

10
2g.



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA
DE MÉXICO

FACULTAD DE QUÍMICA



EXÁMENES PROFESIONALES
FAC. DE QUÍMICA

“EL AGUA EN LA PRODUCCIÓN DE
ALIMENTOS”

TRABAJO MONOGRÁFICO DE ACTUALIZACIÓN

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:
QUÍMICA DE ALIMENTOS
P R E S E N T A
ADRIANA CHEW LÓPEZ



MÉXICO, D. F.

1998

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

267631



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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

JURADO ASIGNADO:

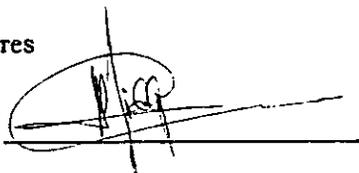
| | |
|---------------|---|
| Presidente | Prof. Gómez Ríos María de Lourdes |
| Vocal | Prof. Hidalgo Torres Miguel Ángel |
| Secretario | Prof. Calderón Villagómez Hilda Elizabeth |
| 1er. Suplente | Prof. Villaseñor Gutiérrez Ruth |
| 2do. Suplente | Prof. Severiano Pérez Patricia |

Sitio donde se desarrolló el tema:

COMISIÓN NACIONAL DEL AGUA
GERENCIA REGIONAL DE AGUAS DEL VALLE DE MÉXICO
AV. RÍO CHURUBUSCO 650, 4° PISO. MÉXICO, D. F.

Asesor del tema:

Ingeniero Químico Miguel Angel Hidalgo Torres

A handwritten signature in black ink, appearing to read 'M. A. Hidalgo Torres', written over a horizontal line.

Sustentante:

Adriana Chew López.

A handwritten signature in black ink, appearing to read 'Adriana Chew López', written over a horizontal line.

Con todo mi amor y respeto quiero agradecer a...

Dios mi luz y compañía,

*Carlos y Carmen, mis padres, por su dedicación, ejemplo y amor,
Beatriz y José Carlos, mis hermanos, por su amistad incondicional,*

Lenin, mi esposo, por los detalles de hoy y de mañana,

Y todas las personas que participaron a lo largo de mi desarrollo.

LA BELLEZA

*Hermosa soy, mortales, como un sueño de piedra,
y mi seno en que todos, por turno se han herido,
creóse con el fin de inspirar al poeta
un amor mudo, eterno, igual que la materia.*

*Yo reino en el azul, esfinge incomprendida.
A un corazón de nieve uno el bláncor del cisne;
detesto el movimiento que desplaza las líneas,
y no lloro jamás, y nunca jamás río.*

*Los poetas al ver mis nobles actitudes
que semejan la copia de airoso monumentos,
consumirán sus días en austeros estudios,*

*pues para fascinar tan dóciles amantes
tengo, puros espejos que todo lo hermosean,
mis ojos, ¡grandes ojos de eternas claridades!*

Carlos Baudelaire.

EL AGUA EN LA PRODUCCIÓN DE ALIMENTOS

ÍNDICE

| | |
|---|-----|
| INTRODUCCIÓN | 1 |
| 1. ANTECEDENTES | 4 |
| 1.1 CICLO HIDROLÓGICO | 6 |
| 1.2 USOS DEL AGUA | 10 |
| 1.3 VALLE DE MÉXICO | 16 |
| 2. EL AGUA EN LA PRODUCCIÓN DE ALIMENTOS | 23 |
| 2.1 USO AGRÍCOLA | 25 |
| 2.2 USO PECUARIO | 34 |
| 2.3 USO EN ACUICULTURA | 36 |
| 2.4 USO INDUSTRIAL | 38 |
| 3. TIPOS DE FUENTES DE ABASTECIMIENTO | 51 |
| 3.1 FUENTES SUPERFICIALES | 53 |
| 3.2 FUENTES SUBTERRÁNEAS | 56 |
| 3.3 ANÁLISIS DEL CONSUMO DE AGUA | 70 |
| 4. CALIDAD DEL AGUA EN LA REGIÓN XIII VALLE DE MÉXICO | 75 |
| 4.1 CALIDAD DEL AGUA E IMPACTO AMBIENTAL | 75 |
| 4.2 NORMALIZACIÓN Y REGLAMENTACIÓN DEL AGUA POTABLE | 89 |
| 4.3 TRATAMIENTOS PARA POTABILIZACIÓN DEL AGUA | 95 |
| 5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES | 106 |
| BIBLIOGRAFÍA | 121 |

INTRODUCCIÓN

El agua es la sustancia de mayor importancia en la vida del hombre, extendiendo esta condición a todos los seres vivos que habitan el planeta tierra, desde los microorganismos, insectos, plantas y hasta los grandes mamíferos, todos nosotros dependemos de ella tanto en la esencia como en los usos que para su mejor provecho ha encontrado la humanidad, como son: la higiene, la agricultura, los procesos y los servicios públicos entre otros. Como elemento fundamental de lo que denominamos medio ambiente, el agua al igual que el aire, obliga para una mejor calidad su devolución al medio natural por un reciclaje que no la altere ni la vicie, para poder así, reutilizarse en otros fines dependiendo de sus cualidades.

Actualmente la demanda de este recurso no solo implica una cantidad suficiente, también se requiere un rápido desarrollo de auténticos estándares de calidad en distribución y abastecimiento, así como del recurso mismo. De esta manera se elevará la calidad del servicio y de los productos que la incluyen.

La creciente escasez de agua dulce amenaza la producción de alimentos, la salud de los ecosistemas, la estabilidad social e incluso la paz internacional; considerada hoy en día como un bien económico, amén de sus verdaderas cualidades, la disminución de este recurso puede lesionar gravemente la

agricultura e industria, porque mientras la población siga aumentando, existe una mayor demanda de alimentos y por consiguiente una mayor necesidad de agua para su producción. Los gobiernos de las diferentes naciones coinciden en la necesidad de aumentar las inversiones en tecnología, que ayude a conservar o aumentar la eficiencia de sus redes de filtración, suministro y reciclaje, ya que la deficiencia en estos procedimientos, arroja como consecuencias el aumento en las enfermedades entéricas, asociadas a la ingesta de agua y alimentos contaminados.

La producción de alimentos naturales o procesados involucra agua, verbigracia: en la bebida del ganado, en el riego de cultivos, en el lavado de materia prima, en formulación de productos y en procesos térmicos. La calidad para cada caso juega un papel crucial. El agua con alto contenido en sales puede ser peligrosa cuando es consumida por el ganado ya que puede ocasionar su mortandad o afectar la calidad de su carne y leche, haciéndolas inadecuadas para consumo humano (19), la destinada a fines agrícolas debe cuidar su calidad, tanto microbiológica como química, porque puede ocasionar contagio de enfermedades entéricas o intoxicaciones. En el caso de alimentos procesados, el agua requerida dentro del producto debe observar las normas de agua potable, y la requerida durante el proceso varía según la operación de que se trate. Todo esto aumenta la importancia de su distribución y de la calidad destinada para este sector, ya que se encuentra involucrada, de manera directa, la salud del consumidor.

Es sabido que en la zona del Valle de México se encuentra la mayor concentración de habitantes en nuestro país, además de numerosas industrias y algunos cultivos, que requieren un considerable abastecimiento de agua para diversos fines. Se cree que debido a la explosión demográfica existente y a la pérdida de valorización con respecto al uso de este recurso, se vive una situación crítica en la distribución del mismo. Además se piensa que la calidad del líquido en muchos casos no es aceptable y mucho menos para la industria de alimentos. Esto será analizado en el presente estudio, considerando la cantidad y calidad del agua extraída en la región, su consumo y su reutilización; de ésta manera se podrán proponer acciones dirigidas al mejoramiento en su empleo en la producción de alimentos, con el objetivo de promover la autosuficiencia (por lo menos en lo que se refiere al recurso hídrico) de esta sección del territorio nacional.

1. ANTECEDENTES

El agua juega un papel primordial en el desarrollo de los seres vivos en tal grado que se puede considerar como la base de la vida. La mayor parte del organismo humano está formado por agua, de hecho el 80% del protoplasma de la mayoría de las células lo es, y cualquier reducción sustancial en su porcentaje ocasiona graves problemas, ya que es esencial como regulador de la temperatura corporal, portador de nutrientes y productos de desecho; reactivo y medio de reacción y estabilizante en la conformación de polímeros, así como probable mediadora en la conducta dinámica de las macromoléculas, además de sus propiedades catalíticas (enzimáticas); en suma, la mayoría de las reacciones bioquímicas que ocurren en el metabolismo y crecimiento de las células involucran agua. (6)

El agua es una sustancia incolora, inodora e insabora; compuesto estable denominado disolvente universal; es una buena fuente de energía. La Tierra es, de los nueve planetas, el que posee gran cantidad de ésta, la mayoría líquida, existiendo también sólida y como vapor en la atmósfera; océanos, lagos, ríos y campos de hielo, abarca cerca de las tres cuartas partes de la superficie terrestre, (en el agua salada por cada 100 L de agua, hay 3.5 Kg de sales minerales, quedando tan solo un 0.6% de agua dulce, que se encuentra en lagos, ríos y manantiales, filtrándose por suelos y rocas se encuentran las aguas subterráneas a diversas profundidades). (6)

El agua sigue sustentando todas las formas de vida, constituyendo el primero de sus alimentos después del aire. Es necesaria en la higiene de los organismos y de su ambiente; por cientos de millones de años ha sido uno de los principales agentes en la estructuración y reestructuración de la superficie terrestre, además determina el clima y forma parte de los suelos que nutren a los diferentes ecosistemas.

Al aparecer el hombre sobre la Tierra, su máxima preocupación era subsistir, por lo que las regiones naturales, ricas en agua, animales de caza y pesca eran su hogar provisional, satisfaciendo sus necesidades primarias, hasta cambiar de estación. Finalmente la familia como unidad de consumo y producción se asienta en zonas idóneas, donde el agua era el factor "sine qua non". Tan importante es, que dio origen a grandes civilizaciones e imperios y en ocasiones fue causa de su destrucción. Cuando se ubicaron en las zonas adecuadas, surgieron mercados, dando así lugar al ensanchamiento y desarrollo de ciertos núcleos, que evolucionaron y mejoraron su nivel de vida.

El crecimiento de la población creó nuevos y mejores medios de comunicación para comerciar y transformar productos, lo que da por resultado la implantación de la industria, con el aumento de las necesidades de agua, hasta sobrepasar con ellas a los recursos con los que la zona contaba; suficientes para los primeros pobladores pero no para grandes civilizaciones.

Con la explosión demográfica, la demanda de alimentos crece, siendo necesarias más zonas de cultivo y por ende se requieren mayores cantidades de agua, sin olvidar que para conservar los caudales debe regularse la disposición del recurso.

Desde un punto de vista biológico, el volumen total del agua, no crece ni disminuye. Esto sucede cuando se lleva a cabo el ciclo hidrológico.

1.1 CICLO HIDROLÓGICO

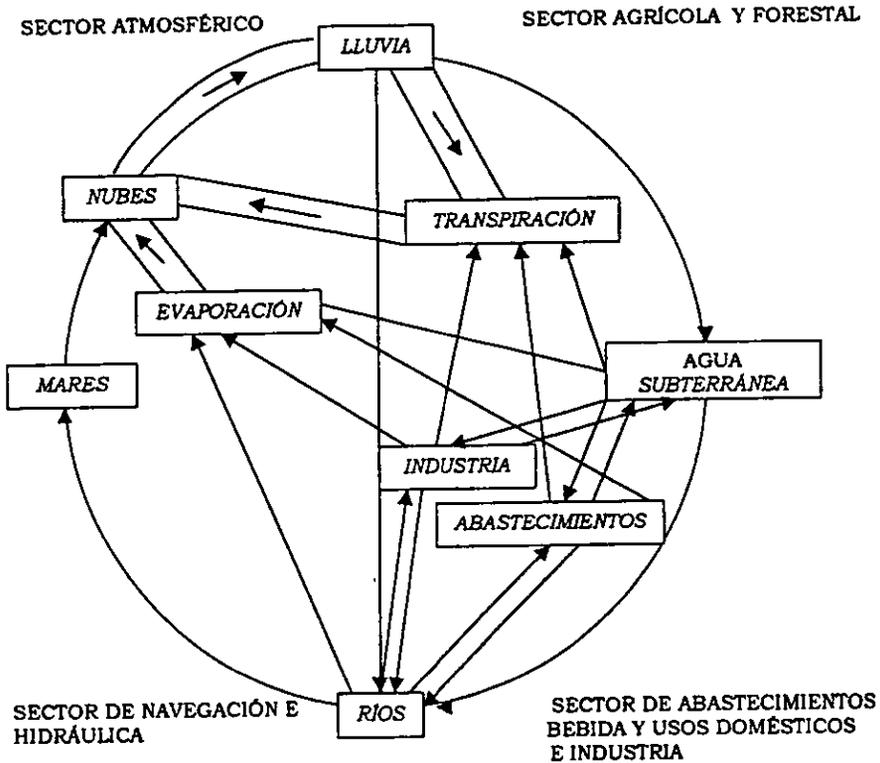
La idea del ciclo hidrológico llevó al hombre a la comprensión de que el agua escapa de la superficie, vuelve a ella en igual cantidad y da origen a una interminable circulación del recurso. Comienza con la precipitación pluvial de una nube en forma de lluvia, nieve o granizo; si es en estado líquido se introduce en el subsuelo y una parte va a dar a ríos, lagos y océanos; en estado sólido se forman glaciares, que al descongelarse forman corrientes de agua que podrán tener los destinos mencionados para infiltrarse. Simultáneamente el ciclo empieza por la evaporación del agua en suelos, ríos, lagos, hojas de los árboles y sobre todo de los océanos, formando las nubes que retornarán el recurso al enfriarse rápidamente, en forma de chubascos. (6)

Se puede dividir el ciclo en una fase atmosférica ya descrita, y en una fase subterránea, debido a que, cuando el agua de lluvia penetra en la tierra

quizá tarde siglos y hasta milenios en reincorporarse. El movimiento de aguas subterráneas es diverso, pero lo cierto es que existen reservorios llamados acuíferos, en los cuales el agua puede estar confinada o no. La etapa de más larga duración del ciclo termina cuando el agua subterránea emerge a la superficie. La descarga del agua infiltrada que llega a los acuíferos se provoca de varias maneras: manantiales, descarga artificial y transpiración de las plantas. Pueden existir descargas difusas que se evaporan o que alimentan ríos y lagos.

En la actualidad, el ciclo del agua se realiza con algunas modificaciones. Según Schmidt (1949) (1) representa parte de la complejidad que ha tomado, debido al crecimiento de la población y de sus necesidades. Este nuevo ciclo ha traído graves problemas.

FIGURA 1
CICLO DEL AGUA SEGÚN SCHMIDT (1)



En primer lugar las gotas de lluvia saturadas con nitrógeno, oxígeno y otros gases de la atmósfera, durante su caída captan polvo, partículas de smog y humo; en el suelo se dirigen a la corriente abierta más cercana, arrastrando lodo, vegetación en putrefacción, microorganismos, materia coloidal suspendida y otros contaminantes que pueden ser disueltos en el agua. (Figura 1)

Por otra parte el agua que se infiltra disuelve CO_2 , haciéndose más ácida, y minerales como Ca, Mg, Fe, Mn, sulfatos, silicatos y cloruros. El agua en las corrientes naturales, aún antes de la intervención del hombre, nunca ha sido pura, siempre ha variado su calidad, pero hoy en día la contaminación de aguas superficiales y subterráneas ha aumentado desmesuradamente, afectando así los ecosistemas y la vida del ser humano. (3)

La explotación de acuíferos tampoco ha sido controlada, y la recarga de los mismos disminuye con el aumento de la población, por la expansión de las ciudades y de los complejos industriales. Por lo tanto, si el hombre desde la antigüedad tenía que cuidar la elección de su fuente de abastecimiento, ahora debe ser más exigente tanto en la elección como en el mantenimiento de la misma.

1.2 USOS DEL AGUA

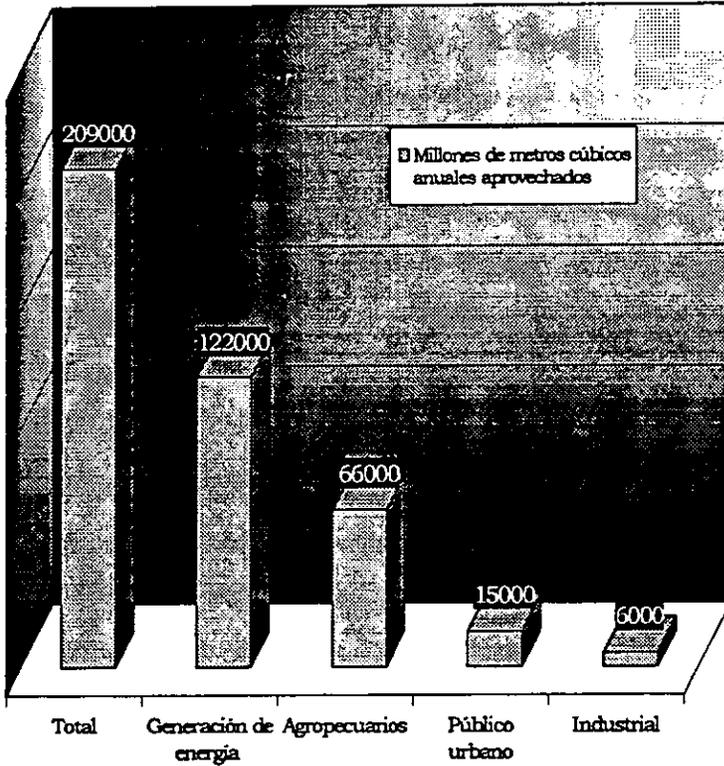
La valoración que da el hombre a este recurso es muy baja hasta que se encuentra sin él. Necesita agua para alimentarse, bañarse, para el cultivo, para apagar incendios, en procesos industriales, vías de comunicación, fuentes de energía, etc. El siguiente cuadro, resume los diferentes usos del agua:

TABLA 1
USOS DEL AGUA (1)

| | | | |
|---------------|------------|--|---|
| Usos del agua | Doméstico | Bebida Usos domésticos | Higiene personal Higiene de la vivienda Vehículo para eliminar residuos varios, etc. |
| | Comercial | Higiene Vías de comunicación | |
| | Industrial | Fuente de energía Incorporada a diversos productos manufacturados Como elemento auxiliar de fabricación Como refrigerante o transportador de calor Agua para fines generales | |
| | Agrícola | Riego Lavado de terrenos, etc. | |
| | Público | Demanda de incendios Higiene de las poblaciones, etc. | |

En México, el aprovechamiento del agua disponible ha sido determinado por condiciones históricas, geográficas, políticas y económicas diversas, por lo que su asignación no siempre favorece de la mejor manera el desarrollo nacional.

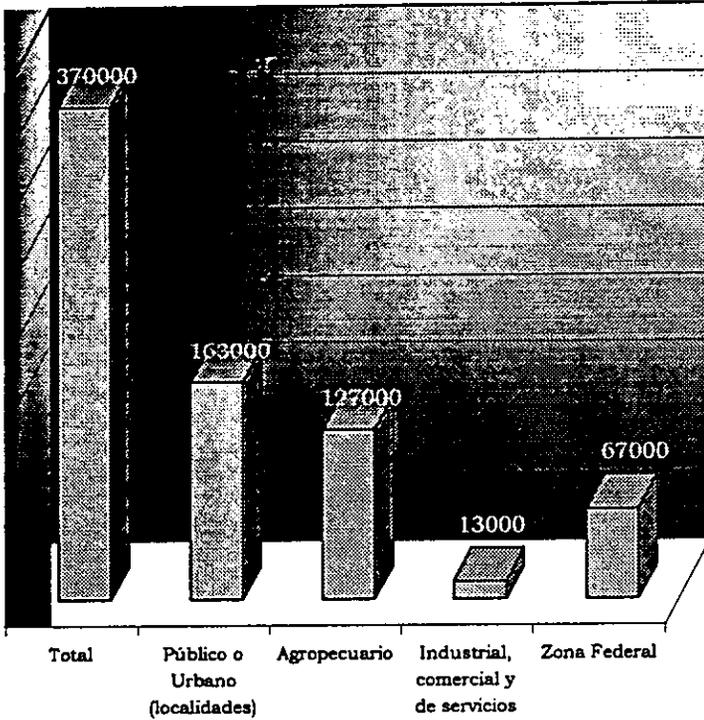
FIGURA 2
USOS DEL AGUA



(16)

De los 209,000 millones de m³ anuales aprovechados en todo el país, sólo el 31.57% es destinado para el campo mexicano y menos del 3% es utilizado por las industrias, ya que la mayor parte se destina a la generación de energía eléctrica.

FIGURA 3
NÚMERO DE USUARIOS



(16)

No todos los usuarios están registrados, pero de los datos que se tienen el mayor porcentaje es de los de uso público y urbano (44.05%), siguiendo los de uso agropecuario (34.32) y finalmente los del industrial (3.51%)

Para la mayoría de estos usos es de primordial interés controlar la calidad del agua, ya que ligeras variaciones en el contenido de alguna de las

sustancias presentes, puede alterar sensiblemente su calidad hasta convertirla en inservible y en ocasiones en altamente peligrosa para la salud.

La razón de mayor importancia concerniente al hombre con la calidad del agua, es la protección de la salud pública, por lo que el tratamiento del líquido es necesario para controlar enfermedades como el cólera y la tifoidea, recientemente la atención se dirige a las enfermedades virales como la hepatitis. Por lo anterior, actividades como la agricultura, ganadería e industria alimentaria, deben tener un mayor cuidado del agua utilizada para el riego, bebida para el ganado y dentro del proceso de algún alimento, ya que esto influirá directamente en las cualidades de los productos obtenidos en cada actividad. El agua es el principal componente de la mayoría de los alimentos, como se aprecia en la siguiente tabla:

TABLA 2
CONTENIDOS DE AGUA DE DIVERSOS ALIMENTOS (5)

| ALIMENTO | CONTENIDO DE AGUA % |
|--|---------------------|
| CARNES | |
| De cerdo, cruda, compuesta de cortes magros | 53-60 |
| Vacuna, cruda, cortes de venta al pormenor | 50-70 |
| De pollo, de todas clases, carne cruda sin piel | 74 |
| Pescado, proteínas musculares | 65-81 |
| FRUTAS | |
| Bayas, cerezas, peras | 80-85 |
| Manzanas, melocotones, naranjas, pomelos | 85-90 |
| Rapónicos, fresas, tomates | 90-95 |
| VERDURAS | |
| Aguacates, plátanos, guisantes (verdes) | 74-80 |
| Remolachas, brécoles, zanahorias, patatas | 80-90 |
| Espárragos, judías (verdes), coles, coliflores, lechugas | 90-95 |

El agua, en la cantidad, localización y orientación correctas es crucial para los procesos vitales e influye profundamente también en la estructura, aspecto, sabor de los alimentos y en su susceptibilidad a la alteración.

La Carta Europea del Agua (4) resume puntos críticos en el aprovechamiento o consumo del recurso, los cuales aplican en aquél y cualquier otro continente; si se tuviera una carta similar americana, ayudaría a la evolución de nuestros países, sobre todo México y su población del Valle, donde es menester desarrollar una cultura del agua con la que concienticemos que sin ella no hay alimentos y mucho menos vida.

CARTA EUROPEA DEL AGUA

- Sin agua no hay vida posible. Es un bien preciado, indispensable a toda actividad humana.
- Los recursos en agua dulce no son inagotables. Es indispensable preservarlos, controlarlos y, si es posible, acrecentarlos.
- Alterar la calidad del agua es perjudicar la vida del hombre y de los otros seres vivos que de ella dependen.
- La calidad del agua debe ser preservada de acuerdo con normas adaptadas a los diversos usos previstos, y satisfacer, especialmente, las exigencias sanitarias.
- Cuando las aguas, después de utilizadas, se reintegran a la naturaleza, no deberán comprometer el uso ulterior, público o privado, que de ésta se haga.
- El mantenimiento de la cobertura vegetal adecuada preferentemente forestal, es esencial para la conservación de los recursos hídricos.
- Los recursos hídricos deben inventariarse.
- Para una adecuada administración del agua es preciso que las autoridades competentes establezcan el correspondiente plan.
- La protección de las aguas implica un importante esfuerzo tanto en la investigación científica, como en la preparación de especialistas y en la información del público.
- El agua es un patrimonio común cuyo valor debe ser reconocido por todos. Cada uno tiene el deber de utilizarla con cuidado y no desperdiciarla.
- La administración de los recursos hidráulicos debiera ser más bien en el marco de las cuencas naturales que en el de las fronteras administrativas y políticas.

