su estado (líquido) lo restringen al desplazamiento.
- Por su Normatividad el agua tratada se sujeta básicamente a los usos para los cuales es requerida. Debido básicamente a que en México no existe una normatividad para el reúso, esta se establece por las necesidades de un cumplimiento sanitario y/o técnico que permita utilizar este producto en los procesos productivos, bajo este enfoque el agua tratada puede clasificarse en cinco grupos:



**Irrigación.**- Agrícola, de parques o para reforestación.

**Embalses.**- Recreativos, para acuicultura o en arquitectura de paisaje.

**Industria.**- En procesos, enfriamiento, generación de vapor, servicios y/o como insumo.

**Recarga de acuíferos.**- Por inyección directa o infiltración superficial.

**Usos domésticos y urbanos.**- Que no requieren de calidad potable.

## 2.3 Análisis de la demanda

La demanda deberá entenderse como la cuantificación de la necesidad real o psicológica de una población.

La demanda puede ser una demanda potencial o una demanda efectiva o real. La demanda potencial es un indicador muy valioso, sólo que deberá complementarse con los datos de la demanda real.

La demanda de agua tratada puede clasificarse de la siguiente forma:

- Con relación a las necesidades que cubre, se clasifica como una demanda de bienes socialmente básicos, ya que la sociedad los requiere para su desarrollo y crecimiento.
- Con relación a su temporalidad se considera como una demanda continua debido a que se ejerce permanentemente.
- De acuerdo a su destino la demanda es intermedia pues es la que realizan las empresas o municipios que adquieren un bien o servicio en sus procesos productivos.
- De acuerdo con la estructura de mercado se consideran de dos maneras:
  - a) Como una demanda insatisfecha o potencial, debido a que la oferta del producto a sustituir (agua de primer uso) esta sujeta a la disponibilidad, provocando un mercado insatisfecho, por lo cual no resulta complejo pensar en la potencialidad para ampliar dicho mercado. La clasificación de la demanda bajo este rubro, sin contar con la información suficiente, puede conducir a inversiones ruinosas, por lo que su análisis debe ser detallado y cuidadoso.
  - b) Como un Mercado cautivo o integrado. Pues como el insumo básico (agua residual) es derivado de un monopolio (organismo operador) y así mismo la disponibilidad del recurso hídrico esta restringida permite asegurar la compra del producto producido (agua tratada). En atención a los grados de certeza, esta clasificación de la demanda es la que mayor confianza puede reportar.

Debido a la densidad económica del producto a obtener (agua tratada) el área de mercado se restringe a la localidad donde el agua residual se genera, debido a la distancia que el agua tratada puede ser desplazada por su precio / peso.

La tipificación de los demandantes puede ser abordada desde dos puntos de vista distinto:

Los demandantes actuales.- aquellos que por cuestión de la disponibilidad del recurso hídrico han tenido que disminuir su demanda por tener que ceder volúmenes de agua a sectores prioritarios (agua potable para consumo humano).

Los demandantes futuros.- Aquellos que no han demandado el recurso hídrico debido a la baja disponibilidad, sin embargo de existir esta estarían dispuestos a realizar inversiones para implementar sus procesos productivos (polos de desarrollo en zonas de baja disponibilidad donde el agua es la condición limitante).

### 2.3.1 Factores que afectan la demanda

La demanda se ve influida por diversos factores que determinan su magnitud, incrementos, decrementos o tendencias. Con base en éstos puede establecerse la potencialidad del mercado y las posibles reacciones de los demandantes. El abordar estos factores es importante, en atención a que además de permitir su dimensionamiento, aportan elementos con los cuales se podrá realizar un análisis de sensibilidad o establecer los escenarios futuros que enfrentará la planta de tratamiento.

Los factores que mayormente afectan la demanda y deben analizarse son: Tamaño y crecimiento del sector demandante, hábitos y preferencias de consumo, estratos de ingresos y precios. El manejo de estos factores permiten establecer la situación actual de la demanda, explicar su trayectoria histórica y sobre todo determinar las bases de la probable demanda en el futuro.

**Tamaño y crecimiento del sector demandante.-** Se debe obtener información relativa a las características del sector, así como las calidades y cantidades de agua requeridas. Esta información sirve para conocer el mercado al que esta dirigido el proyecto. Es necesario conocer el crecimiento que el sector a experimentado en un determinado periodo, para relacionarlo con el crecimiento esperado de la demanda.

**Hábitos de consumo.-** Otro factor determinante de la demanda se refiere a los hábitos de consumo. Esto esta relacionado a la disponibilidad que por costumbre o habito tiene determinado sector a consumir agua de primer uso, y que tan dispuesto estaría a sustituirla por agua tratada.

Cuando no se dispone de información confiable respecto de los hábitos de consumo del sector, es indispensable realizar sondeos (encuestas), que permitan obtener indicadores básicos para ser utilizados y reflejados.

**Gustos y preferencias.-** El análisis de la demanda debe considerar la cantidad y calidad deseable y/o necesaria del agua requerida que un consumidor demandará, independientemente de su capacidad de paga. Si bien es cierto que para ser demandante

efectivo, el nivel de ingreso es determinante, también lo son los gustos y preferencias del consumidor.

Por otra parte, es importante conocer las reacciones de los consumidores frente a la calidad de agua ofrecida, las ventajas que se derivan de su utilización ya que esta información es de gran valor cuando se proyecta la demanda de agua.

**Niveles de ingreso / gasto.**- La determinación de la demanda efectiva está íntimamente ligada a la capacidad de pago de los consumidores. De hecho, un demandante potencial sin ingresos suficientes nunca podrá ser efectivo; o un demandante de ingresos comprometidos con gastos diferentes del bien o servicio estudiado, no puede ser computado en la demanda efectiva, por lo tanto, el análisis debe ser cuidadoso.

Cuando se conoce el tamaño, el crecimiento sectorial y sus hábitos de consumo, habrán de agregarse al análisis los niveles de ingreso sectorial, con la finalidad de conocer el perfil económico que tiene el sector estudiado y la distribución del gasto.

Al tener la estructura del sector por estrato de ingreso, la distribución ingreso - gasto sectorial y haber realizado una encuesta para identificar hábitos de consumo, se estará en condiciones de dimensionar la magnitud de la demanda efectiva de una manera confiable y consistente.

La elasticidad-ingreso es una herramienta valiosa para el análisis y para las proyecciones o expectativas del mercado. Dependiendo de la información disponible podrán determinarse y utilizarse la herramienta y elasticidad reportando mayor certeza al aspecto abordado. La elasticidad-ingreso permite analizar si el incremento en el ingreso de la población deriva en un mayor consumo del agua tratada, y por lo tanto, si en el futuro se esperan incrementos al ingreso de ese sector.

También es útil la elasticidad-ingreso para el análisis de la demanda por estratos de ingreso, porque cada estrato reporta un consumo diferente del agua tratada. Este indicador mide cómo influye el nivel de ingresos en el comportamiento de la demanda actual y la expectativa en el futuro.

Es muy importante identificar con claridad si el ingreso es un determinante de la demanda, para entonces proceder a la determinación de la elasticidad y su aplicación. Cuando la demanda no está en función del ingreso, entonces resulta inútil determinarla y su aplicación es improcedente.

**Precios.**- Finalmente, al análisis se agrega el factor del precio y sus repercusiones en la demanda identificada, porque el precio puede afectar los volúmenes de agua consumida.

- Una manera inicial de calcular el precio de agua tratada considerándola como un bien sustituto es comparándola con el precio de agua de primer uso.

### 2.3.2 Demanda Intermedia.

Entendemos que el agua tratada es un bien intermedio, esto es, las empresas la utilizan para la fabricación de productos o bien para su operación dentro del proceso productivo, así mismo para las empresas dedicadas a prestar servicios de agua (Organismos Operadores) es su principal insumo de trabajo. La demanda de este bien, consecuentemente, se deriva de las necesidades del conjunto del sector productivo.

Esta demanda depende del uso que tiene el agua y la manera en que es utilizada en el proceso de producción. Es importante, para el análisis de esta demanda, saber los diferentes usos que puede tener el agua. A partir del conocimiento de la producción de las empresas que utilizan el agua, es factible conocer su demanda. A esto se denomina coeficiente técnico de producción.

Los coeficientes técnicos representan la cantidad de agua necesaria para elaborar el producto final (o servicio prestado). Los coeficientes técnicos pueden variar por empresa, aún cuando elaboren el mismo producto, debido al tipo de proceso que emplean y los diferentes niveles de eficiencia. Por lo tanto, el promedio de coeficientes técnicos de las empresas que lo insumen, constituye el coeficiente técnico medio del sector. Resulta difícil, pero conveniente, obtener coeficientes técnicos ponderados (cuando son pocas las empresas que lo utilizan), ya que los niveles de eficiencia de éstas pueden afectar al coeficiente técnico del sector.

La estimación de la demanda del agua es bastante simple, cuando el caso en estudio, tiene un uso poco diversificado y éste es preciso. En cambio, para el caso de estudio cuando el agua tiene una multiplicidad de usos (muchas empresas lo usan y/o le dan muchas aplicaciones) la determinación de la demanda es más complicada. Se vuelve necesario, por lo tanto, usar coeficientes técnicos medidos para computar el conjunto de las empresas y/o sectores.

### 2.3.3 Proyección de la demanda

La demanda de agua tratada puede evaluarse con distintos grados de confiabilidad con los métodos usuales. En algunos casos se calcula deduciendo de la demanda global aquellos usos que puedan sustituir parcialmente a los consumos de agua de primer usos por agua tratada (un criterio inicial puede ser sustituir la mayor cantidad posible). Las técnicas principales son las siguientes:

- **Proyecciones de tendencias.**- Con base en el consumo global de agua y estimando las porciones correspondientes a cada usuario. Parte de la proyección poblacional afectada por una dotación, por lo que depende la exactitud del método aplicado en el primer uso (extrapolación gráfica, proyección exponencial, relación área-población, etc.) y la correspondencia de la dotación con los valores reales de abastecimiento. En el caso del reúso, esta metodología pasaría por alto factores muy importantes (tendencias de crecimiento industrial, saturación de zonas urbanas, etc.).
- **Coeficientes técnicos.**- Puede ser mas preciso para calcular demandas industriales (litros por unidad de producto) o de irrigación (litros por hectárea por día), aunque las referencias son escasas y los factores cambian rápidamente con la tecnología. Para la proyección de irrigación de áreas verdes pueden considerarse índices de equipamiento urbano.

- **Comparaciones con proyectos semejantes.**- En México existen plantas de tratamiento que funcionan con éxito (en Monterrey, N.L. y la ciudad de México); una primera lección que se obtiene de esas experiencias es que el desarrollo industrial precedió a la necesidad del agua tratada. El uso en irrigación agrícola es extensivo en el país, pero generalmente se hace inadecuadamente. Comparando con casos internacionales puede inferirse la máxima cantidad de agua de primer uso sustituible por agua tratada.
- **Métodos econométricos.**- Debido a la naturaleza de la empresa que prestaría el servicio (bajo regulación por ser monopolística de utilidad pública, se atiende servicios públicos, o sujeta a programas predefinidos si pertenece a una sociedad de usuarios), en este caso no son aplicables modelos de elasticidad precio o ingreso sin que deban introducirse consideraciones adicionales.
- **Modelos de sistemas (estáticos o dinámicos).**- Una primera aproximación a la definición de los volúmenes destinados para cada tipo de usuario puede hacerse mediante un modelo lineal de asignación. Existen también modelos dinámicos para la proyección de demandas.
- **Prognosis heurística.**- Puede utilizarse como una última “depuración” de los resultados que arrojen los métodos anteriores. Requeriría la participación activa de las organizaciones y las dependencias relacionadas con los usos potenciales. En este punto se incluirán los elementos de incertidumbre incuantificables.

Como resultado de la aplicación de estos métodos obtendríamos la caracterización de la demanda:

- Cuadro-resumen de demandas por categorías, gastos, calidad requerida, variabilidad máxima aceptable en gasto y calidad, tarifas actuales y proyectadas por usuario, ubicación geográfica y variación horaria, para cada escenario del horizonte de planeación considerando (un periodo adecuado de 10 a 20 años como máximo).
- Ubicación en planos de los principales punto de concentración de la demanda y posibles puntos para regulación y distribución.
- Ubicación en planos de las zonas generadoras y los sitios para la ubicación de la planta.

## 2.4 Análisis de la Oferta

La oferta es el volumen de agua tratada que el productor coloca en el mercado para ser vendido, o bien el servicio que presta el productor por descontaminar el agua residual. Depende directamente de la relación precio/costo, esto es, que el precio es el límite en el cual se pueden ubicar el costo de producción, ya que cuando el precio es mayor o igual al costo, la oferta puede mantenerse en el mercado; cuando el precio es menor, la permanencia de la oferta es dudosa, ya que económicamente no puede justificarse.

### 2.4.1 Clasificación de la oferta

La oferta del agua se considera como una oferta oligopólica, debido a que presenta la siguiente característica:

- Hay mas de un productor en el mercado, pero el número es reducido, (en este caso hablamos de dos ofertantes el de agua de primer uso y el del agua tratada), de manera que la contribución de cada productor al total es de tal magnitud, que su concurrencia es concertada en precio, cantidad y en general con las políticas necesarias que les permiten control del mercado y por lo tanto mayores utilidades.

#### **2.4.2 Oferta actual**

Los principales aspectos de la oferta que deben analizarse son: El numero de ofertantes, la ubicación geográfica, los volúmenes ofertados, la capacidad instalada (infraestructura hidráulica existente), la capacidad utilizada y sobre todo la disponibilidad del recurso hídrico (Balance hidráulico).

Atendiendo al área de mercado de se analiza, que debido a la baja densidad económica del producto en cuestión, esta área será siempre local, así como, atendiendo al número de productores, su ubicación geográfica y a los volúmenes de extracción, se podrá conocer el tamaño de la oferta actual.

#### **2.4.3 Factores que afectan la oferta.**

La cantidad de agua que se pone a disposición de los demandantes, se ve afectada por variables que también deben ser analizadas gradualmente, explicando la oferta histórica hasta llegar a concluir con la magnitud de la oferta actual y la información necesaria para proyectar la oferta futura.

Es fundamental conocer la competencia. De nada vale que exista una gran demanda insatisfecha o potencial del recurso hídrico, si no se tiene posibilidad alguna de asegurarse una parte de la misma. Para evaluar esta posibilidad es necesario conocer el tipo de competidores a enfrentar en el mercado (Organismos Operadores, Distritos de riego, la propia Comisión Nacional del agua).

El conocer la capacidad instalada y ocupada de los ofertantes actuales, tiene principalmente la finalidad de dimensionar la oferta actual, lo cual permite además, presuponer el grado de factibilidad que los productores tienen para incrementar la oferta en el corto plazo, situación en la cual tendrán ventajas comparativas con un nuevo ofertante.

En el análisis de la oferta resulta de suma utilidad conocer bajo que condiciones los proveedores de agua venden su producción; si lo hacen bajo contrato (concesión), cómo determinan su costo y cuales son sus mecanismos de comercialización mas usuales.

#### **2.4.4 Proyección de la oferta.**

Al igual que en la demanda, es necesario presuponer la futura situación de la oferta. Para ello se usarán los datos del pasado, se analizarán sus perspectivas y la facilidad o restricciones que se presentan a fin de lograr incrementos en el producto a ofrecer.

Las limitaciones de la oferta futura pueden tener origen en instancias tales como el terreno disponible, la cobertura de alcantarillado y conducción, las instalaciones y equipamiento, las condiciones institucionales, económicas, financieras, los nuevos proyectos, los permisos y compromisos del recurso hídrico, etc.

Los métodos de proyección de la oferta dependen, al igual que en el caso de la demanda, de la información disponible. Para ello se pueden usar los métodos descritos para la demanda que mejor se adapten, después de analizar los aspectos restrictivos.

#### **2.5 Tamaño del mercado.**

La comparación de los datos obtenidos nos permite dimensionar la demanda y oferta con lo cual se establece el tamaño actual y con la proyección el tamaño futuro del mercado. Esta información debe presentarse lo mas claramente posible con el fin de evitar posibles confusiones.

La información de la oferta y la demanda presentada en cuadros, tablas y gráficas, a lo cual se le conoce como balance del mercado, facilita la conclusión a la que se llega con el análisis del mercado.

No debe olvidarse el potencial de la disponibilidad de agua de primer uso, derivado de la conservación del recurso, por reservas hidráulicas que fija la autoridad o por la reglamentación de los volúmenes extraídos, ya que esta podría ser utilizada para satisfacer el déficit resultante de la situación actual. De igual manera deberá considerarse los oferentes que pudieran entrar en el futuro próximo.

En el estudio de mercado se considerarán los factores cuali y cuantitativos que ayuden a conformar el escenario más fidedigno de la situación presente; y se apoyará el análisis de la situación futura, estudiando con cuidado los aspectos tecnológicos, sociales y legales, que en particular al tratarse del recurso hídrico juegan un papel de suma importancia para el desarrollo de una comunidad.

#### **2.6 Comercialización**

Al conjunto de actividades que los oferentes realizan para lograr la venta del agua se denomina comercialización, de tal forma que el análisis de la oferta y la demanda deberá ser complementado con un estudio detallado de los diferentes aspectos que conforman la comercialización.

El objetivo es analizar lo que los actuales oferentes hacen, lo que han hecho en el pasado y establecer lo que mejor conviene al proyecto en términos de precios y canales de comercialización.

La información que se recabó para el estudio de la oferta, se retoma para realizar un análisis detallado de cómo se realiza la comercialización. Los elementos más importantes son:

- El numero de competidores y el liderazgo que ejercer en el mercado
- Su ubicación
- El potencial de la disponibilidad del recurso hidráulico
- La calidad del recurso y
- El precio ofrecido.

A pesar de que la conclusión de que existe un mercado para proveer de agua tratada, esta decisión puede resultar muy costosa, si no se fundamenta una estrategia de comercialización dentro de futuro proyecto, en virtud de que si existen oferentes que deseen apropiarse de ese mercado, considerando todos los aspectos que conlleva su extensión.

### **2.6.1 Precios**

El análisis de los precios se realiza tomando como referencia la unidad longitudinal cubica, es decir el metro cubico. Se identifican los diferentes precios observados y, con referencia a la estadística, se realiza una descripción de los encontrados fuera de esta y los rangos que se registran. Se anotan las diferencias por zona de disponibilidad, por tipo de fuente de abastecimiento y otras particularidades que se observen.

Cuando es posible integrar una serie histórica, el análisis de los precios deberá reportar la trayectoria que han observado (si se incrementaron o disminuyeron y en que proporción; qué situaciones pueden expedir su comportamiento; cuántos oferentes se ubican por arriba del promedio y cuántos por abajo).

Los precios, además de contener los diferentes costos de extracción del agua, comprenden los costos correspondientes a los canales de comercialización empleados en la distribución y los costos por derecho al aprovechamiento de un recurso de propiedad nacional.

El precio del agua de primer uso es una variable de suma importancia. El saber cuál es el precio en cada sector demandante, sus canales de distribución y su fuente de abastecimiento, permite calcular los márgenes de ingreso a los que se renuncia o bien identificar si el proyecto estará en condiciones de competir en el mercado.

El obtener los precios del consumidor y el canal de distribución es determinante. En el acopio de esta información es recomendable realizar una verificación directa para validar la información secundaria y lograr mayor margen de certeza.



## **2.6.2 Canales de comercialización**

El análisis de los canales y márgenes de comercialización requiere de especial atención, ya que de esto depende que el proyecto tenga éxito, sobre todo si se considera el reuso del agua tratada.

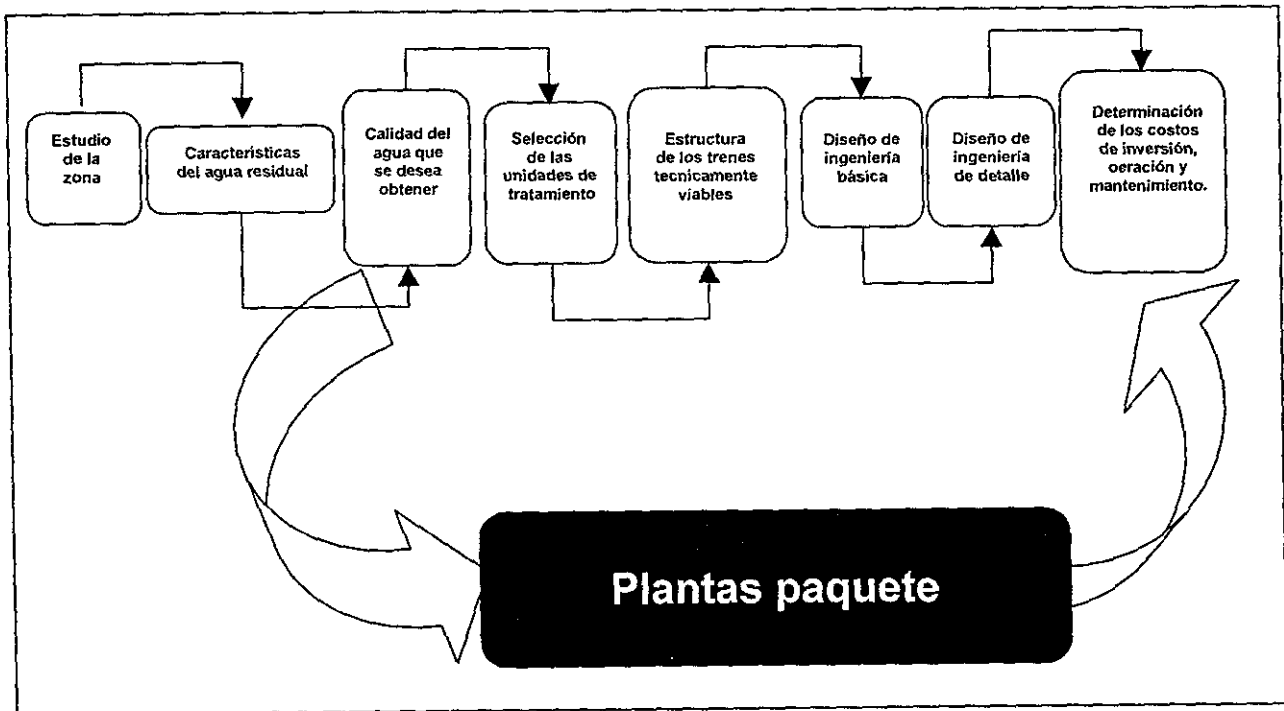
Los canales de comercialización para el agua tratada son más bien un concepto físico, es decir, las necesidades de conducción que permitan trasladar el agua tratada del lugar de producción hasta el sitio de ubicación de los demandantes, para que con ello no se pierda la concesión del líquido y pase a ser propiedad de la nación.

## CAPITULO 3 ESTUDIO TÉCNICO

El estudio técnico comprende las diferentes etapas para diseñar un tren de tratamiento de aguas residuales que alcanzar la calidad del agua tratada que se desea.

Las etapas que comprende el estudio técnico se presentan en la figura 3.1.

Figura 3.1. Etapas del estudio Técnico



La finalidad de los procesos de tratamiento de agua residual obedece básicamente a dos necesidades:

- 1) Cumplir con la legislación vigente para descargar a algún cuerpo receptor o al alcantarillado.
- 2) Cumplir con los requerimientos de calidad para poder reusar el agua en algún uso específico.

### **3.1 Calidad del agua para cumplir con la legislación vigente.**

Esta calidad de agua es establecida por la autoridad en materia de agua (Actualmente la CNA) mediante la emisión de Normas Oficiales Mexicanas (NOM) mediante las cuales se establecen los límites máximos permisibles de descarga a diversos cuerpos receptores según el uso para el cual están destinados.

La tabla A-1 del anexo 1, presenta la NOM-001-1997 la cual se encuentra vigente actualmente.

Es importante tener presente que el esquema normativo mexicano en los últimos años ha sido muy variante e inconsistente por lo que el establecer un sistema de tratamiento de aguas residuales para cumplir solamente con la normatividad vigente puede conducir a inversiones que al corto plazo se vuelvan obsoletas, por lo que se deberá tener presente este riesgo en el momento de tomar una decisión, así mismo debe tenerse en cuenta que el único beneficio directo y tangible que recibe el inversionista al cumplir con la norma es la suspensión de pagos por descarga de aguas residuales.

### **3.2 Cumplir con los requerimientos de calidad para el reuso.**

Esta visión de realizar el tratamiento para posteriormente reutilizar el agua tratada en alguna actividad específica cobra cada vez mayor importancia, sobre todo en aquellas zonas donde la disponibilidad del recurso hídrico es escasa.

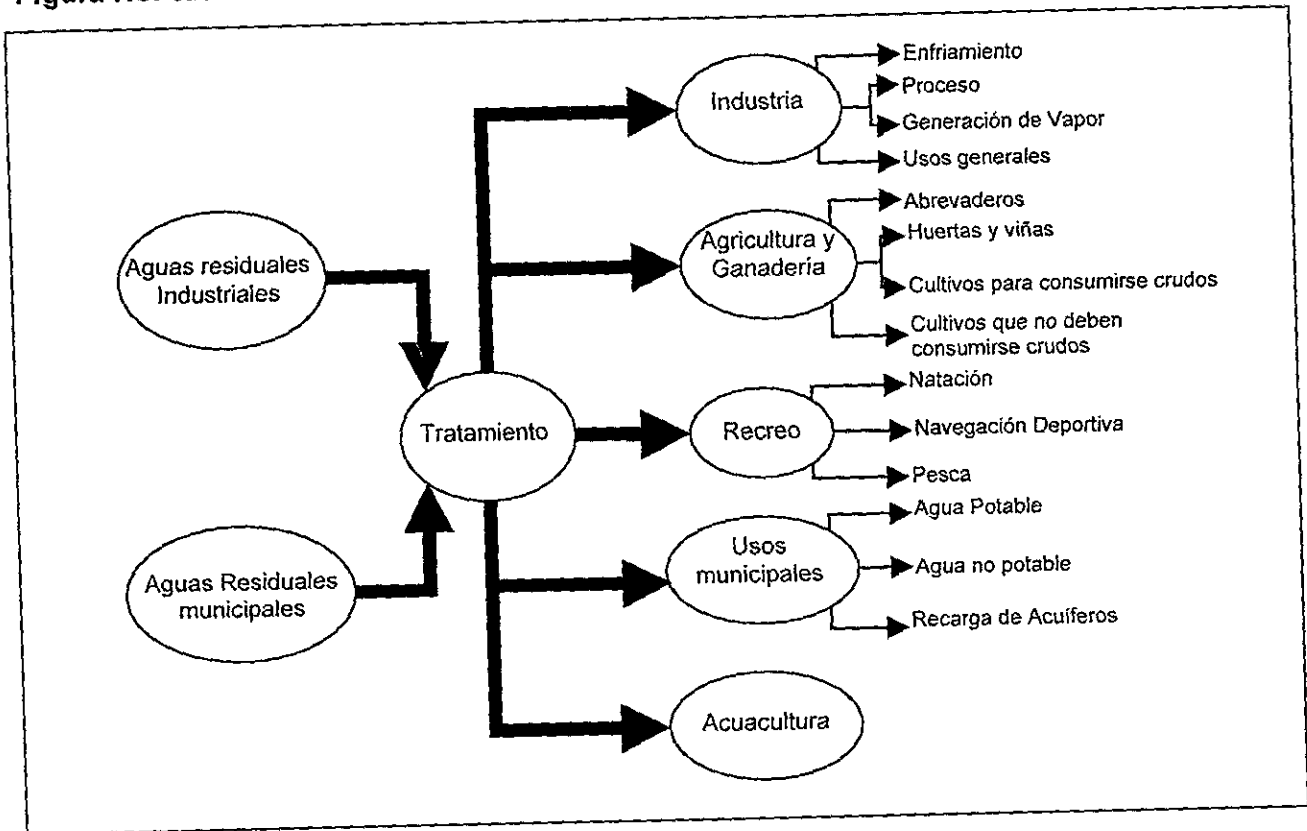
Para este caso los beneficios son varios:

- a) Se evita el pago por descargar agua residual.
- b) Disminución de la extracción y por consiguiente del pago por la extracción
- c) Se obtienen ingresos por la venta del agua tratada.

El agua tratada puede reutilizarse en los siguientes usos (Ver figura 3.2.).

- Urbano
- Agrícola
- Industrial
  - En el proceso productivo
  - En enfriamiento
  - En calderas
- Servicios
- Acuicola
- Actividades recreativas
- recarga de acuíferos.

Figura No. 3.2.- Usos Potenciales del agua residual tratada



A continuación se presentan los conceptos generales de cada reuso así como los parámetros más importantes a cumplir para reusar el agua.

### 3.2.1 Reúso urbano

Los sistemas de reúso urbano proporcionan agua tratada para varios propósitos dentro de una área urbana, incluyendo:

- Irrigación de parques públicos y centros recreativos, campos atléticos, jardines de escuelas y campos de juego, camellones y las áreas verdes alrededor de edificios públicos.
- Irrigación de las áreas verdes de residencias individuales o multifamiliares, lavado en general y otras actividades de mantenimiento.
- Irrigación de áreas verdes alrededor de centros comerciales, oficinas y desarrollos industriales.
- Irrigación de campos de golf.
- Usos comerciales semejantes a lavado de vehículos, ventanas, agua de mezcla para pesticidas, herbicidas y fertilizantes líquidos.
- Usos de áreas verdes ornamentales y para decoración, semejante a fuentes, albercas y cascadas.

- Control de polvo y producción de concreto en proyectos de construcción.
- Protección para incendios.
- Baños en edificios comerciales e industriales.

El reúso urbano puede incluir servicios a sistemas grandes de usuarios (parques y patios de recreo, industrias o complejos industriales usando agua) y una combinación de residencial, industrial y propietarios comerciales a través de los sistemas de distribución dual. En estos sistemas, el agua tratada es repartida a los clientes por una red paralela de distribución principal separada del sistema de distribución de agua potable.

El sistema de distribución de agua tratada favorece esencialmente a comunidades suministrando tres tipos de servicios (agua residual, agua potable y agua reusada), y es operada, mantenida y dirigida de una manera similar al sistema de agua potable. (Un ejemplo, es el sistema de St. Petesburgo, Florida que opera desde 1977). El sistema provee agua reusada para una propiedad residencial, un desarrollo comercial, parques industriales, un estadio de baseball y una escuela.

El sistema de reúso urbano deberá considerar las instalaciones de tratamiento de agua para la producción de agua tratada; el sistema de distribución de agua tratada, incluyendo el almacenaje y las instalaciones de un servicio de bombeo para elevar el agua.

En el diseño de un sistema de distribución de agua tratada, las consideraciones más importantes son la seguridad del servicio y la protección a la salud pública. Los requerimientos en cuanto a la calidad del agua para este tipo de reúso se presentan en las tablas A-2, A-3 y A-4 del anexo 1.

### **3.2.2 Reúso agrícola.**

La irrigación en la agricultura representa una fracción importante del total de la demanda de agua (aproximadamente 40%). Los constituyentes en agua residual tratada que preocupan si esta se utiliza para la irrigación en agricultura son: salinidad, sodio, elementos traza, excesivo cloro residual y nutrientes, la sensibilidad es generalmente una función de la tolerancia de las plantas a éstos constituyentes encontrados en la zona de la raíz o depositados en el follaje (las tablas A-5, A-6 y A-7 del anexo 1, muestran la calidad del agua para este reúso).

Los tipos y concentraciones de éstos constituyentes en agua residual tratada dependen del suministro del agua municipal, el influente de la corriente de agua (doméstica ó con contribuciones industriales). La cantidad y composición de infiltración en el sistema de colección del agua residual, los procesos de tratamiento, y el tipo de almacenamiento. En muchos casos el agua tratada es de una calidad aceptable en la fuente de agua potable municipal.