El agua no tiene fronteras. Es un recurso común que necesita la cooperación internacional.

1.3 VALLE DE MÉXICO

En México la disponibilidad del agua difiere según la región del país, porque además de los factores climáticos, que de por sí ya la determinan, existen los factores políticos y sociales, así como diversas actividades productivas. Por lo anterior, el gobierno federal por medio de la Comisión Nacional del Agua (C.N.A.) implantó una organización basada en criterios hidrológicos, en la cual se consideran 13 regiones conformadas por una o más cuencas, cuyas funciones principales son:

- ❖ Reunir la información relativa al ciclo hidrológico y a los diversos usos del agua.
- ❖ Actualizar el padrón de usuarios.
- ❖ Determinar la disponibilidad de agua, a nivel acuífero, cuenca y subcuenca, con base en la NOM correspondiente.
- ❖ Expedir títulos de concesión de derechos de agua y bienes nacionales.
- ❖ Otorgar permisos de descarga para aguas residuales.
- ❖ Identificar casos de sobreexplotación y sobre concesionamiento.
- ❖ Elaborar proyectos de reglamentos de operación, que permitan llevar las extracciones a nivel de sustentabilidad.
- ❖ Participar en la solución de conflictos entre usuarios
- ❖ Proveer de información y apoyo técnico a los consejos de cuenca. (13)

Las gerencias regionales referidas son:

- I. Península de Baja California
- II. Alto Noroeste
- III. Bajo Noroeste
- IV. Pacífico Centro
- V. Pacífico Sur
- VI. Frontera Norte
- VII. Cuencas Centrales del Norte
- VIII. Lerma-Santiago
- IX. Golfo Norte
- X. Golfo Centro
- XI. Golfo Sur
- XII. Península de Yucatán
- XIII. Valle de México. (13)

El presente análisis se enfoca exclusivamente a la Región XIII Valle de México, situada en el borde sur de la Mesa Central, entre los meridianos $98^{\circ} 15'$ y $99^{\circ} 45'$ y los paralelos $19^{\circ} 05'$ y $20^{\circ} 45'$. Queda comprendida en el centro de una gran zona volcánica que atraviesa la República Mexicana de oeste a este y ocupa, por lo tanto, un espacio donde la corteza terrestre ha sufrido grandes esfuerzos tectónicos desde principios del Terciario; alargada de norte a sur, con una extensión amplia hacia el este, cubre una superficie aproximada de 16150 km², de los cuales, 9600 km² corresponden a la cuenca del Valle de México, y el

resto, 6550 km², a la cuenca del Río Tula. Está completamente rodeada de montañas, contiene lagos someros (Texcoco, Zumpango, Chalco). Hacia el nordeste ocupa un área llana, tapizada por numerosas elevaciones volcánicas aisladas y depresiones ocupadas por algunas lagunas someras (Apan, Tochac y Tecocomulco) que en el estiaje desaparecen. (11)

Se ubican dentro de esta región las siguientes entidades federativas: Distrito Federal y los estados de México, Hidalgo y Tlaxcala.

El área fue dividida y se definieron las subregiones de Valle de México y Tula. Las entidades mencionadas, así como los municipios o delegaciones de cada uno de ellos involucrados dentro de esta región se enlistan en la tabla 3, en la que, además de esta información, se indica la superficie correspondiente a cada municipio y a cada entidad, en cada una de las dos subregiones en estudio, así como la superficie de la Región XIII.

Tabla 3

DIVISIÓN MUNICIPAL Y ESTATAL EN LA REGIÓN XIII (23)

| REGIÓN ADMINISTRATIVA | ESTADO | DELEGACIÓN O MUNICIPIO | SUPERFICIE Km ² |
|-----------------------------|-----------------------|------------------------|----------------------------|
| XIII VALLE DE MÉXICO | DISTRITO FEDERAL | ALVARO OBREGÓN | 93.7 |
| | | AZCAPOTZALCO | 34.5 |
| | | BENITO JUÁREZ | 26.0 |
| | | COYOACÁN | 59.2 |
| | | CUAJIMALPA DE MORELOS | 72.9 |
| | | CUAUHTÉMOC | 32.0 |
| | | GUSTAVO A. MADERO | 91.5 |
| | | IZTACALCO | 21.8 |
| | | IZTAPALAPA | 124.5 |
| | | MAGDALENA CONTRERAS | 62.2 |
| | | MIGUEL HIDALGO | 46.8 |
| | | MILPA ALTA | 268.6 |
| | | TLÁHUAC | 88.4 |
| | | TLALPÁN | 309.7 |
| | | VENUSTIANO CARRANZA | 30.7 |
| | | XOCHIMILCO | 134.6 |
| | SUBTOTAL DELEGACIONES | 16 | |
| | SUBTOTAL SUPERFICIE | | 1499.1 |
| | MEXICO | ACOLMAN | 52.5 |
| | | AMECAMECA | 168.7 |
| | | ATENCO | 139.7 |
| | | ATIZAPÁN DE ZARAGOZA | 75.0 |
| | | AXAPUSCO | 264.8 |
| AYAPANGO | | 57.5 | |
| CHALCO | | 273.6 | |
| CHIAUTLA | | 25.0 | |
| CHICOLOAPAN | | 63.7 | |
| CHICONCUAC | | 17.5 | |
| CHIMALHUACÁN | | 33.7 | |
| COACALCO | | 45.0 | |
| COCOTITLÁN | | 17.5 | |
| COYOTEPEC | | 45.0 | |
| CUAUTITLÁN | | 75.0 | |
| CUAUTITLÁN IZCALLI | | 111.6 | |
| ECATEPEC | | 126.2 | |
| HUEHUETOCA | | 148.7 | |
| HUIXQUILUCÁN | | 109.9 | |
| ISIDRO FABELA | | 58.7 | |
| IXTAPALUCA | | 206.1 | |
| JALTENCO | | 38.7 | |
| JILOTZINGO | | 143.7 | |
| LA PAZ | | 36.9 | |
| MELCHOR OCAMPO | | 32.5 | |
| NAUCALPÁN | | 154.9 | |
| NEXTLALPÁN | | 50.0 | |
| NEZAHUALCOYOTL | | 62.0 | |
| NICOLÁS ROMERO | | 206.1 | |
| NOPALTEPEC | | 32.5 | |
| OTUMBA | | 204.9 | |
| PAPALOTLA | | 8.7 | |
| SAN MARTÍN DE LAS PIRÁMIDES | | 58.7 | |
| TECAMAC | | 137.4 | |
| TEMAMATLA | 48.7 | | |
| TEMASCALAPA | 144.9 | | |
| TENANGO DEL AIRE | 61.2 | | |
| TEOLOYUCÁN | 35.0 | | |
| TEOTIHUACÁN | 68.7 | | |
| TEPETLAXOTOC | 234.9 | | |
| TEPOTZOTLÁN | 241.1 | | |
| TEQUIXQUIAC | 127.4 | | |
| TEXCOCO | 503.5 | | |
| TEZOYUCA | 17.5 | | |
| TLALMANALCO | 162.4 | | |
| TLANEPANTLA DE BAZ | 82.5 | | |
| TULTEPEC | 22.5 | | |
| TULTITLÁN | 96.2 | | |
| V. CHALCO SOLIDARIDAD 1° | | | |
| ZUMPANGO | 208.8 | | |

EL AGUA EN LA PRODUCCIÓN DE ALIMENTOS

| | | | |
|------------------------------------|---------------------|---|--|
| | SUBTOTAL MUNICIPIOS | 49 | |
| | SUBTOTAL SUPERFICIE | | 5230.3 |
| | HIDALGO | ALMOLOYA APAN EMILIANO ZAPATA EPAZOYUCAN MINERAL DE LA REFORMA MINERAL DEL MONTE PACHUCA DE SOTO SINGUILUCAN TEPEAPULCO TIZAYUCA TOLCAYUCA VILLA DE TEZONTEPEC ZAPOTLAN DE JUÁREZ ZEMPOALA | 282.7 346.9 36.0 174.7 92.5 77.1 195.3 334.1 239.0 92.5 120.8 133.6 131.1 305.8 |
| | SUBTOTAL MUNICIPIOS | 15 | |
| | SUBTOTAL SUPERFICIE | | 2718.8 |
| | TLAXCALA | CALPULALPAN SANCTORUM DE LÁZARO CÁRDENAS NANACAMILPA DE MARIANO ARISTA BENITO JUÁREZ 2* | 276.2 129.2 93.2 |
| | SUBTOTAL MUNICIPIOS | 4 | |
| | SUBTOTAL SUPERFICIE | | 498.6 |
| TOTAL DE DELEGACIONES Y MUNICIPIOS | 84 | | |
| TOTAL DE SUPERFICIE | | 9946.8 | |
| | MEXICO | APAXCO CHAPA DE NOTA HUEYPOXTLA JILOTEPEC MORELOS SOYANIQUILPAN DE JUÁREZ TEQUIXQUIAC VILLA DEL CARBÓN | 86.2 299.8 269.8 622.1 301.1 116.2 127.4 93.7 |
| | SUBTOTAL MUNICIPIOS | 8 | |
| | SUBTOTAL SUPERFICIE | | 1916.3 |
| TULA | HIDALGO | ACTOPAN AJACUBA ALFAJAYUCAN ATTALAQUIA ATOTONILCO DE TULA CHAPANTONGO CHILCUAUTLA EL ARENAL EL CARDONAL FRANCISCO I. MADERO IXMIQUILPAN MIXQUIAHUALA PROGRESO DE OBREGON SAN AGUSTÍN TLAXIACA SAN SALVADOR SANTIAGO DE ANAYA TASQUIILLO TEPEJIL DEL RÍO DE OCAMPO TEPETITLÁN TETEPANGO TEZONTEPEC DE ALDAMA TLAHUELIPAN TLAXCOAPAN TULA DE ALLENDE | 280.1 192.7 467.7 64.2 30.8 298.1 231.3 125.9 462.6 95.1 565.3 138.1 106.0 354.6 200.4 316.1 167.0 393.2 179.9 56.5 120.8 31.3 79.3 305.8 |
| | SUBTOTAL MUNICIPIOS | 24 | |
| | SUBTOTAL SUPERFICIE | | 5262.8 |
| SUBTOTAL DELEGACIONES Y MUNICIPIOS | 32 | | |
| SUBTOTAL DE SUPERFICIE | | 7179.1 | |
| TOTAL DE DELEGACIONES Y MUNICIPIOS | 116 | | |
| TOTAL DE SUPERFICIE | | 17125.9 | |

1* LA SUPERFICIE DEL MUNICIPIO V CHALCO SOLIDARIDAD SE CONSIDERA EN EL MUNICIPIO DE CHALCO
2* LA SUPERFICIE DEL MUNICIPIO DE BENITO JUAREZ SE CONSIDERA EN EL MUNICIPIO DE SANCTORUM DE LÁZARO CÁRDENAS

La Región XIII Valle de México presenta una complicada variedad de parámetros, tanto físicos como socioeconómicos, que la convierten en una de las regiones más problemáticas del país para la planeación y suministro de los servicios básicos que demanda la población.

En la Región XIII el clima es suave y benigno. Los cambios estacionales de la temperatura son de poca consideración. Tiene un verano bien definido y una continua primavera. La época de lluvias está bien definida, ésta abarca de junio a octubre; de abril a junio son los meses más calurosos; diciembre y enero los más fríos, y de noviembre a abril seco; los fenómenos extremos como heladas y granizadas, o bien como sequías y ondas cálidas son escasas en la Región XIII Valle de México, lo que le convierte en un lugar muy agradable para el desarrollo de cualquier tipo de actividad. (11)

El crecimiento de la ciudad y de las actividades productivas dentro del Valle de México, obligó primero a bordear y luego a entubar los ríos del valle. Para regularizar estas corrientes se ha ido instalando un sistema de presas en las montañas del poniente, las cuales descargan al interceptor del Poniente hasta el Río Cuautitlán, y se sacan del Valle por el Tajo de Nochistongo. Los escurrimientos del sur y oeste del valle son captados por el Gran Canal del Desagüe, hasta su salida del valle por los túneles de Tequisquiác. De esta manera, los escurrimientos pluviales y las descargas de aguas residuales de la

Zona Metropolitana de la Ciudad de México son aprovechadas para riego en la cuenca del Río Tula. (11)

La Zona Metropolitana de la Ciudad de México inició su acelerado desarrollo a principios del presente siglo, debido a la gran atracción que provocó la inmigración de la población rural hacia la capital del país. En 1900 la población de la Región representaba el 4% del total nacional, mientras que en el año de 1995 este índice fue del 20.3%. en la ZMCM se concentra el 92% de la población total de la Región y el 93% de la población económicamente activa, estos parámetros reflejan la gran centralización no solo a nivel regional sino también a nivel nacional ya que el 20.3% de la población nacional se encuentra asentada en la Región XIII. (11)

De acuerdo a las tendencias de crecimiento observadas, los pronósticos de población realizados por CONAPO para la Región XIII indican que para los años de 2000, 2010 y 2020 llegarán a valores de 19.8, 22.3 y 24.7 millones de habitantes, lo que provocará que la demanda de servicios básicos crezca en esas proporciones, agudizando los ya de por sí graves problemas para el suministro de dichos servicios. (10)

2. EL AGUA EN LOS PRODUCTOS DE LA INDUSTRIA ALIMENTARIA

En la Ley General de Salud se define alimento como cualquier sustancia o producto, sólido o semisólido, natural o transformado, que proporcione al organismo elementos para su nutrición. Como se menciona, los alimentos pueden llegar al consumidor en su estado natural (por ejemplo carne de cerdo) o ya procesados (como el jamón). Por lo tanto la producción de alimentos comprende varios rubros: la agricultura, que es el conjunto de actividades por las que el hombre obtiene productos indispensables para su subsistencia; el sector pecuario que se refiere a la cría de animales que proporcionen carne y/o leche; la acuicultura que tiene por objeto la cría de especies acuáticas que no sólo se destinan para la alimentación, ya que en algunos casos se busca la conservación de especies; y por último la industria de transformación que asegura la presencia del alimento procesado en cualquier temporada.

En todas estas actividades, el empleo de agua es indispensable y el volumen consumido varía. En la NOM-004-CNA-1996 se definen diferentes usos, entre los cuales se encuentran:

- **Uso agrícola:** La utilización de agua nacional destinada a la actividad de siembra, cultivo y cosecha de productos agrícolas, y su preparación para la primera enajenación, siempre que los productos no hayan sido objeto de transformación industrial. (20)

- **Uso agroindustrial:** La utilización de agua nacional para la actividad de transformación industrial de los productos agrícolas pecuarios. (20)
- **Uso en acuicultura:** La utilización de agua nacional destinada al cultivo, reproducción y desarrollo de cualquier especie de la fauna y flora acuáticas. (20)
- **Uso industrial:** La utilización de agua nacional en fábricas o empresas que realicen la extracción, conservación o transformación de materias primas o minerales, el acabado de productos o la elaboración de satisfactores, así como la que se utiliza en parques industriales, en calderas, en dispositivos para enfriamiento, lavado, baños y otros servicios dentro de la empresa, las salmueras que se utilizan para la extracción de cualquier tipo de sustancias y el agua aún en estado de vapor, que sea usada para la generación de energía eléctrica o para cualquier otro uso o aprovechamiento de transformación. (20)
- **Uso pecuario:** La utilización de agua nacional para la actividad consistente en la cría y engorda de ganado, aves de corral y animales, y su preparación para la primera enajenación, siempre que no comprendan la transformación industrial. (20)

Es importante promover una utilización más eficiente del agua y una producción de alimentos sustentable y en armonía con el ambiente.

2.1 Uso Agrícola

El agua que es utilizada por razones agronómicas para el riego, el control de la transpiración (enfriamiento), para impedir que la planta se hiele y para la administración de plaguicidas, entra en contacto con las frutas y hortalizas frescas. La posibilidad de contaminación por esta fuente depende de la calidad y procedencia de la misma. (10) Es necesario adoptar buenas prácticas agrícolas y manufactureras para reducir al mínimo el riesgo de contaminación por el agua utilizada en las actividades de riego y procesamiento.

Hasta fines de la década de los sesenta, las ventas mundiales de productos agrícolas revelaban que los países del sur abastecían a los del norte, pero en la actualidad dicha tendencia ha sido revertida por completo. (18)

Las estadísticas de producción que se han reportado en el ámbito nacional para los últimos 5 años, indican tasas de crecimiento negativo en los volúmenes de producción, particularmente de granos básicos, así como en la producción de alimentos cárnicos y lácteos; ello ha originado crecientes volúmenes de importación de leche en polvo o de granos básicos y oleaginosas.

Entre las causas que en general han provocado la disminución de la producción agrícola, se sitúan como relevantes:

- a) La disminución de la superficie de siembra en las áreas de temporal y aún en áreas de riego,
- b) La escasa incorporación de nuevas áreas a la producción agrícola con riego
- c) La desaceleración de la tasa anual de crecimiento de los rendimientos en las áreas de riego, de valores superiores al 2% en las décadas de los 60 y 70, hasta porcentajes del orden de 0.6% en la década de los 80. (10)

La infraestructura hidroagrícola constituye un elemento esencial para alcanzar los objetivos nacionales en materia alimentaria, incremento del ingreso neto y mejoramiento del nivel de vida de productores y habitantes del ámbito rural, mediante acciones que favorecen tanto a Distritos y Unidades de Riego como a zonas de temporal tecnificado. (17)

México cuenta con aproximadamente 10 millones de hectáreas susceptibles de explotarse con riego, de las cuales 6.1 millones tienen, actualmente, infraestructura hidráulica. De esta superficie, 3.3 millones de hectáreas corresponden a Distritos de Riego para el Desarrollo Rural. (10)

Los sistemas de riego producen en promedio 56% del valor total de la producción agrícola nacional; su rendimiento por hectáreas es de 3.2 veces mayor que el de las áreas de temporal. (11)

El valor que se ha dado al agua en los sistemas de riego ha estado influenciado en gran medida por la escasa aplicación de tarifas realistas relacionadas con los volúmenes usados. El agua de riego como insumo que prácticamente venía subsidiando el Gobierno Federal a través de la construcción, operación y mantenimiento de infraestructura, no ha reflejado su valor real en la producción, provocándose con ello su uso ineficiente.

Las pérdidas de agua en el subsector agrícola son muy altas, además, los volúmenes consumidos superan los otros usos como son el de zonas urbanas y el industrial. (12)

En el ámbito nacional la agricultura se practica en una superficie del orden de 20 millones de hectáreas, de las cuales 6.2 millones son explotadas bajo la modalidad de riego, 3.3 millones de hectáreas corresponden a 80 distritos de riego y 2.9 millones a más de 30000 unidad de pequeño y mediano riego. Los sistemas de riego producen en promedio el 54% del volumen total de la producción agrícola y representan del orden del 30% de la superficie total sembrada. (11)

Son múltiples los factores negativos que presentan los sistemas de riego, entre los cuales pueden citarse: insuficiente conservación y mantenimiento de las obras, sistema de bombeo con eficiencias bajas, ensalitramiento de suelos o

mejoramiento de la infraestructura hidroagrícola, es un elemento necesario para alcanzar los objetivos nacionales. (10)

Por otra parte, en los Distritos y Unidades de Riego hay superficies con infraestructura hidroagrícola que no son regadas por carecer de obras complementarias, problemas de salinidad, o situaciones de tipo legal o social.

Conforme a la Ley de Aguas Nacionales, a la nueva regionalización e integración de Consejos de Cuenca y ante la política de transferir las obras a los usuarios para que se responsabilicen de su administración, operación y mantenimiento se esperan grandes cambios en la apreciación del valor del agua como insumo para la producción de alimentos. Muchos de esos cambios son aún inciertos en cuanto a su alcance, por lo que es conveniente analizar los diversos escenarios previsibles a mediano y largo plazo, sobre todo en su interrelación con el uso por otros sectores. (17)

La demanda de agua para uso agrícola es alta y ha cambiado al paso de los años, en la década de los 80's fue aumentando, pero en los 90's ha disminuido considerablemente debido a muchos factores sociales y políticos. La información de los volúmenes destinados a este uso se resume en la siguiente tabla.

Tabla 4

DEMANDA DE AGUA PARA USO AGRÍCOLA (24)

| CONCEPTO | 1980 | 1985 | 1990 | 1995 | PROMEDIO 80-95 | VAR. PROMEDIO 95 | MAXIMO 80-95 |
|----------------------------|---------|---------|---------|---------|--|------------------------|-----------------|
| Millones de m ³ | 53 137 | 64 390 | 59 351 | 57 762 | 60 468 | 104.68% | 67 456 |
| m ³ por ton | 837 | 1 006 | 914 | 722 | 907 | 125.75% | 1 017 |
| m ³ por ha | 10 502 | 12 134 | 11 939 | 10 139 | 11 744 | 115.83% | 13 791 |
| CULTIVO | 1980-85 | 1986-90 | 1991-95 | 1980-95 | TIPA = Tasa de Incremento Promedio Anual | | |
| TIPA demanda | 3.14% | -4.06% | -1.12% | 0.49% | | | |
| TIPA m ³ /ton | 4.03% | -3.34% | -4.77% | -0.55% | | | |
| TIPA m ³ /ha | 3.18% | -2.60% | -3.39% | 0.39% | | | |

En lo que se refiere al mercado internacional y considerando los principales productos, se muestran importaciones por un subtotal de 22 millones de toneladas en promedio del periodo 1980-1995, las importaciones de forrajes son las de mayor importancia con un promedio de 15 millones de toneladas, seguida del grupo de los granos por una cantidad promedio de 6 millones de toneladas anuales.

Tabla 5

PRINCIPALES IMPORTACIONES POR GRUPOS DE CULTIVO EN LA REPÚBLICA MEXICANA (24)

| CULTIVO | 1980 | 1985 | 1990 | 1995 | PROMEDIO 80-95 | VAR. PROM. 95 | MAXIMO 80-95 |
|-------------|------|------|------|------|-------------------|------------------|-----------------|
| GRANOS | 8 | 5 | 8 | 6 | 6 | -1.00% | 9 |
| OLEAGINOSAS | 1 | 2 | 1 | 2 | 1 | -35.58% | 3 |
| HORTALIZAS | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 8.24% | 0 |
| FRUTAS | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | -64.75% | 0 |
| FORRAJES | 16 | 14 | 14 | 20 | 15 | -25.63% | 20 |
| SUBTOTAL | 24 | 20 | 23 | 28 | 22 | -21.02% | 28 |

Nota: cifras expresadas en millones de toneladas.

En cuanto a las exportaciones, el principal grupo corresponde a las hortalizas por un valor promedio de 2 millones de toneladas anuales,

alcanzando un máximo en 1995 de 4 millones de toneladas y 1 millón de toneladas de granos.

Tabla 6

**PRINCIPALES EXPORTACIONES POR GRUPOS DE CULTIVO
EN LA REPÚBLICA (24)**

| CULTIVO | 1980 | 1985 | 1990 | 1995 | PROMEDIO 80-95 | VAR. PROM. 95 | MAXIMO 80-95 |
|-------------|------|------|------|------|-------------------|------------------|-----------------|
| GRANOS | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | -81.95% | 1 |
| OLEAGINOSAS | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | -87.45% | 0 |
| HORTALIZAS | 2 | 2 | 2 | 3 | 2 | -28.39% | 3 |
| FRUTAS | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | -48.38% | 1 |
| FORRAJES | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0.00% | 0 |
| SUBTOTAL | 2 | 2 | 2 | 4 | 2 | -39.68% | 4 |

Nota: cifras expresadas en millones de toneladas.

La balanza comercial se muestra en la siguiente tabla para el período bajo análisis e indica un comportamiento negativo para todos los grupos considerados, excepto hortalizas alcanzando un máximo de 3 millones de toneladas en el año de 1995.

Tabla 7

BALANZA COMERCIAL (EXPORTACIONES - IMPORTACIONES) (24)

| CULTIVO | 1980 | 1985 | 1990 | 1995 | PROMEDIO 80-95 | VAR. PROM. 95 | MAXIMO 80-95 |
|-------------|------|------|------|------|-------------------|------------------|-----------------|
| GRANOS | -8 | -5 | -8 | -6 | -6 | 7.42% | -9 |
| OLEAGINOSAS | -1 | -2 | -1 | -2 | -1 | -35.58% | -3 |
| HORTALIZAS | 2 | 2 | 2 | 3 | 2 | -28.72% | 3 |
| FRUTAS | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | -44.57% | 0 |
| FORRAJES | -16 | -14 | -14 | -20 | -15 | -25.63% | -20 |
| SUBTOTAL | -23 | -18 | -21 | -25 | -20 | -18.24% | -25 |

Nota: cifras expresadas en millones de toneladas.