Las condiciones que pueden tener un impacto adverso sobre la calidad del agua tratada son:

- Niveles elevados de sólidos disueltos totales.
- Descargas industriales de componentes potencialmente tóxicos dentro del sistema de desechos municipales.
- La infiltración de agua salada dentro del sistema de alcantarillado en áreas costeras.

La salinidad es el parámetro más importante que determina la conveniencia de una agua para su uso en irrigación. La tolerancia de las plantas a la salinidad varía mucho. Los cultivos se deberán escoger cuidadosamente para asegurar que éstos puedan tolerar la salinidad del agua irrigada, y hasta cuando el suelo deberá ser correctamente drenado.

El potencial de influencia que el sodio puede tener sobre las propiedades del suelo se indica por la relación de absorción de sodio (RAS), la cual se basa en el efecto del intercambio de sodio sobre la condición física del suelo. La concentración de sodio en el agua relativa a la concentración de calcio y magnesio es expresada como RAS.

La influencia de las sales de sodio en el intercambio de la composición del suelo, disminuye la permeabilidad. Esto generalmente ocurre en los primeros centímetros del suelo y está relacionado con un alto contenido de sodio o muy bajo contenido de calcio en el suelo o agua irrigada.

El grado o nivel de depuración requerido por una instalación para el tratamiento de las aguas residuales varía de acuerdo con la aplicación específica para el reúso y está asociada directamente a la calidad del agua requerida.

Los tratamientos más sencillos son los que se realizan basándose en procesos de separación sólidos-líquidos y desinfección. Sistemas más complejos de tratamientos en combinaciones de procesos físicos, químicos y biológicos que emplean múltiples operaciones para remover contaminantes específicos hasta lograr paso a paso la calidad deseada del efluente.

Los elementos traza en agua tratada normalmente se presentan en concentraciones menores que 100 ug/l (Petty grove y Asano, 1985). Algunos son esenciales para plantas y animales pero todos pueden llegar a ser tóxicos a elevadas concentraciones (Tangi 1990). En la tabla A-8 del anexo 1, se muestran los límites recomendables para irrigación (EPA 1992).

El cloro residual en concentraciones menores que 1 mg/L usualmente no afecta a las plantas. Sin embargo, algunos cultivos sensibles se pueden dañar a niveles más bajos que 0.05 mg/L. El cloro en concentraciones mayores que 5 mg/L causan daño a la mayoría de las plantas.

Los nutrimentos más importantes que son necesarios en los cultivos son nitrógeno, fósforo, potasio, zinc, boro y sulfato. El agua tratada generalmente contiene suficientes concentraciones de estos nutrimentos para suplir una gran parte de las necesidades de los cultivos.

El nutrimento más benéfico es el nitrógeno, una excesiva cantidad de nitrógeno estimula el crecimiento vegetal. Una excesiva cantidad de nitrato puede causar un desbalance en nitrógeno, potasio y magnesio en el pastoreo de los animales.

Arizona y Hawaii son los únicos estados de la unión americana que limitan el uso de agua residual con ciertos patógenos, para el reúso en agricultura de cultivos no comestibles. En Arizona, los patógenos incluyen virus entéricos, Entamoeba histolytica, Giardia lamblia y Ascaris lumbricoides. Las guías de la EPA para el reúso del agua tratada para estos contaminantes no son detectables con excepción de virus entéricos el límite es 1 ufp/40L.

En la tabla A-9 del anexo 1, se presentan las calidades del agua para reúso agrícola establecidas por las guías EPA 1992, la NOM-001-ECOL-1996 y las propuestas por la DGCOH 1987.

### **3.2.3.- Reúso industrial**

El reúso industrial representa un mercado potencial significativo para el agua tratada en muchas ciudades en desarrollo. El agua tratada es ideal para muchas industrias donde los procesos no requieren una calidad de agua potable. También las industrias con frecuencia se encuentran localizadas cerca de áreas populares donde las instalaciones de tratamiento de aguas residuales están centralizadas generando una fuente aprovechable de agua tratada.

El agua tratada para reúso industrial puede ser desviada del reciclado de aguas de la planta de desecho industrial y/o instalaciones para aguas municipales tratadas. El reciclado dentro de una planta industrial es generalmente una parte integral del proceso de una industria y debe ser desarrollado específicamente para cada caso. (EPA, 1992)

#### **3.2.3.1 Reúso en procesos**

Este tipo de reuso varía de acuerdo con el proceso industrial del que se trate, para tal caso es necesario identificar claramente las características de calidad de agua requeridas para no afectar el proceso productivo.

Para este reuso en particular es de suma importancia mantener un estricto control de calidad de agua tratada suministrada, ya que de no ser así, se pueden causar serios daños en la producción.

#### **3.2.3.2 Reúso en enfriamiento**

Los sistemas de enfriamiento en continuo usan agua para enfriar los equipos del proceso y posteriormente descargan el agua con un cambio básicamente en la temperatura. Estos sistemas de enfriamiento usan grandes volúmenes de agua.

Los sistemas de enfriamiento recirculados usan agua para absorber calor de los procesos, entonces transfieren el calor del agua por evaporación, y recirculan el agua para adicionar ciclos de enfriamiento. Este proceso de enfriamiento recirculado puede emplear torres o lagunas de enfriamiento.

Los problemas más frecuentes de calidad del agua en los sistemas de enfriamiento de agua son: incrustaciones (dureza), corrosión, crecimiento biológico y producción de espuma. Este problema se presenta tanto por los contaminantes del agua potable como los del agua tratada, pero las concentraciones de algunos contaminantes en el agua tratada para su uso pueden ser muy altas. La tabla A-10 del anexo 1, presenta los criterios de calidad del agua para enfriamiento.

#### **3.2.3.3.- Reúso de agua para calderas**

Los requerimientos de calidad del agua para alimentar calderas dependen de la presión a la que es usada, esta calidad se muestra en la tabla A-11 del anexo 1. Generalmente a altas presiones, la calidad del agua requerida es alta. A muy altas presiones, las calderas requieren de la calidad del agua destilada. En general, el agua potable y el agua tratada usadas en las calderas, deben ser tratadas para reducir la dureza a cero. La remoción o control de sales insolubles de Calcio y Magnesio, control de Silicio y Aluminio es requerido desde donde estos son las principales causas de la formación de incrustaciones en las calderas.

### 3.2.4.- Reúso para servicios

El agua tratada puede ser utilizada en servicios al público con contacto directo (reúso no restringido), considerando el llenado de lagos y canales para paseos en lanchas, remo, canotaje y esquí, plantas de ornato, parques y jardines, lavado de vehículos y agua para lavado de baños, sistemas de aire acondicionado. Y para servicios al público con contacto indirecto u ocasional (reúso restringido), se consideran riego de jardines y camellones en autopistas y avenidas, campos de golf; lagos destinados al paisaje y barreras hidráulicas de seguridad; panteones y parques memoriales y abastecimiento de hidrantes. (Ver tabla A-12 del anexo 1).

### 3.2.5.- Reúso para actividades acuícolas

Al emplear aguas residuales en acuicultura se debe tener cuidado con las infecciones causadas por agentes patógenos. Los caracoles acuáticos son huéspedes intermedios de varios parásitos helmínticos, la transmisión puede ocurrir cuando la persona se baña en estanques de peces cuando hay caracoles infectados y, las larvas de los esquistosomas penetran a la piel humana.

De un análisis de publicaciones sobre la supervivencia de agentes patógenos en el interior y la superficie del organismo de los peces, Strauss referenciado en la Publicación de directrices Sanitarias sobre el uso de aguas residuales en agricultura y acuicultura, OMS llegó a la conclusión de que:

- Es muy probable que las bacterias invadan el músculo de los peces cuando éstos se cultivan en estanques que contienen concentraciones de coliformes fecales y salmonelas en proporciones superiores a  $10^4$  y a  $10^5$  por 100 ml, respectivamente y, el potencial de invasión muscular aumenta cuando es mayor la exposición de los peces al agua contaminada.
- Ciertas pruebas sugieren que hay poca acumulación de organismos entéricos y agentes patógenos en el interior o en la superficie del tejido comestible de los peces cuando la concentración de coliformes fecales en el agua de los estanques es inferior a  $10^3$  por 100 ml.
- Aun en menores grados de contaminación, puede haber elevadas concentraciones de agentes patógenos en las vías digestivas y en el líquido intraperitoneal de los peces.

Por lo anterior las directrices sobre la calidad bacteriológica del agua en acuicultura se presentan en la tabla A-13 del anexo 1.

### 3.2.6 Reúso para actividades recreativas

El agua para su uso recreativo deberá ser estéticamente agradable, sin olores molestos, virtualmente libre de sustancias como aceite, grasas, materia flotante y libre de crecimiento acuático desagradable que pudieran provocar olor o dificultades para su uso. Deberá, considerarse libre de patógenos y sustancias tóxicas que pudieran causar irritación de ojos o de la piel. También el agua deberá ser suficientemente clara para permitir localizar objetos sumergidos (CNA, 1991).

Uso recreativo con contacto directo.- Se refiere al agua en el que el ser humano está sumergido o en contacto prolongado. Esto incluye actividades como natación y esquí acuático. La calidad de agua requerida para este reúso se presenta en la tabla A-14 del anexo 1.



Uso recreativo sin contacto directo prolongado.- Se refiere al agua con la que el ser humano entra en contacto solo ocasionalmente y por periodos limitados. Estas actividades incluyen el remo, velleo cuya calidad de agua se presenta en la tabla A-15 del anexo 1.

### **3.2.7.- Reúso para recarga de acuíferos**

El objetivo de la recarga de acuíferos usando agua tratada incluye los siguientes aspectos:

- Establecer una barrera de invasión de las aguas saladas en acuíferos costeros.
- Proporcionar tratamiento para un futuro reúso.
- Aumentar el volumen de los acuíferos con agua de calidad adecuada.
- Proveer almacenamiento de agua tratada.
- Para controlar o prevenir el hundimiento del terreno.

Los métodos de recarga pueden ser por diseminación en la superficie o por inyección directa.

En el primer caso el agua se desplaza desde la superficie del terreno hacia el acuífero por infiltración y percolación a través de la matriz del suelo. Las técnicas para la diseminación en la superficie incluyen inundación, sistemas de cresta y surco, división de canales y cuencas de infiltración. El sistema usado depende de muchos factores semejantes como el tipo de suelo y porosidad, profundidad del acuífero, topografía, calidad y cantidad del agua tratada. La calidad del agua requerida para este tipo de recarga depende del sitio específico y del uso, es necesario estudiar cada caso. En la Tabla A-16 del anexo 1 se presentan las calidades de agua requerida para la disposición de agua en el suelo o subsuelo de acuerdo con las guías EPA (1992), la DGCOH y el anteproyecto de norma NOM-008-CNA-1997 (diciembre 1997), con respecto a la NOM-008-CNA-1997, dicha Norma no se especifica el tipo de recarga.

La inyección directa supone el bombeo de agua tratada directamente dentro de la zona del acuífero, el cual es generalmente un acuífero bien confinado. La inyección directa es usada donde el acuífero es profundo o donde las condiciones hidrogeológicas no son apropiadas para la diseminación superficial.

La inyección directa requiere de una agua de mejor calidad que la recomendada para la diseminación superficial, porque en la inyección directa se tiene la ausencia del tratamiento del suelo.

Hay muchos criterios específicos sobre la calidad del agua tratada, para ello se deben tomar en consideración el acuífero, y el material del acuífero antes de la construcción y operación. (Esto incluye posibles reacciones químicas entre el agua tratada y el acuífero, precipitación de hierro, reacciones iónicas, diferentes temperaturas y cambios de viscosidad).

El destino de los contaminantes es una consideración importante para los sistemas de recarga de los acuíferos usando agua tratada.

Una vez conocida la calidad de agua residual generada y seleccionado ya sea el cumplir con la normatividad vigente ó el interés de reutilizar el agua en algún uso específico se debe proceder a seleccionar el tren de tratamiento de aguas residuales que logre alcanzar la calidad elegida.

Estos trenes son combinaciones de diversas operaciones unitarias con lo cual el número de trenes para alcanzar una misma calidad de agua pueden ser varios.

### **3.3.-Operaciones unitarias que constituyen los trenes de tratamiento para aguas residuales**

Las operaciones unitarias empleadas para la depuración de las aguas residuales son una serie de procedimientos comunes, independientes entre sí, encaminados a remover una sustancia específica por desplazamiento de dicha sustancia al ambiente o bien por su transformación en otras sustancias aceptables, que son alojadas en la misma agua o en los lodos residuales producidos.

Las operaciones unitarias empleadas en ingeniería ambiental para el tratamiento de las aguas residuales comprenden además de procesos físicos, biológicos y fisicoquímicos cuya colocación en serie forma un tren de tratamiento, como se aprecia en la figura 3.3. El orden de dicho tren establece primeramente la eliminación de sólidos grandes y pequeños, la eliminación de materia orgánica y finalmente la remoción de sustancias específicas o el pulimento del efluente final.

El número de operaciones unitarias consideradas en una planta de tratamiento define los diferentes grados de depuración del agua conforme avanza su recorrido, llevando su tratamiento hasta reunir la calidad necesaria para un cierto reuso preestablecido.

Para integrar los trenes a ser evaluados para la obtención de una calidad determinada de agua se consideraron los siguientes niveles de tratamiento del agua:

#### **3.3.1.- Tratamiento primario**

Se llama tratamiento primario; el conjunto de operaciones unitarias que remueven partículas sólidas del agua residual. Dentro de estos procesos se encuentran: el pretratamiento y la sedimentación primaria.

##### **3.3.1.1.- Pretratamiento**

La función del pretratamiento es eliminar las partículas grandes y basura acarreada por el sistema de alcantarillado. Usualmente está formado por el cribado y la desarenación.

El cribado se realiza mediante un sistema de rejillas gruesas a la entrada de la planta, generalmente de limpieza manual, seguido de un peine de rejillas finas, que puede ser de limpieza manual o mecánica.

La desarenación tiene por objeto eliminar las partículas que no fueron retenidas durante el cribado. Esta operación se realiza haciendo pasar el flujo a través de canales a baja velocidad para dar la oportunidad de asentamiento de las partículas.

##### **3.3.1.2.- Sedimentación primaria**

Consiste en la eliminación por gravedad de los sólidos sedimentables de las aguas residuales. Usualmente se realiza en tanques circulares de sección cónica, provistos de rastras perimétrales, o bien en tanques de sección rectangular mediante rastras a base de cadenas, con tolvas en la cabecera para recoger los lodos.

figura 3.3. diagrama de flujo general para el tratamiento de las aguas residuales

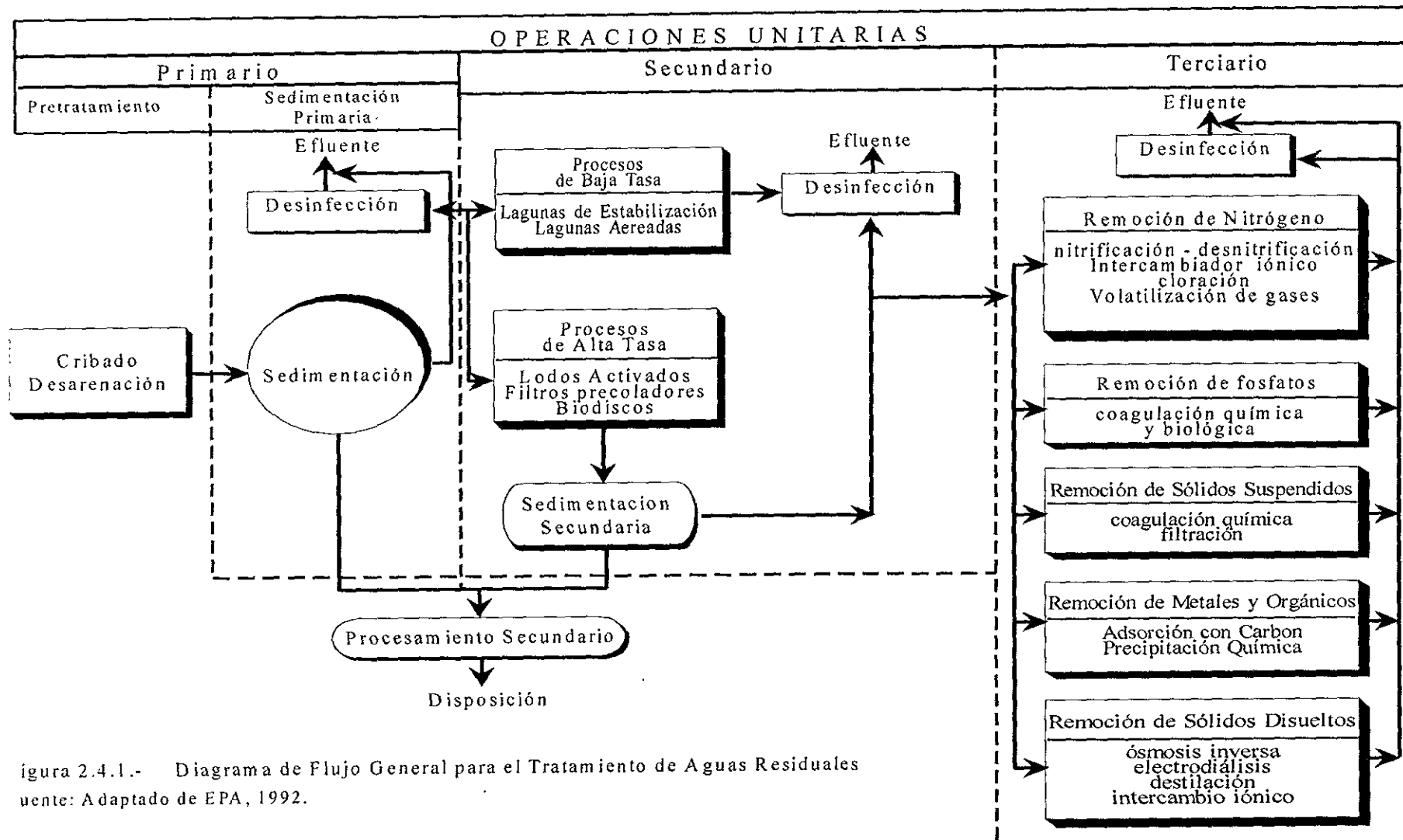


figura 2.4.1.- Diagrama de Flujo General para el Tratamiento de Aguas Residuales  
 uente: Adaptado de EPA, 1992.

La calidad del influente y el efluente esperado en un tratamiento primario se presentan en la Tabla 3.1.

**TABLA 3.1. CALIDAD DEL AGUA EN UN TRATAMIENTO PRIMARIO**

| Parámetro              | Unidad    | Influente           | Efluente            | Eficiencia de remoción esperada % |
|------------------------|-----------|---------------------|---------------------|-----------------------------------|
| S Sed.                 | ml/L      | 9                   | 1                   | 88.88                             |
| SST                    | mg/L      | 300                 | 110                 | 63.33                             |
| DBO <sub>5</sub> total | mg/L      | 250                 | 180                 | 28.00                             |
| N total                | mg/L      | 40                  | 40                  | 0                                 |
| PH                     | ---       | 6.8                 | 6-9                 | ---                               |
| G y A                  | mg/L      | 60                  | 10                  | 83.33                             |
| Materia Flotante       | mg/L      | Variable            | Ausente             | 100                               |
| Coliformes fecales     | NMP/100ml | 100x10 <sup>7</sup> | 100x10 <sup>7</sup> | 0                                 |

Fuente: Instructivo para el establecimiento de condiciones particulares de descarga y evaluación de sistemas económicos de tratamiento con base en el nuevo marco normativo, CNA, 1996.

### 3.3.2.- Tratamiento secundario

Se conoce por tratamiento secundario el conjunto de operaciones unitarias encaminadas a remover la materia orgánica coloidal y soluble por medio de procesos biológicos, ya sean aerobios o anaerobios.

Dentro de estos procesos se encuentran:

- 3.3.2.1. Los sistemas lagunares
- 3.3.2.2. Lodos activados convencional
- 3.3.2.3. Lodos activados con aireación extendida
- 3.3.2.4. Zanjias de oxidación
- 3.3.2.5. Filtros rociadores
- 3.3.2.6. Biodiscos
- 3.3.2.7. Sistemas anaerobios
- 3.3.2.8. Lechos de plantas acuáticas

### 3.3.2.1. Los sistemas lagunares

Un sistema lagunar es un conjunto de estanques creados artificialmente para tratar las aguas residuales mediante la acción de una masa biológica constituida principalmente por bacterias y algas para degradar la materia orgánica coloidal y soluble.

El sistema generalmente consta de una laguna anaerobia, seguida de una laguna facultativa y de una o varias lagunas de maduración o pulimento.

Las lagunas anaerobias se caracterizan por la presencia de microorganismos que no requieren del oxígeno disuelto del agua para descomponer la materia orgánica (bacterias anaerobias). Debido a lo anterior se construyen con gran profundidad y son capaces de recibir una elevada carga orgánica. En esta etapa primeramente se presenta una fermentación ácida del desecho, seguida de una etapa de metanogénesis donde se forma el biogás, compuesto de metano y  $\text{CO}_2$ .

Las lagunas facultativas son estanques donde se presenta una estratificación de microorganismos donde en la capa superior se presentan bacterias aerobias, mientras que en el fondo predominan las bacterias anaerobias; entre las dos capas existe una fase intermedia formada por bacterias que presentan la facultad de comportarse aeróbicamente o anaeróbicamente (facultativas). Debido a que la capa predominante es donde viven estas bacterias, este tipo de lagunas recibe el nombre de lagunas facultativas. En las capas superficiales predominan las algas.

Las lagunas de maduración son estanques someros, cuya finalidad es eliminar mediante diversos fenómenos de tipo físico y químico los microorganismos patógenos del agua residual, tomando como bacterias índice el grupo coliforme, donde existen también algas de diversas especies

Los sistemas lagunares presentan como ventaja: bajos costos de operación y mantenimiento y bajo consumo de energía eléctrica. Sus desventajas son: requerimientos grandes de terreno, generación de malos olores cuando están mal diseñadas o se han sobrepasado sus condiciones de diseño, su construcción se ve fuertemente afectada por las características del suelo (impermeabilidad, capacidad de carga, elevación del nivel de aguas freáticas, etc.).

La calidad del influente y el efluente esperado en un sistema lagunar se presenta en la Tabla 3.2.

**TABLA 3.2. CALIDAD DEL AGUA EN UN TRATAMIENTO LAGUNAR.**

| Parámetro              | Unidad    | Influyente          | Efluente | Eficiencia de remoción Esperada % |
|------------------------|-----------|---------------------|----------|-----------------------------------|
| S Sed.                 | ml/L      | 9                   | 2        | 77.77                             |
| SST                    | mg/L      | 300                 | 70       | 76.66                             |
| DBO <sub>5</sub> total | mg/L      | 250                 | 70       | 72.00                             |
| N total                | mg/L      | 40                  | 20       | 50.00                             |
| PH                     | ---       | 6.8                 | 6-9      | ---                               |
| G y A                  | mg/L      | 60                  | 10       | 83.33                             |
| Materia Flotante       | mg/L      | Variable            | Ausente  | 100                               |
| Coliformes Fecales     | NMP/100ml | 100x10 <sup>7</sup> | 1000     | 99.999                            |

Fuente: Instructivo para el establecimiento de condiciones particulares de descarga y evaluación de sistemas económicos de tratamiento con base en el nuevo marco normativo, CNA, 1996.

### 3.3.2.2.- Tratamiento de lodos activados convencional

El sistema consiste esencialmente en un reactor biológico llamado tanque de aireación, en donde por medios mecánicos se inyecta aire para generar las condiciones apropiadas para que se desarrollen las bacterias aerobias, encargadas de degradar la materia orgánica de las aguas residuales. Después del tanque de aireación se encuentra un sedimentador secundario cuya función es decantar el lodo biológico -lodo activado- que escapa del tanque de aireación, para recircularlo al reactor, produciendo un agua sobrenadante de buena calidad. Terminando el proceso mediante la desinfección del efluente, lo que usualmente se realiza mediante cloración u ozonización del agua.

Los lodos en exceso se envían para su posterior estabilización y disposición final. Sus ventajas son: produce un efluente de muy buena calidad con remociones de hasta 95% de materia orgánica y baja concentración de sólidos suspendidos, lo que permite bajas dosificaciones de cloro para su desinfección. El sistema requiere de poca extensión de terreno y soporta grandes cargas orgánicas instantáneas, no produciendo olores desagradables cuando está bien operado. Sus desventajas son: requiere de continua supervisión de operación y mantenimiento y alto consumo de energía eléctrica, además de producir lodos biológicos en exceso los cuales deben de ser tratados adecuadamente para su disposición final.

El tratamiento de los lodos producidos, usualmente consiste en un espesamiento, digestión y desaguado.

El espesamiento de lodos consiste en concentrarlos mediante un espesador donde el agua extraída se retorna al tren de tratamiento de agua.

La digestión de los lodos se puede realizar de una manera aerobia o anaerobia con el objeto de eliminar la materia volátil, destruyendo gran parte de los microorganismos que los componen. Si el proceso se efectúa de una forma aerobia, los lodos son enviados a un tanque de aireación - digestor aerobio -, donde el aire se suministra por medio de aireadores mecánicos, dando el suficiente tiempo de retención hidráulica para reducir su volumen. Cuando el proceso se hace de una forma anaerobia, los lodos son enviados a una cámara cerrada -digestor anaerobio-, donde se suministra una temperatura entre 30 y 35 °C para que microorganismo de tipo anaerobico degraden los sólidos suspendidos volátiles que contienen.

El desaguado de los lodos consiste en extraer el agua que poseen por medio de un filtro prensa o filtro banda; el agua de los lodos se retorna al proceso de tratamiento y los lodos una vez desaguados y estabilizados (inocuos) se encuentran en condiciones de llevarse a su disposición final en un relleno sanitario.

La calidad del influente y el efluente esperado en un sistema convencional de lodos activados se presenta en la Tabla 3.3.

**TABLA 3.3. CALIDAD DEL AGUA EN UN TRATAMIENTO CONVENCIONAL DE LODOS ACTIVADOS.**

| Parámetro              | Unidad    | Influente           | Efluente | Eficiencia de remoción esperada % |
|------------------------|-----------|---------------------|----------|-----------------------------------|
| S Sed.                 | ml/L      | 9                   | 0        | 100                               |
| SST                    | mg/L      | 300                 | 30       | 90                                |
| DBO <sub>5</sub> total | mg/L      | 250                 | 30       | 88                                |
| N total                | mg/L      | 40                  | 30       | 25                                |
| PH                     | ---       | 6.8                 | 6-9      | ---                               |
| G y A                  | mg/L      | 60                  | 10       | 83.33                             |
| Materia Flotante       | mg/L      | Variable            | Ausente  | 100                               |
| Coliformes Fecales     | NMP/100ml | 100x10 <sup>7</sup> | 0        | 100                               |

Fuente: Instructivo para el establecimiento de condiciones particulares de descarga y evaluación de sistemas económicos de tratamiento con base en el nuevo marco normativo, CNA, 1996.

### **3.3.2.3. Tratamiento de lodos activados con aireación extendida**

Esta es una variante del sistema de lodos activados, donde generalmente se elimina el sedimentador primario construyendo un reactor biológico de mayor volumen para tener el tiempo de retención suficiente para digerir los lodos biológicos y permitir que el nitrógeno orgánico y amoniacal se transforme a nitritos.

Los lodos producidos se encuentran digeridos y se envían directamente a la etapa de desaguado, ya que presentan dificultades para su espesamiento.

El sistema presenta como ventaja una operación mas simple que el sistema convencional de lodos activados, produciendo menos lodos de desecho. Su desventaja consiste en un mayor tamaño del tanque de aireación con mayores requerimientos de aire, incrementando las necesidades de energía eléctrica. Por lo que lo hace aplicable a caudales reducidos.

Por lo que respecta a la calidad del agua del efluente presenta las mismas características que el proceso convencional de lodos activados.

La calidad del influente y el efluente esperado en un sistema de lodos activados tipo aireación extendida, se presenta en la Tabla 3.4.

**TABLA 3.4. CALIDAD DEL AGUA EN UN TRATAMIENTO DE LODOS ACTIVADOS TIPO AIREACIÓN EXTENDIDA.**

| Parámetro              | Unidad    | Influente           | Efluente | Eficiencia de remoción esperada % |
|------------------------|-----------|---------------------|----------|-----------------------------------|
| S Sed.                 | ml/L      | 9                   | 0        | 100                               |
| SST                    | mg/L      | 300                 | 20       | 93.33                             |
| DBO <sub>5</sub> total | mg/L      | 250                 | 20       | 92                                |
| N total                | mg/L      | 40                  | 36       | 10                                |
| PH                     | ---       | 6.8                 | 6-9      | ---                               |
| G y A                  | mg/L      | 60                  | 5        | 91.66                             |
| Materia Flotante       | mg/L      | Variable            | Ausente  | 100                               |
| Coliformes fecales     | NMP/100ml | 100x10 <sup>7</sup> | 0        | 100                               |

Fuente: Instructivo para el establecimiento de condiciones particulares de descarga y evaluación de sistemas económicos de tratamiento con base en el nuevo marco normativo, CNA, 1996.



### 3.3.2.4. Zanjas de oxidación

Otra variante del proceso de lodos activados son las zanjas de oxidación, donde el reactor biológico consiste en un canal cerrado, generalmente ovalado, con aireación y circulación continua del agua. El movimiento y la aireación del agua en el canal usualmente se realizan por medio de cepillos de eje horizontal, aireadores de tubo o una turbina.

Sus ventajas y desventajas son las mismas que el proceso normal de aireación extendida citadas anteriormente.

La calidad del influente y el efluente esperado en un sistema de zanjas de oxidación, se presenta en la Tabla 3.5.

**TABLA 3.5. CALIDAD DEL AGUA EN UN TRATAMIENTO DE ZANJAS DE OXIDACIÓN.**

| Parámetro              | Unidad    | Influente           | Efluente | Eficiencia de remoción esperada % |
|------------------------|-----------|---------------------|----------|-----------------------------------|
| S Sed.                 | MI/L      | 9                   | 0        | 100                               |
| SST                    | mg/L      | 300                 | 20       | 93.33                             |
| DBO <sub>5</sub> total | mg/L      | 250                 | 20       | 92                                |
| N total                | mg/L      | 40                  | 36       | 10                                |
| PH                     | ---       | 6.8                 | 6-9      | ---                               |
| G y A                  | mg/L      | 60                  | 5        | 91.66                             |
| Materia Flotante       | mg/L      | Variable            | Ausente  | 100                               |
| Coliformes Fecales     | NMP/100ml | 100x10 <sup>7</sup> | 0        | 100                               |

Fuente: Instructivo para el establecimiento de condiciones particulares de descarga y evaluación de sistemas económicos de tratamiento con base en el nuevo marco normativo, CNA, 1996.

### 3.3.2.5. Filtros rociadores

Este sistema de tratamiento biológico consiste en un tanque provisto de un medio filtrante que puede ser roca o algún medio plástico sobre el cual se genera una masa de microorganismos capaces de degradar la materia orgánica de las aguas residuales.

La entrada del agua a tratar se realiza a través de un sistema rotatorio que riega el medio filtrante. El agua pasa por el medio y es recogida por bajo mediante un dren localizado en el fondo.

El proceso de tratamiento se basa en que la superficie del medio filtrante se cubre de una serie de colonias de todo género de microorganismos denominada zooglea, que se aprecian como una sustancia viscosa que absorbe y utiliza la materia orgánica suspendida, disuelta y coloidal que lentamente atraviesa el medio filtrante.

Durante el tratamiento se alcanza el equilibrio de la población del sistema y a medida que la zooglea muere es descargada al bajo dren, por lo que se hace necesario la instalación de un sedimentador secundario para retener los sólidos sedimentables descargados.

Tradicionalmente, el medio filtrante se ha construido de piedra bola, con un diámetro entre 5 y 9 cm para presentar al paso del agua un área de contacto relativamente grande de capa orgánica; la cual siempre debe de permanecer húmeda. Actualmente se han construido medios plásticos que presentan la ventaja de retener mejor la zooglea, además de aligerar el peso de la estructura haciendo que se reduzcan los costos de cimentación, siendo esto muy recomendable cuando el filtro se pretende construir en terrenos con baja capacidad de carga.

Experimentalmente se ha comprobado que la eficiencia del sistema en cuanto a remoción de DBO, se aumenta por medio de la recirculación del agua tratada ya que se facilita la distribución del influente sobre toda la superficie del filtro evitando taponamientos en las boquillas del sistema distribuidor, además tratar de mantener una carga orgánica constante amortiguando los picos, que por este concepto se presentan en las aguas residuales crudas.

Por lo que corresponde a la calidad del efluente, produce eficiencias de remoción de materia hasta de 95%, presentando las siguientes ventajas: Permite aprovechar los desniveles del terreno proporcionando la carga hidráulica para mover el mecanismo distribuidor, produce menos cantidad de lodos que el sistema convencional de lodos activados, no produciendo olores desagradables cuando está bien operado. Sus desventajas son: requiere de continua supervisión de operación y mantenimiento y alto consumo de energía eléctrica si se mueve mediante un motor el distribuidor, cuando está mal operado, se corre el riesgo de la formación de moscas y otros insectos nocivos.

La calidad del influente y el efluente esperado en un sistema de zanjas de oxidación, se presenta en la Tabla 3.6.

**TABLA 3.6.- CALIDAD DEL AGUA EN UN TRATAMIENTO DE FILTROS ROCIADORES.**

| Parámetro              | Unidad    | Influente           | Efluente | Eficiencia de remoción esperada % |
|------------------------|-----------|---------------------|----------|-----------------------------------|
| S Sed.                 | Ml/L      | 9                   | 0        | 100                               |
| SST                    | mg/L      | 300                 | 30       | 90                                |
| DBO <sub>5</sub> total | mg/L      | 250                 | 20       | 92                                |
| N total                | mg/L      | 40                  | 25       | 37.5                              |
| PH                     | ---       | 6.8                 | 6-9      | ---                               |
| G y A                  | mg/L      | 60                  | 5        | 91.66                             |
| Materia Flotante       | mg/L      | Variable            | Ausente  | 100                               |
| Coliformes Fecales     | NMP/100ml | 100x10 <sup>7</sup> | 0        | 100                               |

Fuente: Instructivo para el establecimiento de condiciones particulares de descarga y evaluación de sistemas económicos de tratamiento con base en el nuevo marco normativo, CNA, 1996.

### 3.3.2.6. Los biodiscos

Los principios de este proceso de tratamiento son similares al sistema de filtros rociadores; la diferencia consiste en que en vez de medio filtrante el reactor posee una serie de discos de soporte de la biomasa colocados sobre una flecha horizontal ya que el agua a tratar entra de una forma horizontal. Ventajas: produce eficiencias de remoción de materia hasta de 95%, se emplea en poblaciones pequeñas, no presenta malos olores. Desventajas: requiere de continua supervisión de operación y mantenimiento. El consumo de energía eléctrica es medio.

La calidad del influente y el efluente esperado en un sistema de biofiltros, se presenta en la Tabla 3.7.

**TABLA 3.7. CALIDAD DEL AGUA EN UN TRATAMIENTO DE BIODISCOS.**

| Parámetro              | Unidad    | Influente           | Efluente | Eficiencia de remoción esperada % |
|------------------------|-----------|---------------------|----------|-----------------------------------|
| S Sed.                 | ml/L      | 9                   | 0        | 100                               |
| SST                    | mg/L      | 300                 | 30       | 90                                |
| DBO <sub>5</sub> total | mg/L      | 250                 | 20       | 92                                |
| N total                | mg/L      | 40                  | 25       | 37.5                              |
| PH                     | ---       | 6.8                 | 6-9      | ---                               |
| G y A                  | mg/L      | 60                  | 5        | 91.66                             |
| Materia Flotante       | mg/L      | Variable            | Ausente  | 100                               |
| Coliformes Fecales     | NMP/100ml | 100x10 <sup>7</sup> | 0        | 100                               |

Fuente: Instructivo para el establecimiento de condiciones particulares de descarga y evaluación de sistemas económicos de tratamiento con base en el nuevo marco normativo, CNA, 1996.

### 3.3.2.7. Sistemas anaerobios

#### A) REACTOR ANAEROBIO DE LECHO DE LODOS Y FLUJO ASCENDENTE (UASB).

De las nuevas tecnologías de tratamiento anaerobio de aguas residuales, el reactor anaerobio de lecho de lodos (UASB por sus siglas en inglés: Upflow Anaerobic Sludge Blanket) es sin duda el más utilizado en el mundo. Su característica principal, retener biomasa sin necesidad de un soporte gracias a la formación de granos o "pellets", lo hace más económico y le da ventajas técnicas sobre otros tipos de reactores avanzados. Sin embargo, este punto también es su principal limitante, ya que la selección y correcta operación del proceso UASB dependerán del grado de sedimentabilidad que logren sus aglomerados celulares, ya sea como granos o flóculos densos. (Noyola, 1997)

Este tipo de reactor tienen como ventajas que:

- Soporta altas cargas (20 Kg DQO/m<sup>3</sup> d).
- Requiere poca energía.
- Su construcción es relativamente simple
- Con inóculo apropiado puede arrancar en forma inmediata.
- El proceso se ha ampliamente probado a pequeña y gran escala.
- Su operación es comparativamente simple.

Sus principales desventajas son:

- La granulación es lenta y no necesariamente controlable.
- No todas las aguas favorecen la granulación.
- Requerimientos de inóculo con ciertas características.
- Sensible a aguas que forman precipitados.
- Riesgo de flotación de los granos durante nuevos arranques e inoculaciones.

### Calidad del Agua Tratada Esperada en un Reactor UASB y Subproductos del Tratamiento.

Las eficiencias de remoción de DQO son del orden del 90%. La calidad típica de salida en un reactor UASB alimentado con agua residual de tipo doméstico se presenta en la tabla 3.8.

**TABLA 3.8.- CALIDAD DEL AGUA EN UN REACTOR UASB**

|                                |                          |
|--------------------------------|--------------------------|
| PH                             | 6.9 a 7.2 unidades de pH |
| DQO                            | 120 a 160 mg/L           |
| DBO <sub>5</sub>               | 40 a 60 mg/L             |
| SST                            | 40 a 60 mg/L             |
| NTK                            | 25 a 40 mg/L             |
| N-NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> | 20 a 35 mg/L             |

Fuente: Noyola, 1997

Existe muy poca información sobre la remoción de huevos de helmintos, pero se ha reportado menos de 1 huevecillos por litro. (Tavares y Rossin, 1993). Citado por Noyola, 1997.

La tabla 3.9 presenta la calidad del efluente de un reactor anaerobio. (UASB)

**TABLA 3.9.-CALIDAD DEL AGUA EN UN REACTOR UASB**

| PARÁMETRO        | UNIDAD         | INFLUENTE | EFLUENTE  | EFICIENCIA DE REMOCIÓN ESPERADA (%) |
|------------------|----------------|-----------|-----------|-------------------------------------|
| DQO              | mg/L           | 500       | 50 - 60   | 90 - 80                             |
| DBO <sub>5</sub> | mg/L           | 250       | 40 - 60   | 84 - 76                             |
| SST              | mg/L           | 300       | 40 - 60   | 86 - 80                             |
| Nitrógeno Total  | mg/L           | 40        | 25        | 38                                  |
| N-amoniaco       | mg/L           | 25        | 20        | 20                                  |
| PH               | Unidades de pH | 6.8       | 6.9 - 7.2 | -----                               |

Fuente: Noyola, 1997, SPEECE 1996

## B) FILTRO ANAEROBIO

En los filtros anaerobios los microorganismos se encuentran adheridos a un soporte, el cual puede ser de plástico o rocas. El soporte permite la acumulación de una gran cantidad de biomasa (adherida y atrapada), sirve de separador gas-sólido, favorece un flujo uniforme a través del reactor e incrementa el contacto entre el sustrato y los microorganismos.

Sus principales ventajas son que:

- Soporta altas cargas (15 Kg DQO/m<sup>3</sup>d).
- Con recirculación es resistente a picos orgánicos o tóxicos.
- Construcción y operación simple.
- Aplicable a pequeña y mediana escala.
- Rápidos rearranques sin problemas.
- Puede operarse como flujo ascendente o descendente (versatilidad).

Tiene como desventajas:

- Arranque lento aún contando con inóculo adecuado.
- Riesgo de taponamiento, sobre todo con soporte de piedra.
- Sensible a SS en el influente, y a aguas que forman precipitados (sobre todo en régimen de flujo ascendente).
- Alto costo del material de soporte plástico.
- Costos mayores en tanque cuando se utiliza piedra.
- Presencia de SS en el efluente (no clarificado).

Se ha encontrado que las eficiencias de remoción de DQO están en función del ordenamiento del empaque (coeficiente m), como a continuación se observa en los datos presentados en la tabla 3.10

**TABLA 3.10.- TIPOS DE EMPAQUES UTILIZADOS EN FUENTES ANAEROBIOS**

| TIPOS DE EMPAQUES                            | Para eficiencias típicas de remoción de DQO entre: |
|--|--|
| con m= 0.40 para empaque a granel            | 60 - 80%   |
| m= 0.55 para empaque cruzado                 | 80 - 90%   |
| m= 0.65 para reactores en serie (dos etapas) | 90 - 98%   |

Y para una DQO entre 3000 - 12000 mg/L.

La calidad del agua esperada como efluente de un filtro anaerobio se presenta en la tabla 3.11.

**TABLA 3.11.- CALIDAD DEL AGUA EN UN FILTRO ANAEROBIO**

| PARÁMETRO | UNIDAD | INFLUENTE | EFLUENTE | EFICIENCIA DE REMOCIÓN ESPERADA (%) |
|-----------|--------|-----------|----------|-------------------------------------|
| DQO       | mg/L   | 500       | 100      | 80 para $m=0.46$                    |
| DQO       | mg/L   | 500       | 50       | 90 para $m=0.55$                    |

Fuente: Reactores anaerobios avanzados, Noyola 1997.

Tratamiento de aguas residuales para cumplir con la NOM-001-ECOL-1996. SMISAAC, Instituto de Ingeniería UNAM.

### 3.3.2.8.- Lechos de plantas acuáticas

De manera general los Lechos de Plantas Acuáticas (LPA), o "wetlands" en inglés, consisten de áreas o lechos inundados o saturados con agua, poco profundos, con flujo horizontal, y contienen plantas acuáticas, las que para su desarrollo toman los nutrimentos presentes en el agua.

El lecho de plantas acuáticas, como en cualquier sistema biológico de tratamiento, es el proceso que realiza la remoción de contaminantes. Estos lechos deben estar precedidos de un pretratamiento, y de algún proceso para reducir la carga orgánica y la concentración de sólidos, como podría serlo uno anaerobio, y puede desinfectarse su efluente, dependiendo del reuso que se pretenda realizar.

Los procesos que intervienen en la remoción de contaminantes mediante los LPA son: físicos (filtración, sedimentación y adsorción), químicos (precipitación, adsorción, hidrólisis, irradiación, oxidación y reducción) y biológicos (plantas acuáticas de tamaño macroscópico o macrófitas y también por los microorganismos que se desarrollan adheridos a la superficie de las raíces, en la grava cuando esta se usa, y los suspendidos en el agua residual). Se presenta una simbiosis entre plantas acuáticas y microorganismos. Los productos metabólicos de los microorganismos, al degradar la materia orgánica, conjuntamente con nitrógeno, fósforo, potasio y otros minerales, son tomados por las plantas, las que a su vez proporcionan a los microorganismos el oxígeno que necesitan, conduciéndolo vascularmente desde las hojas hasta las raíces. Adicionalmente las plantas liberan metabolitos que los microorganismos aprovechan como alimento. Las superficies de raíces, tallos y hojas ofrecen protección y hospedaje a los microorganismos.

Existen dos tipos de LPA: naturales y artificiales. Los artificiales, de acuerdo con el tipo de flujo se clasifican en: a) Sistemas de Flujo Subterráneo (SFS) los que consisten de un lecho de grava o de arena, con agua corriendo lenta y lateralmente, sembrado con plantas acuáticas generalmente emergentes, y b) Sistemas de Corriente Superficial (SCS) formados por lo regular de un estanque impermeabilizado, con poca profundidad, y que contenga en su superficie algún tipo de planta acuática y son altamente eficientes en la remoción de fósforo y nitrógeno amoniacal, lo que normalmente no se realiza con otros sistemas de tratamiento. La remoción de estos nutrimentos permite aprovechar el efluente de estos sistemas, a un bajo costo, para prevenir la eutroficación de cuerpos receptores.

Las plantas acuáticas para aprovecharse en los LPA son: plantas flotantes ( *Eichornia crassipes* ó "Lirio acuático", *Lemna sp* ó "Chilicastle", y *Wolffia sp.*, principalmente en los SCS); y para los SFS con plantas sumergidas o enraizadas los géneros y especies principales son *Limnobium stoloniferum* o "Chilicastle tostón", *Typha sp* o "Lirio acuático", *Juncus sp* o "Tulillo", *Hydrocotyle sp* ú Ombbligo de venus, *Scirpus sp* ó "Tule"; etc. El sistema de corriente superficial, con alta turbiedad, prácticamente elimina a las plantas sumergidas y el sistema de flujo subterráneo es casi exclusivo de las hidrófitas emergentes.

Estos sistemas de tratamiento encuentran aplicación en el tratamiento de aguas domésticas, municipales, industriales (degradación de hidrocarburos aromáticos del petróleo, hidrocarburos aromáticos y alifáticos), tratamiento de aguas ácidas, remoción de fierro y manganeso y de otros metales pesados; tratamiento de las aguas provenientes de las actividades agrícola, drenaje de minas, remoción de nitrógeno y fósforo y como pulimento de efluentes de sistemas de tratamiento.

Las eficiencias globales reportadas son:

|                     |      |   |
|---------------------|------|---|
| DBO                 | 80   | % |
| DQO                 | 80   |   |
| SST                 | 80   |   |
| Coliformes fecales  | 99.9 |   |
| Nitrógeno amoniacal | 65   |   |
| Nitratos            | 95   |   |
| Fósforo             | 80   |   |
| Color               | 90   |   |
| Turbiedad           | 95   |   |
| Fierro              | 96   |   |
| Manganeso           | 83   |   |

Cambios en pH, desde 3 ó 4 en la entrada , hasta entre 6 y 8 en la salida.

### **3.3.3. Tratamiento terciario**

Se conoce como tratamiento terciario al conjunto de operaciones unitarias encaminadas a remover sustancias específicas del agua que no son removidas por los tratamientos previos.

Dentro de los procesos mas importantes se encuentran:

#### **3.3.3.1. Desinfección**

#### **3.3.3.2. Remoción de Nitrógeno**

#### **3.3.3.3. Remoción de Fósforo**

#### **3.3.3.4. Remoción de Sólidos Suspendidos**

a). Coagulación-floculación

b). Adsorción con carbón activado

#### **3.2.3.5. Otros procesos**

#### **3.2.3.6. Remoción de sólidos disueltos**

### 3.3.3.1. Desinfección

Este proceso está encaminado a destruir a los microorganismos presentes en el agua, el desinfectante mas comúnmente empleado es el cloro, aunque también se emplea ozono y luz ultravioleta.

La eficiencia de la desinfección con cloro (Cl) depende de la temperatura del agua, pH, grado de mezclado, tiempo de contacto, interferencia de sustancias oxidables y naturaleza de los microorganismos a destruir.

El ozono (O<sub>3</sub>) es un poderoso desinfectante y oxidante químico. Debido a su inestabilidad debe de generarse en la planta a partir del aire o de gas oxígeno. El ozono destruye bacterias y virus en cuestión de minutos. Algunas de sus desventajas son: su costo relativamente alto y consumo de gran cantidad de energía eléctrica, el sistema es mas complejo de operar y mantener que los sistemas de cloración y no se conserva en el agua. Sus ventajas son: es un desinfectante altamente efectivo, remueve color y aumenta la cantidad de oxígeno disuelto; por lo que se usa en el tratamiento avanzado de efluentes.

La luz ultravioleta (UV) es un desinfectante físico donde la radiación de la longitud de onda de 254 μm penetra la pared celular de los microorganismos y es absorbida por los ácidos nucleicos provocando la ruptura de la misma y por consiguiente la muerte del microorganismo. La desinfección con luz ultravioleta es mas barata y segura que la desinfección con cloro sin tener el riesgo de formar compuestos organoclorados. La efectividad de la radiación ultravioleta como desinfectante (donde los límites de coliformes fecales son del orden de 200/100 ml) ha sido comprobada en mas de 120 pequeñas plantas de tratamiento de aguas residuales en Estados Unidos (EPA, 1986).

Otros desinfectantes empleados en la desinfección de los efluentes de aguas residuales son: la radiación con rayos gama, el bromo, el yodo y el peróxido de hidrógeno, pero no son generalmente usados debido a razones económicas, técnicas, operativos o consideraciones de eficiencia en la desinfección.

### 3.3.3.2. Remoción de Nitrógeno

La nitrificación es un término generalmente dado dentro cualquier proceso de tratamiento de agua para indicar la conversión biológica del nitrógeno amoniacal a nitrógeno de nitritos y nitratos. La nitrificación no remueve la cantidad de nitrógeno presente en el efluente sino que simplemente lo convierte en otra forma química. En el proceso tradicional de lodos activados se logra mediante largos tiempos de retención en el reactor previendo el lento crecimiento de las bacterias nitrificantes que son descargadas por el sistema. La nitrificación también puede ocurrir en los sistemas de filtros rociadores que operan con baja relación de DBO/Nitrógeno total Kjeldahl como una combinación de remoción de DBO, o como un proceso por separado seguido de cualquier tipo de tratamiento secundario. El proceso se diseña para producir un efluente que contenga 1.0 mg/L o menos de nitrógeno amoniacal. El nitrógeno amoniacal puede también ser removido por tratamientos químicos o físicos como burbujeo con aire, intercambio iónico, ósmosis inversa y cloración; sin embargo estos métodos son costosos y presentan dificultades de operación en muchas aplicaciones municipales. La remoción de amoníaco puede ser requerida en el tratamiento de descargas hacia aguas superficiales por las siguientes tres razones básicas: 1. La toxicidad del amoníaco para los organismos acuáticos, 2. La relativamente alta demanda de oxígeno por el amoníaco y 3. El amoníaco es un nutrimento de las plantas acuáticas.



La desnitrificación en el tratamiento de las aguas residuales consiste en la remoción total de nitrógeno. Así como para remover amoníaco, para desnitrificar un agua lo más conveniente es emplear métodos biológicos; donde el nitrógeno de nitratos es usado por una variedad de bacterias heterotróficas anaerobias, el nitrógeno de nitratos se convierte en gas que escapa a la atmósfera. La desnitrificación puede también realizarse por métodos alternativos que donde las bacterias se adhieren a un medio creando condiciones microbiológicas apropiadas. El reactor de desnitrificación debe contener, nitrógeno de nitratos, una fuente de carbón y bacterias heterotróficas facultativas en ausencia de oxígeno disuelto. La desnitrificación puede ser necesaria en abastecimientos de agua potable, pero no se recomienda en aguas para irrigación agrícola.

### **3.3.3.3. Remoción de Fósforo**

El Fósforo puede removerse de las aguas residuales por procedimientos químicos, biológicos o una combinación de ambos. La selección del método depende de las condiciones específicas del lugar. Químicamente el fósforo se remueve precipitándolo con una solución de alguna sal de fierro, aluminio o calcio. Biológicamente se realiza por medio de cultivos de bacterias que almacenan el exceso de fósforo en situaciones anaeróbicas seguidas de condiciones aeróbicas dentro del proceso de tratamiento; en ambos casos, el fósforo debe removerse de los lodos producto del tratamiento. La remoción química puede ofrecer en el efluente concentraciones de ortofosfatos menores que 0.1 mg/L, mientras que la remoción biológica produce concentraciones entre 1.0 y 2.0 mg/L.

### **3.3.3.4. Remoción de Sólidos Suspendidos y coloidales**

Los sólidos coloidales se eliminan mediante los diferentes procesos que se presentan a continuación.

#### **a). Coagulación-floculación**

La coagulación química con cal, aluminio o cloruro férrico seguida de sedimentación elimina los sólidos suspendidos permanentes y una fracción de los sólidos coloidales (SS), metales pesados, fósforo y turbiedad. La Tabla 3.12 presenta un promedio de la eficiencia del proceso de coagulación-sedimentación en la remoción de varias sustancias.

## B). ADSORCIÓN CON CARBÓN ACTIVADO

La adsorción mediante carbón activado granular es uno de los más efectivos procesos de tratamiento para eliminar materia biodegradable y orgánica refractaria; reduce los niveles de compuestos químicos orgánicos en un efluente secundario de un 75 a 80 %. Precedida de un tratamiento secundario convencional y filtración puede producir un efluente con DBO de 0.1 a 5 mg/L, DQO de 3 a 25 mg/L y COT de 1 a 6 mg/L.

Mediante la adsorción con carbón activado se remueven varios metales pesados en particular cadmio, cromo hexavalente, plata y selenio, el carbón activado se ha empleado para eliminar sustancias no ionizadas como arsénico y antimonio de corriente ácidas, también disminuye el mercurio en bajos niveles, particularmente a valores bajos de pH.

### 3.3.3.5. Otros procesos

Otros procesos de tratamiento avanzado de las aguas residuales constituyen la cloración mas allá del punto de quiebre para la remoción de amoníaco, el intercambio iónico para la remoción de nitrógeno, ósmosis inversa para la reducción de sólidos disueltos totales y remoción de constituyentes orgánicos e inorgánicos.

Los procesos avanzados de tratamiento de aguas residuales como coagulación química, filtración en arena, intercambio iónico no se diseñan para remover sustancias orgánicas solubles. Cuando estos procesos están precedidos de un tratamiento secundario remueven de un 40 al 85% de DBO, DQO y COT.

El tratamiento avanzado de coagulación química, sedimentación y filtración como procesos unitarios han demostrado remover mas de dos ciclos logarítmicos (99%) de poliovirus sembrados en el agua (condado de Los Angeles, 1977). Estos tratamientos reducen la turbiedad a muy bajos niveles, preparando el agua para la subsecuente desinfección. La filtración directa también elimina dos ciclos logarítmicos (99%) de poliovirus sembrados en el. En un estudio de filtración en arena de un efluente secundario sin adición de coagulante antes de filtrar, se observó que no se reducían significativamente los niveles de virus entéricos (Noss et al., 1989). El propósito primario de la filtración no es el de remover virus, sino eliminar materia suspendida que coincidentemente contiene virus, realizando una desinfección más efectiva.

La coagulación y la filtración seguida de desinfección con cloro remueve hasta cinco ciclos logarítmicos (99.999%) de poliovirus de un efluente convencional de tratamiento secundario, produciendo un agua libre de elementos patógenos (Sheikh, et al., 1990). Basados en estos estudios, el Estado de California ha incluido la siguiente política de operación para tener un agua libre de virus (State of California, 1988):

- Adherir coagulantes en el efluente secundario para tener una turbiedad de 5 NTU, o menos
- Tasa máxima de filtración de 12 m/h (5 gpm/sq ft),
- Promedio de turbiedad en el efluente de los filtros de 2 NTU o menos,
- Mezclar rápidamente el cloro,
- Tiempo de contacto de cloro de 2 horas en vez de 90 minutos,

TABLA 3.12. REMOCIÓN DE SUBSTANCIAS POR COAGULACIÓN-SEDIMENTACIÓN

| Substancia         | % de remoción(*) |     |                 |
|--------------------|------------------|-----|-----------------|
|                    | Aluminio         | Cal | Cloruro Férrico |
| DBO                | 65               | 65  | 62              |
| DQO                | 69               | 52  | 61              |
| SST                | 70               | 70  | 67              |
| NH <sub>3</sub> -N | —                | 22  | 14              |
| Fósforo            | 78               | 91  | 71              |
| Alcalinidad        | 16               | —   | 36              |
| Grasas y aceites   | 89               | 40  | 91              |
| Arsénico           | 83               | 6   | 49              |
| Bario              | —                | 61  | —               |
| Cadmio             | 72               | 30  | 68              |
| Cromo              | 86               | 56  | 87              |
| Cobre              | 86               | 55  | 91              |
| Flúor              | 44               | 50  | —               |
| Fierro             | 83               | 87  | 43              |
| Plomo              | 90               | 44  | 93              |
| Manganeso          | 40               | 93  | —               |
| Mercurio           | 24               | 0   | 18              |
| Selenio            | 0                | 0   | 0               |
| Plata              | 89               | 49  | 89              |
| Zinc               | 80               | 78  | 72              |
| Color              | 72               | 46  | 73              |
| Agentes            | 55               | 39  | 42              |
| Turbiedad          | 86               | 70  | 88              |
| COT                | 51               | 73  | 66              |

(\*) Los valores están dados en porcentaje removido de un efluente de tratamiento secundario.

Nota: El porcentaje de remoción puede variar.

Fuente: Adaptado de WPFC, 1989.

## **B). ADSORCIÓN CON CARBÓN ACTIVADO**

La adsorción mediante carbón activado granular es uno de los más efectivos procesos de tratamiento para eliminar materia biodegradable y orgánica refractaria; reduce los niveles de compuestos químicos orgánicos en un efluente secundario de un 75 a 80 %. Precedida de un tratamiento secundario convencional y filtración puede producir un efluente con DBO de 0.1 a 5 mg/L, DQO de 3 a 25 mg/L y COT de 1 a 6 mg/L.

Mediante la adsorción con carbón activado se remueven varios metales pesados en particular cadmio, cromo hexavalente, plata y selenio, el carbón activado se ha empleado para eliminar sustancias no ionizadas como arsénico y antimonio de corriente ácidas, también disminuye el mercurio en bajos niveles, particularmente a valores bajos de pH.

### **3.3.3.5. Otros procesos**

Otros procesos de tratamiento avanzado de las aguas residuales constituyen la cloración mas allá del punto de quiebre para la remoción de amoníaco, el intercambio iónico para la remoción de nitrógeno, ósmosis inversa para la reducción de sólidos disueltos totales y remoción de constituyentes orgánicos e inorgánicos.

Los procesos avanzados de tratamiento de aguas residuales como coagulación química, filtración en arena, intercambio iónico no se diseñan para remover sustancias orgánicas solubles. Cuando estos procesos están precedidos de un tratamiento secundario remueven de un 40 al 85% de DBO, DQO y COT.

El tratamiento avanzado de coagulación química, sedimentación y filtración como procesos unitarios han demostrado remover mas de dos ciclos logarítmicos (99%) de poliovirus sembrados en el agua (condado de Los Angeles, 1977). Estos tratamientos reducen la turbiedad a muy bajos niveles, preparando el agua para la subsecuente desinfección. La filtración directa también elimina dos ciclos logarítmicos (99%) de poliovirus sembrados en el. En un estudio de filtración en arena de un efluente secundario sin adición de coagulante antes de filtrar, se observó que no se reducían significativamente los niveles de virus entéricos (Noss et al.,1989). El propósito primario de la filtración no es el de remover virus, sino eliminar materia suspendida que coincidentemente contiene virus, realizando una desinfección más efectiva.

La coagulación y la filtración seguida de desinfección con cloro remueve hasta cinco ciclos logarítmicos (99.999%) de poliovirus de un efluente convencional de tratamiento secundario, produciendo un agua libre de elementos patógenos (Sheikh, et al., 1990). Basados en estos estudios, el Estado de California ha incluido la siguiente política de operación para tener un agua libre de virus (State of California, 1988):

- Adherir coagulantes en el efluente secundario para tener una turbiedad de 5 NTU, o menos
- Tasa máxima de filtración de 12 m/h (5 gpm/sq ft),
- Promedio de turbiedad en el efluente de los filtros de 2 NTU o menos,
- Mezclar rápidamente el cloro,
- Tiempo de contacto de cloro de 2 horas en vez de 90 minutos,

- Cantidad mínima de cloro residual en el efluente, antes del tiempo de contacto requerido de 5 mg/L.
- Tanques de contacto de cloro con relación Largo-Ancho de 40:1,
- Durante 7 días, el número medio de coliformes en el efluente será de 2.2/100 ml o menos, sin exceder 23/100 ml en cualquier muestra.

La inactivación de virus a pH alcalino puede realizarse utilizando arcilla como coagulante, pero a pH entre 11 y 12 se requiere utilizar otro coagulante. Esto se debe, en condiciones alcalinas, a la descomposición de proteínas realizadas por los virus.

La remoción de contaminantes biológicos en tratamiento avanzado generalmente no es muy eficiente, a excepción de ósmosis inversa que puede eliminar virus y microorganismos mayores. En la absorción con carbón activado se ha observado la eliminación de virus que desplazan compuestos orgánicos en el efluente.

Finalmente en la tabla 3.13. se puede observar la efectividad que presenta algunos procesos para remover diversos tipos de contaminantes, y en la tabla 3.14 se muestra en forma cualitativa una evaluación de las ventajas en la funcionalidad de los procesos de tratamiento como es la capacidad técnica, la sensibilidad del proceso o las variaciones de la calidad del agua a tratar, y la disponibilidad de tecnología.