En un análisis reciente hecho para la CNA por BASIN, S. A. de C. V., se resume que un escenario con ausencia de acciones (que incorpora el pronóstico de lluvia bajo y medio, la superficie de riego media, la tendencia histórica de rendimientos y las eficiencias históricas de riego determinadas) es tomado como punto de referencia para comparar otros escenarios (escenario con acciones mínimas: pronóstico de lluvia bajo y medio, la superficie de riego media, incremento de rendimientos en un 10% e incremento medio de las eficiencias de riego; escenario con acciones óptimas: pronóstico de lluvia bajo y medio, la superficie de riego media, incremento de rendimientos en un 20% e incremento óptimo de las eficiencias de riego, e incremento de la superficie de riego), por ser equivalente a una situación actual. (10)

Un escenario para fortalecer al país en la producción de alimentos, implicaría crecer con una tasa de 1.77% anual, para incorporar al riego 560 mil hectáreas. En este caso se incrementaría la demanda de agua al año 2000 en 7 km³/año, con patrones de consumo de agua semejantes a los actuales. (10)

La disponibilidad de tierras en la Región XIII Valle de México obedece a una superficie agrícola de 769 miles de hectáreas, divididas en 134 mil de área de riego y 635 mil de temporal, de estas últimas están en uso 561 mil. (11)

Tabla 8

DISTRITOS DE RIEGO REGIÓN XIII (11)

| DISTRITO | SUPERFICIE REGADA Ha | NÚMERO DE USUARIOS | CULTIVOS PRINCIPALES |
|-------------------|----------------------------|-----------------------|-------------------------|
| RÍO TULA | | | |
| 003 TULA | 299,494 | 31,316 | ALFALFA |
| 100 ALFAJAYUCAN | 125,884 | 17,641 | ALFALFA |
| 044 JILOTEPEC | 4,761 | 2,494 | MAIZ Y FRUTALES |
| VALLE DE MÉXICO | | | |
| 073 LA CONCEPCIÓN | 763 | 525 | MAIZ Y HORTALIZAS |
| 088 CHICONAUTLA | 4,594 | 1,956 | MAIZ |
| TOTAL | 435,496 | 53,932 | |

En la tabla 9 se presentan de manera resumida los resultados del ciclo agrícola de 1995 para los distritos de riego, en esta se anotan los datos de superficies sembradas y cosechadas, así como los resultados de la siembra para los principales cultivos de cada distrito, rendimiento, producciones, precio medio rural y valores de la producción, se anotan también los resultados a nivel nacional de manera comparativa. La alfalfa se siembra en cuatro distritos y se obtienen en tres de ellos (Tula, La Concepción y Chiconautla) rendimientos por encima del nacional y en uno (Alfajayucan) es inferior; el maíz por el contrario se cosecha en los cinco distritos, solamente en uno de ellos (Tula) se supera el valor nacional, en Chiconautla y Alfajayucan son ligeramente inferiores, mientras que en los dos restantes, Jilotepec y La Concepción, son menores; y por último, la avena forrajera se siembra también en todos los distritos, en cuatro se superan los rendimientos nacionales, sobre todo en Tula, y sólo en Alfajayucan los resultados son ligeramente menores.

Tabla 9

**COMPARACIÓN DE RENDIMIENTOS Y VALOR DE LA PRODUCCIÓN
RIEGO + TEMPORAL
AÑO AGRÍCOLA 1995 (11)**

| | Superficie Sembrada (ha) | Superficie Cosechada (ha) | Rendimiento (kg/ha) | Producción (t) | Precio medio Rural (\$/t) | Valor de la Producción (\$) |
|----------------------------|--------------------------------|---------------------------------|------------------------|-------------------|---------------------------------|-----------------------------------|
| Total nacional | | | | | | |
| Maíz | 835,673 | 822,663 | 4,828 | 3,971,422 | 852 | 3,384,149,071 |
| Alfalfa | 51,366 | 51,253 | 74,898 | 3,838,729 | 126 | 481,966,107 |
| Avena forrajera | 11,154 | 11,084 | 20,119 | 223,001 | 176 | 39,245,897 |
| Tula, Hidalgo | | | | | | |
| Maíz | 18,064 | 17,957 | 5,337 | 95,302 | 919 | 87,564,652 |
| Alfalfa | 16,306 | 16,306 | 98,600 | 1,607,771 | 67 | 107,720,657 |
| Avena forrajera | 775 | 775 | 30,361 | 23,530 | 50 | 1,179,362 |
| Jilotepec, Méx. | | | | | | |
| Maíz | 4,810 | 4,521 | 2,797 | 12,645 | 1,150 | 14,542,962 |
| Alfalfa | 0 | 0 | - | - | - | - |
| Avena forrajera | 129 | 129 | 20,589 | 2,656 | 99 | 261,840 |
| La Concepción, Méx. | | | | | | |
| Maíz | 334 | 334 | 2,257 | 754 | 1,148 | 865,950 |
| Alfalfa | 330 | 330 | 100,000 | 33,000 | 85 | 2,805,000 |
| Avena forrajera | 20 | 20 | 24,150 | 483 | 35 | 16,905 |
| Chiconautla, Méx. | | | | | | |
| Maíz | 1,326 | 1,326 | 3,710 | 4,919 | 1,150 | 5,656,885 |
| Alfalfa | 736 | 736 | 100,000 | 73,600 | 85 | 6,256,000 |
| Avena forrajera | 151 | 151 | 27,881 | 4,210 | 35 | 147,350 |
| Alfajayucan, Hgo. | | | | | | |
| Maíz | 11,421 | 11,421 | 3,435 | 39,232 | 1,171 | 45,929,700 |
| Alfalfa | 5,510 | 5,510 | 45,486 | 250,630 | 167 | 41,793,300 |
| Avena forrajera | 538 | 538 | 15,667 | 8,434 | 168 | 1,571,520 |

Referente al precio medio rural, y con base a la misma información, se percibe que en cualquier Distrito de Riego de la región el precio del maíz es mayor que el del promedio nacional. Es importante hacer notar que a pesar de que en el Distrito de Riego 003 Tula el rendimiento del maíz es mayor que el del promedio nacional, el precio medio rural del mismo cultivo es menor al resto de los Distritos de Riego de la Región XIII.

La demanda de agua para este sector es un volumen total de 2 524.6 millones de m³ al año, cantidad que expresada en gasto, equivale a 80.05 m³/s. (11)

De los volúmenes de agua requeridos en cada uno de los distritos de riego, la mayor parte, el 80.3% corresponde al distrito 003 Tula, en segundo lugar se tiene al 100 Alfajayucan con un 17.3%, le sigue el 088 Chiconautla con el 1.2%, el 044 Jilotepec con 0.8% y finalmente, el 073 La Concepción con el 0.4% restante. (11)

La competencia entre los diversos usos del agua, principalmente los domésticos e industriales contra el agrícola, se presenta de manera intensa y desde hace varios años se importan volúmenes de agua cada vez mayores.

2.2 Uso Pecuario

El agua constituye una de las variables relevantes para el desarrollo de las actividades ganaderas, en primer lugar para el cultivo de forrajes y pastos para la alimentación de los animales y en segundo lugar como bebida de los mismos. Su limitación y concentración temporal es el determinante principal de los sistemas de producción del norte del País, a causa de las condiciones de aridez que caracterizan a esa Región; mientras que en las regiones cálido - húmedas, su distribución estacional determina la variabilidad temporal de la

oferta de forraje, y su abundancia puede causar efectos negativos en el uso y manejo de los suelos.

Las aguas con elevado tenor salino, así como aquellas que contienen elementos tóxicos representan un peligro para los animales y pueden afectar la calidad de la carne y leche, hasta el punto de hacerlas inadecuadas para el consumo o pudiendo llegar a producir mortandad en el ganado con las consecuentes pérdidas económicas. (19)

Tomando en cuenta la totalidad de los sistemas ganaderos, las superficies de riego destinadas a producciones de uso pecuario, representan aproximadamente un millón de hectáreas, lo que conjunta casi el 20% de todas las tierras irrigadas del País, proporción que ha permanecido estable durante el último decenio. En la siguiente tabla se presentan los principales cultivos vinculados a las actividades pecuarias y que fueron producidos con riego.

Tabla 10

**PRODUCCIONES EN RIEGO PARA EL SUBSECTOR PECUARIO
1982-95 Miles de hectáreas anuales (24)**

| CULTIVOS | 1982 - 1983 | | | 1990 - 1995 | | |
|---------------------|-------------|----------|---------|-------------|----------|---------|
| | Distritos | Unidades | Total | Distritos | Unidades | Total |
| 1. Forrajes | 164.9 | 202.3 | 367.2 | 194.3 | 310.7 | 505.0 |
| 1.1 Alfalfa | 107.2 | 123.9 | 231.1 | 108.1 | 171.5 | 279.6 |
| 1.2 Avena forrajera | 12.6 | 38.1 | 50.7 | 16.8 | 47.4 | 63.2 |
| 1.3 Maíz forrajero | 12.5 | 26.0 | 38.5 | 17.4 | 39.1 | 56.5 |
| 1.4 Sorgo forrajero | 12.3 | 12.1 | 24.4 | 27.2 | 24.5 | 51.7 |
| 1.5 Rye grass | 11.9 | 5/d | 11.9 | 21.6 | 25.7 | 47.3 |
| 1.6 Otros | 8.4 | 2.2 | 10.6 | 8.8 | 9.0 | 17.8 |
| 2. Pastos | 67.5 | 24.2 | 91.7 | 69.7 | 28.2 | 97.9 |
| 3. Sorgo grano | 433.2 | 156.7 | 589.9 | 272.3 | 164.6 | 437.9 |
| 4. Total | 665.6 | 383.2 | 1 048.8 | 736.2 | 503.3 | 1 035.2 |
| 5. Total Nacional | 3 321.5 | 1 438.9 | 4 760.4 | 2 879.7 | 2 192.6 | 5 070.4 |
| % (#/5) | 20.0 | 26.7 | 22.0 | 18.5 | 22.9 | 20.4 |

La disponibilidad del agua para el desarrollo de actividades pecuarias incluye dos condiciones: extensiva e intensiva (estabulada). La condición extensiva se refiere a la cría del ganado en tierras abiertas de pastoreo, y la intensiva o estabulada a la que se lleva a cabo en lugares cerrados (establos, granjas).

2.3 Uso en Acuicultura

La mayoría de los cuerpos de agua del País, naturales y artificiales, presentan organismos acuáticos susceptibles de explotarse, pero en ningún caso están dedicados exclusivamente a la acuicultura. Todos ellos tienen otros usos: agrícola, hidroeléctrico o ganadero, por lo que la calidad y la cantidad de agua disponible para la acuicultura están condicionadas por estos usos. En

consecuencia, la supervivencia de la biota potencialmente explotable en la acuicultura especializada para el cultivo, se presentan problemas de calidad, cuando el abastecimiento proviene de aguas superficiales o de cantidades cuando otras actividades requieren para su desarrollo de mayores volúmenes.

En el país se desarrolla la acuicultura en tres diferentes modalidades de alto rendimiento, rural y de repoblamiento. La acuicultura de alto rendimiento se lleva a cabo en 600 unidades de producción, lo que equivale a aproximadamente a 17 000 has, de las cuales el 85% se dedican al cultivo del camarón. La acuicultura rural se lleva a cabo en 5 400 unidades de producción y el repoblamiento se efectúa a través de 41 centros acuícolas, los que representan aproximadamente 20 hectáreas. (11)

La acuicultura representa una actividad económica de gran importancia ya que genera alimentos, empleos y divisas que contribuyen a satisfacer las necesidades de ciertos sectores de la sociedad, lo cual significa un primordial instrumento para impulsar el desarrollo regional.

En la Región del Valle de México, el Estado de Hidalgo presenta un centro acuícola, Tezontepec de Aldama donde se producen crías de carpa y tilapia. En diversos cuerpos de agua se tienen además producciones de charal, langostino, trucha y lobina. (11)

La entidad presenta 17 Municipios con potencial subóptimo para el cultivo de trucha y otros más para el cultivo de bagre. (11)

2.4 Uso Industrial

Los usos industriales del agua se pueden dividir en tres grandes grupos: transferencia de calor, generación de energía y la aplicación a procesos.

- Transferencia de calor. - Se utiliza en procesos de calentamiento o enfriamiento. Para el primer caso normalmente se usa la generación de vapor, por medio de calderas que emplean la combustión de carbón, petróleo, gas o productos de desecho. Para enfriamiento se emplea la circulación de agua, por medio de torres o estanques de enfriamiento. (2)
- Generación de energía. - La mayor parte de la energía generada en muchos países proviene de plantas termoeléctricas que emplean el vapor de agua para mover turbinas adaptadas a generadores. En la recuperación del vapor se usan condensadores, logrando establecer los volúmenes de reemplazo en un 1% del total del agua suministrada a la planta (American Society for Testing and Materials, 1982). (2)
- Aplicación a procesos. - Son muchos los procesos en los que se necesita el agua, uno de ellos es el transporte de materiales, caso en que se utilizan

tuberías o canales. Las industrias de la celulosa y el papel, las enlatadoras de alimentos, las carboníferas y los ingenios azucareros son las que más recurren a este método. (2)

La maquinaria, los procesos y los servicios accesorios demandan grandes cantidades de este recurso. La calidad del agua varía según el tipo de industria, y con su uso dentro del proceso, por lo que en una misma planta industrial pueden requerirse aguas de diferente calidad en varios procesos.

En la tabla 11 se pueden observar los límites requeridos en el agua en diferentes industrias.

Tabla 11

TOLERANCIAS DE LA CALIDAD DE AGUA SUGERIDA PARA USOS INDUSTRIALES (3)

| Industria o uso | Turbiedad (ppm) | Color (ppm) | Dureza (como CaCO ₃) (ppm) | Fe (ppm) | Mn (ppm) | Sólidos totales (ppm) | Alcalinidad (como CaCO ₃) (ppm) | Olor Sabor | H ₂ S (ppm) | Otros requerimientos |
|----------------------------------|-----------------|-------------|--|----------|----------|-----------------------|---|------------|------------------------|---|
| Aire acondicionado | - | - | - | 0.5* | 0.5 | - | - | Bajo | 1 | Que no provoque corrosión ni oxidación |
| Panificación | 10 | 10 | - | 0.2* | 0.2 | - | - | Bajo | 0.2 | Potable** |
| Cervecería | | | | | | | | | | |
| Clara | 10 | - | - | 0.1* | 0.1 | 500 | 75 | Bajo | 0.2 | Potable, NoCl menor de 275 ppm pH 6.5-7.0 |
| Oscura | 10 | - | - | 0.1* | 0.1 | 1000 | 150 | Bajo | 0.2 | Potable, NoCl menor de 275 ppm pH 7.0 o más |
| Enlatados | | | | | | | | | | |
| Legumbres | 10 | - | 25-75 | 0.2* | 0.2 | - | - | Bajo | 1 | Potable |
| General | 10 | - | - | 0.2* | 0.2 | - | - | Bajo | 1 | Potable |
| Bebidas carbonatadas | 2 | 10 | 250 | 0.2 | 0.2 | 650 | 50-100 | Bajo | 0.2 | Potable. Color ord. y consumo de O ₂ menor de 10 ppm. |
| Confitados | - | - | - | 0.2* | 0.2 | 100 | - | Bajo | 0.2 | Potable. pH mayores a 7 para consumo duro, bajo para suave. |
| Enfriamiento | 50 | - | 50 | 0.3* | 0.3 | - | - | - | 5 | Que no provoque corrosión ni oxidación |
| Destilados | | | | | | | | | | |
| Ginebra y licor | 10 | - | - | 0.1* | 0.1 | 500 | 75 | Bajo | 0.2 | Potable, NoCl menor de 275 ppm pH 6.5-7.0 |
| Whisky | 10 | - | - | 0.1* | 0.1 | 1000 | 150 | Bajo | 0.2 | Potable, NoCl menor de 275 ppm pH 7.0 o mayor |
| Ronchales | - | - | - | - | - | - | - | - | - | Destilado o con tratamiento especial |
| Alimentos en general | 10 | - | - | 0.2* | 0.2 | - | - | Bajo | - | Potable |
| Hielo | 5 | 5 | - | 0.2* | 0.2 | 170 | - | Bajo | - | Potable. SO ₄ menor de 10 ppm |
| Lavandería | - | - | 50 | 0.2* | 0.2 | - | - | - | - | |
| Pásticos transparentes sin color | 2 | 2 | - | 0.02* | 0.02 | 200 | - | - | - | |
| Papel y pulpa | | | | | | | | | | |
| Groundwood | 50 | 200 | 180 | 1.0* | 0.5 | - | - | - | - | No apto para uso ni corrosivo |
| Pulpa Kraft | 25 | 15 | 100 | 0.2* | 0.1 | 300 | - | - | - | |
| Sosa y sulfite | 15 | 10 | 100 | 0.1* | 0.05 | 200 | - | - | - | |
| Papel fine | 5 | 5 | 50 | 0.1* | 0.05 | 200 | - | - | - | Sin formación de limo |
| Rayón (fibra viscosa) | | | | | | | | | | |
| Producción de pulpa | 5 | 5 | 5 | 0.05* | 0.03 | 100 | Total 50, OH 5 | - | - | Al ₂ O ₃ , SO ₄ , Ca menores de 5, 25 y 5 ppm respectivamente pH 7.5 a 8.3 |
| Manufactura | 0.3 | - | 55 | 0.0 | 0.0 | - | - | - | - | |
| Curtidores | 20 | 10-100 | 50-135 | 0.2* | 0.2 | - | Total 135, OH 5 | - | - | |
| Téxtiles | | | | | | | | | | |
| En general | 5 | 20 | - | 0.25 | 0.25 | - | - | - | - | |
| Teñido | 5 | 5-20 | - | 0.25* | 0.25 | 200 | - | - | - | Composición constante, Al ₂ O ₃ menor que 0.5 ppm |
| Limpieza de la lana | - | 70 | - | 1.0* | 1.0 | - | - | - | - | |
| Algodón en tiras | 5 | 5 | - | 0.2* | 0.2 | - | - | Bajo | - | |

*Límites aplicables a ambos, hierro solo y la suma de hierro y manganeso.

**Potable significa que cumple con los estándares del agua para beber del Servicio de Salud Pública de los Estados Unidos.

En los renglones que pertenecen a la Industria Alimentaria (panificación, cervecera, enlatados, bebidas carbonatadas, confitados, destilados, alimentos en general, hielo) se manifiesta que el agua utilizada debe ser potable mientras tenga contacto directo con los productos, y la utilizada en operaciones en las que no lo tenga, los requisitos no son tan estrictos, solo se cuida que no provoque corrosión o limosidad. (28)

La Industria Alimentaria es una de las industrias con mayor consumo de agua y en ocasiones de las que causa mayor cantidad de basura y contaminantes, como se analizará posteriormente.

Como ya se mencionó el uso de agua en la industria es múltiple, a continuación se presentan diagramas de flujo de algunos procesos de alimentos para localizar la intervención del agua en ellos.

En los tres diagramas se pueden localizar las operaciones donde se requiere agua, entre las que destacan el lavado de materias primas y de los envases y enfriamiento.

En el diagrama A, el agua utilizada debe cumplir estrictamente las normas de calidad microbiológicas, físicas y químicas, y así poder ser envasada y distribuida para su consumo. Es por ello que en su proceso se llevan a cabo los tratamientos de potabilización del agua pertinentes.

La industria azucarera, diagrama B, es una de las que utilizan mayores volúmenes de agua, debido a los lavados necesarios para la producción.

Y por último, en el caso de las conservas de verduras, diagrama C, el agua tiene varias intervenciones, incluyendo en forma de vapor.

DIAGRAMA A

AGUA PURIFICADA ENVASADA

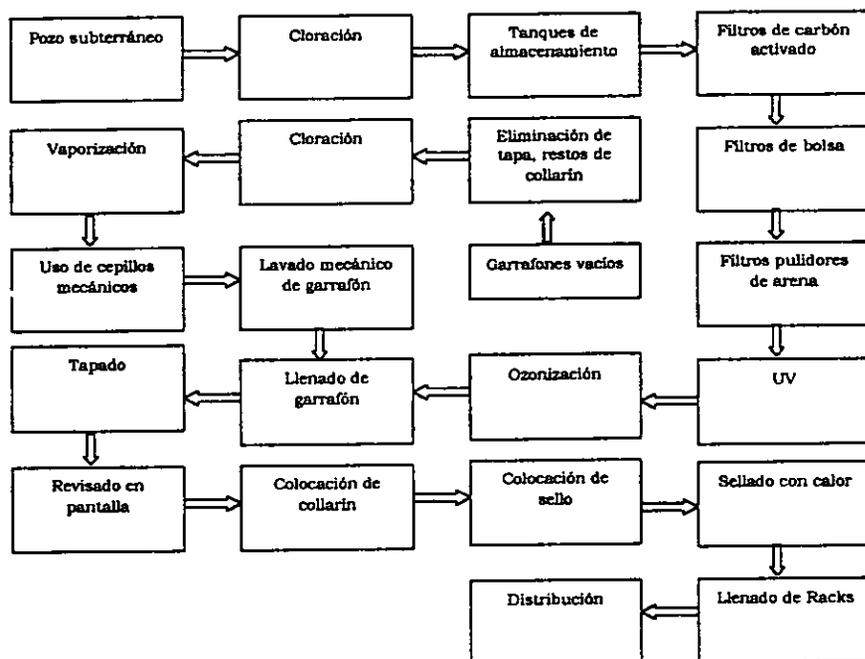


DIAGRAMA B

AZÚCAR CRUDO (9)