TABLA 3.13. EFICIENCIAS DE REMOCIÓN DE CONTAMINANTES POR DIVERSOS PROCESOS

| GRUPO DE CONTAMINANTES<br>Y/O PARÁMETROS FQB   | OPERACIÓN Y PROCESO UNITARIO |           |                          |                   |                               |    |                             |    |    |     |
|--|------------------------------|-----------|--------------------------|-------------------|-------------------------------|----|-----------------------------|----|----|-----|
|  | 1                            | 2         | 3                        | 4                 | 5                             | 6  | 7                           | 8  | 9  | 10  |
| Físicos  | ●                            | ○         | ▲                        | ●                 | ●                             | ●  | ●                           | ●  | ●  | ○   |
| Minerales                                      | ●                            | ○         | ▲                        | ●                 | ●                             | ●  | ●                           | ●  | ●  | ○   |
| Sólidos  | ●●                           | ○         | ▲                        | ○                 | ●                             | ●  | ●                           | ●  | ●  | ○   |
| Nutrientes                                     | ○                            | ○         | ▲                        | ○                 | A                             | A  | ●                           | ●  | A  | ○   |
| Materiales alcalinos y alcalinotérreos totales | ●                            | ○         | ▲                        | ●                 | ●                             | ●  | ●                           | ●  | ●  | ○   |
| Materiales alcalinotérreos y alcalinos sólidos | ○                            | ○         | ▲                        | ○                 | ○                             | ○  | ○                           | ○  | ○  | ▲   |
| Materiales pesados totales                     | ●                            | ○         | ▲                        | ●                 | ●●                            | ●  | ●                           | ●  | ●  | ○   |
| Biológicos                                     | ●                            | ○         | ▲                        | A                 | A                             | A  | ●                           | A  | A  | ●●● |
| Materia orgánica                               | ●                            | ○         | ▲                        | ●●                | ●●<br>●                       | ●● | ●●                          | ●● | ●● | ●●  |
| Grasas y aceites                               | ○                            | ●●<br>●   | ▲                        | ●                 | ●                             | ●  | ●                           | ●  | ●  | ○   |
| Substancias activas al azul de metileno        | ○                            | ○         | ●●<br>●                  | ●                 | ●                             | ●  | ●                           | ●  | ●  | ○   |
| Hydrocarburos alifáticos halogenados           | ○                            | ○         | ▲                        | ○                 | ○                             | ○  | ○                           | ○  | ○  | A   |
| Hydrocarburos aromáticos halogenados           | ○                            | ○         | ▲                        | ●                 | ●                             | ○  | ○                           | ○  | ○  | A   |
| Hydrocarburos aromáticos                       | ○                            | ○         | ▲                        | ●                 | ●                             | ○  | ○                           | ○  | ○  | ○   |
| Hydrocarburos poliaromáticos                   | ●                            | ○         | ▲                        | ●                 | ●●                            | ●● | ●●                          | ●● | ●● | ○   |
| Hydrocarburos poliaromáticos halogenados       | ○                            | ○         | ▲                        | ●                 | ●                             | ●  | ●                           | ●  | ●  | ○   |
| Éteres halogenados                             | ○                            | ○         | ▲                        | ○                 | ●                             | ●  | ●                           | ●  | ●  | A   |
| Nitrocompuestos alifáticos                     | ○                            | ○         | ▲                        | ○                 | ●                             | ●  | ○                           | ○  | ○  | ○   |
| Nitrocompuestos aromáticos                     | ○                            | ○         | ▲                        | ●                 | ●                             | ●  | ●                           | ○  | ●  | ○   |
| Fenoles  | ○                            | ○         | ▲                        | ○                 | ●                             | ●  | ●                           | ○  | ○  | ○   |
| Fenoles clorados                               | ○                            | ○         | ▲                        | ○                 | ●                             | ●  | ●                           | ○  | ○  | A   |
| Polícloro bifenilos                            | ●●                           | ○         | ▲                        | ●                 | ●●                            | ●  | ●                           | ○  | ●  | A   |
| Pesticidas clorados                            | ●                            | ○         | ▲                        | ●                 | ●●                            | ●  | ○                           | ○  | ●  | A   |
| Éteres del ácido ifático                       | ●                            | ○         | ▲                        | ●                 | ●●                            | ●  | ●                           | ●  | ●● | A   |
| ○ = 0 %  |                              | ●● < 50%  |                          | A = Aumento       |                               |    | ▲ = No se tiene información |    |    |     |
| ● < 25%  |                              | ●●● > 50% |                          | I = Interferencia |                               |    |                             |    |    |     |
| 1 = Sedimentación                              | 3 = Remoción de detergentes  |           | 5 = Lodos activados      |                   | 7 = Lagunas de Estabilización |    | 9 = Biodiscos               |    |    |     |
| 2 = Flotación                                  | 4 = Filtros rociadores       |           | 6 = Lagunas de aireación |                   | 8 = Contacto Anaerobio        |    | 10 = Cloración              |    |    |     |

TABLA 3.14. VENTAJAS Y DESVENTAJAS FUNCIONALES DE LOS PROCESOS DE TRATAMIENTO

| Nivel  |  | Descripción del sistema       | Disponibilidad de tecnología | Capacidad de tratamiento |        | Sensibilidad del proceso a variaciones del |        | Experiencia |
|--|--|-------------------------------|------------------------------|--------------------------|--------|--|--------|-------------|
|  |  |                               |                              | Material                 | Caudal | Material                                   | Caudal |             |
| Preliminar   | Remoción de Sólidos gruesos              | Cribado                       | 10                           | 10                       | 10     | 10   | 10     | 10          |
|  |  | Desarenación                  | 10                           | 10                       | 10     | 10   | 10     | 10          |
|  | Remoción de Grasas y aceites             | Separador de placas paralelas | 20                           | 20                       | 20     | 60   | 30     | 40          |
|  |  | Flotación con aire disuelto   | 40                           | 30                       | 20     | 30   | 60     | 70          |
| Primario   | Remoción de Sólidos sin uso De reactivos | Sedimentación                 | 10                           | 10                       | 10     | 40   | 20     | 10          |
|  |  | Cribado fino                  | 30                           | 20                       | 30     | 10   | 20     | 40          |
|  | Remoción de Sólidos con uso De reactivos | Coagulación y sedimentación   | 10                           | 30                       | 10     | 20   | 20     | 20          |
|  |  | Coagulación y flotación       | 10                           | 30                       | 10     | 30   | 60     | 80          |
| Secundario   | Remoción de materia orgánica             | Aeración extendida            | 10                           | 60                       | 100    | 10   | 10     | 20          |
|  |  | Aireación convencional        | 10                           | 30                       | 30     | 30   | 40     | 20          |
|  |  | Aeración de lata tasa         | 10                           | 20                       | 20     | 50   | 80     | 40          |
|  |  | Aeración modificada           | 10                           | 20                       | 20     | 100  | 100    | 80          |
|  |  | Estabilización por contacto   | 30                           | 30                       | 70     | 50   | 70     | 80          |
|  |  | Zanja de oxidación            | 40                           | 10                       | 10     | 10   | 10     | 80          |
|  |  | Laguna aereada mecánicamente  | 10                           | 20                       | 20     | 20   | 20     | 20          |
|  |  | Laguna de estabilización      | 10                           | 30                       | 10     | 30   | 20     | 20          |
|  |  | Laguna con plantas acuáticas  | 20                           | 100                      | 40     | 80   | 30     | 60          |
|  |  | Filtro rociador               | 40                           | 30                       | 20     | 60   | 80     | 70          |
| Disco biológico  | 70                                       | 10                            | 30                           | 30                       | 20     | 100  |        |             |
| 10 = calificación a procesos que presentan pocas restricciones funcionales           |  |                               |                              |                          |        |  |        |             |
| 100 = calificación a procesos que presentan condiciones funcionales muy restringidas |  |                               |                              |                          |        |  |        |             |

### **3.4. Selección de las unidades del tren de tratamiento.**

Con base en un análisis de la de la información de la calidad del agua residual, la calidad del agua tratada y las remociones de contaminante que se logran en cada unidad descrita en el apartado 3,2, se seleccionan las unidades de tratamiento más eficientes técnicamente y de esta forma se estructura los trenes de tratamiento viable técnicamente.

Básicamente esta selección deberá considerar:

- La Calidad del agua
- La necesidad del tratamiento
- La disponibilidad de terreno
- Las características del terreno
- La disponibilidad de servicios y personal calificado

Una vez seleccionados los trenes se procede a realizar los estudios de Ingeniería Básica y de Ingeniería de Detalle, con lo cual se obtendrán los volúmenes de obra que se requieren para realizar la planta, así como los diferentes equipos y accesorios necesarios para la instalación del sistema de tratamiento.

Con esta información y los precios unitarios de los diferentes conceptos de la obra se dará el suministro de información necesaria para realizar el Estudio Financiero.



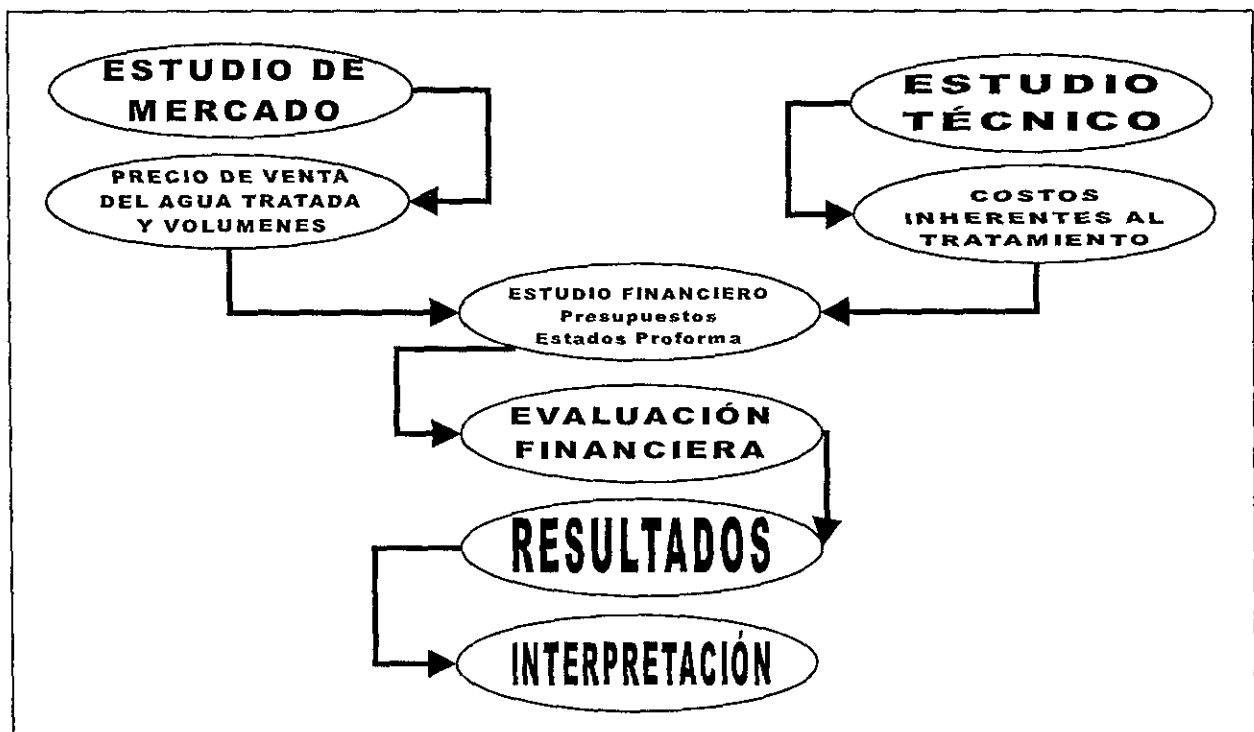
## CAPITULO 4 ESTUDIO FINANCIERO

### 4.1 Conceptualización general

El estudio financiero tiene como finalidad aportar una estrategia que permita al proyecto allegarse de los recursos necesarios para su implantación y contar con la suficiente liquidez y solvencia, para desarrollar ininterrumpidamente operaciones productivas y comerciales, que para este caso son los recursos necesarios para la construcción, operación y mantenimiento de la planta de tratamiento. El estudio financiero aporta la información necesaria para estimar la rentabilidad de los recursos que se utilizarán, susceptible de compararse con las otras alternativas de inversión.

La figura 4.1 presenta de manera esquemática la idea conceptual para determinar la factibilidad financiera de los trenes de tratamiento viables técnicamente.

Figura 4.1.- Idea conceptual de la metodología a desarrollar



El tratamiento de aguas residuales involucra el uso de recursos para la obtención de beneficios, por lo que la evaluación deberá contestar la pregunta: ¿la inversión requerida permitirá generar beneficios que justifiquen el uso de los recursos en ese fin?.

Para contestar ésta pregunta se precisa una serie de antecedentes, cuantificados en un término unidimensional: *El dinero*.

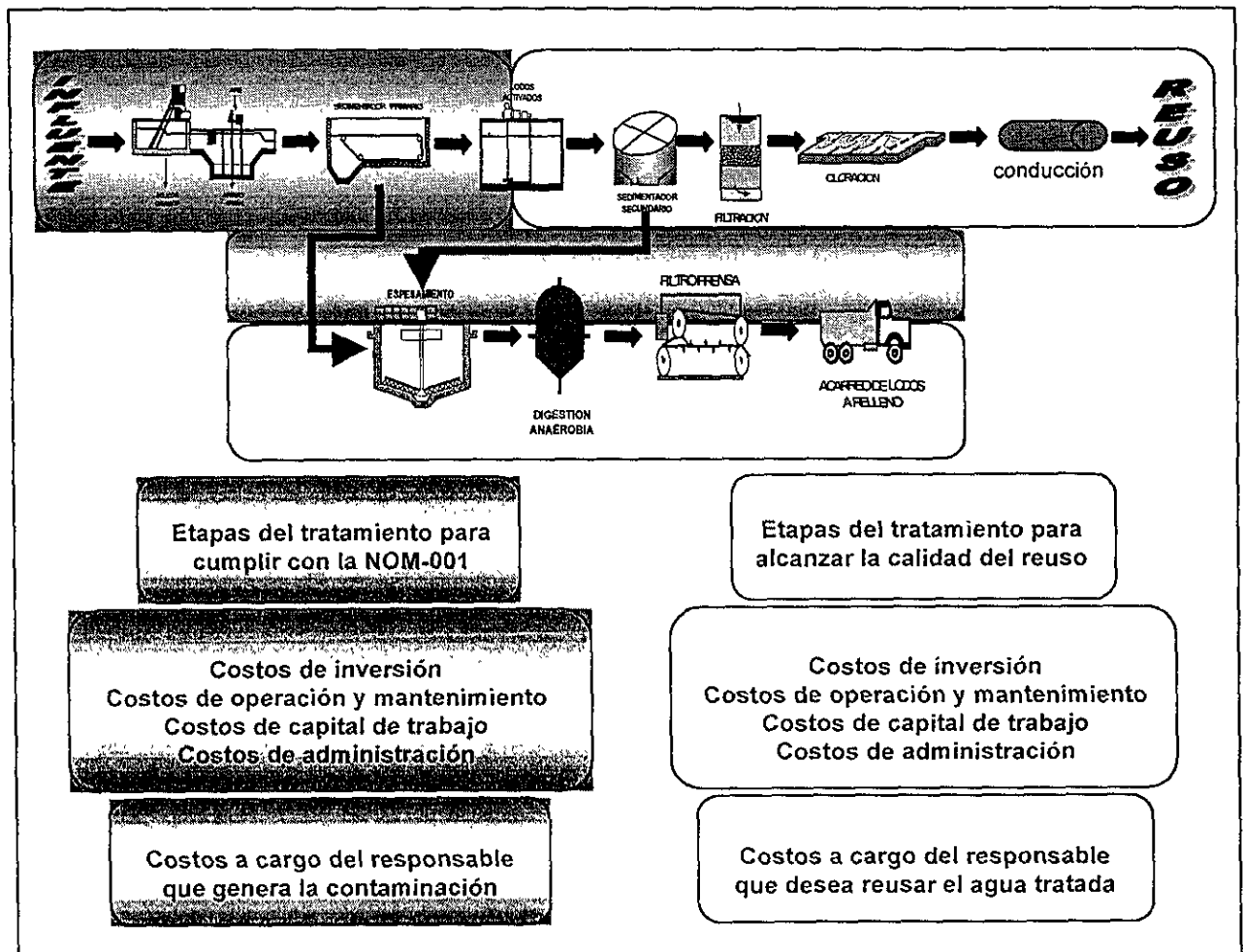
El otro antecedente básico, es lo que corresponde a los costos de tratamiento, los cuales son generados por el estudio técnico en función de los diferentes trenes de tratamiento según el fin que se persigue, es decir, cumplir con la legislación o para un reúso específico.

Como se aprecia en la figura 4.4 los costos de tratamiento serán divididos en dos bloques, el primero que consta de los costos requeridos para una planta de tratamiento de aguas residuales que cumpla con la Norma Oficial Mexicana (NOM).

El segundo bloque al cual denominaremos costo del reúso contempla todos los costos relacionados con el tren de tratamiento que a partir del efluente obtenido de la planta de tratamiento que cumple con la NOM, son necesarios para obtener una calidad de agua para un reúso determinado.

Cabe mencionar que se conceptualiza que los costos relacionados con la planta para cumplir con la NOM serán cargados al que genera la contaminación, bajo la filosofía "El que contamina el agua es responsable de su descontaminación" y, los costos del reúso serán cargados a los usuarios interesados en el mismo.

FIGURA 4.4.- DISTRIBUCIÓN EQUITATIVA DE LOS COSTOS DE TRATAMIENTO



## 4.2. Estados financieros.

Los estados financieros son el producto sintético y final del proceso de registrar la forma exacta, sistemática y cronológica de todas las operaciones de una entidad económica.

Sin embargo, para obtener los estados financieros proforma se procede de forma distinta. En este caso al no haber registros, se parte del flujo de caja, (o del presupuesto de caja) que debe reflejar los ingresos y su fuente, así como las salidas de dinero (es decir su aplicación) y deberá elaborarse con base en los supuestos de alguna estructura financiera y de los presupuestos de inversión, ingresos y gastos, tomando en cuenta también el calendario de inversión y el programa de producción preestimados que es igual al horizonte de planeación.

Con base en las conclusiones del estudio de mercado las cantidades y precios probables de ventas se sintetizan en una serie cronológica proyectada. El producto obtenido de cantidades y precios permite integrar el presupuesto de ingresos del estudio financiero. De la misma manera, el estudio técnico concluye con una función y un programa de producción, que permiten integrar la función de costos del proyecto, que sirve de base para elaborar el presupuesto de egresos en el estudio financiero.

La conjunción de los presupuestos de ingresos y egresos del proyecto, y el presupuesto o programa de inversiones, sirven de base para determinar la estructura financiera más conveniente, y se está con ello en posibilidad de formular el flujo de efectivo, que permite elaborar los estados financieros proforma y la evaluación correspondiente. Sobre estos aspectos se centrará el estudio financiero.

El estudio financiero aporta la información necesaria para estimar la rentabilidad de los recursos que se utilizarán, susceptibles de compararse con la de otras alternativas de inversión, mediante la evaluación del Valor Presente Neto (VPN) y la Tasa Interna de Retorno (TIR), entre otros.

El estudio financiero (además de elaborar los diferentes presupuestos y estados financieros que se han anotado) tiene como finalidad aportar una estrategia que permita al proyecto allegarse los recursos necesarios para su implantación y contar con la suficiente liquidez y solvencia, para desarrollar ininterrumpidamente operaciones de la planta de tratamiento.

## 4.3. Presupuestos

Los presupuestos son planes formales escritos en términos monetarios. Se apoyan en los planes de desarrollo que se piensa seguir o lograr para algún aspecto del proyecto, como pueden ser las ventas de agua tratada o las cuotas a cubrir por los usuarios, los costos de tratamiento, los gastos de administración y ventas, los costos financieros, etc.

Otra forma de definir los presupuestos en el contexto del proyecto de inversión es: cuantificación monetaria de las operaciones a futuro, teniendo como marco de referencia las premisas establecidas en el estudio de mercado y en el estudio técnico. Persigue el propósito de mostrar una visión objetiva de los movimientos de ingresos y egresos que se generan al realizar la ejecución, puesta en marcha y operación del proyecto.

**TABLA 4.1.- PRESUPUESTOS PARA LA ELABORACIÓN DE UN ESTUDIO FINANCIERO**

|              |                          |   |
|--------------|--------------------------|---|
| Presupuestos | De inversión             | Fija<br>Diferida<br>Circulante o Capital de Trabajo   |
|              | De ingresos de operación | Agua tratada<br>Cuotas de los usuarios por concepto de saneamiento<br>Subproducto(s) (Iodos, Biogas, etc.)<br>Otros |
|              | De egresos de operación  | Costos de tratamiento<br>Gastos de administración<br>Gastos financieros   |

**TABLA 4.2.- PRESUPUESTOS DE INVERSIÓN**

| Fija  | Diferida  | Capital de trabajo   |
|---|---|--|
| <ul style="list-style-type: none"> <li>• Terreno</li> <li>• Edificios y obra civil</li> <li>• Maquinaria y equipo principal</li> <li>• Equipo auxiliar y de servicios</li> <li>• Instalaciones</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Pagos por estudios de preinversión</li> <li>• Constitución de la sociedad</li> <li>• Programa preoperativo de capacitación</li> <li>• Gastos preoperativos de arranque y puesta en marcha</li> <li>• Gastos financieros preoperativos</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Efectivo de caja</li> <li>• Inventario de insumos</li> <li>• Contingencias</li> </ul> |

**TABLA 4.3.- PRESUPUESTOS DE EGRESOS DE OPERACIÓN**

| Costos de tratamiento  |
|--|
| <ul style="list-style-type: none"> <li>• Costos fijos de operación</li> <li>• Costos variables de operación</li> <li>• Materia prima</li> <li>• Mano de obra de operación</li> <li>• Servicios auxiliares</li> <li>• Mantenimiento correctivo</li> <li>• Suministros de operación</li> <li>• Regalías</li> <li>• Costos</li> <li>• Depreciación</li> <li>• Amortización</li> <li>• Rentas</li> <li>• Mantenimiento preventivo</li> </ul> |

### 4.3.1 Presupuesto de inversión.

Este presupuesto está integrado por el conjunto de erogaciones que es necesario realizar para conformar la infraestructura física de la planta de tratamiento (maquinaria, terreno, edificios, instalaciones, etc.) e intangible (impuestos que deben ser pagados por la compra o importación de maquinaria, transporte hasta el sitio donde se ubicará la planta, etc.) que le permitirá al proyecto realizar su función, es decir el tratamiento de aguas residuales y en su caso el reuso de agua tratada.

Desde el punto de vista de la técnica contable, estas erogaciones se llaman activos totales del proyecto, las cuales se clasifican en activos fijos, diferidos y circulantes o capital de trabajo. La clasificación contable conduce a elaborar tres presupuestos, el de inversión fija, el de inversión diferida y el de capital de trabajo o inversión circulante, que agrupa al activo de acuerdo con su permanencia en la empresa.

#### 4.3.1.1 Inversión fija.

Este presupuesto está formado por todos aquellos bienes tangibles que es necesario adquirir inicialmente y durante la vida útil del proyecto, para cumplir con las funciones de tratamiento y conducción del agua. Los principales rubros que lo integran se describen a continuación:

- **Terreno.-** Es el área o superficie en la cual se ubicará el proyecto para realizar sus operaciones. Para determinar su costo total se deberá sumar el precio pactado de compra a los gastos de escrituración e impuestos y, en caso de que el terreno requiera algún tipo de acondicionamiento para su utilización (como limpieza, terraplenes, emparejamiento, etc.), los costos específicos y todos en los que se incurra para poder disponer del predio deberán integrarse al costo total.
- **Edificios u obra civil.-** Este rubro se refiere a las edificaciones que albergarán las unidades de tratamiento, así como las de almacén de materias primas, refacciones, y las áreas de administración, vigilancia, servicios, etc.. Generalmente su integración se hace sobre la base de estimar costos unitarios y volúmenes de obra durante el periodo de la construcción, aunque alternativamente se puede obtener este dato mediante un presupuesto a precio alzado.

La diferencia entre las estimaciones anteriores es la siguiente: en el primer caso quien contrata paga a quien construye, sobre la base de los precios efectivos de compra y los volúmenes concretos de construcción, en el momento en que estos se realicen. En el segundo caso, quien contrata paga el precio total pactado, de acuerdo con un calendario, independientemente de las variaciones que sufran los precios nominales de los conceptos de obra durante el periodo de construcción, obligándose a un volumen de obra predeterminado.

Cualquiera que sea la estimación escogida, se concluye con un dato o cifra monetaria, escrito en una o en un grupo de facturas, en las cuales debe asentarse el desglose del costo total y del impuesto al valor agregado correspondiente, ya que, en algunas

ocasiones, el impuesto es susceptible de recuperación. Deberá procederse de igual manera para los tres conceptos siguientes.

- **Maquinaria y equipo principal.**- Con la definición del tren de tratamiento viable en el estudio técnico, se obtienen los listados de maquinaria y equipo principal, así como de los equipos y servicios auxiliares, los cuales sirven de base para solicitar cotización a los diferentes proveedores que se encargarán de la fabricación y suministro.

En este rubro se asienta el valor de la maquinaria y equipo principal. A dicho costo se le deben adicionar otras erogaciones por concepto de transportación, impuestos aduanales, almacenamiento, carga y descarga de los equipos (desde el lugar del productor hasta el sitio de la instalación). De esta manera se conforma el precio LAB (Libre a Bordo)-PLANTA de la maquinaria y equipo principal.

- **Equipo auxiliar y de servicios.**- El listado de estos equipos también se obtiene en el estudio técnico. Sirve de base para la cotización del equipo auxiliar mediante el régimen de concurso que es recomendable para todos los conceptos de la inversión fija. Su precio se obtiene de manera similar al de la maquinaria y equipo principal, aunque su agrupamiento contable es en distintas partidas, debido principalmente a que su tiempo de uso suele ser menor que el del equipo principal. Este precio debe separarse para determinar la amortización y en su caso la reposición del equipo auxiliar.
- **Instalaciones.**- Los proyectos de los sistemas de tratamiento de aguas residuales y el reuso de agua tratada requieren de diversas instalaciones (eléctricas, hidráulicas, sanitarias, etc.). Para obtener el presupuesto de inversión de este concepto se utiliza asimismo el listado de equipo y servicios auxiliares, específicamente el que corresponde a cada tipo de instalaciones. A partir del listado se solicitan cotizaciones (por ejemplo, de las eléctricas se requiere enlistar los transformadores, tableros, cables de diferentes calibres, fusibles, etc.), incluyendo el número de unidades por cada rubro.

Si se trata de instalaciones especiales como pueden ser una subestación eléctrica, se clasificarán en un rubro especial, ya que en todos los casos los costos de las instalaciones que se identifican con maquinaria, edificaciones, etc. se agregan al importe total.

En el caso de las instalaciones hidrosanitarias es necesario utilizar las especificaciones y diseños propuestos en el desarrollo de la ingeniería civil, en donde se detalla cada artículo (tubería de distintos diámetros, accesorios, sanitarios, atarjeas, muebles, llaves, codos, conexiones, etc.). A partir de las especificaciones se pide la cotización respectiva a los proveedores.

#### 4.3.1.2 Inversión diferida.

La inversión diferida se integra con todas las erogaciones para llevar a cabo la inversión del proyecto, desde el surgimiento de la idea hasta su ejecución y puesta en marcha. Entre los conceptos principales se encuentran:

- **Pagos por estudios de preinversión.**- Comprenden estudios de identificación, formulación y evaluación, ingeniería del proyecto y gestión de los recursos de inversión,

los cuales son necesarios para disminuir la incertidumbre del proyecto y elevar su eficiencia.

- **Constitución de la sociedad.-** Este rubro comprende todos los gastos en que se incurre para formalizar jurídicamente el proyecto y formar una nueva sociedad mercantil. Entre estos se incluyen los gastos de escrituración, impuestos, derechos, honorarios notariales, gastos de emisión de acciones, etc.
- **Programa preoperativo de capacitación.-** Dependiendo del grado de complejidad del proceso de tratamiento, se requerirá la especialización del personal de operación. Es necesario estimar un presupuesto que permita financiar el programa de capacitación, ya sea que se realice en el país o en el extranjero, lo que requiere congruencia con las recomendaciones del proveedor de equipo y/o tecnólogo.
- **Gastos preoperativos de arranque y puesta en marcha.-** Esta partida incluye el costo de las materias primas, materiales e insumos auxiliares, sueldos y salarios, etc., requeridos para realizar desde las pruebas de operación iniciales hasta la puesta en marcha normal de la planta.
- **Gastos financieros preoperativos.-** Todos los intereses financieros que se generen por conceptos de pago de créditos durante las fases previas a la operación de la planta se deberán incluir en este rubro. Adicionalmente se deberán sumar las amortizaciones de capital o principal de los créditos.

#### 4.3.1.3 Capital de trabajo.

El capital de trabajo se refiere a los recursos requeridos por la empresa para operar en condiciones normales, es decir, pagar nominas, compromisos con proveedores, la comercialización, etc. y por el tiempo que resulte necesario en tanto los ingresos son suficientes para sufragar los gastos totales.

Bajo este concepto se consideran todos los bienes del activo circulante inicial del proyecto, como son efectivo en caja y bancos, inventarlos de insumos auxiliares, etc., así como el efectivo suficiente para sufragar el proceso de tratamiento para la obtención de agua tratada que se venderá a crédito; además se integrarán las cuentas por cobrar hasta que se conviertan otra vez en efectivo.

- **Efectivo en caja.-** La estimación del efectivo en caja varía, pero en general se determina con base en el costo de tratamiento. La utilización del efectivo en caja es destinado, entre otras cosas, para el pago de materia prima, y cubrir los gastos de operación y mantenimiento que se tienen al iniciar el tratamiento.

Los principales renglones que se consignan son: el pago de nominas a trabajadores y empleados, y lo necesario para hacer frente a posibles imprevistos de materiales, insumos y servicios de operación.

- **Inventario de insumos.-** Se estima a partir de la cantidad de insumos consumidos en el proceso, durante un lapso suficiente hasta que las cuotas estén cobradas o el agua tratada esté vendida y cobrada. Los factores que deben ser considerados para determinarlo son:

- Capacidad de operación de la planta
- Lapso requerido para el suministro
- Diversidad de fuentes de suministro
- Capacidad de producción de los proveedores
- Características de los insumos
- Volúmenes mínimos económicos de adquisición
- Costo de almacenamiento en la planta
- Período de disponibilidad de los insumos

- **Contingencias.-** Es un factor incluido en la estimación de la inversión para compensar eventos imprevistos, como incremento de precios, cambio en los costos de mano de obra, deficiencias en la estimación, etc. Dependiendo del nivel de análisis del estudio y de su complejidad, se estima de un 5 a un 10% del capital de trabajo.

#### 4.3.1.4 Cronograma de inversiones

Con base en el calendario de ejecución y puesta en marcha del proyecto y en los presupuestos estimados de inversión fija, diferida y capital de trabajo, se realiza el cronograma de inversiones que debe incluir las fechas estimadas para la realización del proceso de inversión del proyecto a fin de identificar la interrelación y coordinación entre las diversas fases para lograr una óptima planeación de inversiones y a su vez una asignación de recursos oportunos y suficientes.

#### 4.3.2 Presupuestos de operación.

El presupuesto de operación del proyecto se forma a partir de los ingresos y egresos de operación y tiene como objeto pronosticar un estimado de las entradas y salidas monetarias de la empresa, durante uno o varios períodos, mismos que están en relación directa con la vida útil del proyecto.

La elaboración del presupuesto debe estar fundamentada en los resultados y/o conclusiones obtenidos en el estudio de mercado y el estudio técnico. La confiabilidad y utilidad del presupuesto de ingresos y egresos del proyecto, depende de la veracidad de la información utilizada en su elaboración y de la cuantificación detallada, de cada uno de los conceptos que lo integran.

##### 4.3.2.1 Presupuesto de ingresos de operación.

Para estructurar la estimación del presupuesto de ingresos es recomendable efectuar la secuencia siguiente:



- Analizar el pago de cuotas o tarifas que serán cobradas a los usuarios del alcantarillado por el servicio de saneamiento de las aguas residuales generadas.
- Analizar la estrategia de comercialización establecida en el estudio de mercado, para obtener los niveles estimados de venta del agua tratada propuestos, sin omitir los aspectos técnicos referentes a la capacidad instalada y utilizada.
- Hacer el pronóstico de ventas de agua tratada, fundamentado en el conocimiento de la estabilidad y comportamiento del mercado, considerando el estimado de demanda para el proyecto, el mecanismo de ventas y cobranzas, así como los diversos detalles que se observen en el comportamiento del mercado.

Una vez analizada la información referida, se conforma el presupuesto de ingresos que debe contener el número de usuarios y las cuotas a pagar, así como, el volumen de agua tratada, precio y valor de las ventas, tanto para el producto principal como para los subproductos obtenidos (por ejemplo los lodos producto del tratamiento).

Como se puede apreciar esta información es la de mayor dificultad de obtener, debido a la situación que se presenta actualmente en el sector hidráulico, por lo que mediante el software que se anexa al presente trabajo, se busca obtener el punto de cierre financiero, el cual es en que los ingresos son suficientes para cumplir todos los compromisos del proyecto, para obtener de esta manera las cuotas o costos por metro cúbico tratado.

#### **4.3.2.2 Presupuestos de egresos de operación.**

Los presupuestos de egresos están integrados fundamentalmente por los siguientes rubros: costos de operación, gastos de administración y venta, y gastos financieros.

##### **a) Costos de operación**

**Los costos de operación** son todas aquellas erogaciones que están directamente relacionadas con el funcionamiento de la planta de tratamiento y se dividen en costos fijos y variables.

- **Costos fijos de operación.**- Son aquéllos que se generan como consecuencia de la operación de la planta, independientemente del volumen de agua tratada. Están compuestos principalmente por:
  - **Depreciación.**- Una vez que inicia operaciones la planta, la inversión fija comienza a depreciarse. Las razones de esta pérdida de valor son múltiples y dependen del tipo de inversión física que se efectúe.

Las más importantes son: desgaste por el uso y paso del tiempo, la obsolescencia de la planta debido a las innovaciones tecnológicas y finalmente el período de vida que se le asigne al proyecto original.

Para compensar esta disminución del activo fijo, el inversionista genera un cargo en el estado de resultados por este concepto, ya que la ley del Impuesto Sobre la Renta así lo consigna. Este cargo tiene como propósito recuperar la inversión fija

inicial en el lapso de vida útil del activo fijo y su rapidez de recuperación depende del grado de obsolescencia por utilización, hecho que se refleja en los porcentajes de depreciación estipulados en la Ley del Impuesto Sobre la Renta vigente. Que actualmente para el caso en México la Ley estipula el 100% de depreciación debido a que se trata de sistemas para la prevención y control de la contaminación (Ley Impuesto Sobre la Renta, Artículo 44, Fracción IX, Inciso c).

- **Amortización.-** La amortización es el pago del principal de los créditos obtenidos, que junto con el pago de intereses conforman el total de los gastos financieros
- **Rentas.-** Este concepto se refiere a los activos fijos. En un momento dado es más conveniente arrendarlos que invertir en ellos.
- **Mantenimiento preventivo.-** Los costos por este concepto se incluyen dentro de los costos fijos, en virtud de que la periodicidad del mantenimiento requerido por la maquinaria y equipo se establece previamente, a través de un programa, con lo cual se tienen los elementos suficientes para obtener la cotización respectiva.
- **Los costos variables de operación** son aquellos que están directamente involucrados en generación de agua tratada para su venta, por ello varían en proporción directa al volumen demandado y están constituidos principalmente por los siguientes conceptos:
  - **Mano de obra de operación.-** El presupuesto de mano de obra de operación se elabora tomando en consideración la tecnología y el grado de automatización para definir los requerimientos cualitativos y cuantitativos de personal directamente involucrado en el proceso de tratamiento. Una vez definida y clasificada la mano de obra en el estudio técnico, se estiman los sueldos y salarios tabulados en el mercado de trabajo para cada uno de los niveles, que forman la planilla de personal. Conviene mencionar que al costo de mano de obra se le agrega una partida adicional que contemple las prestaciones que por la Ley Federal del Trabajo tiene derecho a recibir el trabajador de la empresa
  - **Servicios auxiliares.-** El presupuesto de servicios auxiliares se integra tomando en consideración a todos y cada uno de los insumos complementarios para llevar a cabo el tratamiento. En este presupuesto es indispensable especificar la cantidad y características de los insumos, ya que estas propiedades definirán el costo de cada insumo para el proyecto.

En proyectos de tratamiento de aguas los servicios auxiliares más comúnmente utilizados son: energía eléctrica, vapor, combustible, desinfectantes, etc. Por lo tanto el presupuesto de servicios auxiliares se estima a partir del costo y volumen de cada uno de los servicios para un período determinado.

- **Mantenimiento correctivo.-** Dependiendo del tipo tren de tratamiento y específicamente de las unidades de que se trate, se evalúan los requerimientos de mantenimiento correctivo, con la finalidad de cuantificar en términos monetarios la partida que se asigna a este concepto. Los aspectos fundamentales a considerar en la estimación de este presupuesto son la tecnología y la vida útil del equipo.
- **Suministros de operación.-** En este apartado se estima el costo de los diferentes productos misceláneos que se requieren para operar eficientemente la planta de tratamiento. Estos productos son: materiales de limpieza de equipo, dispositivos de higiene y seguridad industrial, pintura, relojes checadores, etc.
- **Regalías.-** De acuerdo al grado tecnológico empleado en el proceso de tratamiento se tendrán que efectuar erogaciones por el pago de patentes. Su estimación comúnmente se lleva bajo las condiciones acordadas con el tecnólogo.

#### **a) Gastos de Administración**

En este rubro se agregan las erogaciones para pago de sueldos del personal del área administrativa, contabilidad, asesoría legal, auditoría interna, compras, almacenes, etc., así como aquéllas otras destinadas a la adquisición de papelería, servicios de electricidad de las áreas antes mencionadas, servicio telefónico, mantenimiento del equipo de oficina, viáticos del personal, etc.

#### **b) Gastos financieros**

Estos gastos se refieren al pago de intereses sobre créditos presupuestados para el proyecto. La tasa de interés y las condiciones de pago dependen de la selección que se efectúe sobre diferentes fuentes de recursos crediticios. En México dicha tasa esta relacionada por lo general con el Costo Porcentual Promedio de la captación bancaria (CPP).

#### **c) Impuestos y reparto de utilidades**

Conforme a lo establecido en la Ley Sobre la Renta (ISR), las sociedades mercantiles están obligadas a cumplir con su declaración de impuesto sobre la renta y el reparto de utilidades a los trabajadores, con base en las resoluciones de la comisión mixta, la Ley Federal del Trabajo y las determinaciones de los convenios internos de trabajo. Por lo tanto este rubro entra a formar parte del presupuesto de egresos del proyecto.

### **4.4 Estructura financiera**

La totalidad de los recursos requeridos por la inversión del proyecto se clasifican contablemente como el activo total inicial. Puede ser financiado integralmente con recursos propios provenientes

de los promotores, que habrán de constituirse como accionistas; alternativamente, puede ser financiado en parte con recursos propios y en parte con recursos financieros provenientes de créditos del sistema bancario.

Las aportaciones de los socios o accionistas se computan contablemente como "capital" del proyecto o empresa, en tanto que los recursos crediticios se clasifican como "pasivos", de ahí que la igualdad fundamental del balance se defina como:

$$\text{ACTIVO} = \text{PASIVO} + \text{CAPITAL}$$

La estructura financiera del proyecto consiste en determinar como se financiará el Activo inicial, es decir, qué porcentajes corresponden respectivamente al pasivo y al capital, en tal forma que su suma sea igual al 100% del activo total. Esto queda determinado, por una parte, por el monto de que se dispongan los promotores para invertir en el proyecto y, por otra por los créditos que puedan negociar con los bancos para el mismo efecto.

La estimación de la inversión total y de los recursos con que cuenten los socios para invertir, cuantifican implícitamente la estructura financiera del proyecto, estableciendo la necesidad de financiamiento para el proyecto y así una estructura financiera preliminar que determinará, en buena medida, el instrumento para negociar con las fuentes de financiamiento. Por tanto, el financiamiento del proyecto incluye el análisis de las fuentes financieras tanto internas como externas para obtener los fondos que se aplicarán en la inversión, así como también los mecanismos mediante los cuales se harán llegar estos recursos.

Las fuentes de financiamiento de un proyecto de inversión se integran mediante un cuadro de fuentes y destino de recursos, para la construcción y operación del proyecto. Cabe aclarar que dentro de cada proyecto es recomendable realizar una selección de la institución que se considere más conveniente para financiar el proyecto, tomando en consideración sus ventajas y desventajas en cuanto a la tasa de interés, plazos de pago, comisiones, etc.

Para la elaboración del cuadro de análisis de las fuentes de recursos, se parte de la estructura y el programa de inversiones de la planta, integrando con ello un plan de financiamiento que busque la obtención oportuna de los recursos provenientes de fuentes previstas, tanto internas como externas.

El estudio del financiamiento debe incluir un análisis de los problemas y limitaciones en moneda extranjera. Se recurre a este tipo de financiamiento por limitaciones de disponibilidad de recursos internos del país o por las ventajas de los recursos externos. Para determinar la aportación requerida de los socios, es necesario hacer una estimación previa de la rentabilidad de incorporar socios con suficiente capacidad económica, o de colocar en el mercado de valores acciones para integrar el capital propio.

#### **a) Fuentes internas.**

Los recursos internos se obtienen de la propia empresa a través de: a) Aportaciones de los socios, b) Reinversión de las utilidades. Cuando las utilidades no distribuidas y las reservas de depreciación no se reinvierten en la propia empresa, se suele concurrir al mercado de capitales

y originar una demanda de títulos y valores, de esta manera los recursos de ciertas empresas pasan a ser fuentes externas de otras.

#### **b) Fuentes externas.**

Entre las fuentes de financiamiento utilizadas para proyectos tenemos el financiamiento crediticio del sistema bancario, que incluye el que ofrecen las sociedades nacionales de crédito, y los diversos mecanismos de fomento económico. Los principales tipos de crédito que pueden ser solicitados para un proyecto son:

- **Crédito de habilitación o avío.-** Es un préstamo a corto y mediano plazo que se utiliza para ser aplicado como capital de trabajo en las actividades productivas.
- **Crédito refaccionario.-** Es un crédito a mediano y largo plazo que se utiliza para la adquisición de maquinaria y equipo utilizado en la producción.
- **Crédito hipotecario industrial.-** Es un crédito destinado a consolidar pasivos y que otorga como garantía la infraestructura física de la empresa (terreno y obra civil).

#### **e) Condiciones financieras.**

A partir del presupuesto de inversión del proyecto y la capacidad de los socios para efectuar aportaciones, se definen las necesidades de financiamiento y se aportan las condiciones de los créditos requeridos. Es necesario apoyarse en el análisis de los estados proforma, sobre la base de que la empresa se encuentre en condiciones de cumplir satisfactoriamente sus compromisos crediticios.

Es importante resaltar que por una parte se tienen las condiciones crediticias que soporta el proyecto, de acuerdo al flujo neto de efectivo y por otra se tienen las condiciones crediticias que ofrecen las instituciones financieras. Lo ideal es obtener un apoyo en concordancia con las primeras, sin embargo, lo usual es apegarse a las segundas. De todas maneras, por lo general se puede obtener un margen de negociación en cuanto a algunas condiciones que deben contemplarse en los siguientes aspectos:

- **Plazo de amortización.-** Son los pagos sistemáticos y graduales durante la amortización del préstamo.
- **Período de gracia.-** Es el tiempo, en años, semestres, trimestres o meses, que se establece exclusivamente para el pago de intereses en el cual no se efectúan amortizaciones de capital.
- **Comisiones.-** Es el cobro del servicio al prestatario por un crédito bancario. Los principales tipos de comisión son: a) de administración, b) de inspección y vigilancia, e) de recursos comprometidos no desembolsados.
- **Tasa de interés.-** Nominal, efectiva y real.

## CAPITULO 5 EVALUACIÓN

Evaluar o valorar es medir, asignar valor, tasar, comparar, racionalizar. Bajo la serie de sinónimos anotados se enmarca la evaluación de proyectos, que lleva a decisiones, tanto en la política del desarrollo, como en los demás campos de la asignación de fondos.

El responsable de la evaluación o la toma de decisiones necesita disponer de información sobre el proyecto o asunto a evaluar y los resultados de la medición que se lleve a cabo. Cuanto más fidedigna, válida y precisa sea la información disponible, mayor será la probabilidad de obtener los parámetros, los fines y los medios del proyecto en estudio.

La evaluación es sobre un sistema de información que permite opinar con relación al rendimiento, la racionalidad y la eficiencia en la asignación de inversiones, así como acerca de los efectos que provocan los factores mencionados.

En el extremo contrario también es posible lograr los fines del proyecto, pero de una manera ineficiente, es decir, con desperdicio de recursos o medios insuficientemente aprovechados. Esta situación debe ser captada y explicada por la evaluación, calificándola como poco conveniente o inconveniente y detectando su fuente u origen.

El elemento común a las definiciones diversas del concepto de evaluación es que, en todos los casos, se refleja la medición de la eficiencia de una relación entre medios y fines, bajo una premisa de comportamiento racional. Es preciso entonces conocer dos aspectos que se deben definir metodológicamente:

1. ¿Bajo qué condiciones cabe calificar de eficaz a un proyecto? y,
2. ¿Qué clase de decisiones se requieren para que se den éstas condiciones?

### 5.1. Condiciones para la evaluación

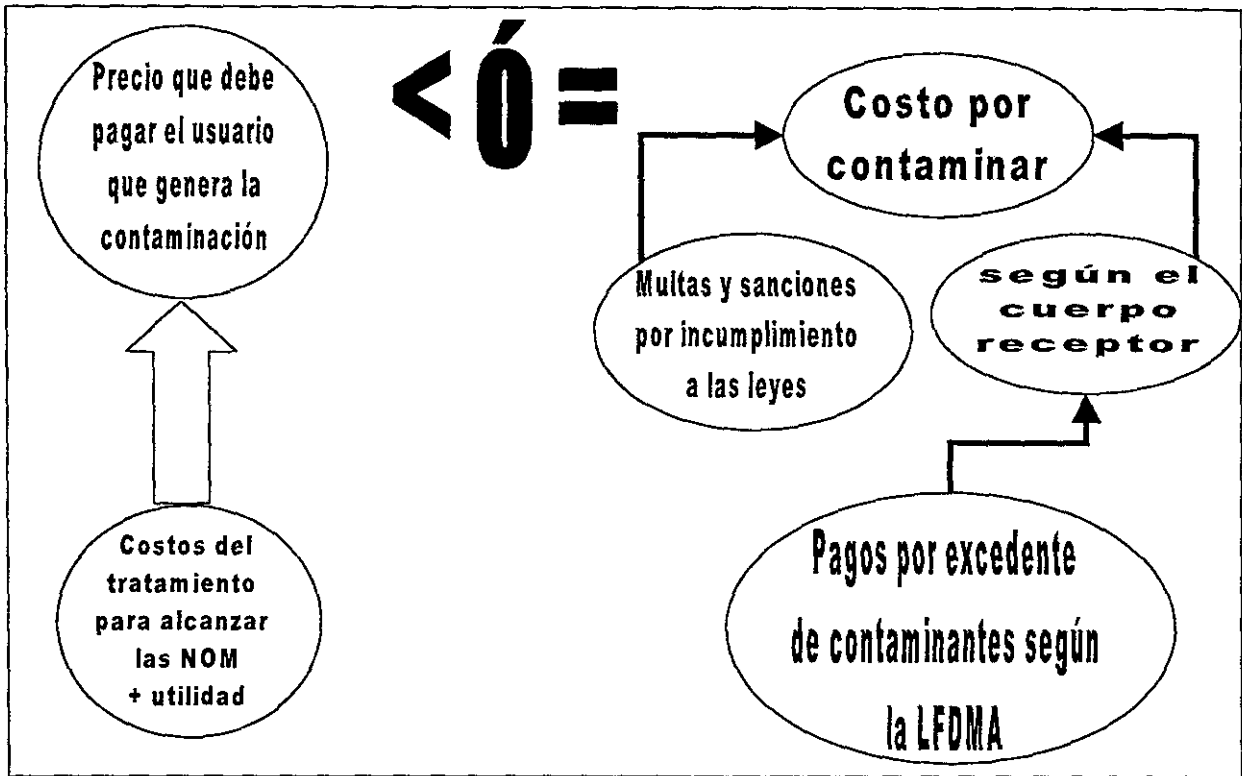
Los antecedentes son los datos que aparecen en el propio cuerpo del proyecto, en el estudio de mercado se conseguirá información de demanda, precio de venta y pronóstico de venta; en el estudio técnico necesidades físicas y materiales así como su cronograma de utilización; en la estructura de costos valores y cantidades de insumos y elementos para la operación y en la estructura financiera las necesidades a corto y largo plazo de capital, así como sus costos.

Los anteriores constituyen factores que se considerarán para fundamentar, de manera objetiva la posibilidad de financiamiento para un tratamiento determinado.

Como se expuso en el estudio técnico existen dos intereses para el tratamiento del agua.

Uno es cumplir con la legislación vigente para descargar aguas tratadas que no dañen el medio ambiente, en este caso el costo por descargar el agua sin ningún tratamiento, al cual denominaremos costo por contaminar se establece como se muestra en la figura 5.1.

FIGURA 5.1 DETERMINACIÓN DEL COSTO POR CONTAMINAR



El otro interés es el que obedece al tratamiento de aguas residuales con el fin de obtener agua tratada que pueda reutilizarse en algún uso específico.

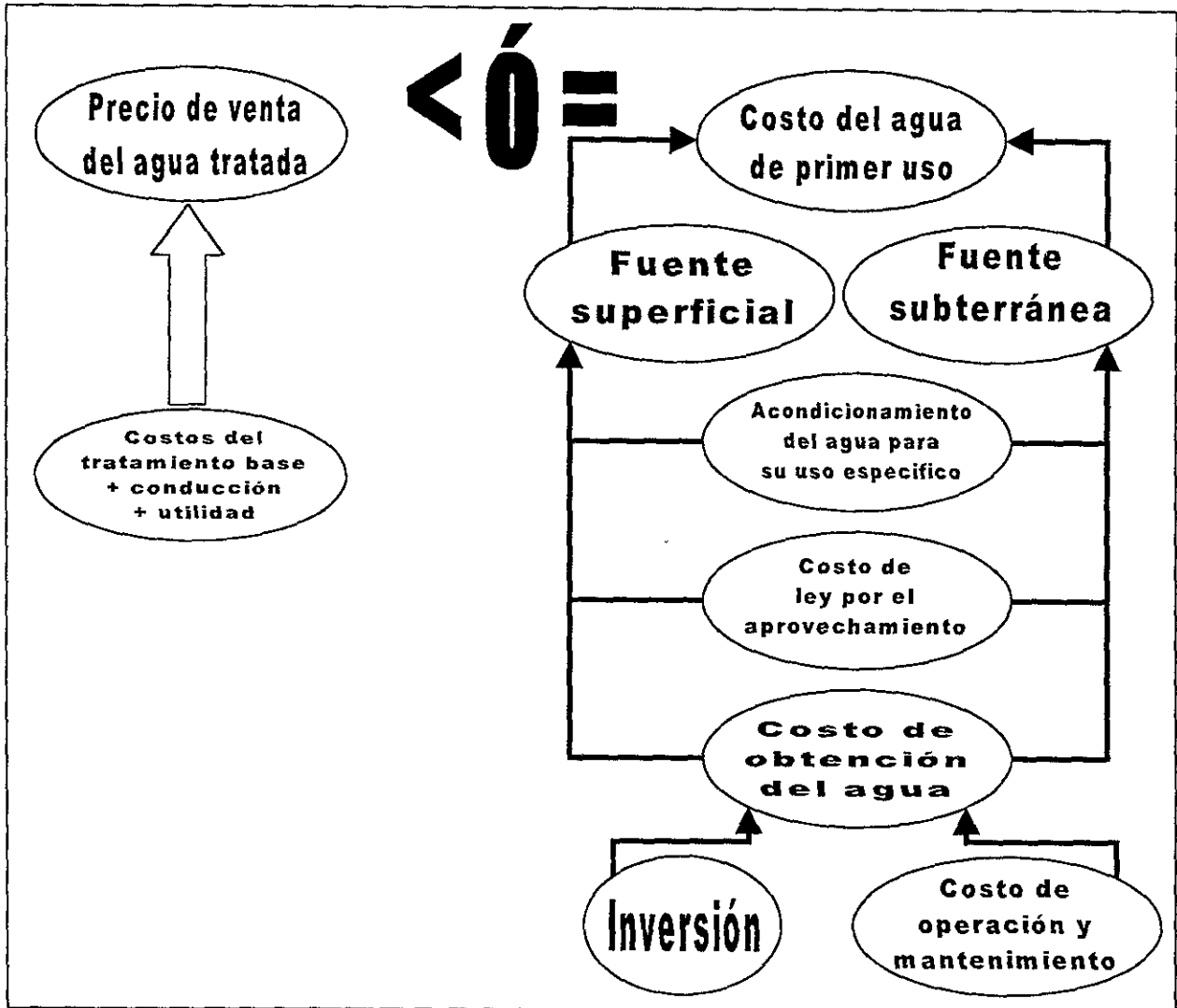
En la figura 5.2. se establece esquemáticamente la forma en que se determinarán los precios de venta del agua tratada para cada reuso específico.

Como se aprecia en la figura se contempla que el precio de venta del agua tratada, deberá ser igual o menor a los costos del agua de primer uso, ya que si esta condición no se cumpliera no existiría la posibilidad de que el agua tratada compitiera en el mercado contra el agua de primer uso.

El agua de primer uso, dependiendo de la fuente de la cual proceda (superficial o subterránea) tiene como costos implícitos para su uso los siguientes:

- Los costos de obtención del agua
  - Inversión
  - Operación y mantenimiento
- Los costos que establece la ley federal de derechos en materia de agua por su aprovechamiento.
- Los costos generados por el acondicionamiento del agua para su uso específico.

FIGURA 5.2.- DETERMINACIÓN DEL PRECIO DE VENTA DEL AGUA TRATADA



## 5.2. Evaluación Financiera

Para realizar la selección de los diferentes trenes de tratamiento viables técnicamente se deberá someter los presupuestos para cada tren de tratamiento propuesto al análisis financiero.

El primer criterio de evaluación para seleccionar los trenes de tratamiento financieramente más rentables es el del Valor Presente Neto.

Este criterio establece que los proyectos con un VPN > 0 son financieramente rentables, mientras que los proyectos con un VPN < 0 no lo son.

A excepción de los ingresos, que son la incógnita a resolver en este tipo de proyectos, ya que desconocemos a que precio debemos vender el agua tratada para asegurar cubrir todos los costos, así como obtener un rendimiento por la inversión, mediante un proceso iterativo se puede obtener el Valor Presente Neto (VPN) igual a cero, con lo cual se establece el valor que los



ingresos deberán tener para hacer financieramente rentable el proyecto, (punto de equilibrio financiero).

El resultado será expresado como pesos por metro cúbico de agua tratada, obteniéndose de la siguiente manera:

$$\text{Costo m}^3 = \text{Ingresos} / \text{Volumen anual}$$

El segundo criterio de obtener un análisis de la rentabilidad del proyecto es mediante la Tasa Interna de Retorno (TIR), la Tasa Interna de Retorno Máxima que el proyecto puede alcanzar, se define como: La tasa a la cual el Valor Presente Neto es igual a cero. Bajo este criterio se obtiene el ingreso por metro cúbico máximo que se puede alcanzar cubrir los costos de tratamiento tanto para cumplir con la legislación vigente, como para cubrir los costos de reuso de agua tratada.

### **5.3. Sistema de Evaluación Financiera**

El sistema de Evaluación Financiera (SEF) tiene como objetivo proporcionar una herramienta de fácil manejo que permita de manera rápida y sencilla realizar la evaluación financiera de los sistemas de tratamiento de aguas residuales.

Este sistema requiere de la siguiente información para poder ser utilizado:

- Información de la Ley Federal de Derechos en Materia de Agua (LFDMA), fijados para la descarga.
- Datos de calidad del agua residual y de los Límites Máximos Permisibles (LMP)
- Capacidad de la planta de tratamiento.
- Gasto del Agua Residual descargada.
- Costos del agua de primer uso
- Costos de obtención del agua de primer uso
- Costos de acondicionamiento del agua de primer uso
- Cuotas en caso de abastecerse de red.
- Costos de Inversión de las Unidades de tratamiento
- Costos de Operación y Mantenimiento de las Unidades de tratamiento
- Costos del Capital de Trabajo para las distintas unidades de tratamiento
- Costos del Terreno
- Datos de las etapas de construcción, arranque y operación

- Criterios de la depreciación fiscal relacionada con las acciones para el control de la contaminación
- Datos de los esquemas financieros si se desea financiar el proyecto
- Porcentajes para el pago de impuestos
- Vida útil del proyecto
- Los Indices Nacionales de Precios al Consumidor (INPC)

Con esta información se obtendrán con mayor facilidad los resultados de la evaluación financiera.

El sistema esta desarrollado en Microsoft Excel 97, estas hojas de cálculo han sido previamente diseñadas e interrelacionadas para obtener los resultados deseados.

Al enfrentarse con el problema de evaluar sistemas de tratamiento de aguas residuales, la pregunta a contestar es: ¿Cual será el costo por metro cubico de agua tratada?, ¿Este costo es alto o bajo?, ¿El proyecto es rentable para el inversionista?. El SEF-1110, responde ha estas preguntas.

Forma de manejo

El sistema cuenta con una hoja de inicio ver figura 5.3., la cual se compone de dos secciones Información y Resultado.

En la sección de Información se cuentan con tres apartados los cuales comprenden la fuente de información que el sistema requiere para realizar los cálculos necesarios para la evaluación, estos apartados son:

- Estudio de Mercado
- Estudio Técnico
- Estudio Financiero

A estos apartados se tiene acceso con solo hacer un clic sobre ellos.

Al realizar esta operación sobre el Estudio de Mercado será desplegada otra pantalla la cual se presenta en la figura 5.4., en esta existen tres opciones:

- Datos del agua residual
- Datos del agua de primer uso
- Regresar al menú principal.

Al accesar datos del agua residual se desplegará otra la pantalla que se muestra en la figura 5.5. la cual requiere que sea llenada con la siguiente información:

- El volumen descargado en litros por segundo
- El tipo de cuerpo receptor según la LFDMA
- Los INPC
- Los datos de la calidad del agua residual obtenidos mediante un análisis de laboratorio
- Los LMP establecidos por la autoridad competente

Esta hoja presenta dos opciones finales, regresar al menú principal o regresar a la pantalla del estudio de mercado

Al Oprimir la opción de Datos de agua para primer uso será desplegada la pantalla que se presenta en la figura 5.6. que requiere de la siguiente información:

- Zona de disponibilidad en la que se ubica el reuso
- Uso al que se pretende destinar el agua tratada
- Los INPC
- Los costos de extracción del agua de primer uso
- Cuota que se paga al organismo operador en caso de suministrarse por red
- Los costos de acondicionamiento del agua de primer uso si es que esta lo requiere.

Asimismo se cuenta con las dos opciones principales Regresar al menú principal o regresar al estudio de mercado, con esta hoja se completa la sección referente al estudio de mercado.

Al oprimir la opción del estudio técnico será desplegada la hoja referente a la información técnica general y las unidades de tratamiento, ver figura 5.7., en esta opción se presentan los accesos a las siguientes hojas de información:

- Terreno
- Etapas de arranque
- Unidades de tratamiento (40 opciones)

Al entrar a la opción de terreno aparecerá la pantalla que se muestra en la figura 5.8., en esta hoja se requiere sea incorporada la información siguiente:

Superficie de terreno en metros cuadrados, dividida según la superficie que ocupa cada unidad de tratamiento, misma que logra alcanzar la calidad para cumplir con la NOM o para algún reuso determinado, así como el costo por metro cuadrado.

Al oprimir el recuadro de Etapas de arranque aparecerá la pantalla que se aprecia en la figura 5.9., la cual requiere que sea definida para cada parte del proyecto la capacidad de operación de

la planta, esto tiene como finalidad establecer los tiempos en los cuales la planta no operara debido a que se encuentra en construcción, así como las etapas de arranque a las que estará sujeta la misma.

Finalmente dentro de la pantalla de unidades de tratamiento se presentan cuarenta opciones de las diferentes operaciones unitarias que puede comprender un tren de tratamiento, con la finalidad de que el usuario seleccione las que el estudio técnico estableció como los trenes viables técnicamente.

Al presionar cualquiera de estas opciones será desplegada una pantalla como la que se muestra en la figura 5.10. y en la cual se requiere sea vertida la siguiente información:

- La depreciación fiscal de la unidad
- La participación de la unidad dentro del tren de tratamiento para alcanzar la NOM o para algún reuso en particular
- Las inversiones que serán realizadas a lo largo del proyecto.
- Los costos de Operación y mantenimiento
- Los costos del capital de trabajo

Cabe mencionar que en cada unidad seleccionada, deberán incluirse todos los aditamentos, piezas y conducción aguas abajo de la misma hasta la unidad siguiente.

Finalmente dentro de la sección de información tenemos la del estudio financiero, misma que al ser oprimida desplegara la pantalla que se presenta en la figura 5.11., en esta deberá incorporarse la siguiente información:

- Los porcentajes de deuda y capital que serán aportados
- El plazo del financiamiento
- La tasa de interés (CETES o alguna otra)
- La tasa inflacionaria
- La tasa requerida por los inversionistas
- Con relación a los impuestos las tasas del ISR y el PTU
- La duración del proyecto

Una vez que toda esta información ha sido incorporada, se estará en posibilidades de obtener los resultados, dentro de esta sección se cuenta con dos apartados:

- Costos del agua tratada
- Tasa Interna de Retorno Máxima

Al oprimir la opción de Costos de agua tratada, aparecerá la pantalla que se muestra en la figura 5.12, y en la cual se realiza la pregunta: ¿ Ha incorporado toda la información solicitada (sí o no)?, al escribir No, los tres primeros valores no aparecerán, por el contrario al teclear si y dar un enter, aparecerá los valores los cuales irán en aumento hasta que el proceso de iteración culmine, con lo cual se obtendrán los siguientes resultados:

- Costos de tratamiento para alcanzar la calidad marcada por la NOM
- Costos de tratamiento para alcanzar la calidad marcada para el reuso
- Costos de tratamiento totales
- Costos por concepto de contaminar (CC)
- Costos del agua de primer uso (CAPU)
- Costos totales (CC + CAPU)

Al oprimir la otra opción Tasa Interna de Retorno Máxima, será desplegada la pantalla que se presenta en la figura 5.13., y en la cual aparecen los siguientes resultados:

- La TIR del proyecto de tratamiento para alcanzar la calidad marcada por la NOM
- La TIR del proyecto de tratamiento para alcanzar la calidad marcada para el reuso
- La Tasa requerida por los inversionistas para invertir en los proyectos de tratamiento para alcanzar la calidad marcada por la NOM
- La Tasa requerida por los inversionistas para invertir en los proyectos de tratamiento para alcanzar la calidad marcada para el reuso.