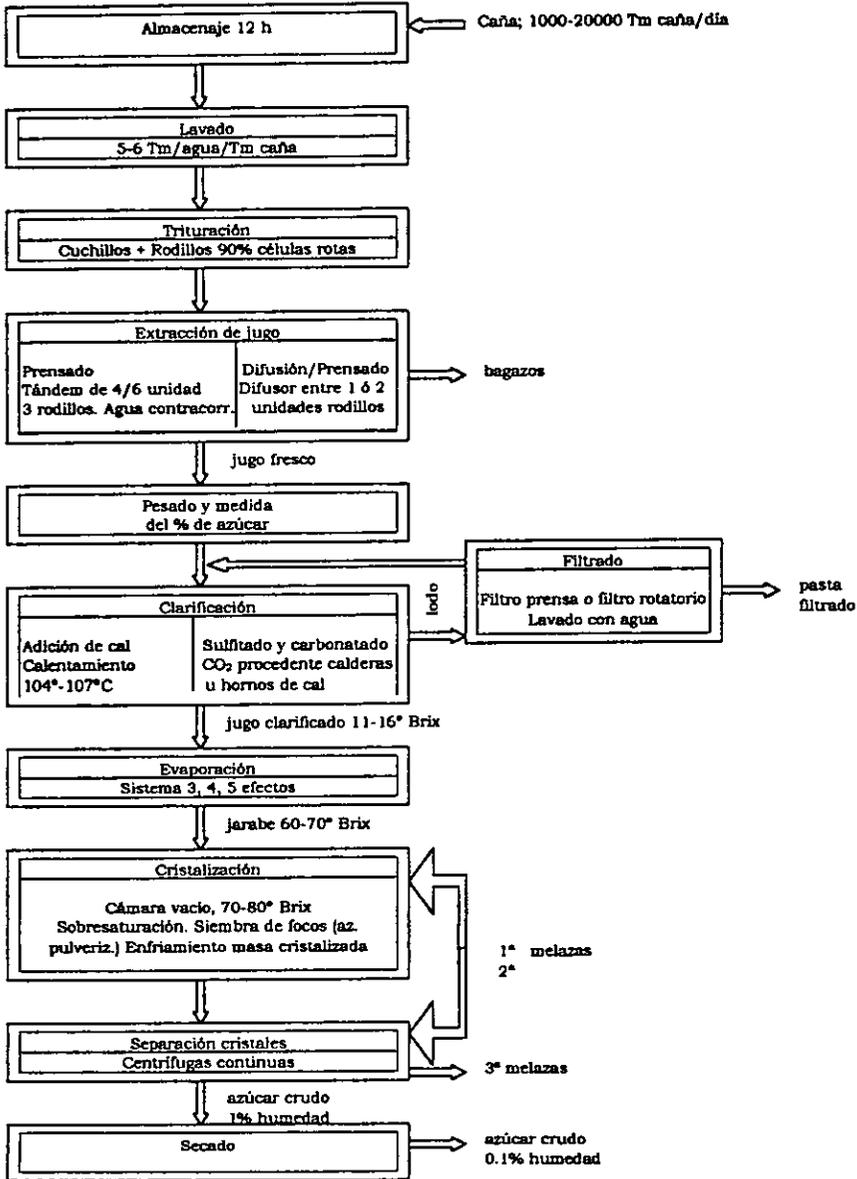
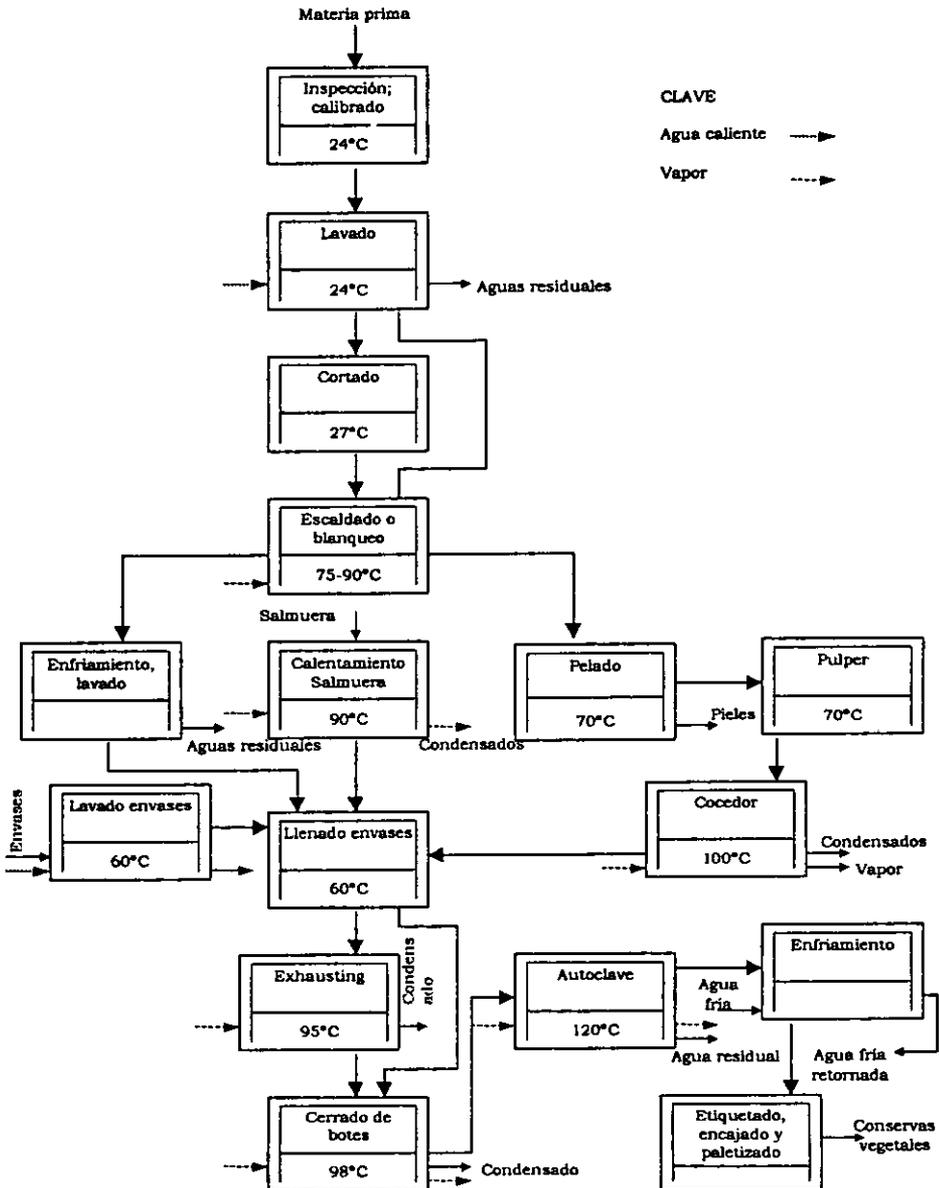


DIAGRAMA C

CONSERVAS DE VERDURAS (8)



El uso del agua en la industria nacional (incluyendo la de alimentos) se estima en 1994 con un volumen suministrado fuera de zonas urbanas de 2.5 km³ (78.7 m³/s). Este volumen corresponde a 1387 empresas consideradas como las más importantes por el uso y descarga de agua (no considera 5.0 km³/año de termoeléctricas que usan agua salobre). El 35% del volumen total de agua se utiliza como materia prima o como medio de producción en distintos procesos, por lo que su calidad es un factor importante para este uso. (11)

La tecnología utilizada en la mayoría de los procesos industriales es poco eficiente en el uso del recurso; esto se refleja en una extracción excesiva de agua y en una mayor producción de contaminantes, entre los que destacan ácidos, bases, grasas y aceites, metales pesados y sólidos suspendidos totales. Las industrias que más agua utilizan y que contaminan más son: azucarera, química-petroquímica, petrolera, celulosa y papel, alimentaria y metálica básica. Algunas de estas industrias se establecieron en zonas de baja disponibilidad del agua, lo que ocasiona sobreexplotación de acuíferos, contaminación de los ecosistemas y altos costos de oportunidad del agua. (17)

Las normas oficiales mexicanas especifican los límites máximos permisibles de contaminantes presentes en el agua residual por giro industrial; sin embargo, algunos giros no tienen todavía establecidos estos límites.

Se estima que la demanda de agua al año 2000 será de 2.6 km³/año (82 m³/s), mientras que la descarga de aguas residuales será de 2.1 km³/año (66 m³/s). (11)

Por otra parte, durante los próximos años, una de las regiones que continuará generando un gran número de industrias y con ello aumentando la demanda de agua para uso industrial, es el Valle de México, por la gran cantidad y diversidad de industrias instaladas, en ampliación y las nuevas que ahí se ubiquen.

El desarrollo del sector industrial en la Región XIII ha mantenido un ritmo de crecimiento continuo, con una fuerte concentración principalmente en la Zona Metropolitana, en donde se ubican grandes desarrollos industriales como Vallejo, Tlalnepantla, Naucalpan, Atizapan de Zaragoza, Tultitlán, entre otros; en El Salto, de Tula, precisamente en el corredor industrial de Tula y en Ciudad Sahagún, y en menor proporción en las Avenidas de Pachuca. Este crecimiento ha ocurrido relegando a segundo término las consideraciones sobre costo y dificultad de abastecimiento de agua, y de las tecnologías más adecuadas para su utilización eficiente, esto ha provocado además un uso irracional y dispendio del agua, la sobreexplotación de los acuíferos, el uso intensivo de agua de buena calidad (potable) en competencia con el sector urbano, con ello el encarecimiento de los servicios de abastecimiento de agua, y como producto final, el uso del agua como vehículo de desechos contaminantes.

De los principales usuarios de agua en el sector industrial de acuerdo al volumen de agua extraído destaca el que unas cuantas industrias consumen la mayor parte del agua, situación más extrema aún, en el Distrito Federal y el Estado de México. En el primero por ejemplo, existen 102 usuarios que demandan 13.6 millones de m³/año, las diez industrias más consumidoras demandan por sí solas 10.3 millones de m³/año, el 75.7% de la demanda total de esta entidad, y una sola de ellas, La Cervecería Modelo, S. A. de C. V., requiere ella sola 5.4 millones de m³/año.

De entre los industriales destacan por su alto consumo de agua los municipios de Naucalpan y Ecatepec en el Estado de México y la Delegación Miguel Hidalgo en el Distrito Federal, que aprovechan en conjunto 24.381 millones de m³/año (49.7% del consumo industrial). Destacan por su alto uso del agua 6 industrias con gastos mayores a un millón de m³/año, siendo éstas: Kimberly-Clark de México, S. A. de C. V. con 5.45 millones de m³/año (11.1%); Industria Embotelladora de México, S. A. de C. V., Grupo HITT, S. A. de C. V., Cooperativa Cruz Azul y Fábrica de Jabón La Corona, S. A. de C. V., empresas con consumos entre 1.0 y 1.26 millones de m³/año, que globalmente representa el 8.9%. estas seis empresas consumen el 32.9% del abasto industrial total.

Tabla 12

PRINCIPALES CONSUMIDORES DE AGUA (11)

| ENTIDAD FEDERATIVA | MUNICIPIO O DELEGACIÓN | NOMBRE DEL USUARIO | CONSUMO m ³ /año |
|--------------------|--|--|-----------------------------|
| Distrito Federal | Miguel Hidalgo | Cervecería Modelo, S. A. de C. V. | 5,450,789 |
| | Coyoacán | Industria Embotelladora de México, S. A. de C. V. | 1,266,205 |
| | Miguel Hidalgo | Colgate Palmolive, S. A. de C. V. | 646,048 |
| | Iztacalco | Embotelladora Metropolitana, S. A. de C. V. | 455,444 |
| | Miguel Hidalgo | Bayer de México, S. A. de C. V. | 374,857 |
| | Xochimilco | Rovilan, S. A. de C. V. | 361,969 |
| | Azcapotzalco | Procter & Gamble de México, S. A. de C. V. | 360,695 |
| Miguel Hidalgo | Vidriera México, S. A. de C. V. | 276,787 | |
| Cuauhtemoc | Sociedad Cooperativa Trabajadores de Pascual, S. C. L. | 269,172 | |
| TOTAL | | | 9,461,966 |
| Hidalgo | Tepeji del Río | Grupo Hitt, S. A. de C. V. | 1,067,964 |
| | Tula de Allende | Cooperativa La Cruz Azul, S. C. L. | 1,002,562 |
| | Tula de Allende | Cementos Toiteca, S. A. de C. V. | 868,619 |
| | Tepeji del río | Pilgrim's Pride, S. A. de C. V. | 797,115 |
| | Tepeapulco | Dina Autobuses, S. A. de C. V. División Motores | 374,656 |
| | Atonilco de Tula | Cemento Portland Blanco de México, S. A. de C. V. | 251,803 |
| | Alfajayucan | Siderúrgica Nacional, S. A. | 234,407 |
| | Atitalaquia | Sigma Alimentos Centro, S. A. de C. V. | 158,320 |
| Tepeji del Río | Plaguicidas Mexicanos, S. A. de C. V. | 150,796 | |
| Tula de Allende | Soc. Coop. de Cemento Portland La Cruz Azul, S. C. L. | 141,691 | |
| TOTAL | | | 5,047,993 |
| México | Naucalpan | Kimberly-Clark de México, S. A. de C. V. | 6,320,210 |
| | Ecatepec | Fábrica de Jabón La Corona, S. A. de C. V. | 1,036,138 |
| | Naucalpan | Industria Embotelladora Del Valle, S. A. de C. V. | 811,081 |
| | La Paz | Molinos Azteca de Chalco, S. A. de C. V. | 799,404 |
| | Atizapan de Zaragoza | Arrendadora Oefemesa, S. A. de C. V. | 785,410 |
| | Ecatepec | Conservas La Costeña, S. A. de C. V. | 633,082 |
| | Naucalpan | Compañía Hulera Goodyear Oxo, S. A. de C. V. | 589,746 |
| | Atizapan de Zaragoza | Anderson Clayton, S. A. de C. V. (ACCOSA) | 561,130 |
| | Tlalnepantla | Sigma Alimentos Centro, S. A. de C. V. | 500,623 |
| Cuautitlán | American Textil, S. A. de C. V. | 497,622 | |
| TOTAL | | | 12,534,446 |
| Tlaxcala | Calpulalpan | Cebadas y Maltas, S. A. de C. V. | 766,440 |
| | Calpulalpan | Nitrógeno Industrial y Alimenticio, S. A. de C. V. | 29,173 |
| | Calpulalpan | Calzado Sandak, S. A. de C. V. | 19,142 |
| TOTAL | | | 814,755 |

Los giros industriales que consumen mayor volumen de agua están claramente asociados a la industria refresquera y cervecera, donde se destaca que en el Distrito Federal cinco de las diez primeras industrias consumidoras de agua potable son de este rubro industrial, con un gasto de 8.252 millones de m³/año (16.8% del aprovechamiento industrial total).

El reuso de agua potable es una opción utilizada para incrementar la oferta de agua en la Región XIII, especialmente en la Zona Metropolitana; hasta ahora la mayor parte del agua tratada ha sido utilizada por organismos públicos en actividades tales como el riego de áreas verdes, para cuerpos de agua y para la recarga del acuífero representado el 58% del total. En paralelo, los particulares han hecho un uso marginal de este recurso ya que en la industria y el comercio sólo se utiliza el 6%, el 36% restante se usa para el riego de zonas agrícolas. (11)

Para la utilización del agua tratada en la industria, se debe de tener en consideración que la utilización del agua como insumo en los procesos industriales forma parte básicamente en tres componentes:

- Agua para el proceso
- Agua para enfriamiento
- Agua para usos sanitarios u otros. (13)

En la tabla 13 se presenta una comparación porcentual del uso del agua en base a estos tres aspectos para los principales sectores de la industria.

Tabla 13

USOS DEL AGUA EN LA INDUSTRIA (13)

| INDUSTRIA | ENFRIAMIENTO | PROCESO | SANITARIO U OTROS |
|-------------------------|--------------|---------|----------------------|
| Azucarera | 3 | 90 | 7 |
| Siderúrgica | 27 | 73 | - |
| Petrolera | 56 | 35 | 9 |
| Petroquímica Básica | 83 | 16 | 1 |
| Petroquímica Secundaria | 69 | 30 | 1 |
| Química Básica | 28 | 63 | 9 |
| Papel y Celulosa | 12 | 87.3 | 0.7 |
| Bebidas | 72 | 13 | 15 |
| Textil | 57 | 37 | 6 |
| Alimenticia | 54 | 27 | 19 |

El mayor potencial de reuso del agua en la industria se presentan precisamente en los procesos de enfriamiento.

3. TIPOS DE FUENTES DE ABASTECIMIENTO

La distribución geográfica del agua genera dificultades para la administración del recurso en México, porque donde abunda, las actividades socioeconómicas son escasas, mientras que donde éstas son intensas, el agua es insuficiente. Esta disparidad ha provocado sobreexplotación en las fuentes de abastecimiento, importación de caudales de cuencas contiguas y daños ambientales por el agotamiento del recurso.

La disponibilidad de agua consta de los depósitos superficiales y del agua del subsuelo. Ésta última se integra por la recarga natural renovable y la inducida por la infiltración en zonas de riego principalmente.

La temporalidad de la lluvia y los escurrimientos no permiten aprovechar el recurso de acuerdo a las demandas, por lo que se ha construido infraestructura para almacenamiento y regulación. A esta capacidad se agrega la de los cuerpos de agua naturales.

El agua se aprovecha en diversos usos que se diferencian por ser consuntivos y no consuntivos. Los primeros impactan en la disponibilidad porque aprovechan el agua y sólo retornan una parte de ésta; los no consuntivos como el uso en generación hidroeléctrica retornan la totalidad del agua aprovechada. (16)

La disponibilidad de agua se concentra principalmente en el sudeste del país donde la densidad de población y la demanda de agua son bajas. En contraste; en el centro, norte y nordeste donde la densidad de población es mayor y las demandas son altas, el agua es escasa. Los balances hidráulicos realizados a nivel de cuenca hidrológica, muestran un panorama más realista sobre la disponibilidad del agua, pero se requieren estudios más detallados para el conocimiento de situaciones puntuales. (17)

Se entiende por captación, el punto o puntos de origen de las aguas para un abastecimiento, así como las obras de distinta naturaleza, que deben realizarse para su recogida. (6)

Según el origen de las aguas utilizadas, las captaciones se clasifican en dos grupos:

- Captación de aguas superficiales
- Captación de aguas subterráneas

3.1 FUENTES SUPERFICIALES

Las fuentes superficiales son captaciones de aguas pluviales: ríos, arroyos, ramblas, regatas; canales; lagos y embalses, de los cuales se tiene una disposición inmediata por hallarse sobre la superficie terrestre. (6)

En la República Mexicana, el escurrimiento superficial virgen promedio anual es de 410 Km³ y la infraestructura hidráulica actual proporciona una capacidad de almacenamiento del orden de 120 Km³, lo que se traduce en una capacidad de regulación del orden de 82 Km³. De esta capacidad de regulación, 26 Km³ son exclusivamente para generación de energía eléctrica, 49 Km³ se utilizan para la satisfacción de demandas consuntivas, y el resto se evapora.

Tabla 14

BALANCE DE AGUA SUPERFICIAL Km³ / AÑO (17)

| GERENCIA REGIONAL | DISPONIBILIDAD HIDRÁULICA | | | EXTRACCIÓN PARA USOS CONSUNT. | EXPORT (*) | EVAP. VASOS | BALANCE |
|-------------------|---------------------------|--------------------|------------|-------------------------------|------------|-------------|---------|
| | ESC. VIRGEN | RETORNO UTILIZABLE | IMPORT (*) | | | | |
| NOROESTE | 27.2 | 0.08 | 1.85 | 17.3 | 0.00 | 1.25 | 10.6 |
| NORTE | 9.8 | 0.71 | 0.07 | 7.7 | 0.43 | 1.31 | 1.10 |
| NORDESTE | 42.3 | 1.47 | 0.00 | 5.3 | 0.07 | 0.82 | 37.60 |
| LERMA-BALSAS | 76.0 | 0.00 | 0.00 | 12.0 | 0.37 | 3.08 | 60.60 |
| VALLE DE MÉXICO | 1.8 | 0.37 | 0.36 | 2.5 | 0.00 | 0.10 | 0.00 |
| SURESTE | 253.6 | 0.35 | 0.01 | 4.4 | 0.00 | 0.00 | 248.70 |
| NACIONAL | 410.7 | 2.98 | 1.93 | 49.2 | 0.43 | 6.56 | 357.60 |

Aunque este balance (tabla 14) aparenta excelencias en todas las regiones, salvo en el Valle de México, se debe tener en cuenta que debido a la

variabilidad temporal y espacial de los escurrimientos es imposible aprovechar totalmente el escurrimiento superficial virgen.

En la cuenca del Valle de México las precipitaciones pluviales son desviadas por las necesidades de drenaje de nuestra gran Ciudad. La mayor parte de las corrientes naturales se han canalizado o entubado, siendo el Sistema de Drenaje Profundo de la Ciudad y el Gran Canal del Desagüe, sus colectores y emisores finales, hasta su descarga de esta cuenca al Río Tula. Son tres los principales puntos de comunicación entre estas cuencas; el primero es en el Tajo de Nochistongo, punto de descarga del Río Cuautitlán, al que a su vez descarga el Interceptor del Poniente de la Ciudad; los otros dos puntos de salida de la cuenca cerrada del Valle de México son el Túnel Nuevo y el Tajo de Tequisquiac, a los que descarga sus aguas el Gran Canal del Desagüe. (17)

En la Región XIII existen 107 almacenamientos, entre lagos y embalses con una capacidad total de 689.9 millones de m³. Las presas se utilizan principalmente para riego y control de avenidas, en menor proporción para el abastecimiento de agua potable y para la generación de energía eléctrica, a continuación se resume el número de cuerpos de agua así como los principales datos funcionales de las mismas. (11)

Los ríos principales en la Cuenca del Valle de México: El Churubusco, El Magdalena y El Mixcoac; El de la Piedad, El Consulado, y El de los Remedios, El Hondo, Tlalneplantla y San Javier y el Río de las Avenidas de Pachuca.

Tabla 15

RESUMEN INFRAESTRUCTURA HIDRÁULICA EN LA REGIÓN XIII (26)

| SUBREGIÓN | ZONA | No. DE PRESAS | UTIL | VOLUMEN AZOLVES | (millones de m ³) SUPER ALMAC. | TOTAL |
|-----------------|-----------------------|---------------|-------|-----------------|--|-------|
| VALLE DE MÉXICO | I ZMCM | 43 | 95.5 | 7.9 | 45.7 | 126.8 |
| | II A.DE PACHUCA | 15 | 7.4 | 0.8 | 0.9 | 9.4 |
| | III APAN | 13 | 17.1 | 1.8 | 2.2 | 19.1 |
| | TOTAL | 71 | 120 | 10.5 | 48.8 | 155.3 |
| TULA | A EL SALTO | 19 | 292.2 | 56.8 | 43.2 | 403.2 |
| | B EL SALADO | 7 | 3.5 | 0.7 | - | 4.5 |
| | C TASQUILLO | 9 | 59.9 | 5.9 | 17.8 | 83.7 |
| | TOTAL | 35 | 355.6 | 63.4 | 61 | 491.4 |
| TOTAL | | 106 | 475.6 | 73.9 | 109.8 | 646.7 |

Dentro de la Cuenca del Río Tula se encuentran: el río del mismo nombre, el río Tepeji, El Salto, el Tlautla y el Rosas, así como el río Salado, el río Actopan y el río Alfajayucan.

Existe un sistema de presas (tabla 15) de las cuales las más importantes son: dentro del Valle de México, las de Anzaldo, Tetelpa y Tarango, los vasos del

Sordo, los Cuartos y Totolica, el Vaso de Cristo, las presas de las Julianas, los Arcos, el Colorado y la Colorada; la laguna de Zumpango, las presas Madín, las Ruinas y San Javier, las presas de Guadalupe y la Concepción. Dentro de la Cuenca del Río Tula, las presas Taxhimay y Requena, las presas derivadoras Golondrinas y Romera, la presa Endhó, que es la obra de almacenamiento más importante dentro de la región, las derivadoras Los Pueblos, Tecolote, López Rayón y El Maye.

En la actualidad, la superficie lagunar cubierta por el agua es de 13 Km², repartida entre los lagos de Texcoco y Zumpango; los de Chalco, Xaltocan y San Cristóbal, permanecen secos prácticamente todo el año, mientras que Xochimilco se mantiene artificialmente a base de canales. En la Cuenca del Río Tula existen algunas depresiones aisladas ocupadas por lagunas someras como las de Apan, Tochac y Tecocomulco.

3.2 FUENTES SUBTERRÁNEAS

Las fuentes subterráneas son aquellas donde el agua se encuentra extendida bajo toda la superficie terrestre, filtrándose lentamente por la superficie del suelo o asentada en estratos muy profundos donde queda atrapada y sometida a grandes presiones, pudiéndose hallar a varios kilómetros de profundidad. La utilización del agua subterránea para abastecimiento es tan antigua como la historia, incluso en el periodo paleolítico.

Sordo, los Cuartos y Totolica, el Vaso de Cristo, las presas de las Julianas, los Arcos, el Colorado y la Colorada; la laguna de Zumpango, las presas Madín, las Ruinas y San Javier, las presas de Guadalupe y la Concepción. Dentro de la Cuenca del Río Tula, las presas Taxhimay y Requena, las presas derivadoras Golondrinas y Romera, la presa Endhó, que es la obra de almacenamiento más importante dentro de la región, las derivadoras Los Pueblos, Tecolote, López Rayón y El Maye.

En la actualidad, la superficie lagunar cubierta por el agua es de 13 Km², repartida entre los lagos de Texcoco y Zumpango; los de Chalco, Xaltocan y San Cristóbal, permanecen secos prácticamente todo el año, mientras que Xochimilco se mantiene artificialmente a base de canales. En la Cuenca del Río Tula existen algunas depresiones aisladas ocupadas por lagunas someras como las de Apan, Tochac y Tecocomulco.

3.2 FUENTES SUBTERRÁNEAS

Las fuentes subterráneas son aquellas donde el agua se encuentra extendida bajo toda la superficie terrestre, filtrándose lentamente por la superficie del suelo o asentada en estratos muy profundos donde queda atrapada y sometida a grandes presiones, pudiéndose hallar a varios kilómetros de profundidad. La utilización del agua subterránea para abastecimiento es tan antigua como la historia, incluso en el periodo paleolítico.

La arqueología nos informa sobre la técnica de captación de agua por los persas y medos 8000 años a. C. Estos pueblos sabían detectar la presencia de aguas subterráneas y captarlas. El célebre "Pozo de Jacob" tenía un diámetro de 3 m y descendía 32 m. (4)

Los egipcios, en el siglo V a. C. conocían perfectamente la técnica de captación de aguas subterráneas, y la realización de pozos profundos en las provincias desérticas del sur del país. (4)

Las captaciones de aguas artesianas en Europa Occidental se remontan al año 1136 en Artois (Artesium). Los sabios anunciaron entonces que habían descubierto el "espíritu del agua". (4)

Los avances importantes en la captación de aguas subterráneas pueden marcarse en las siguientes etapas (4):

- 1600 a. C. Balancín compensado para elevar agua.
- 1500 a. C. Aparición de la polea en Mesopotamia.
- 1000 a. C. Empleo de doble cubo en la polea. Conocido por griegos y posteriormente por romanos.
- La rueda de los persas con ollas colgadas verticales en radios de la rueda y que obligaba a verter en la parte superior.
- 100 a. C. Los romanos utilizaban los tornillos de Arquímedes y el Tympa-

num, tipo de rueda con cucharones que tomaba agua en su circunferencia exterior y descargaba por su eje. Conocían igualmente la bomba de pistón.