**Interpretación de resultados**

El mismo sistema proporciona el dictamen financiero del proyecto bajo las siguientes condiciones:

| CONDICIÓN  |   | DICTAMEN                               |   |
|--|---|--|---|
| Costos de tratamiento para alcanzar la calidad marcada por la NOM    | < | Costos por concepto de contaminar (CC) | RENTABLE LA SECCIÓN CORRESPONDIENTE AL TRATAMIENTO PARA CUMPLIR LA NOM    |
| Costos de tratamiento para alcanzar la calidad marcada para el reuso | < | Costos del agua de primer uso (CAPU)   | RENTABLE LA SECCIÓN CORRESPONDIENTE AL TRATAMIENTO PARA ALCANZAR EL REUSO |
| Costos de tratamiento totales  | < | Costos totales (CC + CAPU)             | RENTABLE DE MANERA GLOBAL TODO EL SISTEMA DE TRATAMIENTO                  |

Para el caso de La Tasa Interna de Retorno (TIR):

| CONDICIÓN   |   | DICTAMEN   |
|---|---|--|
| La TIR del proyecto de tratamiento para alcanzar la calidad marcada por la NOM    | > | La Tasa requerida por los inversionistas para invertir en los proyectos de tratamiento para alcanzar la calidad marcada por la NOM     |
| La TIR del proyecto de tratamiento para alcanzar la calidad marcada para el reuso | > | La Tasa requerida por los inversionistas para invertir en los proyectos de tratamiento para alcanzar la calidad marcada para el reuso. |

FIGURA 5.3. HOJA DE INICIO

|    | A                                       | B | C                      | D                              | E                         | F | G |
|----|---|---|------------------------|--------------------------------|---------------------------|---|---|
| 1  | <b>SISTEMA DE EVALUACIÓN FINANCIERA</b> |   |                        |                                |                           |   |   |
| 2  |   |   |                        |                                |                           |   |   |
| 3  |   |   |                        |                                |                           |   |   |
| 4  | <b>INFORMACIÓN</b>                      |   |                        |                                |                           |   |   |
| 5  |   |   |                        |                                |                           |   |   |
| 6  |   |   |                        |                                |                           |   |   |
| 7  |   |   |                        |                                |                           |   |   |
| 8  | <b>ESTUDIO DE MERCADO</b>               |   | <b>ESTUDIO TÉCNICO</b> |                                | <b>ESTUDIO FINANCIERO</b> |   |   |
| 9  |   |   |                        |                                |                           |   |   |
| 10 |   |   |                        |                                |                           |   |   |
| 11 |   |   |                        |                                |                           |   |   |
| 12 |   |   |                        |                                |                           |   |   |
| 13 |   |   |                        |                                |                           |   |   |
| 14 |   |   |                        |                                |                           |   |   |
| 15 |   |   |                        |                                |                           |   |   |
| 16 | <b>RESULTADOS</b>                       |   |                        |                                |                           |   |   |
| 17 |   |   |                        |                                |                           |   |   |
| 18 |   |   |                        |                                |                           |   |   |
| 19 | <b>COSTOS DEL AGUA TRATADA</b>          |   |                        | <b>TASA INTERNA DE RETORNO</b> |                           |   |   |
| 20 |   |   |                        |                                |                           |   |   |
| 21 |   |   |                        |                                |                           |   |   |
| 22 |   |   |                        |                                |                           |   |   |
| 23 |   |   |                        |                                |                           |   |   |
| 24 |   |   |                        |                                |                           |   |   |
| 25 |   |   |                        |                                |                           |   |   |
| 26 |   |   |                        |                                |                           |   |   |

FIGURA 5.4. INFORMACIÓN DEL ESTUDIO DE MERCADO

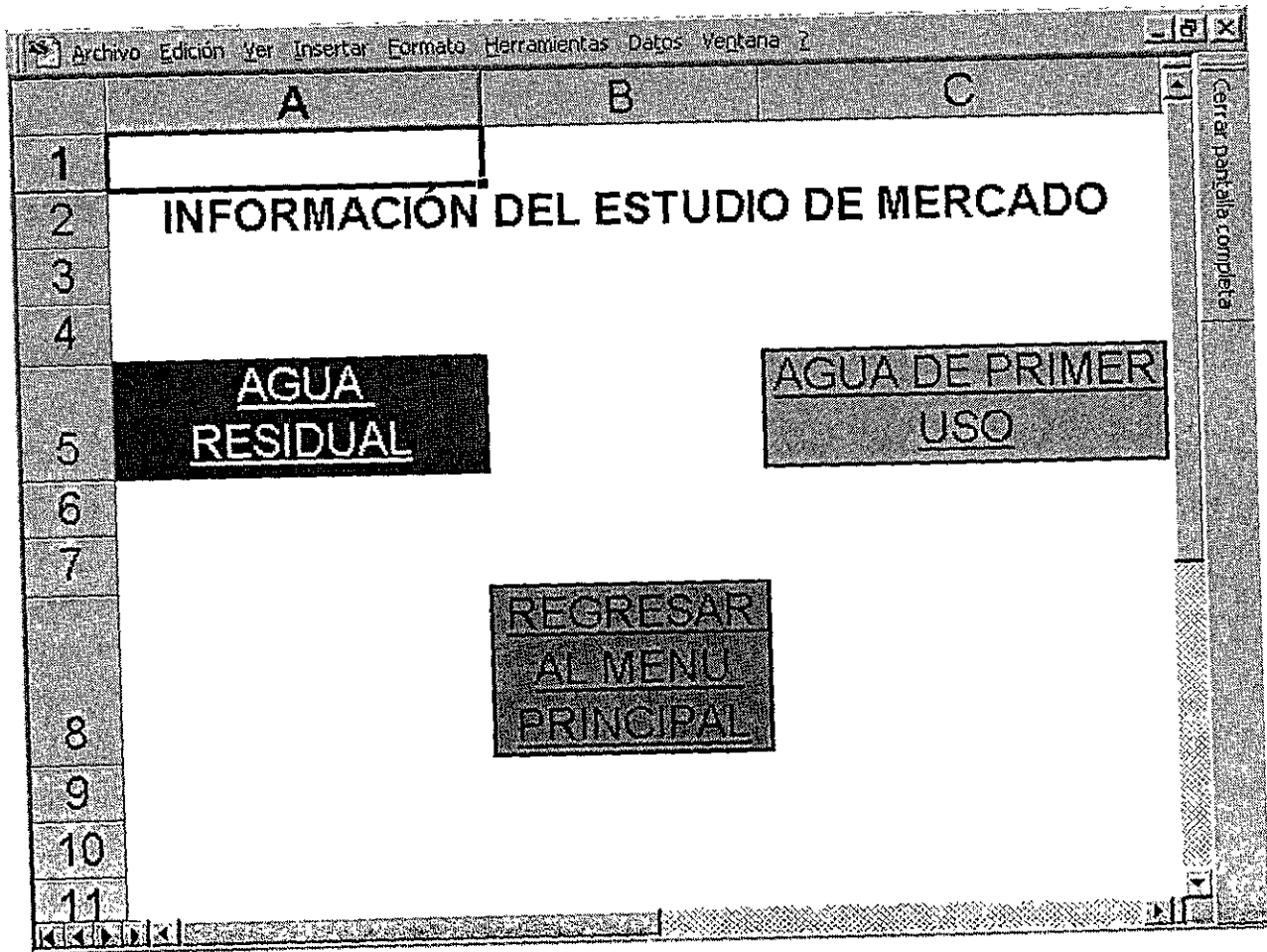




FIGURA 5.5. DATOS DEL AGUA RESIDUAL

Archivo Edición Ver Insertar Formato Herramientas Datos Ventana

**DATOS DEL AGUA RESIDUAL**

Volumen descargado: **75** l/s  
2,365,200 m<sup>3</sup>/año

tipo de Cuerpo Receptor: **A** (Datos de la Ley Federal de Derechos en Materia de Agua)

Factor de ajuste a la cuota de descarga

INPC ( enero 1998): **1** (Datos de la Ley Federal de Derechos en Materia de Agua)  
INPC: **1** (Dato cada seis meses para el ajuste)

Calidad del Agua

| Parametro          | Unidad     | Descarga | Limite Maximo Permisible |
|--------------------|------------|----------|--------------------------|
| GyA                | mg/l       | 60       | 15                       |
| SST                | mg/l       | 450      | 150                      |
| DBO                | mg/l       | 600      | 150                      |
| NT                 | mg/l       | 60       | 40                       |
| PQT                | mg/l       | 30       | 20                       |
| As                 | mg/l       | 0.5      | 0.2                      |
| Cd                 | mg/l       | 0.1      | 0.2                      |
| CN                 | mg/l       | 6        | 2                        |
| Cu                 | mg/l       | 3        | 4                        |
| Cr                 | mg/l       | 2        | 1                        |
| Hg                 | mg/l       | 0.1      | 0.01                     |
| Ni                 | mg/l       | 1        | 2                        |
| Pb                 | mg/l       | 0.3      | 0.5                      |
| Zn                 | mg/l       | 5        | 10                       |
| pH                 | unidad     | 10       | 7                        |
| Doliformes Fecales | NMP/100 ml | 100000   | 1000                     |

FIGURA 5.6. DATOS DEL AGUA DE PRIMER USO

Archivo Edición Ver Insertar Formato Herramientas Datos Ventana ?

A B C D E F G H I J K

1

2 DATOS DEL AGUA DE PRIMER USO

3

4 Zona de disponibilidad: **6** (Datos de la Ley Federal de Derechos en Materia de Agua)

5 favor de tachar o lo un uso al que se destinara el agua tratada en el campo azul

6

|                       |   |
|-----------------------|---|
| Uso                   |   |
| Industrial            | X |
| Servicios             |   |
| Recreativo            |   |
| Privado               |   |
| Agua                  |   |
| Generación de Energía |   |
| Aquacultura           |   |
| Recreativo Público    |   |
| Agropecuaria          |   |

7

8

9

10

11

12

13

14

15

16

17

18

19

20

21 Factor de ajuste a la cuota de Aprovechamiento

22

23 INPC ( enero 1998): **1** (Datos de la Ley Federal de Derechos en Materia de Agua)

24 INPC: **1** (Dato cada seis meses para el ajuste)

25

26

27 Costo de extracción de agua: **1.55** \$/m<sup>3</sup>

28

29 Costos por aprovechamiento de aguas nacionales: **3.3666** \$/m<sup>3</sup>

30

31 Cuota al organismo operador si se abastece de red: **0** \$/m<sup>3</sup>

32

33 Costos de acondicionamiento del agua (\*): **0** \$/m<sup>3</sup>

34

35 (\*) En caso de que el agua abastecida no cumpla con la calidad necesaria

Cerrar pantalla completa

FIGURA 5.7. INFORMACIÓN TÉCNICA DE LOS COSTOS DE LAS UNIDADES DE TRATAMIENTO

| Archivo Edición Ver Insertar Formato Herramientas Datos Ventana ? |  |                                      |                                       |                             |                             |                           |   |   |   |  |
|---|--|--------------------------------------|---------------------------------------|-----------------------------|-----------------------------|---------------------------|---|---|---|--|
|   | A  | B                                    | C                                     | D                           | E                           | F                         | G | H | I |  |
| 1   | <b>INFORMACIÓN TÉCNICA GENERAL</b>           |                                      |                                       |                             |                             |                           |   |   |   |  |
| 2   | <b>TERRENO</b>                               |                                      |                                       |                             |                             | <b>ETAPAS DE ARRANQUE</b> |   |   |   |  |
| 3   |  |                                      |                                       |                             |                             |                           |   |   |   |  |
| 4   |  |                                      |                                       |                             |                             |                           |   |   |   |  |
| 5   | <b>UNIDADES DE TRATAMIENTO</b>               |                                      |                                       |                             |                             |                           |   |   |   |  |
| 6   |  |                                      |                                       |                             |                             |                           |   |   |   |  |
| 7   | <b>EMISORES Y PRETRATAMIENTO</b>             | <b>TRATAMIENTO PRIMARIO</b>          | <b>TRATAMIENTO SECUNDARIO</b>         | <b>TRATAMIENTO TERCARIO</b> | <b>TRATAMIENTO DE LODOS</b> |                           |   |   |   |  |
| 8   |  |                                      |                                       |                             |                             |                           |   |   |   |  |
| 9   | <b>Emisores</b>                              | <b>Sedimentador primario</b>         | <b>Lodos Activados convencionales</b> | <b>Coagulación</b>          | <b>Espesamiento</b>         |                           |   |   |   |  |
| 10  |  |                                      |                                       |                             |                             |                           |   |   |   |  |
| 11  | <b>Rejillas y desarenador</b>                | <b>Neutralización</b>                | <b>Filtros Biológicos</b>             | <b>Cloración</b>            | <b>Digestión Anaerobia</b>  |                           |   |   |   |  |
| 12  |  |                                      |                                       |                             |                             |                           |   |   |   |  |
| 13  | <b>Tanque de regulación y homogenización</b> | <b>Tratamiento primario avanzado</b> | <b>Zanjas de Oxidación</b>            | <b>Filtración</b>           | <b>Digestión Aerobia</b>    |                           |   |   |   |  |
| 14  |  |                                      |                                       |                             |                             |                           |   |   |   |  |
| 15  | <b>Unidad opcional (1)</b>                   | <b>Unidad opcional (1)</b>           | <b>Medios</b>                         | <b>Osmosis Inversa</b>      | <b>Bombeo de lodos</b>      |                           |   |   |   |  |
| 16  |  |                                      |                                       |                             |                             |                           |   |   |   |  |

FIGURA 5.8. INFORMACIÓN REFERENTE AL TERRENO PARA LA CONSTRUCCION DE LA PLANTA

|    | A                            | B                           | C                                | D                            | E                      | F   | G |
|----|------------------------------|-----------------------------|----------------------------------|------------------------------|------------------------|---|---|
| 1  |                              |                             |                                  |                              |                        |   |   |
| 2  | <b>INFORMACIÓN DE COSTOS</b> |                             |                                  |                              |                        |   |   |
| 3  | <b>TERRENO</b>               |                             |                                  |                              |                        |   |   |
| 4  |                              |                             |                                  |                              |                        |   |   |
| 5  |                              |                             |                                  |                              |                        |   |   |
| 6  |                              |                             |                                  |                              |                        |   |   |
| 7  |                              |                             |                                  | Superficie (m <sup>2</sup> ) | Costo / m <sup>2</sup> | Costo Total                                 |   |
| 8  |                              | Para alcanzar la norma :    |                                  | 242,820.00                   | 1.00                   | 242,820.00                                  |   |
| 9  |                              | Para un reuso determinado : |                                  | 364,230.00                   | 1.00                   | 364,230.00                                  |   |
| 10 |                              |                             |                                  |                              |                        |   |   |
| 11 |                              |                             |                                  |                              |                        |   |   |
| 12 |                              |                             | REGRESAR<br>AL MENU<br>PRINCIPAL |                              |                        | AGREGAR<br>OTRA UNIDAD<br>DE<br>TRATAMIENTO |   |
| 13 |                              |                             |                                  |                              |                        |   |   |
| 14 |                              |                             |                                  |                              |                        |   |   |
| 15 |                              |                             |                                  |                              |                        |   |   |
| 16 |                              |                             |                                  |                              |                        |   |   |
| 17 |                              |                             |                                  |                              |                        |   |   |
| 18 |                              |                             |                                  |                              |                        |   |   |
| 19 |                              |                             |                                  |                              |                        |   |   |
| 20 |                              |                             |                                  |                              |                        |   |   |
| 21 |                              |                             |                                  |                              |                        |   |   |

FIGURA 5.9. INFORMACIÓN REFERENTE AL ARRANQUE Y OPERACIÓN DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO

| Archivo Edición Ver Insertar Formato Herramientas Datos Ventana ? |  |                             |                                  |   |   |   |   |
|---|--|-----------------------------|----------------------------------|---|---|---|---|
|   | A  | B                           | C                                | D | E | F | G |
| 1   |  |                             |                                  |   |   |   |   |
| 2   | <b>ETAPAS DE ARRANQUE</b>                          |                             |                                  |   |   |   |   |
| 3   | <b>EN LA OPERACIÓN</b>                             |                             |                                  |   |   |   |   |
| 4   |  |                             |                                  |   |   |   |   |
| 5   | <b>% en la capacidad de operación de la planta</b> |                             |                                  |   |   |   |   |
| 6   | <b>Año</b>   | <b>Para alcanzar la NOM</b> | <b>Para un reuso determinado</b> |   |   |   |   |
| 7   | 0  | 0%                          | 0%                               |   |   |   |   |
| 8   | 1  | 0%                          | 0%                               |   |   |   |   |
| 9   | 2  | 0%                          | 0%                               |   |   |   |   |
| 10  | 3  | 50%                         | 50%                              |   |   |   |   |
| 11  | 4  | 80%                         | 80%                              |   |   |   |   |
| 12  | 5  | 100%                        | 100%                             |   |   |   |   |
| 13  | 6  | 100%                        | 100%                             |   |   |   |   |
| 14  | 7  | 100%                        | 100%                             |   |   |   |   |
| 15  | 8  | 100%                        | 100%                             |   |   |   |   |
| 16  | 9  | 100%                        | 100%                             |   |   |   |   |
| 17  | 10   | 100%                        | 100%                             |   |   |   |   |
| 18  | 11   | 100%                        | 100%                             |   |   |   |   |
| 19  | 12   | 100%                        | 100%                             |   |   |   |   |
| 20  | 13   | 100%                        | 100%                             |   |   |   |   |
| 21  | 14   | 100%                        | 100%                             |   |   |   |   |

FIGURA 5.10. EJEMPLO DE LA INFORMACIÓN SOLICITADA POR CADA UNIDAD QUE CONFORMA EL TREN DE TRATAMIENTO

| Archivo Edición Ver Insertar Formato Herramientas Datos Ventana ? |   |                                      |                            |                                     |   |   |   |
|---|---|--------------------------------------|----------------------------|-------------------------------------|---|---|---|
|   | A   | B                                    | C                          | D                                   | E | F | G |
| 1   |   |                                      |                            |                                     |   |   |   |
| 2   | <b>INFORMACIÓN DE COSTOS</b>                  |                                      |                            |                                     |   |   |   |
| 3   | <b>POR UNIDAD DE TRATAMIENTO</b>              |                                      |                            |                                     |   |   |   |
| 4   |   |                                      |                            |                                     |   |   |   |
| 5   | Unidad:                                       | LÓDOS ACTIVADOS CONVENCIONALES       |                            |                                     |   |   |   |
| 6   |   |                                      |                            |                                     |   |   |   |
| 7   |   | Depreciación fiscal (%):             |                            |                                     |   |   |   |
| 8   |   |                                      |                            |                                     |   |   |   |
| 9   |   | % de participación en el tratamiento |                            |                                     |   |   |   |
| 10  |   |                                      |                            |                                     |   |   |   |
| 11  |   | Para alcanzar la norma (%):          |                            |                                     |   |   |   |
| 12  |   | Para un reuso determinado (%):       |                            |                                     |   |   |   |
| 13  |   |                                      |                            |                                     |   |   |   |
| 14  | <b>Información de las erogaciones por año</b> |                                      |                            |                                     |   |   |   |
| 15  |   |                                      |                            |                                     |   |   |   |
| 16  | <b>Año</b>                                    | <b>Inversiones</b>                   | <b>Costos de operación</b> | <b>Costos de capital de trabajo</b> |   |   |   |
| 17  | 0   |                                      |                            |                                     |   |   |   |
| 18  | 1   |                                      |                            |                                     |   |   |   |
| 19  | 2   |                                      |                            |                                     |   |   |   |
| 20  | 3   |                                      |                            |                                     |   |   |   |
| 21  | 4   |                                      |                            |                                     |   |   |   |
| 22  | 5   |                                      |                            |                                     |   |   |   |
| 23  | 6   |                                      |                            |                                     |   |   |   |
| 24  | 7   |                                      |                            |                                     |   |   |   |

FIGURA 5.11. INFORMACIÓN FINANCIERA

|    | A                                   | B                | C             | D | E |
|----|-------------------------------------|------------------|---------------|---|---|
| 1  | <b>INFORMACIÓN FINANCIERA</b>       |                  |               |   |   |
| 2  |                                     | Para alcanzar la | Para un reuso |   |   |
| 3  |                                     | NOM              | determinado   |   |   |
| 4  | % Deuda:                            | 0%               | 0%            |   |   |
| 5  | % Capital:                          | 100%             | 100%          |   |   |
| 6  | % Total:                            | 100%             | 100%          |   |   |
| 7  |                                     |                  |               |   |   |
| 8  | Monto del Credito (dlrs)            | 0.00             | 0.00          |   |   |
| 9  | Plazo de pago (años)                | 15               | 15            |   |   |
| 10 | Tasa de interes real( mas 7,5 pts.) | 13.63%           | 13.63%        |   |   |
| 11 | Tasa de interes (CETES)             | 18.86%           | 18.86%        |   |   |
| 12 | Tasa inflacionaria                  | 12.00%           | 12.00%        |   |   |
| 13 |                                     |                  |               |   |   |
| 14 | Tasa de rendimiento a accionistas   | 12.00%           | 12.00%        |   |   |
| 15 |                                     |                  |               |   |   |
| 16 | <b>IMPUESTOS</b>                    |                  |               |   |   |
| 17 | Impuesto Sobre la Renta (ISR)       | 34%              | 34%           |   |   |
| 18 | Reparto de Utilidades               | 10%              | 10%           |   |   |
| 19 |                                     |                  |               |   |   |
| 20 | <b>DURACIÓN DEL PROYECTO</b>        |                  |               |   |   |
| 21 | ANOS                                | 15               | 15            |   |   |
| 22 |                                     |                  |               |   |   |
| 23 |                                     |                  |               |   |   |
| 24 |                                     |                  |               |   |   |
| 25 |                                     |                  |               |   |   |

REGRESAR AL  
MENU  
PRINCIPAL

FIGURA 5.12. DESPLIEGUE DE RESULTADOS REFERENTES AL COSTO DE TRATAMIENTO POR METRO CUBICO DE AGUA TRATADA

|    | A  | B | C                    | D | E   | F   | G |
|----|--|---|----------------------|---|---|---|---|
| 1  | <b>RESULTADOS DE LOS COSTOS DE TRATAMIENTO Y DE MERCADO</b>        |   |                      |   |   |   |   |
| 2  | ¿ HA INCORPORADO TODA LA INFORMACIÓN TECNICA SOLICITADA (SI O NO)? |   |                      |   |   |   |   |
| 3  | <input checked="" type="checkbox"/> SI                             |   |                      |   |   |   |   |
| 4  | ESPERE A QUE TERMINE EL PROCESO DE ITERACIÓN                       |   |                      |   |   |   |   |
| 5  |  |   |                      |   |   |   |   |
| 6  |  |   |                      |   |   |   |   |
| 7  |  |   |                      |   |   |   |   |
| 8  |  |   | <b>CONCEPTO</b>      |   | <b>Costos de<br/>tratamiento<br/>(\$ / m<sup>3</sup>)</b> | <b>Costo de<br/>Mercado<br/>(\$ / m3)</b> |   |
| 9  |  |   | SANEAMIENTO          |   | 0.44  | 0.73                                      |   |
| 10 |  |   | REUSO                |   | -   | 1.57                                      |   |
| 11 |  |   | TRATAMIENTO COMPLETO |   | 0.44  | 2.30                                      |   |
| 12 |  |   |                      |   |   |   |   |
| 13 |  |   | <b>CONCEPTO</b>      |   | <b>DICTAMEN FINANCIERO</b>                                |   |   |
| 14 |  |   | SANEAMIENTO          |   | PROYECTO RENTABLE   |   |   |
| 15 |  |   | REUSO                |   | PROYECTO RENTABLE   |   |   |
| 16 |  |   | TRATAMIENTO COMPLETO |   | PROYECTO RENTABLE   |   |   |
| 17 |  |   |                      |   |   |   |   |
| 18 |  |   |                      |   |   |   |   |
| 19 |  |   |                      |   |   |   |   |
| 20 |  |   |                      |   |   |   |   |
| 21 |  |   |                      |   |   |   |   |
| 22 |  |   |                      |   |   |   |   |



FIGURA 5.13. DESPLIEGUE DE RESULTADOS REFERENTES A LA TASA DE INTERNA DE RETORNO

| Archivo Edición Ver Insertar Formato Herramientas Datos Ventana |                                       |   |   |   |                               |   |
|---|---------------------------------------|---|---|---|-------------------------------|---|
|   | A                                     | B | C | D                                       | E                             | F |
| 1   | <b>TASA DE RETORNO MÁXIMA DESEADA</b> |   |   |   |                               |   |
| 2   |                                       |   |   |   |                               |   |
| 3   | CONCEPTO                              |   |   | TIR<br>MÁXIMA<br>DESEADA                | TASA<br>DE LOS<br>ACCIONISTAS |   |
| 4   | SANEAMIENTO                           |   |   | 8%                                      | 12%                           |   |
| 5   | REUSO                                 |   |   | 87%                                     | 12%                           |   |
| 6   | TRATAMIENTO COMPLETO                  |   |   | 30%                                     | 24%                           |   |
| 7   |                                       |   |   |   |                               |   |
| 8   | CONCEPTO                              |   |   | DICTAMEN FINANCIERO                     |                               |   |
| 9   | SANEAMIENTO                           |   |   | PROYECTO NO RENTABLE<br>PARA ACCIONISTA |                               |   |
| 10  | REUSO                                 |   |   | PROYECTO RENTABLE<br>PARA ACCIONISTAS   |                               |   |
| 11  | TRATAMIENTO COMPLETO                  |   |   | PROYECTO RENTABLE<br>PARA ACCIONISTAS   |                               |   |
| 12  |                                       |   |   |   |                               |   |
| 13  | REGRESAR<br>AL MENU<br>PRINCIPAL      |   |   |   |                               |   |
| 14  |                                       |   |   |   |                               |   |
| 15  |                                       |   |   |   |                               |   |
| 16  |                                       |   |   |   |                               |   |

## CAPITULO 6 CONCLUSIONES

El presente trabajo contribuye como una herramienta para un eficiente uso de los recursos destinados al saneamiento y reuso de las aguas tratadas, como se apreció en la introducción la situación que en México se presenta con relación al saneamiento es muy desalentadora, debido esto en gran medida a una deficiente evaluación de los proyectos realizados.

Es importante mencionar que la estructura de la tesis aquí presentada, obedece a que los proyectos sean abordados, como proyectos de inversión donde los inversionistas interesados en participar en los sistemas de tratamiento de aguas residuales, tengan cierta certeza al destinar recursos para este fin.

El estudio de mercado es una de las etapas más débiles dentro de este tipo de proyectos, debiendo dársele mayor importancia, ya que si no existe un fundamento mercadológico sustentable, el proyecto estará condenado al fracaso.

La información presentada en el estudio técnico, permite a los responsables de proyecto tener una visión general de las etapas que deberán cubrirse por la parte técnica, no se pretende de ninguna manera general un manual de diseño, sino establecer los criterios para la evaluación de este.

El estudio financiero aporta los elementos para realizar la evaluación de los trenes técnicamente viables, es importante recalcar que la forma en que fue abordada la distribución de los costos de tratamiento es una idea innovadora, cuya finalidad es establecer las condiciones más justas que permitan tanto al usuario que contamina como al que reusa el agua tratada poder pagar lo justo por los servicios prestados por el sistema de tratamiento.

Finalmente anexo a este trabajo se proporciona un sistema de computo que permite de manera ágil y practica tener los elementos de decisión para elegir la alternativa de tratamiento financieramente más rentable, esta aportación permitirá a los responsables de la evaluación financiera de los sistemas de tratamiento realizar sus funciones con un ahorro de tiempo significativo.

Finalmente no deberá perderse de vista que la problemática del saneamiento es sumamente compleja, por lo que el desarrollo y evaluación de proyectos de este tipo requiere de la participación multidisciplinaria, buscando en todo momento conjuntar los esfuerzos de especialistas de varias áreas del conocimiento con el fin de lograr proyectos de inversión en sistemas de tratamiento de aguas residuales que sean técnica, legal y socialmente viables, así como financieramente rentables.

## **Bibliografía**

Ackoff, R. L. (1983). **Planificación de la empresa del futuro** Ed. Limusa. México.

Ackoff, R.L. (1992). **Planeación de empresas. Un concepto.** Ed. Limusa - Noriega. México.

American Waterworks Association (1996c). **AWWA Conserv 96 Conference.** Orlando, Florida.

Baca, Gabriel U. (1996). **Evaluación de Proyectos.** McGraw-Hill, Tercera Edición México.

Biswas, A.K. (1996) **Agua para el mundo en desarrollo en el siglo XXI: temas e implicaciones.** Ingeniería Hidráulica en México. Vol XI No. 3. México.

Comisión Nacional del Agua (1996). **Instructivo para el establecimiento de condiciones particulares de descarga y evaluación de sistemas económicos de tratamiento con base en el nuevo marco normativo.** Contrato GSCA- 003.96. México.

Comisión Nacional del Agua (1997). **Ley Federal de Derechos en Materia de Agua.** México.

Comisión Nacional del Agua (1992). **Ley de Aguas Nacionales.** México.

Comisión Nacional del Agua (1991). **Estudio y manual para el manejo y disposición de las aguas de retorno agrícola.** México

Comunidad Económica Europea. (1991). **Diario Oficial de la Comunidad Económica Europea. Directiva del Consejo del 21 de mayo de 1991 sobre el tratamiento de las aguas residuales urbanas.** No.,L 135/40. Bruselas

Crook, J ;Okun, A.D., et. al.(1994). **Water Reuse Project 92'WRE'1.** WEF Research Foundation.

Coss, Raúl B. (1989). **Análisis y Evaluación de Proyectos de Inversión.** Limusa, Segunda Edición México.

Departamento del Distrito Federal .DGCOH.(1987). **Análisis de factibilidad técnica, económica y operacional de aplicación de normas para el reúso de aguas residuales tratadas en el Distrito Federal.** DHTA. Contrato No. 7331- 721-1.2. México.

Departamento del Distrito Federal .DGCOH.(1995). **Plan Maestro de Tratamiento y Reúso del Distrito Federal.** .México

Diario Oficial de la Federación del 6 de enero de 1997. Norma Oficial Mexicana; NOM-001-ECOL-1996.

Erossa, Victoria M. (1996). **Proyectos de Inversión en Ingeniería.** Limusa, Tercera Reimpresión México.

Grupo I.S.E.F. (1997). **Agenda Fiscal 97.** Ediciones fiscales I.S.E.F., Novena Edición México.

Jiménez, B. y J. Ramos (1996). **Reúso potencial del agua en México.** Federalismo y Desarrollo. No. Especial. Premio Banobras.

Kindzierski, W. (1997). **Health Effects Associated with Wastewater Treatment, Disposal and Reuse. (1997) Literature Review.** . Water Environment Research. Vol 69, No.4.

Mijailova, P. y E. Ramírez (1994). **El control de la contaminación del agua en México.** XXIV Congreso Interamericano de Ing. Sanitaria y Ambiental. Buenos Aires, Argentina.

Myers, Stewart C. (1995). **Fundamentals of Corporate Finance.** McGraw-Hill, International Edition United States of America.

Mujeriego, R. Ed. (1990). **Manual práctico de riego con agua residual municipal regenerada.** U. Politécnica de Cataluña.

Nacional Financiera. (1997) , **Guía para la Formulación y Evaluación de Proyectos de Inversión,** Nacional Financiera, S.N.C. 3° reimpresión México D.F.

National Academy of Sciences. (1995). **El suministro de agua en la Cd. de México. Mejorando la sustentabilidad.** Internet.

Organización Mundial de la Salud. (1973). **Reúso de efluentes: Métodos de tratamiento de aguas residuales y salud segura.** Serie de reportes técnicos No. 517. Ginebra.

Organización Mundial de la Salud, (1989). **Directrices sanitarias sobre el uso de aguas residuales en la agricultura y acuicultura.** Informe 778. Ginebra.

Organización Panamericana de la Salud, (1976). **Riesgos del ambiente humano para la salud** E.U.A.,

Richardson, A. and Shanon, J. (1996). **Treatment Technology.** 69th. Annual Water Environ. Fed. Tech. Exposition Conf, Dallas, Tex., 7,5.

Rojas, F., et. al. (1997). **Análisis costo- beneficio de la norma obligatoria para las descargas de aguas residuales a cuerpos nacionales.** Ing. Hidráulica. México.

Ross, Stephen A. (1995). **Finanzas Corporativas.** Irwin, Tercera Edición España.

Sámamo, C.S. y A. Noyola. (1996). **Análisis del costo de inversión y operación de sistemas de tratamiento de aguas residuales municipales para pequeñas poblaciones.** Federalismo y Desarrollo. Banobras. México.