- Siglo XIX. Aparición de la bomba centrífuga y la bomba de aire (Air-lift).

La recarga natural promedio de los acuíferos es de 48 Km³ anuales, que sumada a la recarga inducida en zonas de riego, que se estima del orden de 15 Km³, resultan en una recarga total igual a 63 Km³. Por otra parte, las descargas de aguas residuales han contaminado los acuíferos localizados en los Valles de Aguascalientes; San Luis Potosí; Mezquital en Hidalgo; León, Celaya y Salamanca, en Guanajuato; y Mérida, Yucatán entre otros. (17)

En la tabla 16 se tiene el balance del agua subterránea. Los resultados nacionales son optimistas al dejar ver que no hay sobreexplotación, pero si se analizan casos concretos como la región norte y la del Valle de México, se observa una extracción desmesurada, además que se ha detectado este mismo problema en 80 acuíferos ubicados principalmente en las regiones noroeste, norte y Lerma-Balsas. En el Valle de México sólo se han encontrado 3 acuíferos sobreexplotados (casi el 4% del total de acuíferos en esa condición a nivel nacional), pero debe mencionarse que la extracción se considera crítica ya que su volumen es mucho mayor al de recarga.

Tabla 16

BALANCE DE AGUA SUBTERRANEA, Km³ / AÑO (17)

| REGIÓN | NÚMERO DE ACUÍFEROS | RECARGA | EXTRACCIÓN | DISPONIB. | ACUÍFEROS CON MÁS DEL 20% DE SOBREP. |
|-----------------|---------------------|---------|------------|-----------|--------------------------------------|
| NOROESTE | 149 | 5.10 | 5.01 | 0.09 | 20 |
| NORTE | 86 | 4.87 | 5.00 | -0.13 | 20 |
| NORDESTE | 61 | 1.65 | 1.45 | 0.20 | 17 |
| LERMA-BALSAS | 92 | 8.16 | 7.40 | 0.75 | 19 |
| VALLE DE MÉXICO | 26 | 1.96 | 3.08 | -1.13 | 3 |
| SURESTE | 45 | 40.80 | 1.99 | 38.82 | 1 |
| NACIONAL | 459 | 62.39 | 23.93 | 38.60 | 80 |

La principal fuente de recarga natural de los acuíferos en la Región del Valle de México es la precipitación pluvial. Otro tipo de recarga no natural es la derivada de las fugas en la red de distribución de agua potable y de drenaje. Dentro de la cuenca existe un enorme sistema de flujo regional, en éste, las montañas se encuentran vinculadas internamente con el relleno del valle. Los macizos montañosos funcionan como receptores de recarga natural que transmiten el flujo infiltrado hacia las partes bajas de la cuenca. El agua infiltrada a las sierras se adhiere de manera subterránea a los acuíferos del valle.

La recarga originada por las fugas en las redes de distribución de agua potable y alcantarillado, forma una especie de bóvedas en el manto freático provocando flujo descendente en la zona saturada regional.

Los depósitos lacustres constituyen acuitardos que almacenan grandes cantidades de agua; ya sea de forma natural o por bombeo proporcionan importantes volúmenes de agua a los acuíferos cercanos.

La parte inferior del relleno en el centro del Valle, se comporta como un acuífero semiconfinado en la parte superior por los depósitos lacustres. Se encuentran interconectados hidráulicamente los estratos que conforman el relleno, aunque hay diferencias de carga hidráulica y calidad del agua en el sentido vertical debido a la heterogeneidad y anisotropía presente.

En el centro del valle parece haber dos subsistemas. El primero conformado por la parte superior del relleno (primeras decenas de metros), que es alimentado por las fugas de las redes hidráulicas y la infiltración de escurrimiento local, siendo éstas importantes aportaciones, pues mantienen el nivel freático somero a pesar de la sobreexplotación; y descargado por evapotranspiración y bombeo de pozos con poca profundidad. El otro subsistema compuesto por el aluvión ubicado bajo los depósitos lacustres, fuente captada por la mayor parte de pozos que abastecen la ciudad, capta la recarga originada en las zonas altas de la cuenca, sus niveles han sido abatidos marcadamente por la sobreexplotación. (30)

Entre los subsistemas descritos se hallan el cuerpo arcilloso lacustre, acuitardo de amplio espesor y permeabilidad baja, el cual proporciona al

acuifero inferior grandes cantidades de agua, éste se ha consolidado lo que ha provocado el hundimiento del terreno. (30)

La cuenca del Valle de México fue dividida para su estudio en 6 sub sistemas de acuiferos: Zona Metropolitana, Chalco - Amecameca, Cuautitlán - Tizayuca - Pachuca, Texcoco, Apan y Lago de Tecocomulco. En términos generales para la cuenca del Valle de México los abatimientos máximos, según las curvas de igual elevación del nivel estático para el período de 1970-1992, se ubican en las siguientes zonas: entre el cerro de la Estrella y la zona de Tlalpan (-45 m); Cuautitlán, Tultitlán, Tepozotlán y Teoloyucan (entre -40 y -50 m); Ecatepec y Coacalco (-35 a -45 m). De lo anterior se infiere que en el acuifero de la Cuenca del Valle de México prevalece un grado de sobreexplotación, producida por la extracción del recurso hídrico con el fin de cubrir la creciente demanda de agua, no existiendo un equilibrio entre la recarga y la explotación.

La cuenca del Río Tula se dividió en 7 sub sistemas de acuiferos, siendo estos: Tepeji del Río, Ajacuba, Chapatongo - Alfajayucan, Valle del Mezquital, Santiago de Anaya Actopan, Ixmiquilpan - Tasquillo y El Astillero. (11)

En la cuenca del Río Tula los abatimientos máximos, según las curvas de igual elevación del nivel estático se ubican hacia la porción norte del Valle del Mezquital, entre las poblaciones de Alfajayucan y Tasquillo, aunque con abatimientos relativamente bajos, (entre -3 y -15 m). De lo anterior se puede

concluir que en este acuífero prevalece una moderada explotación, por lo que podría inclusive incrementarse en algunas regiones de esta cuenca. (11)

En las tablas 17 y 18 se anotan para cada uno de los sistemas mencionados, las principales características de los acuíferos, su denominación, tipo de acuífero, sus condiciones geohidrológicas y administrativas, los volúmenes de recarga y las áreas de sus cuencas de aportación, el número y tipo de aprovechamientos. Los volúmenes de extracción por tipo de uso, las calidades de agua respecto a los sólidos totales disueltos (STD), profundidades al nivel estático, así como los principales parámetros de los equipos de bombeo, se presentan en las tablas 19 y 20 para cada acuífero, así como una gráfica comparativa de los volúmenes de extracción y recarga, misma que esquematiza la condición geohidrológica de cada uno de ellos.

Como se puede observar en la tabla 17 la mayoría de los acuíferos de la subregión Valle de México se encuentran sobreexplotados y sólo uno de la subregión Tula lo está, pero por una diferencia pequeña entre los volúmenes de recarga y extracción. Esto es debido a que en estos acuíferos se localizan las áreas más habitadas, lo cual se refleja en la distribución de pozos por uso (tabla 18), siendo en su mayor parte destinados al uso público, siendo excepciones el acuífero de la Zona Metropolitana y de Cuautitlan-Tizayuca-Pachuca, en las que hay más pozos destinados para uso industrial.

Tabla 17

ACUÍFEROS DENTRO DE LA REGIÓN XIII (25)

| SUB-REGIÓN | ACUÍFERO | CONDICIÓN | | TIPO | VOLUMEN DE EXTRACCIÓN mill m ³ / año | VOLUMEN DE RECARGA mill m ³ / año |
|-----------------|----------------------------|-----------------|----------------|-------------------|--|---|
| | | GEOHIDROLÓGICA | ADMINISTRATIVA | | | |
| VALLE DE MÉXICO | CHALCO | SOBREEXPLOTADO | RÍGIDA | SEMICONFINADO | 115.6 | 88.0 |
| | ZONA METROPOLITANA | SOBREEXPLOTADO | RÍGIDA | SEMICONFINADO | 925.0 | 224.0 |
| | TEXCOCO | SOBREEXPLOTADO | RÍGIDA | SEMICONFINADO | 75.88 | 49.89 |
| | CUAUTTLÁN-TIZAYUCA-PACHUCA | SUBEXPLOTADO | RÍGIDA | SEMICONFINADO | 481.14 | 350.05 |
| | TECOCOMULCO | SUBEXPLOTADO | INTERMEDIA | SEMICONFINADO | 7.0 | 14.00 |
| | APAN | SOBRE EXPLOTADO | INTERMEDIA | SEMICONFINADO | 36.0 | 100.00 |
| TULA | EL ASTILLERO | SOBREEXPLOTADO | INTERMEDIA | LIBRE | 2.5 | 2.00 |
| | CHAPATONGO-ALFAJAYUCAN | EQUILIBRIO | INTERMEDIA | LIBRE | 6.75 | 7.00 |
| | VALLE MEZQUITAL DEL | SUBEXPLOTADO | ELÁSTICA | - | 203.4 | 232.00 |
| | AJACUBA | SUBEXPLOTADO | INTERMEDIA | - | 6.60 | 7.00 |
| | IXMIQUILPAN-TASQUILLO | EQUILIBRIO | INTERMEDIA | LIBRE Y CONFINADO | 18.20 | 18.00 |
| | ACTOPAN-SANTIAGO DE ANAYA | SUBEXPLOTADO | ELÁSTICA | LIBRE | 43.2 | 53.00 |
| | TEPEJI DEL RIO | SUBEXPLOTADO | RÍGIDA | LIBRE Y CONFINADO | 15.0 | 17.00 |

Tabla 18

NÚMERO DE APROVECHAMIENTOS POR ACUÍFERO (25)

| SUB-REGIÓN | ACUÍFERO | ÁREA Km ² | NÚMERO APROV. | DISTRIBUCIÓN DE POZOS POR USO | | | |
|-----------------|----------------------------|----------------------|---------------|-------------------------------|---------|-----------|------------|
| | | | | AGRÍCOLA | PÚBLICO | DOMÉSTICO | INDUSTRIAL |
| VALLE DE MÉXICO | CHALCO | 1400 | 207 | 80 | 83 | 8 | 36 |
| | ZONA METROPOLITANA | 1825 | 1626 | 35 | 720 | 24 | 847 |
| | TEXCOCO | 1200 | 638 | 354 | 105 | 29 | 150 |
| | CUAUTTLÁN-TIZAYUCA-PACHUCA | 1600 | 1027 | 455 | 395 | 96 | 81 |
| | TECOCOMULCO | - | 19 | 1 | 6 | 0 | 0 |
| | APAN | - | 115 | 56 | 55 | 3 | 7 |
| | SUBTOTAL | 6025 | 3632 | 981 | 1364 | 160 | 1121 |
| TULA | EL ASTILLERO | 40 | 3 | 1 | 2 | 0 | 0 |
| | CHAPATONGO-ALFAJAYUCAN | 224 | 29 | 14 | 9 | 6 | 0 |
| | VALLE MEZQUITAL DEL | 554 | 204 | 29 | 39 | 64 | 72 |
| | AJACUBA | 127 | 25 | 4 | 5 | 16 | 0 |
| | DOMIQUILPAN-TASQUILLO | 364 | 45 | 21 | 15 | 4 | 5 |
| | ACTOPAN-SANTIAGO DE ANAYA | 819 | 163 | 105 | 38 | 16 | 4 |
| | TEPEJI DEL RIO | 210 | 75 | 31 | 14 | 8 | 22 |
| | SUBTOTAL | 2336 | 544 | 205 | 122 | 114 | 103 |
| REGIÓN XIII | TOTAL | 8361 | 4176 | 1186 | 1486 | 274 | 1224 |

Tabla 19

USO DEL AGUA SUBTERRÁNEA (25)

| SUBREGIÓN | ACUÍFERO | VOLUMEN DE AGUA (Mm ³ /año) | USOS DEL AGUA SUBTERRÁNEA | | | |
|-----------------|----------------------------|--|---------------------------------|--------------------------------|----------------------------------|-----------------------------------|
| | | | AGRÍCOLA (Mm ³ /año) | PÚBLICO (Mm ³ /año) | DOMÉSTICO (Mm ³ /año) | INDUSTRIAL (Mm ³ /año) |
| VALLE DE MÉXICO | CHALCO | 115.6 | 17.2 | 91.8 | 0.0 | 6.7 |
| | ZONA METROPOLITANA | 925.0 | 3.0 | 839.0 | 2.0 | 81.0 |
| | TEXCOCO | 75.9 | 44.7 | 25.2 | 0.7 | 5.3 |
| | CUAUTTLÁN-TIZAYUCA-PACHUCA | 481.1 | 52.7 | 403.7 | 4.1 | 20.7 |
| | TECOCOMULCO | 7.0 | 5.0 | 0.5 | 0.5 | 1.0 |
| | APAN | 36 | 5.0 | 29.0 | 0.0 | 2.0 |
| | SUBTOTAL | 1640.6 | 127.5 | 1389.1 | 7.4 | 116.7 |
| TULA | EL ASTILLERO | 2.5 | 1.0 | 1.5 | 0.0 | 0.0 |
| | CHAPATONGO-ALFAJAYUCAN | 6.8 | 4.2 | 2.3 | 0.3 | 0.0 |
| | VALLE DEL MEZQUITAL | 203.4 | 29.0 | 48.0 | 90.4 | 36.0 |
| | AJACUBA | 6.6 | 2.0 | 3.0 | 1.6 | 0.0 |
| | IXMIQUILPAN-TASQUILLO | 18.2 | 10.5 | 5.2 | 1.0 | 1.5 |
| | ACTOPAN-SANTIAGO DE ANAYA | 43.2 | 26.5 | 15.2 | 0.5 | 1.0 |
| | TEPEJI DEL RIO | 15 | 4.5 | 4.0 | 0.5 | 6.0 |
| | SUBTOTAL | 295.7 | 77.7 | 79.2 | 94.3 | 44.5 |
| REGIÓN XIII | TOTAL | 1936.3 | 205.2 | 1468.3 | 101.7 | 161.2 |

En la subregión del Valle de México sólo existe un acuífero del que se destina un gran volumen de agua para uso agrícola: Tecocomulco (tabla 19), pero la subregión Tula es la que tiene mayor número de acuíferos con volúmenes considerables destinados a dicho uso.

Tabla 20

CARACTERÍSTICAS DE LOS ACUÍFEROS (25)

| SUBREGIÓN | ACUÍFERO | CALIDAD DEL AGUA STD | VOLUMEN DE EXTRACCIÓN (mm ³ /Año) | PROF. MEDIA AL NV. EST. (m) | POTENCIA REQUERIDA (h.p.) | POTENCIA REQUERIDA (kw) | COSTO ENERGÍA (\$) | COSTO DE ENERGÍA (\$/m ³) |
|-----------------|----------------------------|----------------------|--|-----------------------------|---------------------------|-------------------------|--------------------|---------------------------------------|
| VALLE DE MÉXICO | CHALCO | 150.00 | 115.60 | 47.5 | 1250.0 | 932.5 | 130.55 | 0.04 |
| | ZONA METROPOLITANA | 50.00 | 925.00 | 52.5 | 1381.6 | 1030.7 | 144.29 | 0.04 |
| | TEXCOCO | 150.00 | 75.88 | 47.5 | 1250.0 | 932.5 | 130.55 | 0.04 |
| | CUAUTTLÁN-TIZAYUCA-PACHUCA | 150.00 | 481.14 | 75.0 | 1973.7 | 1472.4 | 206.13 | 0.06 |
| | TECOCOMULCO | 300.00 | 7.00 | 15.0 | 394.7 | 294.5 | 41.23 | 0.01 |
| | APAN | 160.00 | 36.00 | 77.5 | 2039.7 | 1521.4 | 213.00 | 0.06 |
| TULA | EL ASTILLERO | - | 2.50 | - | - | - | - | - |
| | CHAPATONGO-ALFAJAYUCAN | 0.00 | 6.75 | 90.0 | 2368.4 | 1766.8 | 247.36 | 0.07 |
| | VALLE MEZQUITAL DEL | 0.00 | 203.4 | 47.5 | 1250.0 | 932.5 | 130.55 | 0.04 |
| | AJACUBA | - | 6.60 | - | - | - | - | - |
| | DOMIQUILPAN-TASQUILLO | - | 18.20 | - | - | - | - | - |
| | ACTOPAN-SANTIAGO DE ANAYA | 0.00 | 43.20 | 35.0 | 921.1 | 687.1 | 96.19 | 0.03 |
| | TEPEJI DEL RÍO | 0.00 | 15.00 | 32.5 | 855.3 | 638.0 | 89.32 | 0.02 |

Se tiene mayores volúmenes de extracción en los acuíferos que tienen más población o industrias alrededor como Chalco, Zona Metropolitana, Cuautitlán-Tizayuca-Pachuca en la subregión Valle de México y el Valle de Mezquital en la subregión Tula (tabla 20).

El origen del agua es único, la precipitación. Parte de esta agua discurre por los cauces superficiales, y parte se infiltra en el terreno. Parte del movimiento de las aguas en el terreno es debido a la infiltración, pero no

pueden aceptarse las teorías clásicas simplistas de que las aguas se infiltran y pasan a los embalses subterráneos.

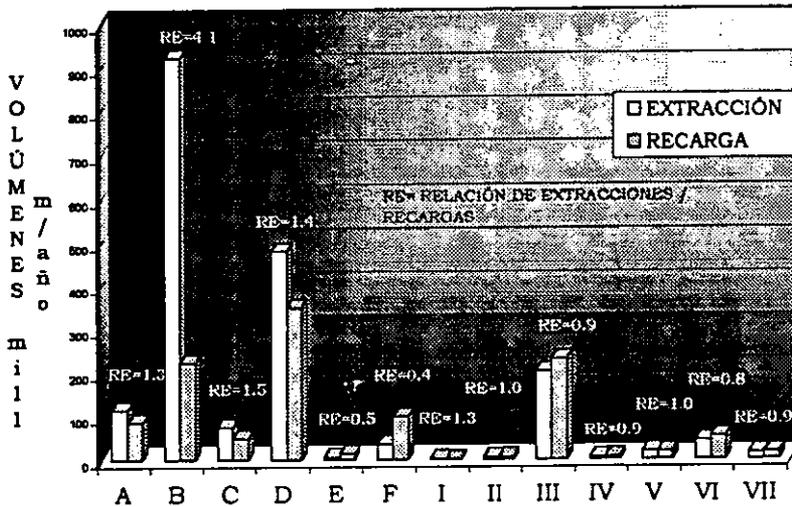
FIGURA 4
SUBREGIÓN VALLE DE MÉXICO

| | |
|-------|-----------------------------|
| CLAVE | ACUÍFERO |
| A | CHALCO |
| B | ZONA METROPOLITANA |
| C | TEXCOCO |
| D | CUAUTITLÁN-TIZAYUCA-PACHUCA |
| E | LAGO DE TECOCOMULCO |
| F | APAN |

SUBREGIÓN TULA

| | |
|-------|---------------------------|
| CLAVE | ACUÍFERO |
| I | EL ASTILLERO |
| II | CHAPATONGO-ALFAJAYUCAN |
| III | VALLE DEL MEZQUITAL |
| IV | AJACUBA |
| V | DOMIQUILPAN-TASQUILLO |
| VI | ACTOPAN-SANTIAGO DE ANAYA |
| VII | TEPEJI DEL RÍO |

FIG. 4 CONDICIONES DE EXPLOTACIÓN DE LOS ACUÍFEROS DE LA REGIÓN XIII VALLE DE MÉXICO



(25)

Las aguas subterráneas, por el contrario, alimentan cauces superficiales, y cauces superficiales alimentan subálveos, embalses subterráneos y cauces subterráneos.

La tendencia normal ha sido la de captar las aguas superficiales, con caudales mejor conocidos y más fáciles de captar, pero la aparición de la contaminación afecta más directamente y de forma más inmediata a las aguas superficiales. La contaminación sin duda, y la necesidad de localizar nuevos recursos va modificando la tendencia hacia el futuro, basándose en las aguas subterráneas. Las diferencias entre las aguas subterráneas y superficiales puede resumirse en el siguiente cuadro:

Tabla 21

CUADRO COMPARATIVO DE CARACTERÍSTICAS DEL AGUA SUBTERRÁNEA Y DEL AGUA SUPERFICIAL (4)

| CARACTERÍSTICAS | AGUA SUBTERRÁNEA | AGUA SUPERFICIAL |
|---|--------------------------------|------------------------------|
| Costes localización | Alto | Bajo |
| Coste proyecto | Alto | Bajo |
| Garantía de caudales según estudio | Medio | Alto |
| Composición físico-química | Constante y generalmente buena | Variable y generalmente mala |
| Temperatura | Constante | Variable |
| Riesgo de polución | Mínimo | Grande |
| Consecuencia de su captación para la agricultura naturaleza y medio | Variable | Variable |
| Permanencia de la polución | Grande | Mínima |
| Coste de captación, depuración y almacenamiento. | Bajo | Más elevado |
| Coste de transporte principal | Generalmente menor | |
| Coste de control de las aguas | Bajo por constancia de calidad | Alto |

La diferencia entre los costos para la extracción de los diferentes tipos de agua es evidente, ya que los pozos subterráneos requieren de más infraestructura para poder ser aprovechados. En cuanto a calidad del agua, se entiende que el agua subterránea al estar protegida conserva más sus características y tiene menor riesgo de contaminación, pero por la misma razón, si el acuífero está contaminado, es difícil su tratamiento.

3.3 ANÁLISIS DEL CONSUMO DE AGUA

Las fuentes de suministro de agua en la Región XIII Valle de México, se clasifican en internas (propias) y externas al valle y éstas pueden ser superficiales y subterráneas. (17)

Para la Cuenca del Valle de México, las fuentes subterráneas internas son las más importantes. Para el año de 1996 se proporcionó un gasto por esta fuente de 43.32 m³/s, lo que representa el 66.9% del suministro y de las fuentes subterráneas externas 5.86 m³/s, que equivale al 9.1% del suministro total. De las fuentes superficiales, en conjunto éstas contribuyen con el 24.0% del volumen suministrado, equivalente a un caudal de 15.51 m³/s, correspondiendo a las fuentes internas un gasto de 2.05 m³/s (3.2%) y el restante 20.8% proviene de un gasto de 13.46 m³ /s de fuentes externas. (11)

Las dos fuentes externas destinadas al abastecimiento de agua potable al Valle de México son el sistema Lerma que proporciona un gasto de 5.86 m³/s, y Cutzamala que suministra 13.46 m³/s. Estas dos fuentes proporcionan 19.33 m³/s (29.9%) de los 64.69 m³/s del agua suministrada a la Cuenca del Valle de México para su uso doméstico. (11)

Para la Cuenca del Río Tula las fuentes de suministro de agua potable para uso doméstico más importantes son subterráneas, aportan un gasto de

5.50 m³/s, lo que representa el 94.0% del suministro total, este gasto proviene totalmente de fuentes propias, corresponde a un gasto de 0.35 m³/s el 6.0% restante. (11)

De fuentes subterráneas internas se dispone de un caudal de 48.82 m³/s; las aguas superficiales de la propia región contribuyen con un gasto medio de 2.40 m³/s y la aportación de las fuentes externas, Lerma y Cutzamala, es de 19.33 m³/s, lo que representa que el 27.4% del suministro total de agua potable para uso doméstico proviene de cuencas vecinas. A nivel regional el 92.5% de la población dispone de agua potable, la subregión Valle de México tiene los niveles más altos con una cobertura del 93.3%, mientras que en Tula este valor es de 76.8%. Por tipo de localidad se encontró que para las localidades rurales de tipo urbano medio aumentan a 23.0% y 66.4%, y en las localidades urbanas, alcanzan valores del 96.6% en Valle de México. (11)

La Dirección General de Construcción y Operación Hidráulica (DGCOH), y de la Comisión Estatal de Agua y Saneamiento del Estado de México, (CEAS) realiza el suministro de la mayor parte del agua potable por lo que estas dependencias son las responsables de potabilizar 61.57 m³/s agua. Existen aparte cinco plantas de potabilización más, con lo cual se suman 1.09 m³/s a este proceso, de esta manera se obtiene un grado de potabilización en la Región XIII, del 88.8%. Además, en la mayor parte de las fuentes propias no incluidas en las mencionadas previamente, se realiza al menos desinfección mediante la

inyección de cloro, o gas cloro, directamente al pozo, con lo cual se incrementa el grado de potabilización y desinfección de la Región XIII. (11)

Adicionalmente y de acuerdo a las proyecciones de población realizadas se puede anotar que la demanda de agua potable para uso doméstico crecerá a 53.57 m³/s para el año 2000, a 60.58 m³/s en el año 2010 y a 67.15 m³/s para el año 2020. (10)

La condición de explotación se encuentra en la Cuenca del Valle de México en sobreexplotado por sus altos bombeos y en subexplotado en Tula por no ser ésta su fuente principal de abastecimiento.

En la Región XIII, el agua superficial es insuficiente para satisfacer las necesidades de la región. La mayor parte de los volúmenes de lluvia son desalojados en forma prácticamente inmediata sin ser aprovechados para riego o bien para recarga de acuíferos. Las áreas cultivables están en proceso de desaparición, y con excepción de algunas pequeñas zonas de riego, la agricultura es de temporal.

Con respecto a la disponibilidad de agua (incluyendo la subterránea renovable) se tienen 2 247 millones de m³ para los 14 millones de hectáreas que comprende el Valle de México, por lo tanto no hay disponibilidad para riego. (10)

Por otra parte, si hay disponibilidad de agua para el desarrollo de actividades pecuarias en el Valle de México, esto de manera establecida, y la superficie de temporal utilizada para el pastoreo del ganado es cerca de 74 mil hectáreas, porcentaje mínimo a nivel nacional pues existen 125 millones de hectáreas de temporal en el país. (10)

El potencial acuícola se ha reducido por la contaminación en diferentes cuerpos de agua, ocasionada por la contaminación que producen la industria y las actividades urbanas. Para este concepto se utiliza al año un volumen de 15.22 millones de m³ de agua. En lo que se refiere al uso industrial nacional, el 75% del suministro proviene del agua subterránea y el 25% restante de fuentes superficiales. (31)

Al evaluar la información de la Red Nacional de Monitoreo de la Calidad del Agua, se observó que en las condiciones actuales es difícil el aprovechamiento del agua superficial por la industria, ya que el 58% se clasifica como contaminada, el 21% como fuertemente contaminada. (10)

Existen en la Región XIII 412 usuarios registrados en este sector, de éstos, el 87.9% se concentra en la Zona I, la Zona Metropolitana de la Ciudad de México. Para estos usuarios el abastecimiento de aguas se realiza básicamente de fuentes subterráneas, el 77.0% del volumen total suministrado procede de este tipo de fuentes, mientras que el 23.0% restante tiene un origen

superficial. Por lo que se refiere al consumo de agua por subregión, resulta que la mayor parte de éste se demanda en el Valle de México, donde alcanza un valor de 88.4%, mientras que el restante 11.6% de Tula, en este aspecto, la ZMCM destaca al concentrar la mayor parte de la industria de la región, y con ello la demanda de servicios en comparación al resto de la Región XIII.

En la tabla 22 se observa precisamente que en la subregión Valle de México la fuente única de consumo es la subterránea, y en la de Tula, el mayor consumo proviene también de esta fuente.

Tabla 22

**RELACIÓN DE CONSUMO DE AGUA DE LAS INDUSTRIAS UBICADAS EN LA
REGIÓN XIII, SEGÚN SU FUENTE DE ABASTECIMIENTO**

| SUBREGIÓN | ZONA DE ESTUDIO | CONSUMO Mill m ³ | |
|-----------------------|------------------------------|--------------------------------|-------------|
| | | SUPERFICIAL | SUBTERRÁNEA |
| VALLE DE MÉXICO | I ZMCM | - | 89.22 |
| | II AVENIDAS DE PACHUCA | - | 1.20 |
| | III APAN | - | 2.61 |
| | SUBTOTAL | - | 93.03 |
| TULA | A EL SALTO | 37.81 | 32.93 |
| | B SALADO | 10.73 | 9.35 |
| | C TASQUILLO | 2.55 | 2.23 |
| | SUBTOTAL | 51.09 | 44.50 |
| TOTAL | | 51.13 | 137.53 |

4. CALIDAD DEL AGUA EN LA REGIÓN XIII VALLE DE MÉXICO

4.1 CALIDAD DEL AGUA E IMPACTO AMBIENTAL

La Región XIII Valle de México comprende la concentración urbana-industrial más grande del mundo: la Ciudad de México. Este hecho propicia graves problemas de contaminación de las fuentes de agua, tanto superficiales como subterráneas, principalmente en la Cuenca del Río Tula la cual recibe las aportaciones de aguas residuales provenientes de la Cuenca del Valle de México concretamente del Distrito Federal y su Zona Metropolitana.

De acuerdo a la Ley de Aguas Nacionales (32), la Comisión Nacional del Agua (CNA), es la responsable de elaborar, promover y aplicar la política de administración del recurso hidráulico, con el fin de aprovecharlo y preservarlo, tanto en calidad como en cantidad, para el apropiado desarrollo de las actividades socioeconómicas del país. El conocimiento de la disponibilidad del agua en cantidad y calidad en las diferentes regiones hidrológicas en que se divide el país, es por una parte una necesidad para quienes elaboran programas encaminados a un mejor uso y aprovechamiento del recurso, y por otra parte, una demanda por parte de los diferentes grupos que conforman la sociedad, de saber la situación que guarda el agua en el país.

En 1974, la SRH pone en funcionamiento la Red Nacional de Monitoreo, y actualmente se tienen en operación 803 estaciones en el país. Esta Red cubre todos los estados de la República y 29 de las 37 regiones hidrológicas. (11)

Con el propósito de que la información proporcionada por la Red pudiera disponerse por diferentes tipos de usuarios desde 1976 se conformó un primer sistema de cómputo, estableciéndose de esta manera el Sistema de Información de Calidad del Agua (SICA). (11)

El monitoreo de la calidad de los cuerpos de agua del país, consiste en la determinación de entre 18 y 38 parámetros físicos, químicos y bacteriológicos del agua.

El ICA indica el grado de contaminación del agua a la fecha del muestreo y está expresando como un valor relativo (expresado en porcentaje) del agua pura; así, agua altamente contaminada tendrá un ICA cercano o igual a 0% y para el agua en excelentes condiciones cercano a 100. (11)

Son 18 los parámetros que se utilizan en la determinación del ICA y éstos se clasifican en cuatro categorías: cantidad de materia orgánica presente medida como demanda bioquímica de oxígeno (DBO) y oxígeno disuelto (OD); cantidad de organismos bacterianos, medida como coliformes fecales (CF) y totales (CT); materia iónica medida por la alcalinidad (A), dureza, cloruros (Cl),

conductividad eléctrica (CE), concentración de iones hidrógeno (pH), grasas y aceites, sólidos suspendidos (SS), sólidos disueltos (SD), nutrientes (nitrógenos en forma de nitratos (NO₃)), amoníaco (NH₄) y fosfato en forma de fosfatos (PO₄) y detergentes (D); y finalmente las características físicas medidas por medio del color y la turbiedad (T).

El oxígeno disuelto y la demanda bioquímica de oxígeno, son los parámetros de mayor peso en el valor del ICA. (11)

En la Cuenca del Valle de México existen zonas que presentan problemas referentes a la calidad del agua, además de una variación importante de la profundidad del nivel estático (capa a la que se elevan las aguas subterráneas o superficie superior de la zona de saturación).

Tabla 23
CLASIFICACIÓN DE CORRIENTES (11)

| CORRIENTE | No. DE ESTACIONES DE MONITOREO | ICA MÍNIMO (EPOCA DE ESTIAJE) | ICA MÁXIMO (RESTO DEL AÑO) | CALIFICACIÓN GENERAL DE LA CALIDAD DEL AGUA (EPOCA DE ESTIAJE) | CALIFICACIÓN GENERAL DE LA CALIDAD DEL AGUA (RESTO DEL AÑO) |
|--------------------|--------------------------------|-------------------------------|----------------------------|--|---|
| GRAN CANAL | 2 | 23 | 46 | INACEPTABLE | FUERTEMENTE CONTAMINADAS |
| RÍO CHURUBUSCO | 1 | 25 | 42 | INACEPTABLE | FUERTEMENTE CONTAMINADAS |
| RÍO DE LA COMPAÑIA | 3 | 27 | 46 | INACEPTABLE | FUERTEMENTE CONTAMINADAS |
| RÍO LOS REMEDIOS | 2 | 27 | 45 | INACEPTABLE | FUERTEMENTE CONTAMINADAS |
| RÍO TLALNEPANTLA | 1 | 63 | 79 | CONTAMINADA | ACEPTABLE |
| RÍO CLAUJITLÁN | 2 | 27 | 59 | INACEPTABLE | CONTAMINADA |
| RÍO TEPOTZOTLÁN | 1 | 33 | 57 | INACEPTABLE | CONTAMINADA |
| EMISOR PONIENTE | 1 | 27 | 46 | INACEPTABLE | FUERTEMENTE CONTAMINADAS |
| CANAL SANTO TOMÁS | 1 | 22 | 50 | INACEPTABLE | CONTAMINADA |
| RÍO TULA | 1 | 41 | 64 | FUERTEMENTE CONTAMINADAS | CONTAMINADA |
| RÍO TULA | 1 | 44 | 58 | FUERTEMENTE CONTAMINADAS | CONTAMINADA |
| RÍO TULA | 1 | 25 | 48 | INACEPTABLE | FUERTEMENTE CONTAMINADAS |
| RÍO TULA | 1 | 29 | 43 | INACEPTABLE | FUERTEMENTE CONTAMINADAS |
| RÍO TULA | 1 | 22 | 31 | INACEPTABLE | INACEPTABLE |
| RÍO TULA | 1 | 20 | 26 | INACEPTABLE | INACEPTABLE |
| RÍO TULA | 1 | 41 | 52 | FUERTEMENTE CONTAMINADOS | CONTAMINADA |
| CANAL ENDOHO | 1 | 20 | 30 | INACEPTABLE | INACEPTABLE |
| RÍO TEPÉJL | 3 | 37 | 51 | INACEPTABLE | CONTAMINADA |
| RÍO SALADO | 2 | 22 | 34 | INACEPTABLE | INACEPTABLE |
| RÍO EL SALTO | 1 | 20 | 23 | INACEPTABLE | INACEPTABLE |
| RÍO ALFAJAYUCÁN | 2 | 34 | 66 | INACEPTABLE | CONTAMINADA |

Para el estudio de la calidad de las aguas superficiales, la Red Nacional de Monitoreo cuenta con 30 estaciones. Del análisis de la información disponible se puede concluir que de acuerdo a la clasificación propuesto por la CNA para determinar el índice de calidad del agua (ICA), que la mayor parte de las corrientes superficiales de la región se encuentran fuertemente contaminadas, de los 15 caudales con información 14 de ellos (93.3%) corresponde con esta clasificación; y únicamente uno de ellos, el río Tlalnepantla, antes de su descarga a la presa Madín, presenta una clasificación de aceptable, para la que el control de las descargas, ha sido más estricto en sus programas de recuperación y control de la contaminación, sobre todo en la presa Madín, cuyas aguas son potabilizadas para uso doméstico. (11)

En la metodología propuesta por la CNA para determinar el índice de calidad del agua no intervienen los parámetros de demanda química de oxígeno (DQO) y sólidos suspendidos totales (SST). El DQO por tal motivo no se monitorea con la misma frecuencia. Los registros de los sólidos suspendidos totales aunque no intervienen en la valoración del ICA sí son monitoreados con la misma frecuencia. (11)

Tabla 24

CLASIFICACIÓN DE CORRIENTES POR SÓLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES (11)

| CORRIENTE | lc PARA SÓLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES | CALIFICACIÓN PARA ABASTECIMIENTO DE AGUA POTABLE | CALIFICACIÓN PARA USO INDUSTRIAL Y AGRÍCOLA |
|---------------------|-------------------------------------|--|---|
| RIO EL SALTO | 35 | NO ACEPTABLE | CON TRATAMIENTO EN LA MAYOR PARTE DE LA INDUSTRIA |
| RIO LOS REMEDIOS | 29 | NO ACEPTABLE | USO MUY RESTRINGIDO |
| RIO SALADO | 42 | DUDOSO | CON TRATAMIENTO EN LA MAYOR PARTE DE LA INDUSTRIA |
| RIO TEPEJI | 58 | MAYOR NECESIDAD DE TRATAMIENTO | SIN TRATAMIENTO PARA LA INDUSTRIA NORMAL |
| RIO TEPOTZOTLÁN | 154 | | |
| RIO TLALNEPANTLA | 45 | DUDOSO | CON TRATAMIENTO EN LA MAYOR PARTE DE LA INDUSTRIA |
| RÍO TULA | 66 | MAYOR NECESIDAD DE TRATAMIENTO | SIN TRATAMIENTO PARA LA INDUSTRIA NORMAL |
| CANAL ENDHÓ | 37 | NO ACEPTABLE | CON TRATAMIENTO EN LA MAYOR PARTE DE LA INDUSTRIA |
| CANAL SANTO TOMÁS | 35 | NO ACEPTABLE | CON TRATAMIENTO EN LA MAYOR PARTE DE LA INDUSTRIA |
| EMISOR DEL PONIENTE | 33 | NO ACEPTABLE | CON TRATAMIENTO EN LA MAYOR PARTE DE LA INDUSTRIA |
| GRAN CANAL | 50 | DUDOSO | SIN TRATAMIENTO PARA LA INDUSTRIA NORMAL |
| RIO ALFAJAYUCAN | 76 | MAYOR NECESIDAD DE TRATAMIENTO | LA PURIFICACIÓN PARA ALGUNOS PROCESOS |
| RÍO CUAUTILÁN | 66 | MAYOR NECESIDAD DE TRATAMIENTO | SIN TRATAMIENTO PARA LA INDUSTRIA NORMAL |
| RÍO CHURUBUSCO | 38 | NO ACEPTABLE | CON TRATAMIENTO EN LA MAYOR PARTE DE LA INDUSTRIA |
| RÍO DE LA COMPAÑIA | 29 | NO ACEPTABLE | USO MUY RESTRINGIDO |
| RÍO DE LOS REMEDIOS | 30 | NO ACEPTABLE | CON TRATAMIENTO EN LA MAYOR PARTE DE LA INDUSTRIA |

Al igual que para las corrientes superficiales, a partir de la determinación del ICA en las estaciones representativas de los principales cuerpos de agua de la región, se realizó una clasificación de los cuerpos de agua, obteniéndose los resultados que se muestran:

Tabla 25

CLASIFICACIÓN DE LOS CUERPOS DE AGUA (11)

| CORRIENTE | UBICACIÓN | No. DE ESTACIONES DE MONITOREO | ICA MÍNIMO (ÉPOCA DE ESTIAJE) | ICA MÁXIMO (RESTO DEL AÑO) | CLASIFICACIÓN GENERAL DE LA CALIDAD DEL AGUA (ÉPOCA DE ESTIAJE) | CLASIFICACIÓN GENERAL DE LA CALIDAD DEL AGUA (RESTO DEL AÑO) |
|----------------------------|--------------------------------------|--------------------------------|-------------------------------|----------------------------|---|--|
| KM 0+000 CANAL ENDHÓ (SOT) | KM 0+000 CANAL ENDHÓ (SOT) | 1 | 29 | 43 | INACEPTABLE | FUERTEMENTE CONTAMINADAS |
| RÍO ALPAJAYUCAN | OBRA DE TOMA PRESA ROJO GÓMEZ | 1 | 35 | 60 | INACEPTABLE | CONTAMINADA |
| RÍO ALPAJAYUCAN | OBRA DE TOMA V. AGUIRRE | 1 | 34 | 66 | INACEPTABLE | CONTAMINADA |
| RÍO TEPEJÍ | OBRA DE TOMA PRESA REQUENA | 1 | 50 | 55 | CONTAMINADA | CONTAMINADA |
| CANAL STO. TOMÁS | STO. TOMÁS ESTRUCTURA (OBRA DE TOMA) | 1 | 22 | 50 | INACEPTABLE | CONTAMINADA |
| RÍO CUAUTTLÁN | A.A. DE LA PRESA GPE. | 1 | 32 | 59 | INACEPTABLE | CONTAMINADA |
| RÍO TLALNEPANTLA | A.A. DE LA PRESA MADÍN | 1 | 63 | 70 | CONTAMINADA | ACEPTABLE |
| RÍO CHURUBUSCO | ENTRADA AL LAGO DE TEXCOCO | 1 | 25 | 42 | INACEPTABLE | FUERTEMENTE CONTAMINADAS |

NOTA: EL PERIODO DE ESTIAJE ABARCA LOS MESES DE OCTUBRE A ABRIL Y EL PERIODO DE LLUVIAS EL RESTO DEL AÑO.

Puede concluirse del análisis anterior que la mayor parte de los cuerpos de agua de la región se encuentran fuertemente contaminados, en menor grado ocurre en la presa Madín.

El agua contenida en las formaciones geohidrológicas del Valle de México presenta facilidad para variar su calidad, no sucede lo mismo en los acuíferos de Tula, en donde los suelos tienen una permeabilidad diferente y motivan un comportamiento distinto. En la Región XIII la mayor parte del agua subterránea

se extrae entre profundidades entre 50 a 250 m en promedio, con algunas excepciones donde la extracción es a mayor profundidad; el agua se encuentra en general con calidad aceptable sin embargo existen algunas zonas, donde ha sobrepasado las normas establecidas por la Secretaria de Salud para agua potable, cuyos limites son:

Tabla 26

LÍMITES PARA AGUA POTABLE (29)

| PARÁMETRO | LÍMITE mg/l | PARÁMETRO | LÍMITE mg/l |
|-----------|----------------|--------------------|----------------|
| Sulfatos | 500 | Dureza Total | 300 |
| Cloruros | 250 | Residuo Seco Total | 1000 |
| Nitratos | 22.2 | Boro | 1 |
| Amonio | 0.65 | Bicarbonatos | 500 |

A partir del estudio del agua subterránea realizado por la Gerencia Técnica de GRAVAMEX (Gerencia Regional de Aguas del Valle de México) en 1996, se realizó un análisis de la calidad del recurso en los acuíferos de la cuenca del Valle de México, sin embargo el estudio no incluyó en sus alcances a la del Río Tula, por lo que no fue factible realizarlo para esta cuenca. Este estudio se apoyó con información hasta el año de 1995.

Las zonas que presentan mayores problemas de contaminación en los acuíferos de la subregión Valle de México, son por una parte las que rodean al lago de Texcoco y por otra, las áreas cercanas a la zona de Chalco. La zona de Chiconautla está situada en la parte Norte del lago de Texcoco, y en ésta el acuífero rebasa los limites permitidos en cloruros, dureza total y amonio, es

posible que exista contaminación por el manejo de aguas negras para el riego de este distrito.

Ecatepec, al oeste del lago de Texcoco, así como Iztapalapa y Nezahualcóyotl que se encuentran en la parte sur de esta zona, rebasan los límites permitidos de cloruros, dureza total, residuo seco, bicarbonatos y amonio, lo que indica que hay contacto con las aguas contaminadas del lago de Texcoco. De igual manera las zonas de Tláhuac y Chalco que se ubican en las proximidades del lago de Chalco, rebasan los límites permitidos de calidad de agua en: sulfatos, cloruros, dureza total, residuo seco y amonio, lo anterior refleja que existe contaminación en este acuífero, debido principalmente a las filtraciones de la zona de riego.

La porción norte del Distrito Federal rebasa los límites permitidos referentes a amonio, debido básicamente a que existe contaminación en las aguas, posiblemente por filtraciones de las redes de drenaje de la ciudad.

En la cuenca del Río Tula se localizan tres distritos de riego: Tula, Jilotepec y Alfajayucan, así como 115 unidades de riego, que cubren una superficie en conjunto de 96639 ha. Se aprovechan las aguas negras provenientes de la ZMCM, en un volumen de 2334.84 mill m³/año, de este volumen el 57.7% es agua residual cruda, lo que ha provocado la contaminación de los acuíferos de la cuenca.

Por otra parte de acuerdo con el análisis realizado de las descargas de centros de población, es evidente que el estado de conservación y funcionamiento en que se encuentra la infraestructura de saneamiento, se asocia con altos grados de contaminación del agua.

En la actualidad las redes de alcantarillado sanitario existentes dentro de las dos subregiones cubren el 88.50% de la demanda del servicio en la subregión Valle de México y el 46.30% en Tula, determinándose que la producción media de aguas residuales asciende a 1665.22 mill m³ anuales, y de acuerdo al nivel de cobertura del servicio de alcantarillado, 1300.94 mill m³ son captados por las redes existentes, y 364.28 mill m³ son descargados directamente a corrientes naturales cercanas a sus localidades o en calles de las mismas.

Cuando las evidencias anteriores son consideradas, no hay más que admitir que el mal uso del agua y de los agroquímicos en la agricultura bajo riego tiene efectos significativos sobre la calidad del agua. Si bien la mayor parte de los efectos son frecuentemente adversos, dependiendo de las circunstancias de cada caso, la magnitud de estos problemas no se perciben inmediatamente.

Las investigaciones realizadas en los acuíferos del Valle de México han confirmado que la irrigación es responsable del aumento en las concentraciones

de nitratos en las aguas subterráneas. Se monitoreó la concentración de nitratos en 22 pozos localizados en ocho acuíferos del valle. En la mayor parte de estos se encontraron concentraciones de nitratos superiores a la norma mexicana (22.1 mg/l).

Al parecer, la actividad agrícola de la región está ocasionando un aumento en la concentración de nitratos y plaguicidas en los acuíferos, originando zonas con agua de mala calidad que rebasan por las normas establecidas a causa de, principalmente, los grandes volúmenes de fertilizantes nitrogenados aplicados en los campos agrícolas.

La contaminación de las aguas subterráneas aparece cuando las sustancias químicas sintéticas fabricadas por el hombre se disuelven en el agua que alimenta a las reservas del subsuelo.

Si se utiliza agua de baja calidad para bebida de los animales, por exceso de sales, produce desarreglos fisiológicos y hasta la muerte de los animales. Para determinar la aptitud de uso de agua es necesario tener en cuenta dos aspectos: 1º) el aspecto microbiológico y 2º) el aspecto químico de la muestra. Considerando parte del segundo aspecto, la salinidad, se muestra en la siguiente tabla las categorías que adquiere el agua según su contenido. (19)

Tabla 27

GUÍA DE CALIDAD DE AGUA PARA EL GANADO Y AVES DE CORRAL (19)

| SALINIDAD DEL AGUA (dS/m) | CLASE | NOTAS |
|---------------------------|--|--|
| <1.5 | Excelente | Apta para todas clases de ganado y aves de corral |
| 1.5 - 5.0 | Muy satisfactoria | Apta para todas las clases de ganado y aves de corral. Puede provocar diarreas temporales al ganado no acostumbrado y excrementos acuosos en aves. |
| 5.0 - 8.0 | Satisfactoria para el ganado. No apta para aves | Puede producir diarrea temporal o no ser aceptada por animales no acostumbrados a ellas. Provoca a menudo excrementos acuosos, aumento de mortandad y reducción de crecimiento, especialmente en pavos. |
| 8.0 - 11.0 | De uso limitado para el ganado. No apta para aves | Apta con razonable seguridad para vacunos, lechero, carne, ovinos, porcinos y caballar. Evitar animales preñados y en lactación. No apta para aves de corral. |
| 11.0 - 16.0 | De uso muy limitado | No aptas para aves y probablemente para porcinos. Gran riesgo con vacas lactantes o preñadas, ovinos y caballar. Evitar su uso, aunque los rumiantes, caballos, porcinos y aves más viejos pueden subsistir bajo ciertas condiciones. |
| >16.0 | No recomendable | Riesgos muy grandes. |

Es importante considerar otros factores, además del contenido salino, para evaluar un agua como ser: a) variaciones estacionales, b) tipo, edad y condición de los animales, c) composición de los alimentos y d) grado de acostumbramiento. (19) La reducción en el consumo de agua conlleva a una disminución en el consumo de alimentos, lo que en un momento dado ocasiona enfermedades en los animales, pérdidas económicas, productos de mala calidad y si se llega a la comercialización de estos productos, afecciones en el consumidor.

En la región se localizan 95 plantas de tratamiento industriales, la capacidad instalada es de 1297 l/s, lo que significa que en ambas subregiones hay déficit de capacidad de tratamiento, están siendo procesados 851 l/s, lo que implica la utilización del 65.61% de la capacidad instalada; además se

determina que del total de aguas residuales industriales producidas únicamente es tratado el 14% de la totalidad de la Región XIII Valle de México.