Sancho y Cervera, J. (1995). **El agua: Perspectivas de su aprovechamiento y conservación en México.** (Propuesta de estrategia hacia el siglo XXI). Ing. Civil 3.12. Abril

Tarquin, Anthony J. (1992). **Ingeniería Económica.** McGraw-Hill, Tercera Edición Colombia

**ANEXO 1**  
**CALIDAD DEL AGUA REQUERIDA PARA DIFERENTES USO**

Norma Oficial Mexicana

**TABLA A-1.- NOM-001-ECOL-1996**

| PARÁMETROS<br>(miligramos por litro, excepto cuando se especifique) | CUERPOS RECEPTORES                        |  |                                 |  |   |                                      |           |                     |   |
|---|---|--|---------------------------------|--|---|--------------------------------------|-----------|---------------------|---|
|   | TIPO A                                    |  |                                 | TIPO B                                 |   |                                      |           |                     | TIPO C  |
|   | Ríos con uso de riego agrícola; Acuíferos | Aguas costeras con explotación pesquera, navegación y otros usos | Suelo con uso en riego agrícola | Ríos con uso público urbano; Acuíferos | Embalses naturales y artificiales con uso en riego agrícola | Aguas conteras con uso en recreación | Estuarios | Humedades naturales | Ríos con uso en protección de vida Acuática; embalses naturales con uso público urbano; Acuíferos |
|   | P.M.                                      | P.M.   | P.M.                            | P.M.                                   | P.M.  | P.M.                                 | P.M.      | P.M.                | P.M.  |
| Grasas y Aceites  | 15  | 15   | 15                              | 15                                     | 15  | 15                                   | 15        | 15                  | 15  |
| Sólidos Suspendidos Totales   | 150                                       | 150  | N.A.                            | 75                                     | 75  | 75                                   | 75        | 75                  | 40  |
| Demanda Bioquímica de Oxígeno                                       | 150                                       | 150  | N.A.                            | 75                                     | 75  | 75                                   | 75        | 75                  | 30  |
| Nitrógeno Total   | 40  | N.A.   | N.A.                            | 40                                     | 40  | N.A.                                 | 15        | N.A.                | 15  |
| Fósforo Total   | 20  | N.A.   | N.A.                            | 20                                     | 20  | N.A.                                 | 5         | N.A.                | 5   |
| Arsénico  | 0.2                                       | 0.1  | 0.2                             | 0.1                                    | 0.2   | 0.2                                  | 0.1       | 0.1                 | 0.1   |
| Cadmio  | 0.2                                       | 0.1  | 0.05                            | 0.1                                    | 0.2   | 0.2                                  | 0.1       | 0.1                 | 0.1   |
| Cianuros  | 2.0                                       | 1.0  | 2.0                             | 1.0                                    | 2.0   | 2.0                                  | 1.0       | 1.0                 | 1   |
| Cobre   | 4.0                                       | 4.0  | 4.0                             | 4.0                                    | 4.0   | 4.0                                  | 4.0       | 4.0                 | 4   |
| Cromo   | 1.0                                       | 0.5  | 0.5                             | 0.5                                    | 1.0   | 1.0                                  | 0.5       | 0.5                 | 0.5   |
| Mercurio  | 0.01                                      | 0.01   | 0.005                           | 0.005                                  | 0.01  | 0.01                                 | 0.01      | 0.005               | 0.005   |
| Níquel  | 2   | 2  | 2                               | 2                                      | 2   | 2                                    | 2         | 2                   | 2   |
| Plomo   | 0.5                                       | 0.2  | 5                               | 0.2                                    | 0.5   | 0.5                                  | 0.2       | 0.2                 | 0.2   |
| Zinc  | 10  | 10   | 10                              | 10                                     | 10  | 10                                   | 10        | 10                  | 10  |

(\*) Medidos de manera total

N.A.: No Aplica

P.M.: Promedio Mensual

Reúso urbano

**TABLA A-2.- CALIDAD DEL AGUA REQUERIDA PARA REÚSO URBANO (NO RESTRINGIDO).**

| Parámetro                             | Guías EPA     | Arizona                        | California                      | Nuevo México | NOM-003 ECOL-1996 |
|---------------------------------------|---------------|--------------------------------|---------------------------------|--------------|-------------------|
| Ph                                    | 6 - 9         | 4.5 - 9.0                      | -----                           | -----        | -----             |
| DBO <sub>5</sub> (mg/L)               | ≤ 10          | -----                          | -----                           | -----        | -----             |
| Turbiedad (NTU)                       | ≤ 2           | 5                              | 2                               | -----        | -----             |
| Coliformes Fecales (organismos/100ml) | No detectable | 25 (mediana)<br>75 (m. simple) | 2.2 (mediana)<br>23 (m. simple) | 100          | 240               |
| Cloro Residual (mg/L)                 | 1             | -----                          | -----                           | -----        | -----             |
| Huevos de Helminto (organismos/L)     | -----         | -----                          | -----                           | -----        | <1                |

Fuente: EPA, 1992. Proyecto de norma NOM-003-ECOL-1996

**TABLA A-3.- CALIDAD DEL AGUA REQUERIDA PARA REÚSO URBANO. (RESTRINGIDO)**

| Parámetro                             | Guías EPA | Estado de Arizona                  | California                      | Nuevo México | NOM-003 ECOL-1996 |
|---------------------------------------|-----------|------------------------------------|---------------------------------|--------------|-------------------|
| PH                                    | 6 - 9     | 4.5 - 9                            | -----                           | -----        | -----             |
| DBO <sub>5</sub> (mg/L)               | ≤ 30      | -----                              | -----                           | -----        | -----             |
| SS (mg/L)                             | ≤ 30      | -----                              | -----                           | -----        | -----             |
| Coliformes Fecales (organismos/100ml) | ≤ 200     | 200 (mediana)<br>1,000 (m. simple) | -----                           | 1,000        | <1,000            |
| Cloro Residual (mg/L)                 | 1         | -----                              | -----                           | -----        | -----             |
| Coliformes Totales (org/100 ml)       | -----     | -----                              | 23 (mediana)<br>240 (m. simple) | -----        | -----             |
| Huevos de Helminto (organismos/L)     | -----     | -----                              | -----                           | -----        | <5                |

(Acceso Restringido al área de irrigación (campo de pasto, sitios de silvicultura y otras áreas donde el acceso al público está prohibido, restringido o infrecuente)). Fuente: EPA, 1992. Proyecto de norma NOM-003-ECOL-1996

**TABLA A-4.- CALIDAD DEL AGUA REQUERIDA PARA REÚSO URBANO**

| PARAMETRO *                           | RESTRINGIDO |                   |         |                   | NO RESTRINGIDO |                   |         |                   |
|---------------------------------------|-------------|-------------------|---------|-------------------|----------------|-------------------|---------|-------------------|
|                                       | EPA 1992    | NOM-001 ECOL-1996 |         | NOM-003 ECOL-1996 | EPA 1992       | NOM-001 ECOL-1996 |         | NOM-003 ECOL-1996 |
|                                       |             | B                 | C       |                   |                | B                 | C       |                   |
| PH                                    | 6 - 9       | 5 - 10            | 5 - 10  | ----              | 6 - 9          | 5 - 10            | 5 - 10  | ----              |
| DBO <sub>5</sub>                      | < 30        | 75                | 30      | ----              | < 10           | 75                | 30      | ----              |
| Turbiedad (NTU)                       | ----        | ----              | ----    | ----              | < 2            | ----              | ----    | ----              |
| Sólidos Sedimentables                 | ----        | 1                 | 1       | ----              | ----           | 1                 | 1       | ----              |
| Coliformes Fecales (organismos/100ml) | < 200       | < 1,000           | < 1,000 | 1,000             | No Detectable  | < 1,000           | < 1,000 | 240               |
| Huevos de Helminto                    | ----        | 5                 | 5       | 5                 | ----           | 1                 | 1       | 1                 |
| Cloro Residual                        | 1           | ----              | ----    | ----              | 1              | ----              | ----    | ----              |
| Grasas y Aceites                      | ----        | 15                | 15      | ----              | ----           | 15                | 15      | ----              |
| Temperatura (°C)                      | ----        | 40                | 40      | ----              | ----           | 40                | 40      | ----              |
| Materia Flotante                      | ----        | Ausente           | Ausente | Ausente           | ----           | Ausente           | Ausente | Ausente           |
| Sólidos Suspendidos Totales           | < 30        | 75                | 40      | ----              | ----           | 75                | 40      | ----              |
| Nitrógeno Total                       | ----        | 40                | 15      | ----              | ----           | 40                | 15      | ----              |
| Fósforo Total                         | ----        | 20                | 5       | ----              | ----           | 20                | 5       | ----              |
| Arsénico                              | 0.1         | 0.1               | 0.1     | 0.1               | 0.1            | 0.1               | 0.1     | 0.1               |
| Cadmio                                | 0.1         | 0.1               | 0.1     | 0.1               | 0.01           | 0.1               | 0.1     | 0.1               |
| Cianuro                               | ----        | 1.0               | 1.0     | 1.0               | ----           | 1.0               | 1.0     | 1.0               |
| Cobre                                 | 0.2         | 4.0               | 4.0     | 4.0               | 0.2            | 4.0               | 4.0     | 4.0               |
| Cromo                                 | 0.1         | 0.5               | 0.5     | 0.5               | 0.1            | 0.5               | 0.5     | 0.5               |
| Mercurio                              | ----        | 0.005             | 0.005   | 0.005             | ----           | 0.005             | 0.005   | 0.005             |
| Níquel                                | 0.2         | 2                 | 2       | 2                 | 0.2            | 2                 | 2       | 2                 |
| Plomo                                 | 5.0         | 0.2               | 0.2     | 0.2               | 5.0            | 0.2               | 0.2     | 0.2               |
| Zinc                                  | 2.0         | 10                | 10      | 10                | 2.0            | 10                | 10      | 10                |
| Sólidos Disueltos Totales             | 500 - 2,000 | ----              | ----    | ----              | 500 - 2,000    | ----              | ----    | ----              |
| Aluminio                              | 5.0         | ----              | ----    | ----              | 5.0            | ----              | ----    | ----              |
| Berilio                               | 0.1         | ----              | ----    | ----              | 0.1            | ----              | ----    | ----              |
| Boro                                  | 0.75        | ----              | ----    | ----              | 0.75           | ----              | ----    | ----              |
| Cobalto                               | 0.05        | ----              | ----    | ----              | 0.05           | ----              | ----    | ----              |
| Fluoruro                              | 1.0         | ----              | ----    | ----              | 1.0            | ----              | ----    | ----              |
| Hierro                                | 5.0         | ----              | ----    | ----              | 5.0            | ----              | ----    | ----              |
| Litio                                 | 2.5         | ----              | ----    | ----              | 2.5            | ----              | ----    | ----              |
| Manganeso                             | 0.2         | ----              | ----    | ----              | 0.2            | ----              | ----    | ----              |
| Molibdenio                            | 0.01        | ----              | ----    | ----              | 0.01           | ----              | ----    | ----              |
| Selenio                               | 0.02        | ----              | ----    | ----              | 0.02           | ----              | ----    | ----              |
| Vanadio                               | 0.1         | ----              | ----    | ----              | 0.1            | ----              | ----    | ----              |

\* Todos los parámetros en mg/L, con excepción de pH y los indicados  
 Fuente : EPA, 1992 y NOM-001-ECOL -1996. (B y C son tipos de cuerpo receptor); proyecto de norma NOM-003-ECOL-1996.

Reúso agrícola.

TABLA A-5.- CALIDAD DEL AGUA REQUERIDA PARA REÚSO EN AGRICULTURA (CULTIVOS DE ALIMENTOS NO PROCESADOS COMERCIALMENTE).

| Parámetro                       | Guías EPA     | Arizona                         | California                      | Nuevo México |
|---------------------------------|---------------|---------------------------------|---------------------------------|--------------|
| PH                              | 6 - 9         | 4.5 - 9                         | -----                           | -----        |
| DBO <sub>5</sub> (mg/L)         | 10            | -----                           | -----                           | -----        |
| Turbiedad (NTU)                 | 2             | 1                               | 2                               | -----        |
| Coliformes Fecales(org/100 ml)  | No detectable | 2.2 (mediana)<br>25 (m. simple) | -----                           | -----        |
| Cloro Residual (mg/L)           | 1             | -----                           | -----                           | -----        |
| Coliformes Totales (org/100 ml) | -----         | -----                           | 2.2 (mediana)<br>23 (m. simple) | -----        |

Fuente. EPA, 1992.

TABLA A-6.- CALIDAD DEL AGUA REQUERIDA PARA REÚSO EN AGRICULTURA (CULTIVOS DE ALIMENTOS COMERCIALMENTE PROCESADOS, IRRIGACIÓN SUPERFICIAL DE HUERTOS Y VIÑEDOS)

| Parámetro                       | Guías EPA | Arizona                            | California       | Nuevo México |
|---------------------------------|-----------|------------------------------------|------------------|--------------|
| PH                              | 6 - 9     | 4.5 - 9                            | -----            | -----        |
| DBO <sub>5</sub> (mg/L)         | ≤ 30      | -----                              | -----            | -----        |
| SS (mg/L)                       | ≤ 30      | -----                              | -----            | -----        |
| Coliformes Fecales (org/100 ml) | ≤ 200     | 1000 (mediana)<br>2500 (m. simple) | -----            | 1,000        |
| Cloro Residual (mg/L)           | 1         | -----                              | -----            | -----        |
| Coliformes Totales (org/100 ml) | -----     | -----                              | 2.2<br>(mediana) | -----        |

Fuente. EPA, 1992.

TABLA A-7.- CALIDAD DEL AGUA REQUERIDA PARA REÚSO EN AGRICULTURA (PARA CULTIVOS NO ALIMENTICIOS, PASTURA PARA ANIMALES LECHEROS, PIENSO, FIBRA Y CULTIVOS DE SEMILLA).

| Parámetro                       | Guías EPA | Arizona                           | California | Nuevo México |
|---------------------------------|-----------|-----------------------------------|------------|--------------|
| PH                              | 6 - 9     | 4.5 - 9                           | -----      | -----        |
| DBO <sub>5</sub> (mg/L)         | ≤ 30      | -----                             | -----      | -----        |
| SS (mg/L)                       | ≤ 30      | -----                             | -----      | -----        |
| Coliformes Fecales (org/100 ml) | ≤ 200     | 100 (mediana)<br>4000 (m. simple) | -----      | ≤ 1,000      |
| Cloro Residual (mg/L)           | 1         | -----                             | -----      | -----        |
| Coliformes Totales (org/100 ml) | -----     | -----                             | -----      | -----        |

Fuente: EPA, 1992.



**TABLA A-8.- LIMITES RECOMENDADOS DE ELEMENTOS TRAZA Y SÓLIDOS DISUELTOS PARA IRRIGACIÓN CON AGUA TRATADA.**

| PARÁMETRO                        | USO A LARGO PLAZO<br>(mg/L) | USO A CORTO PLAZO<br>(mg/L) |
|----------------------------------|-----------------------------|-----------------------------|
| Aluminio                         | 5.0                         | 20.0                        |
| Arsénico                         | 0.10                        | 2.0                         |
| Berilio                          | 0.10                        | 0.5                         |
| Boro                             | 0.75                        | 2.0                         |
| Cadmio                           | 0.01                        | 0.05                        |
| Cloro                            | 0.1                         | 1.0                         |
| Cobalto                          | 0.05                        | 5.0                         |
| Cobre                            | 0.2                         | 5.0                         |
| Flúor                            | 1.0                         | 15.0                        |
| Hierro                           | 5.0                         | 20.0                        |
| Plomo                            | 5.0                         | 10.0                        |
| Litio                            | 2.5                         | 2.5                         |
| Manganeso                        | 0.2                         | 10.0                        |
| Molibdeno                        | 0.01                        | 0.05                        |
| Níquel                           | 0.2                         | 2.0                         |
| Selenio                          | 0.02                        | 0.02                        |
| Vanadio                          | 0.1                         | 1.0                         |
| Zinc                             | 2.0                         | 10.0                        |
| <b>OTROS PARÁMETROS</b>          |                             |                             |
| <b>PARÁMETRO</b>                 | <b>LIMITE RECOMENDADO</b>   |                             |
| Sólidos Disueltos Totales (mg/L) | 500 - 2,000 (mg/L)          |                             |

\*FUENTE: EPA 1992.

**TABLA A-9.- CALIDAD DEL AGUA REQUERIDA PARA REÚSO AGRÍCOLA**

| <b>AGRÍCOLA</b>                  |                                       |                              |                                 |                    |                              |                       |
|----------------------------------|---------------------------------------|------------------------------|---------------------------------|--------------------|------------------------------|-----------------------|
| <b>PARÁMETRO</b>                 | <b>NO RESTRINGIDO</b>                 |                              |                                 | <b>RESTRINGIDO</b> |                              |                       |
|                                  | <b>EPA 1992</b>                       | <b>NOM-001<br/>ECOL-1996</b> | <b>DGCOH<br/>1987</b>           | <b>EPA 1992</b>    | <b>NOM-001<br/>ECOL-1996</b> | <b>DGCOH<br/>1987</b> |
| pH                               | 6 - 9                                 | 5 - 10                       | 7 - 8                           | 6 - 9              | 5 - 10                       | 7 - 8                 |
| DBO <sub>5</sub> (mg/L)          | < 10                                  | ----                         | 20                              | < 30               | ----                         | 50                    |
| Turbiedad (NTU)                  | < 2                                   | ----                         | 10                              | ----               | ----                         | 20                    |
| Sólidos Suspendidos (mg/L)       | ----                                  | ----                         | 100                             | < 30               | ----                         | 100                   |
| Coliformes Fecales (org/100 ml)  | No Detectable                         | < 1,000                      | 1,000                           | < 200              | < 1,000                      | 10,000                |
| Cuenta Estándar (Col/mL)         | ----                                  | ----                         | 200                             | ----               | ----                         | 200                   |
| Huevos de Helminto               | ----                                  | 1                            | 1                               | ----               | 5                            | 1                     |
| Cloro Residual (mg/L)            | 1                                     | ----                         | 0.2                             | 1                  | ----                         | 0.2                   |
| Grasas y Aceites (mg/L)          | ----                                  | 15                           | V.L.*                           | ----               | 15                           | V.L.*                 |
| Materia Flotante                 | ----                                  | Ausente                      | ----                            | ----               | Ausente                      | ----                  |
| Sólidos Disueltos Totales (mg/L) | 500 - 2,000                           | ----                         | 2,000                           | 500 - 2,000        | ----                         | 2,000                 |
| <b>PARÁMETRO</b>                 | <b>RESTRINGIDOS Y NO RESTRINGIDOS</b> |                              |                                 |                    |                              |                       |
|                                  | <b>EPA (1992) (mg/L)</b>              |                              | <b>DGCOH 1987</b>               |                    |                              |                       |
|                                  |                                       |                              | <b>NOM-001 ECOL-1996 (mg/L)</b> |                    |                              |                       |
| Aluminio                         | 5.0                                   |                              | 5.0                             |                    |                              |                       |
| Arsénico                         | 0.10                                  |                              | 0.10                            |                    |                              |                       |
| Berilio                          | 0.10                                  |                              | ----                            |                    |                              |                       |
| Boro                             | 0.75                                  |                              | 1.0                             |                    |                              |                       |
| Cadmio                           | 0.01                                  |                              | 0.01                            |                    |                              |                       |
| Cloro                            | 0.1                                   |                              | ----                            |                    |                              |                       |
| Cianuro                          | ----                                  |                              | 2.0                             |                    |                              |                       |
| Cobalto                          | 0.05                                  |                              | ----                            |                    |                              |                       |
| Cobre                            | 0.2                                   |                              | 0.2                             |                    |                              |                       |
| Cromo                            | ----                                  |                              | 0.1                             |                    |                              |                       |
| Fluoruro                         | 1.0                                   |                              | 1.0                             |                    |                              |                       |
| Hierro                           | 5.0                                   |                              | 5.0                             |                    |                              |                       |
| Plomo                            | 5.0                                   |                              | 5.0                             |                    |                              |                       |
| Litio                            | 2.5                                   |                              | ----                            |                    |                              |                       |
| Manganeso                        | 0.2                                   |                              | 0.2                             |                    |                              |                       |
| Mercurio                         | ----                                  |                              | 0.005                           |                    |                              |                       |
| Molibdeno                        | 0.01                                  |                              | ----                            |                    |                              |                       |
| Niquel                           | 0.2                                   |                              | 2.0                             |                    |                              |                       |
| Selenio                          | 0.02                                  |                              | 0.02                            |                    |                              |                       |
| Vanadio                          | 0.1                                   |                              | ----                            |                    |                              |                       |
| Zinc                             | 2.0                                   |                              | 2.0                             |                    |                              |                       |

Fuente : EPA, 1992; NOM-001 Ecol 1996  
 Nota: \* V.L. virtualmente libre.

Reúso industrial

Reúso en enfriamiento

**TABLA A-10.- CALIDAD DEL AGUA REQUERIDA EN AGUA PARA ENFRIAMIENTO (SISTEMAS DE RECIRCULACIÓN).**

| PARAMETRO *                            | WPCF 1989 | GUIAS EPA 1992 | DGCOH 1987 |
|--|-----------|----------------|------------|
| Cloruro                                | 500       | ----           |            |
| Sólidos Disueltos Totales              | 500       | ----           | 1,200      |
| Dureza                                 | 650       | ----           | 325        |
| Alcalinidad                            | 350       | ----           | 300        |
| PH                                     | 6.9 – 9.0 | 6 – 9          | 5 – 8.3    |
| Demanda Química de Oxígeno             | 75        | ----           | 75         |
| Sólidos Suspendidos Totales            | 100       | ≤ 30           | 500        |
| Turbiedad                              | 50        | ----           | 10         |
| Demanda Bioquímica de Oxígeno          | 25        | ≤ 30           | 20         |
| Sustancias Activas al Azul de Metileno | 1.0       | ----           | 0.5        |
| Nitrógeno Amoniacal                    | 1.0       | ----           | 0.5        |
| Fosfatos                               | 4         | ----           | 1.0        |
| Óxido de Silicio                       | 50        | ----           | ----       |
| Aluminio                               | 0.1       | ----           | 1.0        |
| Hierro                                 | 0.5       | ----           | 0.5        |
| Manganeso                              | 0.5       | ----           | 0.5        |
| Calcio                                 | 50        | ----           | ----       |
| Magnesio                               | 0.5       | ----           | ----       |
| Bicarbonato                            | 24        | ----           | ----       |
| Sulfatos                               | 200       | ----           | 700        |
| DBO <sub>5</sub> (mg/L)                | ----      | ≤ 30           | ----       |
| Cuenta Estandar (Col/ml)               | ----      | ----           | 2,000      |
| Coliformes Totales (org/100 ml)        | ----      | ----           | 10,000     |
| Coliformes Fecales (org/100 ml)        | ----      | ≤ 200          | ----       |
| Cloro Residual (mg/L)                  | ----      | 1              | 0.2        |

\*Todos los valores en mg/L con excepción del pH. Fuente: Water Pollution Control Federation, 1989; EPA, 1992; DGCOH, 1987. El estado de Arizona, establece los criterios según sea el caso de estudio, en los estados de California y Nuevo México no se establece ningún parámetro.

Reúso de agua para calderas

TABLA A-11 CALIDAD DEL AGUA REQUERIDA PARA REÚSO DE AGUA EN CALDERAS.

| PARAMETRO *                            | WPCF                         |                                      |                              |
|--|------------------------------|--------------------------------------|------------------------------|
|  | Baja presión<br>(< 150 psig) | Presión Intermedia<br>(150-700 psig) | Presión Alta<br>(> 700 psig) |
| Silica                                 | 30                           | 10                                   | 0.7                          |
| Aluminio                               | 5                            | 0.1                                  | 0.01                         |
| Hierro                                 | 1                            | 0.3                                  | 0.05                         |
| Manganeso                              | 0.3                          | 0.1                                  | 0.01                         |
| Calcio                                 | *                            | 0.4                                  | 0.01                         |
| Magnesio                               | **                           | 0.25                                 | 0.01                         |
| Amonio                                 | 0.1                          | 0.1                                  | 0.1                          |
| Bicarbonato                            | 170                          | 120                                  | 48                           |
| Sulfato                                | **                           | **                                   | **                           |
| Cloruro                                | **                           | **                                   | **                           |
| Sólidos Disueltos                      | 700                          | 500                                  | 200                          |
| Cobre                                  | 0.5                          | 0.05                                 | 0.05                         |
| Zinc**                                 | 0.01                         | 0.01                                 | **                           |
| Dureza                                 | 350                          | 1.0                                  | 0.07                         |
| Alcalinidad                            | 350                          | 100                                  | 40                           |
| PH                                     | 7 – 10                       | 8.2 – 10                             | 8.2 - 9                      |
| Sustancias Activas al Azul de Metileno | 1                            | 1                                    | 0.5                          |
| Tetracloruro de Carbono (Extracto)     | 1                            | 1                                    | 0.5                          |
| Demanda Química de Oxígeno             |                              | 5                                    | 1.0                          |
| Ácido Sulfhídrico                      | **                           | **                                   | **                           |
| Oxígeno Disuelto                       | 2.5                          | 0.007                                | 0.0007                       |
| Temperatura °F                         | **                           | **                                   | **                           |
| Sólidos Suspendidos                    | 10                           | 5                                    | 0.5                          |

\*Todos los valores en mg/L , excepto pH., \*\*Las concentraciones encontradas nunca han sido un problema.  
Fuente: EPA, 1992.

Reúso para servicios

TABLA A-12.- CALIDAD DEL AGUA REQUERIDA PARA REÚSO PARA SERVICIOS.

| PARAMETRO *                              | RESTRINGIDO |                   |         |                       | NO RESTRINGIDO |                   |         |                       |
|--|-------------|-------------------|---------|-----------------------|----------------|-------------------|---------|-----------------------|
|  | EPA<br>1992 | NOM-001-ECOL-1996 |         | NOM-003-<br>ECOL-1996 | EPA<br>1992    | NOM-001-ECOL-1996 |         | NOM-003-ECOL-<br>1996 |
|  |             | B                 | C       |                       |                | B                 | C       |                       |
| PH                                       | 6 - 9       | 5 - 10            | 5 - 10  | ---                   | 6 - 9          | 5 - 10            | 5 - 10  | ---                   |
| DBO <sub>5</sub>                         | < 30        | 75                | 30      | ---                   | < 10           | 75                | 30      | ---                   |
| Turbiedad (NTU)                          | ---         | ---               | ---     | ---                   | < 2            | ---               | ---     | ---                   |
| Sólidos Sedimentables                    | ---         | 1                 | 1       | ---                   | ---            | 1                 | 1       | ---                   |
| Coliformes Fecales<br>(organismos/100ml) | < 200       | < 1,000           | < 1,000 | 1,000                 | No Detectable  | < 1,000           | < 1,000 | 240                   |
| Huevos de Helminto                       | ---         | 5                 | 5       | 5                     | ---            | 1                 | 1       | 1                     |
| Cloro Residual                           | 1           | ---               | ---     | ---                   | 1              | ---               | ---     | ---                   |
| Grasas y Aceites                         | ---         | 15                | 15      | ---                   | ---            | 15                | 15      | ---                   |
| Temperatura (°C)                         | ---         | 40                | 40      | ---                   | ---            | 40                | 40      | ---                   |
| Materia Flotante                         | ---         | Ausente           | Ausente | Ausente               | ---            | Ausente           | Ausente | Ausente               |
| Sólidos Suspendedos<br>Totales           | < 30        | 75                | 40      | ---                   | ---            | 75                | 40      | ---                   |
| Nitrógeno Total                          | ---         | 40                | 15      | ---                   | ---            | 40                | 15      | ---                   |
| Fósforo Total                            | ---         | 20                | 5       | ---                   | ---            | 20                | 5       | ---                   |
| Arsénico                                 | 0.1         | 0.1               | 0.1     | 0.1                   | 0.1            | 0.1               | 0.1     | 0.1                   |
| Cadmio                                   | 0.1         | 0.1               | 0.1     | 0.1                   | 0.01           | 0.1               | 0.1     | 0.1                   |
| Cianuro                                  | ---         | 1.0               | 1.0     | 1.0                   | ---            | 1.0               | 1.0     | 1.0                   |
| Cobre                                    | 0.2         | 4.0               | 4.0     | 4.0                   | 0.2            | 4.0               | 4.0     | 4.0                   |
| Cromo                                    | 0.1         | 0.5               | 0.5     | 0.5                   | 0.1            | 0.5               | 0.5     | 0.5                   |
| Mercurio                                 | ---         | 0.005             | 0.005   | 0.005                 | ---            | 0.005             | 0.005   | 0.005                 |
| Niquel                                   | 0.2         | 2                 | 2       | 2                     | 0.2            | 2                 | 2       | 2                     |
| Plomo                                    | 5.0         | 0.2               | 0.2     | 0.2                   | 5.0            | 0.2               | 0.2     | 0.2                   |
| Zinc                                     | 2.0         | 10                | 10      | 10                    | 2.0            | 10                | 10      | 10                    |
| Sólidos Disueltos<br>Totales             | 500 - 2,000 | ---               | ---     | ---                   | 500 - 2,000    | ---               | ---     | ---                   |
| Aluminio                                 | 5.0         | ---               | ---     | ---                   | 5.0            | ---               | ---     | ---                   |
| Berilio                                  | 0.1         | ---               | ---     | ---                   | 0.1            | ---               | ---     | ---                   |
| Boro                                     | 0.75        | ---               | ---     | ---                   | 0.75           | ---               | ---     | ---                   |
| Cobalto                                  | 0.05        | ---               | ---     | ---                   | 0.05           | ---               | ---     | ---                   |
| Fluoruro                                 | 1.0         | ---               | ---     | ---                   | 1.0            | ---               | ---     | ---                   |
| Hierro                                   | 5.0         | ---               | ---     | ---                   | 5.0            | ---               | ---     | ---                   |
| Litio                                    | 2.5         | ---               | ---     | ---                   | 2.5            | ---               | ---     | ---                   |
| Manganeso                                | 0.2         | ---               | ---     | ---                   | 0.2            | ---               | ---     | ---                   |
| Molibdenio                               | 0.01        | ---               | ---     | ---                   | 0.01           | ---               | ---     | ---                   |
| Selenio                                  | 0.02        | ---               | ---     | ---                   | 0.02           | ---               | ---     | ---                   |
| Vanadio                                  | 0.1         | ---               | ---     | ---                   | 0.1            | ---               | ---     | ---                   |

\* Todos los parámetros en mg/L, con excepción de pH y los indicados

Fuente : EPA, 1992 y NOM-001-ECOL -1996. (B y C son tipos de cuerpo receptor); proyecto de norma NOM-003-ECOL-1996.

Reúso para actividades acuícolas

TABLA A-13.- CALIDAD DEL AGUA REQUERIDA PARA SU REÚSO EN ACUACULTURA.

| PARAMETRO *                           | OMS, 1989                  | NOM-001-ECOL 1996 ** |         |
|---------------------------------------|----------------------------|----------------------|---------|
|                                       |                            | PM                   | PD      |
| Huevos de Helminto                    | Ausencia de Huevos Viables | -----                | -----   |
| Coliformes Fecales (Media Geométrica) | $\leq 10^3$ nmp/100ml      | 1,000                | 2,000   |
| Conductividad                         | -----                      | -----                | -----   |
| Fósforo                               | -----                      | -----                | -----   |
| Temperatura °C                        | -----                      | 40                   | 40      |
| Grasas y Aceites                      | -----                      | 15                   | 25      |
| Sólidos Sedimentables (mg/L)          | -----                      | 1                    | 2       |
| Materia Flotante                      | -----                      | Ausente              | Ausente |
| Sólidos Suspendidos Totales           | -----                      | 40                   | 60      |
| DBO <sub>5</sub>                      | -----                      | 30                   | 60      |
| Nitrógeno Total                       | -----                      | 15                   | 25      |
| Fósforo Total                         | -----                      | 5                    | 10      |

OMS = Organización Mundial de la Salud , 1989.