(11)

En la subregión Valle de México se reusan 311.69 mill m³/año, lo anterior significa que sólo el 24.8% de las aguas residuales se aprovechan dentro de la subregión, aunque en la cuenca del Río Tula se utilizan los 943.91 mill m³/año excedentes en riego. (11)

Las condiciones de baja calidad del agua afectan a la salud de la población, son 15 las enfermedades de origen hídrico más severas o de mayor frecuencia que se presentan en la región y que tiene un origen relacionado con la calidad del agua suministrada, de ellas las más importantes son: cólera, amibiasis intestinal, enfermedades diarreicas agudas, infecciones intestinales debidas a organismos no protozoarios, ascariasis y otras helmintiasis. (10)

Tabla 28

INDICES DE MORBILIDAD DE ENFERMEDADES DE ORIGEN HÍDRICO (11)

NÚMERO DE CASOS PRESENTADOS HASTA LA SEMANA 27 DE 1997.

| ENTIDAD FEDERATIVA ENFERMEDADES | TLAXCALA | D. F. | EDO. MEX. | HIDALGO | NIVEL NACIONAL |
|---|-----------------|--------|-----------|---------|-------------------|
| | NÚMERO DE CASOS | | | | |
| Enf. Diarreicas agudas CIE 002.0-009 | 33382 | 128547 | 307261 | 43348 | 2323754 |
| Cólera CIE 001 | 16 | 30 | 40 | 12 | 573 |
| Fiebre tifoidea CIE 002.0 | 29 | 78 | 208 | 31 | 4603 |
| Paratifoidea y otras salmonelosis CIE 002.1 002.9 003 | 458 | 1842 | 3542 | 438 | 61403 |
| Shigelosis CIE 004 | 234 | 63 | 1843 | 600 | 15463 |
| Intoxicación alimentaria bacteriana CIE 005 | 30 | 1090 | 308 | 32 | 17449 |
| Amibiasis intestinal CIE 006.0 006.2 006.9 | 7908 | 15575 | 74094 | 19180 | 601637 |
| Absceso hepático amibiano CIE 006.3 | 24 | 28 | 319 | 77 | 3105 |
| Giardiasis CIE 007.1 | 243 | 2606 | 2702 | 379 | 30278 |
| Oxiuriasis CIE 127.4 | 375 | 1509 | 2010 | 1256 | 57715 |
| Ascariasis CIE 127.0 | 1428 | 5078 | 11046 | 7446 | 205085 |
| Teniasis CIE 123.0 y 123.2- 123.3 | 6 | 37 | 50 | 55 | 1641 |
| Otras helmintiasis CIE 120-129 | 3032 | 14066 | 69766 | 1828 | 315611 |
| Otras debidas a protozoarios CIE 007.0 007.2-007.9 | 1913 | 14154 | 2402 | 356 | 41267 |
| Infecciones intestinales debidas a otros organismos | 22567 | 93139 | 222152 | 22332 | 1551654 |

Como se observa en la tabla 28, en el estado de Tlaxcala la incidencia de enfermedades relacionadas con la calidad del agua es muy alta, comparada tanto a nivel Regional, como a nivel Nacional; en todas las enfermedades analizadas se superan los índices nacionales, algunos de ellos inclusive de manera alarmante, por lo que le hace ser la entidad con más alta tasa de morbilidad de la región. Para Hidalgo la mayor parte de los registros son inferiores al nacional, excepto en la ocurrencia de enfermedades diarreicas agudas, amibiasis intestinal, ascariasis y teniasis; en el Estado de México

solamente las infecciones intestinales y otras helmintiasis superan los índices nacionales, y en el Distrito Federal, a excepción de enfermedades debidas a protozoarios, el resto reporta índices menores a los nacionales.

En los últimos, el cólera durante el período de octubre de 1995 a febrero de 1997, bajó de 19 casos en el ámbito regional a 15, volvió a subir a 16 y después alcanzó el valor de 31 casos en noviembre de 1995, pero a partir del control de esta situación descendió paulatinamente hasta que en el período del 13 al 19 de octubre de 1997 sólo se presentó un caso, en el Distrito Federal.

(11)

4.2 NORMALIZACIÓN Y REGLAMENTACIÓN DE AGUA POTABLE

Conforme a la Ley de Aguas Nacionales y su Reglamento, la CNA 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. (31)

Se han expedido las Normas Oficiales Mexicanas en materia hidráulica, que son:

- NOM-001-CNA-1995. - Sistemas de alcantarillado sanitario - Especificaciones de hermeticidad.
- NOM-002-CNA-1995. - Toma domiciliaria para abastecimiento de agua potable - Especificaciones y métodos de prueba.
- NOM-003-CNA-1996. - Requisitos durante la construcción de pozos de extracción de agua para prevenir la contaminación de acuíferos.
- NOM-004-CNA-1996. - Requisitos para la protección de acuíferos durante el mantenimiento y rehabilitación de pozos de extracción de agua y para el cierre de pozos en general.
- NOM-005-CNA-1996. - Fluxómetros - Especificaciones y métodos de prueba. (31)

Dentro de estas normas, lo concerniente al control en la calidad del agua se menciona en la tercera y cuarta normas, de la siguiente manera: en la NOM-003-CNA-1996, en el párrafo 6.6 *Desinfección del pozo*, se manifiesta el tratamiento del agua en el pozo con cloro, tabletas de hipoclorito de calcio, solución de hipoclorito de sodio o cualquier otro desinfectante de efecto similar, con la concentración apropiada y aprobada por la Secretaría de Salud, dejando claro que después se debe bombear hasta que no se detecten residuos del desinfectante usado; y en la NOM-004-CNA-1996 en el párrafo 6.1 *Mantenimiento de pozos para extracción de agua*, se dice que para los pozos destinados a los usos público urbano, así como para aquellos destinados a usos agroindustrial e industrial que procesen alimentos, será obligatoria la desinfección del pozo como mínimo cada tres años, aplicando proporcionalmente al volumen de agua contenido en el pozo el desinfectante necesario para que el cloro activo sea de 200 mg/L como mínimo y monitoreando la calidad del agua con un muestreo al cabo del tiempo señalado, para realizar un análisis físico-químico y bacteriológico, de acuerdo con los métodos de análisis establecidos en Normas Mexicanas (NMX) o los internacionalmente aceptados; dicho muestreo se efectúa conforme a la NOM-014-SSA1-1994 (Procedimientos sanitarios para el muestreo de agua para uso y consumo humano en sistemas de abastecimiento público y privados). Respecto a la desinfección del pozo, en la primera norma, los límites utilizados para verificarla serán de acuerdo a la norma NOM-127-SSA1 en cuanto a los parámetros bacteriológicos.

De lo anterior se observa que existen normas relacionadas con el sector agua emitidas por diversas dependencias. Algunas de ellas son:

Tabla 29

NORMAS RELACIONADAS CON EL SECTOR AGUA (11)

| DEPENDENCIA EMISORA O RAMA | DESCRIPCIÓN |
|----------------------------|---|
| SECRETARÍA DE SALUD | NOM-012-SSA1-1993 FEP: 1994-08-12 TÍTULO: REQUISITOS SANITARIOS QUE DEBEN CUMPLIR LOS SISTEMAS DE ABASTECIMIENTO DE AGUA PARA USO Y CONSUMO PÚBLICOS Y PRIVADOS. |
| | NOM-014-SSA1-1993 FEP: 1994-08-12 TÍTULO: PROCEDIMIENTOS SANITARIOS PARA EL MUESTREO DE AGUA PARA USO Y CONSUMO HUMANO EN SISTEMAS DE ABASTECIMIENTO PÚBLICO Y PRIVADOS. |
| | NOM-041-SSA1-1994 FEP: 1994-08-12 TÍTULO: BIENES Y SERVICIOS. AGUA PURIFICADA ENVASADA. ESPECIFICACIONES SANITARIAS. |
| | NOM-042-SSA1-1994 FEP: 1995-03-17 TÍTULO: BIENES Y SERVICIOS. HIELO POTABLE Y HIELO PURIFICADO. ESPECIFICACIONES SANITARIAS. |
| | NOM-092-SSA1-1994 FEP: 1995-12-12 TÍTULO: BIENES Y SERVICIOS. MÉTODO PARA CUENTA DE BACTERIAS AEROBIAS EN PLACA. |
| | NOM-112-SSA1-1994 FEP: TÍTULO: DETERMINACIÓN DE BACTERIAS COLIFORMES. TÉCNICA DEL NÚMERO MÁS PROBABLE. |
| | NOM-113-SSA1-1994 FEP: 1995-08-25 TÍTULO: BIENES Y SERVICIOS. MÉTODO PARA LA CUENTA DE MICROORGANISMOS COLIFORMES TOTALES EN PLACA. |
| | NOM-117-SSA1-1994 FEP: 1995-08-16 TÍTULO: BIENES Y SERVICIOS. MÉTODOS DE PRUEBA PARA LA DETERMINACIÓN DE CADMIO, ARSÉNICO, PLOMO, ESTAÑO, COBRE, FIERRO, ZINC Y MERCURIO EN ALIMENTOS, AGUA POTABLE Y AGUA PURIFICADA, POR ESPECTROMETRÍA DE ABSORCIÓN ATÓMICA. |
| | NOM-127-SSA1-1994 FEP: 1996-01-18 TÍTULO: SALUD AMBIENTAL, AGUA PARA USO Y CONSUMO - LÍMITES PERMISIBLES DE CALIDAD Y TRATAMIENTOS A QUE DEBE SOMETERSE EL AGUA PARA SU POTABILIZACIÓN. |
| | PROTECCIÓN AL AMBIENTE |

| | |
|--|--|
| | <p>DETERMINACIÓN DE NITRÓGENO DE NITRITOS EN AGUA.</p> <p>NMX-AA-100-1987 FEP: 1987-06-22 TÍTULO: CALIDAD DEL AGUA - DETERMINACIÓN DE CLORO TOTAL - MÉTODO IODOMÉTRICO.</p> <p>NMX-AA-102-1987 FEP: 1987-08-28 TÍTULO: CALIDAD DEL AGUA - DETECCIÓN Y ENUMERACIÓN DE ORGANISMOS COLIFORMES, TERMOTOLERANTES Y ESCHERICHIA COLI PRESUNTIVA - MÉTODO DE FILTRACIÓN EN MEMBRANA.</p> <p>NMX-AA-108-1992 FEP: 1992-03-24 TÍTULO: CALIDAD DEL AGUA - DETERMINACIÓN DE CLORO LIBRE Y CLORO TOTAL - MÉTODO VOLUMÉTRICO DE LA DPD FERROSA.</p> |
|--|--|

En el *REGLAMENTO DE LA LEY GENERAL DE SALUD EN MATERIA DE CONTROL SANITARIO DE ACTIVIDADES, ESTABLECIMIENTOS, PRODUCTOS Y SERVICIOS* (publicado en el Diario Oficial de la Federación el día 18 de enero de 1988), el Título Tercero se refiere a: Agua y hielo para uso y consumo humano y para refrigerar. Comienza con el Art. 209 que dice: "Se considera agua potable o agua apta para consumo humano toda aquella cuya ingestión no cause efectos nocivos a la salud. Se considera que no causa efectos nocivos a la salud, cuando se encuentra libre de gérmenes patógenos y de sustancias tóxicas, y cumpla, además con los requisitos que se señalan en este título y en la norma correspondiente". (21)

En lo concerniente a la calidad bacteriológica menciona en el Art. 210 que el número de coliformes totales será como máximo de 2 organismos en 100 ml, y no contendrá organismos fecales, y en Art. 211 se mencionan los requisitos organolépticos y físicos que son: aspecto, pH, sabor, olor, color, turbiedad, y los demás que señale la norma.

A continuación se muestran los límites permisibles de características físicas, organolépticas, químicas y radiactivas, dispuestos en la NOM-127-SSA1-1994:

Tabla 30

LÍMITES PERMISIBLES DE CARACTERÍSTICAS FÍSICAS Y ORGANOLÉPTICAS (20)

| CARACTERÍSTICA | LÍMITE PERMISIBLE |
|----------------|---|
| Color | 20 unidades de color verdadero en la escala platino-cobalto. |
| Olor y sabor | Agradable (se aceptarán aquellos que sean tolerables para la mayoría de los consumidores, siempre que o sean resultados de condiciones objetables desde el punto de vista biológico o químico). |
| Turbiedad | 5 unidades de turbiedad nefelométricas (UTN) o su equivalente en otro método |

Tabla 31

LÍMITES PERMISIBLES DE CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS (20)

| CARACTERÍSTICA | LÍMITE PERMISIBLE |
|--|-------------------|
| Aluminio | 0.20 |
| Arsénico | 0.05 |
| Bario | 0.70 |
| Cadmio | 0.005 |
| Cianuros (como CN ⁻) | 0.07 |
| Cloro residual libre | 0.2-1.50 |
| Cloruros (como Cl ⁻) | 250.00 |
| Cobre | 2.00 |
| Cromo total | 0.05 |
| Dureza total (como CaCO ₃) | 500.00 |
| Fenoles o compuestos fenólicos | 0.001 |
| Hierro | 0.30 |
| Fluoruros (como F ⁻) | 1.50 |
| Manganeso | 0.15 |
| Mercurio | 0.001 |
| Nitratos (como N) | 10.00 |
| Nitritos (como N) | 0.05 |
| Nitrógeno amoniacal (como N) | 0.50 |
| pH (potencial de hidrógeno) en unidades de pH | 6.5-8.5 |
| Plaguicidas en microgramos / l: Aldrin y dieldrin (separados o combinados) | 0.03 |
| Clordano (total de isómeros) | 0.30 |
| DDT (total de isómeros) | 1.00 |
| Gamma-HCH (lindano) | 2.00 |
| Hexaclorobenceno | 0.01 |
| Heptacloro y epóxido de heptacloro | 0.03 |
| Metoxicloro | 20.00 |
| 2,4 D | 50.00 |
| Plomo | 0.025 |
| Sodio | 200.00 |
| Sólidos disueltos totales | 1000.00 |
| Sulfatos (como SO ₄ ²⁻) | 400.00 |
| Sustancias activas al azul de metileno (SAAM) | 0.50 |
| Trihalometanos totales | 0.20 |
| Zinc | 5.00 |

Tabla 32

LÍMITES PERMISIBLES DE CARACTERÍSTICAS RADIATIVAS (20)

| CARACTERÍSTICA | LÍMITE PERMISIBLE |
|---------------------------|-------------------|
| Radiactividad alfa global | 0.1 |
| Radiactividad beta global | 1.0 |

Cuando el agua de algún sistema de abastecimiento no reúna las características de potabilidad, según el Art. 222 del Reglamento mencionado, la autoridad sanitaria a fin de proteger la salud de los usuarios, procederá a ordenar que el consumo se suspenda o se condicione, hasta que se le dé al agua el tratamiento adecuado o, en su caso, se localice otra fuente apropiada.

4.3 TRATAMIENTOS DE POTABILIZACIÓN DEL AGUA

La selección de los procesos de tratamiento de aguas depende de ciertos factores:

- a) Características del agua: DBO, materia en suspensión, pH, productos tóxicos.
- b) Calidad del fluyente de salida requerido.
- c) Costo y disponibilidad de terrenos.
- d) Costo local del agua por ejemplo ósmosis inversa.

Según la NOM-127-SSA1-1994 la potabilización del agua proveniente de una fuente en particular, debe fundamentarse en estudios de calidad y pruebas de tratabilidad a nivel de laboratorio para asegurar su efectividad. Se aplicarán los tratamientos específicos siguientes cuando los contaminantes biológicos, las características físicas y los constituyentes químicos del agua, excedan los límites permisibles ya mencionados.

Tabla 33

TRATAMIENTOS PARA POTABILIZACIÓN DEL AGUA (20)

| TRATAMIENTO | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 |
|--|---|---|---|---|---|---|---|---|---|----|----|----|----|----|
| TIPO DE CONTAMINACIÓN | | | | | | | | | | | | | | |
| CONTAMINACIÓN BIOLÓGICA: bacterias, helmintos, protozoarios y virus. | x | | | | | | | | | | | | | |
| CARACTERÍSTICAS FÍSICAS Y ORGANOLÉPTICAS: color, olor, sabor y turbiedad | | x | x | x | | x | x | x | | | | | | |
| CONSTITUYENTES QUÍMICOS | | | | | | | | | | | | | | |
| 1. Arsénico | | x | x | x | | x | | | x | x | | | | |
| 2. Aluminio, bario, cadmio, cianuros, cobre, cromo total y plomo | | | | | | | | | x | x | x | | | |
| 3. Cloruros | | | | | | | | | x | | | x | | |
| 4. Dureza | | | | | | | x | x | | | | | | |
| 5. Fenoles o compuestos fenólicos | | | | | | x | | x | x | x | | | | |
| 6. Hierro y/o manganeso | | x | | | | | | | | x | | | | |
| 7. Fluoruros | | | | | | x | x | x | | | | | | |
| 8. Materia orgánica | | x | x | x | | x | x | | | x | | | | |
| 9. Mercurio | | x | x | | | x | | | x | | | | | |
| 10. Nitratos y nitritos | | x | x | | x | x | | | | | | | x | |
| 11. Nitrógeno amoniacal | | | | | | | | | | | | | | x |
| 12. pH | | | | | | | x | | | | | | | |
| 13. Plaguicidas | | | | | | | | | | x | | | | |
| 14. Sodio | | x | x | | | x | | | x | | | | | |
| 15. Sólidos disueltos totales | | | | | | | | | x | x | | | | |
| 16. Sulfatos | | | | | | | | | | | | | | |
| 17. Sustancias activas al azul de metileno | | | | | | | x | x | | | | | | |
| 18. Trihalometanos | | | | | | | | | x | | | x | | |
| 19. Zinc | | | | | | | | | | | | | | |

Nota: TRATAMIENTOS:

1. Desinfección con cloro, ozono o luz ultravioleta
2. Coagulación
3. Floculación
4. Precipitación
5. Sedimentación
6. Filtración
7. Adsorción en carbón activado
8. Oxidación con ozono
9. Intercambio iónico
10. Ósmosis inversa
11. Destilación
12. Ablandamiento químico
13. Degasificación o desorción en columna
14. Neutralización

DEFINICIONES DE LOS TRATAMIENTOS

DESINFECCIÓN

"Destrucción de organismos patógenos por medio de la aplicación de productos químicos o procesos físicos" (NOM-127-SSA1-1994).

CRIBADO

El cribado, se emplea para la reducción de sólidos en suspensión. Las rejillas o cribas tienen aberturas que pueden oscilar entre los 4 y 8 cm. Se usan como elementos de protección para evitar que sólidos de grandes dimensiones dañen las bombas y otros equipos mecánicos.

SEDIMENTACIÓN

La eliminación de las materias por sedimentación se basa en la diferencia de peso específico entre las partículas sólidas y el líquido donde se encuentren, que acaba en el depósito de las materias en suspensión.

NEUTRALIZACIÓN

"Ajuste de pH, mediante la adición de agentes químicos básicos o ácidos al agua en su caso, con la finalidad de evitar incrustación o corrosión de materiales que puedan afectar su calidad" (NOM-127-SSA1-1994).

Los métodos para la neutralización de aguas residuales incluyen 1) homogeneización, que consiste en mezclar las corrientes, algunas de las cuales

son ácidas y otras alcalinas, y 2) métodos de control directo de pH, que consisten en la adición de ácidos o bases para neutralizar las corrientes alcalinas y ácidas.

HOMOGENEIZACIÓN

Cuando se va a utilizar para conseguir la neutralización, significa la mezcla de corrientes de agua, ácidas y alcalinas en un tanque de homogeneización. La homogeneización se utiliza a menudo para otros objetivos a parte de la neutralización como son: 1) aminorar las variaciones de ciertas corrientes de aguas residuales, intentando conseguir una corriente mezclada, con un caudal relativamente constante, que sea el que llegue a la planta de tratamiento; y 2) aminorar las variaciones de la DBO del afluente a los sistemas de tratamiento. Con este propósito se utilizan tanques de homogeneización de nivel constante o variable.

El amoníaco presenta la desventaja de ser contaminante, como consecuencia de su uso puede estar prohibido por la normativa del control de contaminación.

Los factores que guían la selección de un reactivo de neutralización son: 1) costo de compra; 2) capacidad de neutralización; 3) velocidad de reacción y 4) almacenamiento y vertido de los productos de la neutralización.

NEUTRALIZACIÓN DE AGUAS ALCALINAS

En principio cualquier ácido fuerte puede ser usado para la neutralización. Las consideraciones económicas limitan la elección al ácido sulfúrico y al ácido clorhídrico. Las reacciones son esencialmente instantáneas.

Gases residuales que contengan 14% o más de CO₂, se usan a veces para la neutralización de las aguas alcalinas. Cuando se realiza un burbujeo a través de las aguas residuales, el CO₂ forma ácido carbónico que reacciona con la base. La reacción es lenta pero suficiente si el pH no necesita ser ajustado por debajo de 7 u 8. Bien con el burbujeo a través de tubos perforados o usando torres con aspersores se alcanza un resultado satisfactorio.

ELIMINACIÓN DE SÓLIDOS EN SUSPENSIÓN

Los sólidos en suspensión que no han sido eliminados en las operaciones convencionales de tratamiento primario y secundario pueden constituir una parte importante de la DBO en los fluentes de las plantas de tratamiento de las aguas. Se dispone de los siguientes procesos para la eliminación de estos sólidos en suspensión: 1) microtamizado, 2) filtración y 3) coagulación.

FILTRACIÓN

“Remoción de partículas suspendidas en el agua, haciéndola fluir a través de un medio filtrante de porosidad adecuada” (NOM-127-SSA1-1994).

COAGULACIÓN QUÍMICA

"Adición de compuestos químicos al agua, para alterar el estado físico de los sólidos disueltos, coloidales o suspendidos, a fin de facilitar su remoción por precipitación o filtración" (NOM-127-SSA1-1994).

PRECIPITACIÓN

"Proceso físico que consiste en la separación de las partículas suspendidas sedimentables del agua, por efecto gravitacional" (NOM-127-SSA1-1994).

FLOCULACIÓN

"Aglomeración de partículas desestabilizadas en el proceso de coagulación química, a través de medios mecánicos o hidráulicos" (NOM-127-SSA1-1994).

ADSORCIÓN EN CARBÓN ACTIVO

"Remoción de iones y moléculas de una solución que presentan afinidad a un medio sólido adecuado, de forma tal que son separadas de la solución" (NOM-127-SSA1-1994).

Adsorción es la concentración de un soluto en superficie de un sólido. Este fenómeno tiene lugar cuando se coloca dicha superficie en contacto con

una solución. Una capa de moléculas de soluto se acumula en la superficie del sólido debido al desequilibrio de las fuerzas superficiales.

En el interior del sólido las moléculas están rodeadas totalmente por moléculas similares y por lo tanto sujetas a fuerzas equilibradas.

Las moléculas en la superficie están sometidas a fuerzas no equilibradas. Debido a que estas fuerzas residuales son suficientemente elevadas, pueden atrapar moléculas de un soluto que se halle en contacto con el sólido. Este fenómeno se denomina adsorción física o de Van der Waals.

INTERCAMBIO IÓNICO

"Proceso de remoción de aniones o cationes específicos disueltos en el agua, a través de su reemplazo por aniones o cationes provenientes de un medio de intercambio, natural o sintético, con el que se pone en contacto" (NOM-127-SSA1-1994).

El intercambio iónico es un proceso en que los iones se mantienen unidos a grupos funcionales sobre la superficie de un sólido por fuerzas electrostáticas que se intercambian por iones de una especie diferente en disolución. Este procedimiento ha llegado a ser muy importante en el campo de tratamiento de aguas.

ÓSMOSIS INVERSA

"Proceso esencialmente físico para remoción de iones y moléculas disueltos en el agua, en el cual por medio de altas presiones se fuerza el paso de ella a través de una membrana semipermeable de porosidad específica, reteniéndose en dicha membrana los iones y moléculas de mayor tamaño" (NOM-127-SSA1-1994).

En el tratamiento de aguas mediante ósmosis inversa, el afluente contaminado se pone en contacto con una membrana adecuada a una presión osmótica de la solución. Bajo estas circunstancias, el agua con una cantidad muy pequeña de contaminantes pasa a través de la membrana. Los contaminantes disueltos se concentran en el compartimento del agua residual. Este concentrado, se descarga y se obtienen agua purificada en el otro compartimento. El agua residual fluye bajo presión elevada a través de un tubo interior formado por material semipermeable y proyectado para soportar presiones elevadas. El agua purificada se separa en el tubo exterior, que se encuentra a presión atmosférica y está fabricado de material ordinario.