\* mg/L, excepto cuando se especifica.

\*\* Criterios de Calidad del Agua para la Protección de la Vida Acuática, 1996.

PM= Promedio Mensual.

PD= Promedio Diario.

Reúso para actividades recreativas

TABLA A-14.- CALIDAD DEL AGUA REQUERIDA PARA EL REÚSO RECREATIVO (NO RESTRINGIDO).

| PARAMETRO                      | GUIAS EPA     | ARIZONA            | CALIFORNIA        | NUEVO MÉXICO | DGCOH 1987 |
|--------------------------------|---------------|--------------------|-------------------|--------------|------------|
| PH                             | 6 - 9         | 6.5 - 9.0          | -----             | -----        | 6.5 - 8.3  |
| Coliforme Fecal (org/100ml)    | No detectable | 200 (1)<br>800 (2) | -----             | -----        | -----      |
| Turbiedad ( N.T.U. )           | $\leq 2$      | 1                  | 2                 | -----        | 10         |
| Coliformes Totales (org/100ml) | -----         | -----              | 2.2 (1)<br>23 (2) | -----        | 1,000      |
| DBO <sub>5</sub> (mg/L)        | $\leq 10$     | -----              | -----             | -----        | 20         |
| Cloro Residual ( mg/L)         | 1             | -----              | -----             | -----        | 0.2        |
| Cuenta standar (Col/mL)        | -----         | -----              | -----             | -----        | 200        |

FUENTE: EPA, 1992; DGCOH, 1987. (1) Mediana, (2) M. simple

**TABLA A-15.- CALIDAD DEL AGUA REQUERIDA PARA REÚSO RECREATIVO (RESTRINGIDO)**

| PARÁMETRO                         | GUIAS<br>EPA | ARIZONA             | CALIFORNIA | NUEVO<br>MÉXICO | DGCOH<br>1987 |
|-----------------------------------|--------------|---------------------|------------|-----------------|---------------|
| PH                                | ----         | 6.5 - 9.0           | ----       | ----            | 6.5 - 8.3     |
| Coliforme Fecal<br>(org/100ml)    | ≤ 200        | 100 (1)<br>4000 (2) | ----       | ----            | ----          |
| Turbiedad NTU                     | ----         | 5                   | ----       | ----            | 15            |
| Coliformes Totales<br>(org/100ml) | ----         | ----                | 2.2 (1)    | ---             | 5,000         |
| DBO <sub>5</sub> (mg/L)           | ≤ 30         | ----                | ----       | ----            | 100           |
| SS (mg/L)                         | ≤ 30         | ----                | ----       | ----            | 500           |
| Cloro Residual (mg/L)             | 1            | ----                | ----       | ----            | 0.2           |
| Cuenta standar (Col/mL)           | ----         | ----                | ----       | ----            | 1,000         |

FUENTE: EPA, 1992, DGCOH 1987.(1) Mediana, (2) M. simple

Reúso para recarga de acuíferos

TABLA A-16 CALIDAD DEL AGUA REQUERIDA PARA SU REÚSO EN LA RECARGA DE ACUÍFEROS.

| PARAMETRO   | EPA (1992)*   | DGCCH, 1987* | NOM-008 ECOL-1997** |              |              |
|---|---------------|--------------|---------------------|--------------|--------------|
|   |               |              | VULNERABILIDAD      |              |              |
| GENERALES   |               |              | ALTA                | MEDIA        | BAJA         |
| Sólidos Disueltos Totales (mg/L)                    | 500           | 500          | 1,000               | -----        | -----        |
| PH  | 6.5 - 8.5     | 7 - 9        | 5 - 10              | 5 - 10       | 5 - 10       |
| Turbiedad (NTU)                                     | 1.0           | 5            | -----               | -----        | -----        |
| Color   | 15.0          | 5            | -----               | -----        | -----        |
| Asbesto, Millón de Fibras/L                         | 7.0           | -----        | -----               | -----        | -----        |
| Cloro residual (mg/L)                               | 1.0           | 0.2          | -----               | -----        | -----        |
| Sustancias Activas al Azul de Metileno (mg/L)       | 0.5           | 0.5          | -----               | -----        | -----        |
| Temperatura °C                                      | -----         | -----        | 40                  | 40           | 40           |
| Grasas y Aceites                                    | -----         | 0            | 15                  | 15           | 15           |
| Materia Flotante                                    | -----         | -----        | Ausente             | Ausente      | Ausente      |
| Sólidos Sedimentables (mL/L)                        | -----         | -----        | 1                   | 1            | 1            |
| Sólidos Suspensivos Totales (mg/L)                  | -----         | 2            | 40                  | 75           | 150          |
| DBO <sub>5</sub> (mg/L)                             | -----         | 2.5          | 30                  | 75           | 150          |
| Dureza Total (como CaCO <sub>3</sub> )              | -----         | 500          | 500                 | -----        | -----        |
| <b>MICROBIOLÓGICAS</b>                              |               |              |                     |              |              |
| Coliformes Totales (org/100ml)                      | 1             | 1,000        | -----               | -----        | -----        |
| Coliformes Fecales (org/100ml)                      | No detectable | -----        | 200                 | 1,000        | 1,000        |
| Huevos de Helminto (organismos/L)                   | -----         | 0            | 5.0                 | No se aplica | No se aplica |
| Cuenta Estándar (Col/ml)                            | -----         | 200          | -----               | -----        | -----        |
| <b>INORGANICOS (mg/L)</b>                           |               |              |                     |              |              |
| Arsénico  | 0.05          | 0.5          | 0.1                 | 0.1          | 0.2          |
| Cadmio  | 0.01          | 0.01         | 0.1                 | 0.1          | 0.2          |
| Cloruro   | 250           | 250          | 300                 | -----        | -----        |
| Cromo   | 0.05          | 0.05         | 0.5                 | 0.5          | 1.0          |
| Cobre   | 1.0           | 1.0          | 4                   | 4            | 4            |
| Cianuro   | 0.2           | 0.2          | 1                   | 1            | 2            |
| Hierro Total  | 0.3           | 0.3          | 0.4                 | -----        | -----        |
| Fluoruros   | 2.0           | 1.5          | 2.0                 | -----        | -----        |
| Fósforo Total                                       | -----         | 1            | 5                   | 20           | 20           |
| Manganeso Total                                     | 0.05          | -----        | 0.2                 | -----        | -----        |
| Mercurio  | 0.002         | 0.002        | 0.005               | 0.005        | 0.01         |
| Nitrógeno - Nitrato                                 | 10            | 10           | 10                  | 30           | 30           |
| Nitrógeno - Nitrito                                 | 1             | 0.1          | -----               | -----        | -----        |
| Nitrógeno Amónico                                   | -----         | 0.5          | 1                   | 5            | 5            |
| Níquel  | 0.1           | 0.05         | 2                   | 2            | 2            |
| Selenio   | 0.01          | 0.01         | -----               | -----        | -----        |
| Sulfatos  | 250           | 250          | 500                 | -----        | -----        |
| Plomo   | 0.05          | 0.05         | 0.2                 | 0.2          | 0.5          |
| Zinc  | 5             | 5            | 10                  | 10           | 10           |
| Bario   | 1.0           | 1            | -----               | -----        | -----        |
| Plata   | 0.05          | 0.05         | -----               | -----        | -----        |
| Talio   | 0.002         | -----        | -----               | -----        | -----        |
| Relación de Adsorción de sodio (RAS) (adimensional) | -----         | 6            | 3.0                 | -----        | -----        |

Fuente: EPA (1992); anteproyecto de norma NOM-008-CNA-1997; DGCCH, 1987

\*Por inyección dentro de acuíferos potables

\*\*Este anteproyecto de Norma no especifica si es aplicable la recarga de acuíferos por inyección directa o por infiltración (El N° de contraproyecto de norma asignado es a diciembre de 1997)



## ANEXO 2 CASO DE APLICACIÓN

En este capítulo se presenta la aplicación de la metodología descrita durante los capítulos anteriores, el caso de estudio seleccionado es la situación del reuso de agua tratada para un parque recreativo en la ciudad de Celaya, Gto.

### Estudio de Mercado

A través de los años Celaya se ha transformado continuamente, rodeada por Ciudades importantes como son: Querétaro, Irapuato, Cortazar, Salamanca, San Miguel de Allende, Silao, León y muchas otras Ciudades todas ellas a menos de 150 Km. de distancia.

Celaya tiene una inmejorable ubicación, con acceso por los cuatro puntos cardinales, vías de comunicación terrestre y aérea. La buena comunicación que tiene la Ciudad es un factor importante por su movimiento de población en todo su entorno.

Además es una ciudad que se encuentra en vías de desarrollo, sin embargo, experimenta problemas propios de las ciudades desarrolladas por tener un considerable potencial industrial, así como problemas propios de las ciudades poco desarrolladas por tener sectores que no se han incorporado a los procesos de desarrollo y modernización.

El Plan Director Urbano prevé que la Ciudad incrementará su tasa de crecimiento poblacional de 4,8 a un 5,2% anual, lo que representa que para el año 2000 tendrá una población de 529,715 habitantes.

Las actividades principales serán la presentación de servicios especializados, la industrialización de productos metal - mecánicos, alimentos, transformación y la producción agrícola.

Para adecuar estas condicionantes, la nueva estructura urbana de la Ciudad complementará a la existente en una labor conjunta de ordenamiento y funcionalidad integral, formada por una estructura vial primaria jerarquizada y sus áreas servidas habitacionales y de equipamiento.

La mala distribución del equipamiento urbano, ha dejado zonas con graves carencias, ha ocasionado la saturación del suelo urbano, provocando la ausencia casi total de áreas verdes, espacios abiertos y zonas recreativas.

La necesidad de conservar y diversificar las tierras agrícolas de alta rentabilidad nos lleva a restringir el crecimiento urbano hacia esas zonas, creando reservas ecológicas, áreas de preservación territorial y parques urbanos.

"El grupo Xochipilli, A.C" nace en respuesta a una convocatoria abierta, el 17 de agosto de 1995, como una asociación civil integrada por una serie heterogénea de personas, con muy diversas actividades y ocupaciones, y cuyos objetivos son el impulsar la cultura ecológica, fomentar el deporte y la convivencia familiar, preservar un medio ambiente sano, proporcionar espacios

para manifestaciones artístico – culturales, fomentar la participación ciudadana y favorecer, en general, todas aquellas actividades que tengan un efecto positivo en nuestra Ciudad.

Hacia el norte de la Ciudad existe una superficie de casi 20 hectáreas, conocidas como "Xochipilli", la ubicación es excelente para un Parque Urbano, ya que se encuentra ubicado sobre lo que conforma un anillo vial para la Ciudad (Avenida Torres Landa) y a su vez divide el terreno dos pares viales la Avenida Francisco Juárez y la calle Mariano Abasolo.

La zona destinada al Parque proveerá espacio libre para recreación y esparcimiento de la población, proteger y preservar las zonas de belleza o características únicas del medio natural, así mismo que dichos espacios provean de aire y la posibilidad de aumentar los espacios permeables que mantengan la absorción de agua hacia los niveles freáticos del subsuelo. Sobre la base de las definiciones anteriores, el proyecto del parque "Xochipilli" contemplara diversas actividades:

- Zona 1: Recreativa – Deportiva (71,980 m<sup>2</sup>).
- Zona 2: Convivencia Familiar (63,290 m<sup>2</sup>).
- Zona 3: Socio – Cultural (58,443 m<sup>2</sup>).

Las cuales tendrán ciertos requerimientos de agua que serán:

| Uso                        | Gasto Demandado (m <sup>3</sup> /día) |
|----------------------------|---------------------------------------|
| Sanitarios                 | 60                                    |
| Limpieza general           | 65                                    |
| Riego de areas verdes      | 600                                   |
| Vivero                     | 5                                     |
| Jardín botanico            | 5                                     |
| Reposición de agua al lago | 50                                    |
| <b>Total</b>               | <b>785</b>                            |

En la porción del territorio municipal, su característica más sobresaliente es la de que, la evaporación normalmente es sustancialmente mayor que al nivel de precipitaciones esto quiere decir que existe escasez de agua, por lo tanto las necesidades de agua dentro del Parque serán suministradas basándose en agua tratada por lo que se tiene contemplado un Sistema de Tratamiento de Aguas residuales para cubrir este problema.

Los costos de agua de primer uso son:

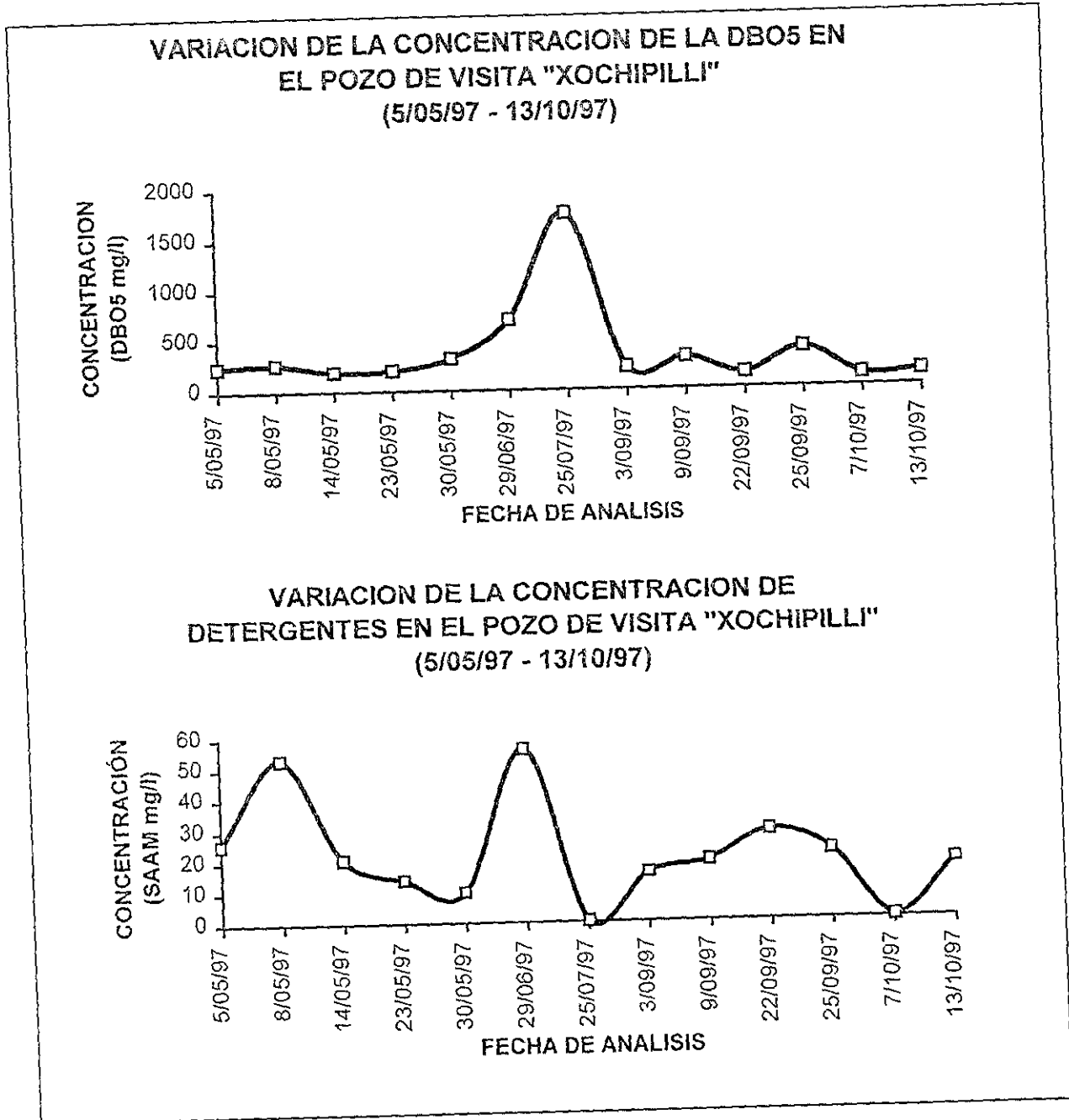
| Concepto                         | Costo (\$/m <sup>3</sup> ) |
|----------------------------------|----------------------------|
| Obtención del agua de primer uso | 1.56                       |

El parque se ubica dentro de la zona de disponibilidad 5 establecida en la Ley Federal de Derechos en Materia de Agua, y su abastecimiento actual es mediante agua subterránea, el pozo es operado por la Junta Municipal de Agua Potable y Alcantarillado de Celaya (JUMAPA)

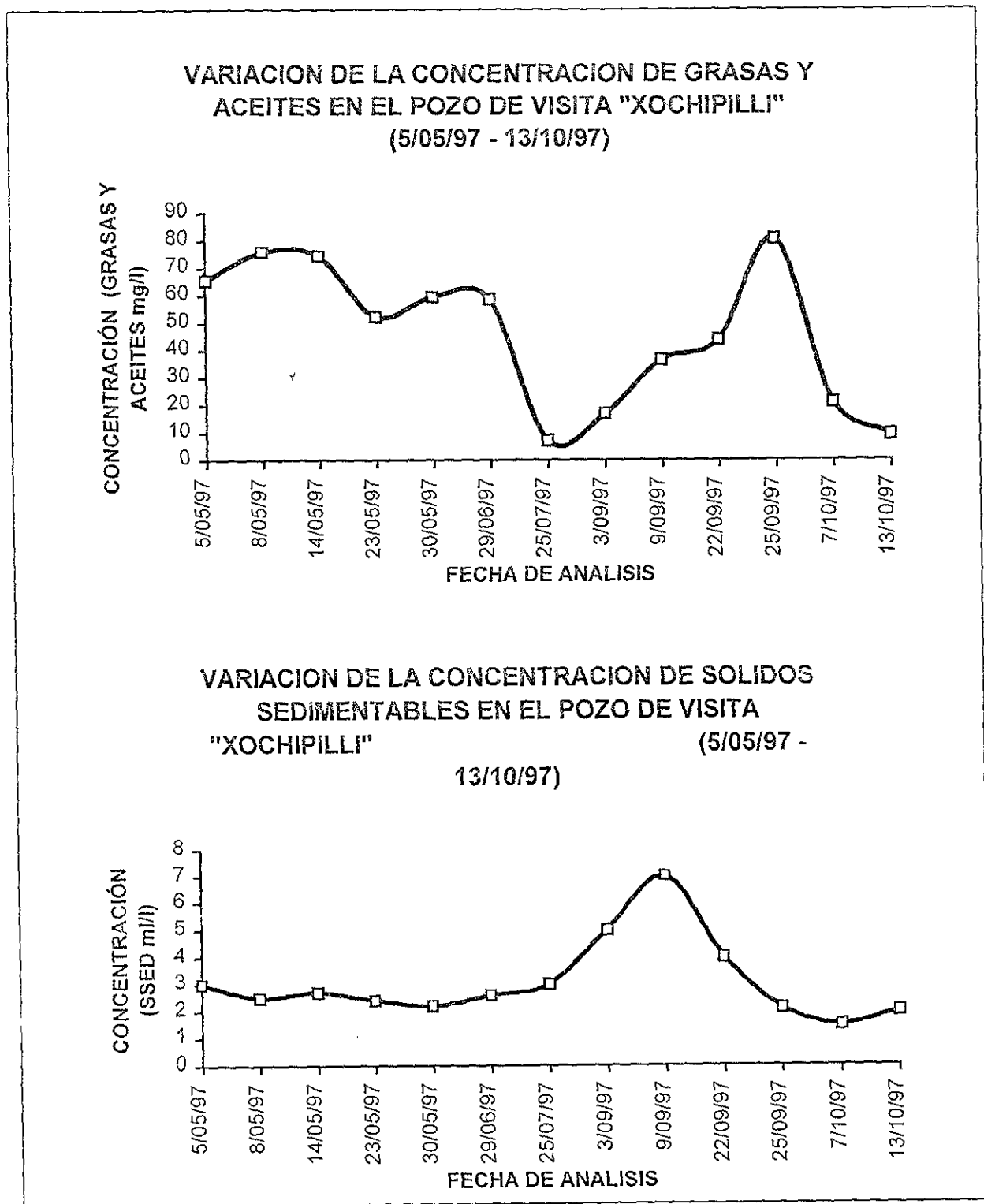
### Estudio Técnico

La caracterización del agua residual que se desea tratar proviene de uno de los colectores secundarios de la ciudad cuyas características del calidad del agua y gasto se presentan en las gráficas A.1. y A.2.

FIGURA A.1 GRÁFICAS DE LAS CARACTERÍSTICAS DEL AGUA RESIDUAL



CONTINUA FIGURA A.1



CONTINUA FIGURA A.1

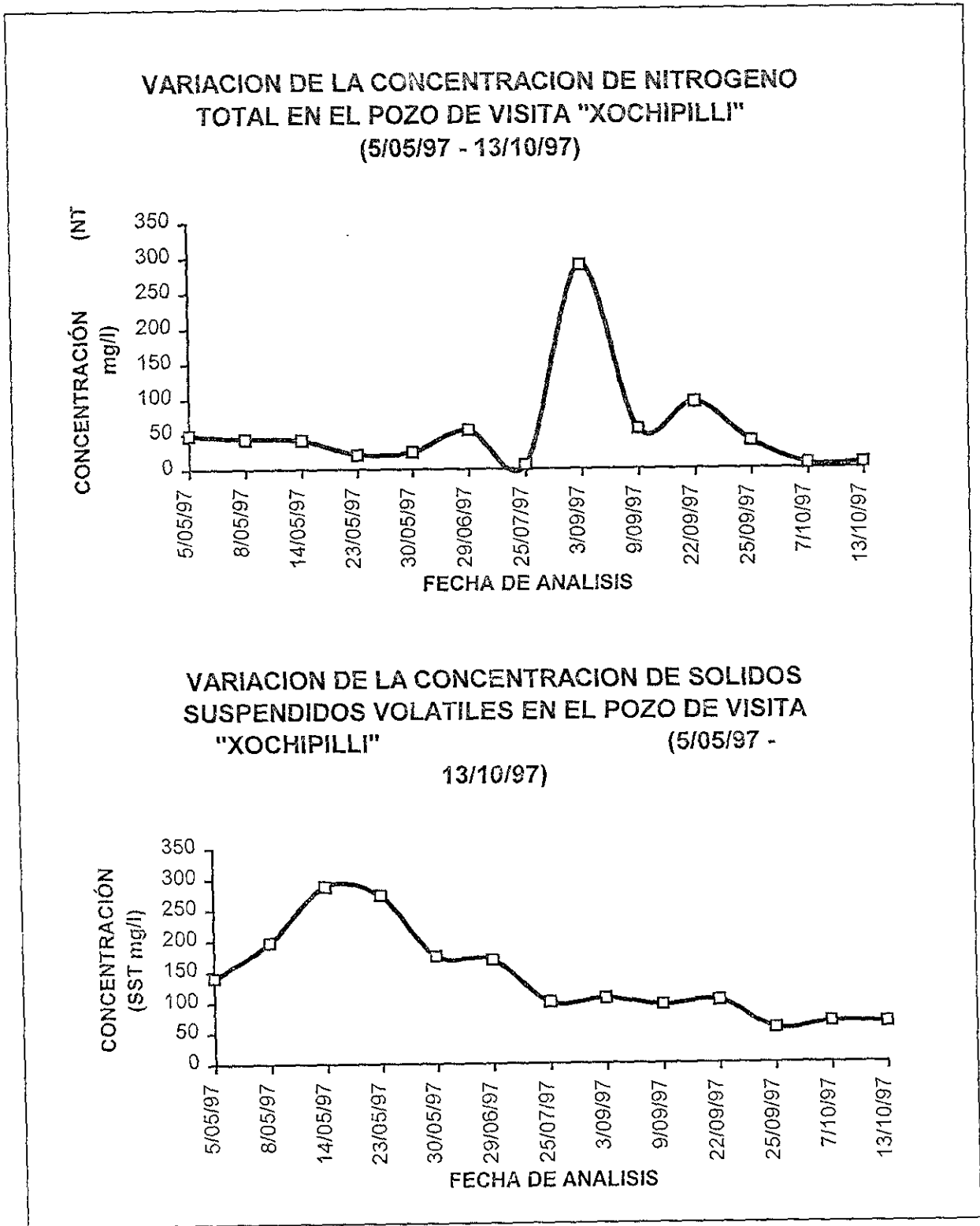
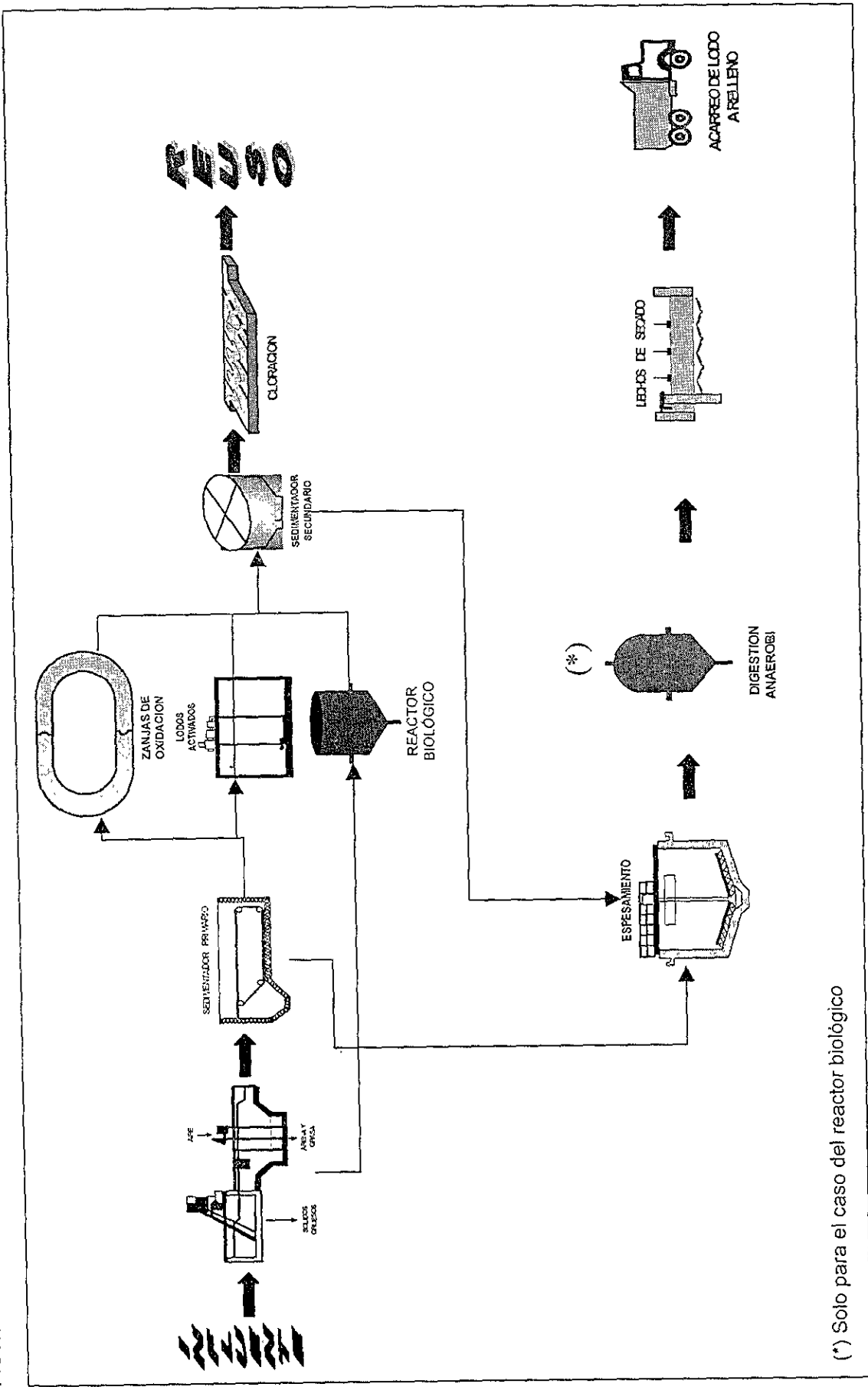


FIGURA A.3. TRENES DE TRATAMIENTO TECNICAMENTE VIABLES



(\*) Solo para el caso del reactor biologico

Los 3 trenes propuestos son los siguientes:

**TABLA A.2.1.- TRENES TECNICAMENTE VIABLES**

| Tren | Clave    | Tratamiento Secundario   | Tratamiento de lodos | Secado de lodos  |
|------|----------|--------------------------|----------------------|------------------|
| 1    | AE-LS    | Lodos Activados de A. E. | No Aplica            | Lechos de secado |
| 2    | ZO-LS    | Zanjas de Oxidación      | No Aplica            | Lechos de secado |
| 3    | RB-DN-LS | Reactor Biológico        | Digestión anaerobia  | Lechos de secado |

Posterior a la ingeniería básica y de detalle se obtuvieron los costos de terreno, inversión, operación y mantenimiento, los resultados se presentan a continuación:

**TABLA A.2.2.- INVERSIONES REQUERIDAS**

| Tren | Clave    | Inversión en terreno | Inversión en Obra Civil | Inversión en Obra Electromecánica | Total de la Inversión |
|------|----------|----------------------|-------------------------|-----------------------------------|-----------------------|
| 1    | AE-LS    | 1,071.00             | 253,898.00              | 440,852.00                        | 695,821.00            |
| 2    | ZO-LS    | 1,467.00             | 180,352.00              | 410,076.00                        | 591,895.00            |
| 3    | RB-DN-LS | 636.00               | 142,049.00              | 308,595.00                        | 451,280.00            |

**TABLA A.2.3.- COSTOS DE OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO**

| Tren | Clave    | Mano de obra | Energía   | Mantenimiento | Manejo de lodos | Total de costos de O y M |
|------|----------|--------------|-----------|---------------|-----------------|--------------------------|
| 1    | AE-LS    | 45,108.00    | 59,173.00 | 7,712.00      | 23,299.00       | 135,292.00               |
| 2    | ZO-LS    | 45,108.00    | 62,767.00 | 7,176.00      | 23,299.00       | 138,345.00               |
| 3    | RB-DN-LS | 45,108.00    | 47,339.00 | 6,170.00      | 23,299.00       | 121,916.00               |

## Estudio Financiero

Aplicando el software anexo al presente trabajo y alimentado con los datos del estudio de mercado y el estudio técnico se obtienen los siguientes resultados:

**TABLA A.2.4.- COSTOS DE AGUA DE PRIMER USO , DE AGUA TRATADA**

| Tren | Clave    | Costos de agua de primer uso (\$/m <sup>3</sup> ) | Costo de agua tratada (\$/m <sup>3</sup> ) | Factibilidad financiera |
|------|----------|---|--|-------------------------|
| 1    | AE-LS    | 1.70  | 1.05                                       | <b>Viable</b>           |
| 2    | ZO-LS    | 1.70  | 0.96                                       | <b>Viable</b>           |
| 3    | RB-DN-LS | 1.70  | 0.79                                       | <b>Viable</b>           |

## Conclusiones del caso

Como se aprecia en la tabla A.2.4. los 3 trenes son viables financieramente, ya que ninguno rebasa los costos de agua de primer uso, por lo tanto se deberá elegir el de menor costo por metro cubico de agua tratada, que para nuestro caso es el tren del Reactor Biológico.