La ósmosis inversa es todavía muy cara para una utilización universal en el tratamiento de aguas. Está también limitada al tratamiento de residuos solubles ya que los sólidos en suspensión atascan las membranas. En consecuencia, se necesita el tratamiento previo de la alimentación cuando haya sólidos en suspensión, aumentando así los costos.

ABLANDAMIENTO

"Proceso de remoción de los iones calcio y magnesio, principales causantes de la dureza del agua" (NOM-127-SSA1-1994).

PROCESOS DE OXIDACIÓN QUÍMICA

"Introducción de oxígeno en la molécula de ciertos compuestos para formar óxidos" (NOM-127-SSA1-1994).

Cloración.- Es un proceso muy usado. Los objetivos de la cloración se resumen como sigue:

1. Desinfección. El cloro es un desinfectante debido a su fuerte capacidad de oxidación, por lo que destruye o inhibe el crecimiento de bacterias y algas.
2. Reducción de la DBO. Se produce por oxidación de los compuestos orgánicos presentes.
3. Eliminación o reducción de olores y colores. Las sustancias que los producen se oxidan mediante el cloro.
4. Oxidación de los iones metálicos.
5. Oxidación de los cianuros a productos inocuos.

Ozonización.- Es un método efectivo para tratar las aguas basándose en los siguientes factores:

1. El ozono reacciona fácilmente con los productos orgánicos no saturados presentes en el agua.

2. La tendencia a la formación de espuma se reduce
3. La ruptura de los anillos y la oxidación parcial de los productos aromáticos deja a las aguas más susceptibles de tratamiento convencional biológico.
4. El ozono presente en el agua se convierte rápidamente a oxígeno una vez que ha servido a sus fines, lo cual es una ventaja sobre el cloro, el cual si rebasa los límites permisibles se convierte en contaminante. El ozono puede sustituir al cloro en el tratamiento de las aguas que contienen cianuro.

CARACTERÍSTICAS DESEADAS EN EL AGUA.

Todo esto para lograr que el agua cumpla las características deseadas por el consumidor. Para que el agua sea agradable al paladar, debe estar exenta de color, turbidez, sabor y olor. Poseer una temperatura moderada en verano e invierno, y estar bien aireada.

Color y turbidez: el agua puede estar coloreada también por los desechos industriales, hierro y manganeso en estado natural y por los productos de la corrosión. La turbidez proviene de la erosión de los bancos de arcilla, pero también de residuos industriales, productos de la corrosión así como el crecimiento de algas y otros organismos del plancton.

El ozono puede decolorar las aguas naturales coloreadas y la coagulación sedimentación y filtración pueden producir agua casi sin color y materia en suspensión.

Sabores y olores: están asociados con:

1. Materia orgánica en descomposición
2. Algas y otros microorganismos que contienen aceites esenciales y otros compuestos olorosos.
3. Helio, manganeso y otros productos metálicos de la corrosión.
4. Residuos industriales, particularmente sustancias fenólicas.
5. Cloro y sus compuestos de sustitución que son desinfectantes
6. Compuestos orgánicos sintéticos no degradables.

En general, los sabores y olores no deberán ser suficientemente intensos como para causar una impresión sobre el consumidor sin que éste los busque deliberadamente.

La cloración, tan importante para la seguridad del agua, produce frecuentemente olores y sabores. Éstos se pueden destruir con oxidantes fuertes como el dióxido de cloro y el ozono, así como por el cloro mismo. Muchos de ellos se pueden eliminar por adsorción en carbón activado. También es importante la prevención de olores y sabores de algas por medio de la destrucción de los crecimientos incipientes con sulfuro de cobre y otros compuestos de cobre.

5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

El Valle de México se encuentra en una situación crítica refiriéndose a disponibilidad de agua, ya que es escasa y toda se canaliza hacia el consumo humano, de hecho para satisfacer las necesidades de la población se importa agua de otras regiones del país principalmente de la Región IV Pacífico Centro. La condición de sobreexplotación de los acuíferos prevalece en la mayor parte de la región, localizándose precisamente donde la demanda del recurso es mayor, lo que provoca el aumento de costos y, aunque naturalmente se necesitaría un incremento en las tarifas, muchos usuarios no pagan cantidades reales por su consumo. Esto favorece la depreciación del agua, ya que cuando no cuesta creemos que no vale, y por lo tanto su uso es indiscriminado.

El subsidio al agua oculta su verdadero valor. La tarifa actual de consumo es establecida en base a diversos parámetros, siendo algunos de ellos el rango de consumo, el nivel socioeconómico de la población, el costo de explotación de las fuentes de agua, etc. Existe en el Valle de México una eficiencia comercial sumamente baja, que puede deberse a problemas de cobranza, fugas, escasa medición, falta de actualización del padrón de usuarios, y de una adecuada estrategia de lectura, facturación y cobranza de los servicios. El aprovechamiento del recurso disponible en la Región XIII manifiesta como principales consumidores a los sectores agropecuario y

habitacional, que utilizan 49.1% y 47.1% respectivamente, dejando el 3.8% del consumo de la región para el uso de tipo industrial.

La competencia entre los diversos usos del agua, principalmente los domésticos e industriales contra el agrícola, se presenta de manera intensa y desde hace varios años se importan volúmenes de agua cada vez mayores.

Otro problema del agua del Valle de México es que la contaminación de los pocos manantiales existentes es muy grave tanto por descargas domésticas como industriales. El único río existente (Tula) sirve ahora para transportar aguas residuales.

Ambos tipos de fuentes, subterráneas y superficiales, se han contaminado desmesuradamente, debido a la ausencia de una cultura del agua que conduciría al uso eficiente de ella, basado en tratamientos adecuados para su utilización o reutilización.

Es así como la calidad del agua no es buena en muchas ocasiones, y su empleo es restringido para algunos procesos o en casos extremos para cualquier uso.

El agua superficial es insuficiente para satisfacer las necesidades de la región. La mayor parte de los volúmenes de lluvia son desalojados en forma

prácticamente inmediata sin ser aprovechados para riego o bien para recarga de acuíferos. Las áreas cultivables están en proceso de desaparición, y con excepción de algunas pequeñas zonas de riego la agricultura es de temporal. Por lo tanto la Región del Valle de México no se caracteriza por su autosuficiencia.

Si se toman en cuenta por región los requerimientos de agua para todos los sectores agrícola, acuícola, potable e industrial, los años críticos entre oferta y demanda de agua aparecen en la Región XIII desde 1996.

En la Región XIII Valle de México se debe reutilizar el recurso hidráulico para aumentar el grado de autosuficiencia, por lo tanto se requieren plantas de tratamiento. Las acciones deben realizarse lo más pronto, ya que el volumen de aguas residuales va en constante aumento y según el tiempo que se deje pasar se necesitarán más plantas, lo que tendrá como consecuencia un aumento en el importe.

De acuerdo con análisis anteriores, no será posible alcanzar la autosuficiencia en la totalidad de la producción agropecuaria que el país demanda, de ahí que sea necesario establecer políticas federales con la finalidad de definir los patrones de cultivo por región que alcancen los mayores rendimientos por hectáreas acordes con la demanda nacional e internacional,

buscando así un equilibrio entre la producción nacional, las importaciones y exportaciones con atención especial en los alimentos básicos.

El subsector riego ha tenido cada vez mayor importancia en la producción agropecuaria; así, se ha observado por una parte, que su participación en el valor total de la producción agrícola ha crecido en los últimos años, observándose un incremento muy significativo, no solamente en la producción de cultivos para la exportación y en consecuencia en la generación de divisas, sino también en la elaboración de productos básicos, como son los granos, las leguminosas y las oleaginosas, que constituyen la base de la alimentación en nuestro país. La reducción en la importación de granos que se ha observado en años recientes, se ha debido al incremento de la producción en los distritos y en las unidades de riego.

Debido principalmente a la mala distribución del agua, tanto espacial como temporal, la construcción, operación y conservación de la infraestructura de riego ha sido una continua preocupación para los productores y para el gobierno del país, ya que en dicha infraestructura se fundamenta la agricultura de alta productividad, por otra parte, se observa con preocupación el aumento en la demanda del agua, repercutiendo en sobreexplotación de varios de los más importantes acuíferos, deterioro de la infraestructura e iniciación de procesos de salinización y empantanamiento de los suelos.

El Valle de México es un caso particular de zonas urbanas en el cual se plantea la atención de las necesidades de ampliación, mejoramiento y modernización de los servicios de suministro de agua potable en bloque y saneamiento.

Tomando en consideración los problemas que se están generando por el uso intensivo de las aguas subterráneas, como son el abatimiento de los niveles de bombeo, el incremento de los costos de la extracción del agua, la sobreexplotación de los acuíferos y el desperdicio del agua y la energía eléctrica; se debe mejorar la eficiencia en el uso del agua subterránea y la energía eléctrica, renovando o dando un buen mantenimiento a los equipos de bombeo y los pozos, para aumentar su eficiencia electromecánica e hidráulica, contribuyendo a reducir los costos de extracción del agua, así como los consumos de electricidad; además apoyar la tecnificación del riego y el mejoramiento parcelario, lo cual contribuirá a disminuir los costos de producción, aumentar la productividad y aminorar los problemas de sobreexplotación de los acuíferos.

Ante la ausencia de acciones en el uso agrícola, se considera que la eficiencia de los Distritos de Riego disminuye en 1% por cada año que pase, por lo tanto, de un 60.38% de eficiencia en 1995 se llegará a un 36.38% en el año 2020.

Este panorama exige que se amplíen y se aceleren los programas de modernización de las áreas de riego.

Ligada a la carencia de una producción agrícola adecuada a las necesidades del país, se tiene la problemática de que el agrícola es el sector que más agua consume (61.2 Km³/año), representando el 83% del consumo de todos los sectores. (17)

Por lo expuesto, resulta urgente establecer las medidas necesarias tendientes al aumento de la eficiencia en el uso y aprovechamiento del agua destinada al riego agrícola, sobre todo ante la creciente competencia con otros sectores consumidores como son el agua potable y el agua para uso industrial.

En lo que concierne a la calidad del agua en la producción de alimentos es necesario adoptar buenas prácticas gerenciales que son las que se llevan a cabo para reducir el riesgo microbiano en los alimentos, el término puede incluir tanto las "buenas prácticas agrícolas" que se emplean en el cultivo, como las "buenas prácticas manufactureras" en el contexto del procesamiento y embalaje.

El agua que se usa en la cosecha de alimentos incluye numerosas actividades sobre el terreno, incluyendo el riego, la aplicación de plaguicidas y fertilizantes, enjuague, enfriamiento, lavado, encerado y transporte del

producto. El agua puede constituir una fuente directa de contaminación en el campo, las instalaciones o durante el transporte cuando entra en contacto con frutas y hortalizas frescas, por lo que la posibilidad de contaminación por organismos patógenos depende de la calidad y procedencia del agua y si estos organismos sobreviven en dichos alimentos pueden causar enfermedades.

El agua puede transmitir ciertos microorganismos, incluyendo variedades patógenas (ya descritas) de *Escherichia coli*, especies de *Salmonella*, *Vibrio cholerae*, especies de *Shigella*, así como *Cryptosporidium parvum*, *Giardia lamblia*, *Cyclospora cayetanensis* y los virus de *Norwalk* y de la hepatitis A. Incluso pequeñas cantidades de estos microorganismos en los alimentos pueden causar enfermedades. Existen estudios que demuestran que el uso de agua de riego contaminada puede incrementar la frecuencia de microorganismos patógenos detectados en el producto cosechado. Es por ello que la calidad del agua debe ser apropiada para el uso que se vaya a hacer de ella.

Algunos sectores de la industria de frutas y verduras usan desinfectantes con agua durante el lavado y enjuague del producto y del equipo de recolección y transporte, para reducir al mínimo la posibilidad de contaminación superficial. Los operarios deben tener presentes ciertas prácticas al evaluar la calidad del agua en sus actividades aplicando medidas para reducir al mínimo el riesgo microbiano en los alimentos.

La calidad del agua varía, especialmente entre las aguas superficiales que pueden estar expuestas a contaminación temporal e intermitente, como escorrentías contaminadas procedentes de la crianza de ganado en terrenos situados en la parte alta de la corriente. El agua subterránea que se ve afectado por el agua superficial, como la de pozos viejos con grietas en su revestimiento, también puede estar expuesta a contaminación. Entre las medidas para asegurar que la calidad del agua sea apropiada para el uso que se vaya a hacer de ella se encuentran el comprobar que los pozos estén debidamente construidos y protegidos, tratar el agua para reducir la cantidad de contaminante y el uso de diferentes métodos de aplicación de agua como el uso de canales y estructuras para retener el agua nociva y así evitar el contacto con la cosecha. Se tienen que identificar la fuente y distribución del agua que se usa, conscientes de la relativa posibilidad de que constituya una fuente de microorganismos patógenos.

Es preciso llevar a cabo revisión de las prácticas y condiciones existentes para detectar posibles fuentes de contaminación: evacuación adecuada de heces procedentes de los seres humanos y animales, debido principalmente a las aguas residuales deficientemente manejadas, procedentes de zonas urbanas, reboses de alcantarillado y de zonas de alto nivel de producción ganadera; y por lo tanto realizar análisis periódicos de calidad con estándares de contaminación fecal.

El agua que se usa en la agricultura aparte del riego, para proteger a los cultivos contra el calor o las heladas y aplicar plaguicidas, también puede ser una fuente de contaminación microbiana, por lo que debe tratarse de la misma forma que el agua de riego.

Por otro lado el aumento de la eficiencia del agua por uso agrícola solo será posible en la medida que los usuarios comprendan su valor real, situación que se hará cada vez más necesaria al aumentar la ya tan mencionada competencia con los otros sectores usuarios.

Se podría incorporar más superficie de riego y en la existente rehabilitar hectáreas con un uso eficiente de agroquímicos propiciando el uso de otras técnicas que contemplen el manejo adecuado del suelo y la utilización de subproductos orgánicos.

En lo que concierne al uso de agua en el sector pecuario, se tiene disponibilidad establecida, es decir, en establos, y para garantizar la salud de los animales se recomienda adecuar dispositivos para drenar los bebederos y tanques de agua, a fin de poder lavarlos con un chorro de agua a presión y diluir las aguas de mala calidad.

También es prioritaria la vigilancia y control de las fuentes de contaminación de los cuerpos de agua dulce y esteros, donde se practica la

pesca y acuicultura, para no limitar el desarrollo de esta actividad y asegurar condiciones de higiene y sanidad adecuadas para la población trabajadora y los productos acuícolas, que hoy por hoy se han incrementado, con una explotación eficiente podría redituarse más.

Con respecto al sector industrial, uno de los subgrupos que requieren mayor atención tanto para su registro de uso de agua como para el control de las aguas residuales es la industria de alimentos, en especial la del café, la azucarera, la cervecera, la vitivinícola y la pesquera, de las cuales la cervecera junto con la refresquera figuran como mayores consumidoras en la Región XIII Valle de México.

La calidad del agua utilizada en el procesamiento de alimentos debe ser acorde con el uso que se pretenda hacer de la misma. Al reciclar el agua en el proceso se puede dar una acumulación microbiana, por lo que los operarios deben llevar a cabo prácticas que aseguren lo contrario.

La adopción de buenas prácticas manufactureras garantiza la reducción al mínimo de la contaminación microbiana proveniente del agua utilizada en el procesamiento. Se sugiere utilizar el agua de mejor calidad en los tratamientos al final del procesamiento (como en el último enjuague antes del empaquetado de frutas y hortalizas); si se vuelve a utilizar la misma agua en una serie de procesos, se utilizará en dirección contraria al movimiento del producto por las

diferentes unidades de procesamiento, ya que en las primeras operaciones la calidad del agua no tiene que ser tan alta.

También se debe considerar la adopción de buenas prácticas gerenciales para asegurar y mantener la calidad del agua, por ejemplo la realización de análisis periódicos que incluyan la medición de pH y niveles de desinfectante (cloro) residual, limpieza y desinfección de equipo, así como mantenimiento del mismo.

Es preferible prevenir la contaminación que aplicar desinfectantes químicos después de que ocurra.

Cuanto mayor contacto haya entre el agua y el producto, mayor será la posibilidad de contaminación, los tratamientos de lavado por aspersión presentan menos probabilidades de diseminar la contaminación microbiana de un producto a otro comparado con el tratamiento por inmersión, pero el lavado por aspersión también transmite microorganismos patógenos por aerosol o salpicado, o al estar depositados en otras superficies (como cepillos) que entran en contacto con los alimentos.

El uso de agentes desinfectantes o antimicrobianos en el agua de lavado y otro tipo de procesamiento puede ser de utilidad para reducir los microorganismos patógenos en la superficie de los productos o la acumulación

de los mismos en el agua. El tratamiento superficial con agentes antimicrobianos debe ir seguido de un enjuague con agua limpia para eliminar cualquier residuo.

Se debe considerar la temperatura del agua de lavado en el caso de ciertos productos propensos a la internalización de microorganismos patógenos, además de tratamientos alternativos para productos sensibles al agua, como la limpieza en seco y tratamientos desinfectantes en estudio, como rayos UV, ozono y desinfectantes gaseosos.

En el caso de actividades refrigerantes existe una variedad de métodos para enfriar frutas y verduras, incluyendo el uso de agua, hielo o aire a presión. El método apropiado depende de las necesidades del producto y los recursos del operario, cuando se usa agua y hielo deben considerarse como posible fuente de contaminación patógena, sobretodo si se vuelven a usar para enfriar varios lotes por la acumulación de microorganismos, riesgo que se puede reducir con la adición de desinfectantes. Por lo tanto se sugiere que la fabricación, transporte, almacenamiento y manejo de agua y hielo se realicen en condiciones limpias e higiénicas con el equipo limpio y desinfectado, y de esa manera mantener las temperaturas que promuevan la mayor calidad de las frutas y hortalizas.

Para mitigar situaciones de escasez de agua y conseguir un próspero desarrollo en el Valle de México, las alternativas propuestas son:

- Reusar el agua de retorno proveniente de otros usuarios en áreas agrícolas
- Aprovechar "in situ" el agua de lluvia en áreas de temporal
- Proteger contra inundaciones las áreas agrícolas en casos extremos de tormentas y de grandes avenidas.
- Drenar los excesos de agua en zonas húmedas
- Armonizar el uso del agua con otros sistemas en que hay interacción (por ejemplo acuícolas y pecuarias) para retornarles agua de buena calidad de los sectores urbano, industrial, hidroeléctrico, etc.
- Para evitar problemas de contaminación y para aprovecharlas, se ha propuesto utilizar las aguas negras para generar electricidad.
- Cambiar la placa de asbesto por adoquín, para permitir la recarga de acuíferos.
- Separar las aguas pluviales de las aguas negras.
- Racionalizar el recurso. Reducir fugas o tratar aguas para reusarlas y así reducir los volúmenes de extracción de agua.
- Abatir el costo de tratamientos de agua eficaces como la ósmosis inversa

Se debe reconocer el valor real del agua, si no es aplicando una tarifa por volumen utilizado, participando en el mantenimiento de la infraestructura existente, así como en las obras de modernización que eleven la eficiencia en su uso, disminuir sostenidamente la polarización campo - ciudad, y así dar vía

libre al potencial productivo y social de una parte muy significativa de la sociedad mexicana y básicamente fomentar en la sociedad una cultura del agua orientada a usarla con mayor eficiencia, disminuir la contaminación de los cuerpos de agua y usar de manera sustentable los recursos renovables.

Con este tipo de proyectos, si se toman en cuenta los costos evitados en daños y pérdidas, se identifican los siguientes beneficios cuantificables:

- Salud pública. Disminución del porcentaje de mortalidad y morbilidad por enfermedades gastrointestinales (que depende del nivel de tratamiento de las aguas residuales) y de enfermedades irreversibles asociadas con contaminación de tóxicos.
- Incremento en los ingresos del sector agrícola, por la sustitución de cultivos más rentables, o bien, mejor rendimiento de cultivos.
- Ahorro en costos de potabilización cuando la fuente de agua sea superficial, pudiendo pasar de un sistema de potabilización convencional a una de filtración directa.
- No recurrencia a fuentes de abastecimiento alternas por contaminación de las fuentes locales.

- Incremento en el valor de la tierra en los terrenos aledaños a los cuerpos receptores de aguas residuales tratadas, en especial alrededor de embalses y lagos.

- Exención del pago al gobierno federal por concepto de derechos por uso y aprovechamiento de agua clara, al reutilizar aguas residuales tratadas.

Es así como podemos concluir que cuando en la naturaleza existe un desequilibrio se provoca un costo ecológico y económico infinito.

Como se aprecia, el recurso agua en la industria alimentaria es objeto de muchos usos, los cuales fueron analizados en este trabajo de manera global, elucidando la problemática en cada uno; sin embargo en trabajos posteriores se puede profundizar en cada uno de ellos, con lo que se contribuiría mayormente a la producción de alimentos y por consiguiente a la tan lejana autosuficiencia de la Región XIII Valle de México.

BIBLIOGRAFÍA

1. CATALÁN Lafuente, José G. Química del Agua. Ed. Blume. Madrid, Esp. 1969. Pp. 11-17.
2. ARREGUÍN Cortés, Felipe I. Uso eficiente del agua en ciudades e industrias. Editado por Garduño, Héctor y Arreguín C., F. I. Uso eficiente del agua. Ed. UNESCO-ORCYT. México. 1994. Pp.84-85.
3. CAMP, Thomas R. Water and its impurities. Reinhold Publishing. Inc. N. Y. 1963. Pp. 1-18.
4. HERNÁNDEZ Muñoz, Aurelio. Abastecimiento y Distribución de Agua. 3ª edición. Colección Seinor. No. 16. Servicio de publicaciones de la Escuela de Ingenieros de Caminos de Madrid. España. 1993. Pp. 169-172; 197; 259-273
5. FENNEMA, Owen R. Química de Alimentos. Ed. Acribia, S. A. Zaragoza, Esp. 1993. Pp. 29-31.
6. LUNA B., Leopold, Kenneth S. Davis. El Agua. Colección Científica de Time-Life. Offset Larios, S. A. México, D. F. 1976. Pp. 9, 33, 39, 41, 42, 47, 48.
7. BARTHOLOME, Alfre. Fábricas de Alimentos. Procesos, equipamiento, costos. Editorial Acribia, S. A. Zaragoza, España. 1987.
8. LÓPEZ Gómez, Antonio. Diseño de Industrias Agroalimentarias. AMV, Ediciones. Madrid, España. 1990.
9. CENZANO, I. Nuevo Manual de Industrias Alimentarias. AMV, Ediciones. Madrid, España. 1993.

10. Los Escenarios a Largo Plazo del Papel del Agua en la Producción de Alimentos. Resumen ejecutivo. Anexos Región XIII. Basin, S. A. de C. V. Junio 1997.
11. Diagnóstico de la Región XIII Valle de México. Informe final. Tomos I y II. DEMM Consultores, S. A. de C. V. Septiembre, 1997. CNA Subdirección General de Programación. Gerencia Regional de Aguas del Valle de México. Gerencia de Programación Hidráulica, Subgerencia de Planeación.
12. Programas de Apoyo al Campo. SEMARNAP, CNA - Colegio de Postgraduados. México, D. F. 1997.
13. ROJAS, Franz, et al. Análisis costo-beneficio de la norma obligatoria para las descargas de aguas residuales a cuerpos nacionales. CNA. Ingeniería Hidráulica en México Vol. XII Núm. 1, II Época. Enero - abril de 1997.
14. MASKEW Fair Gordon. Purificación de aguas y tratamiento y remoción de aguas residuales. 4ª ed. Editorial Limusa. México. 1981.
15. Manual de aguas. American Society for testing and materials. 3ª ed. Editorial Limusa. México. 1976.
16. Estrategias del Sector Hidráulico. Comisión Nacional del Agua. México, 1997.
17. Programa Hidráulico 1995-2000. Poder Ejecutivo Federal. México.
18. Producción de alimentos y control democrático. Guía del Mundo. <http://www.guiadelmundo.org.uy/adelanto/temas/alimentación>. Mayo, 1998.

19. Calidad del agua para bebida animal.
<http://tucuman.com/producción/1997/97abr.11.htm>. Mayo, 1998.
20. NORMA Oficial Mexicana NOM-127SSA1-1994, Salud ambiental. agua para uso y consumo humano - Límites permisibles de calidad y tratamiento a que debe someterse el agua para su potabilización. Secretaría de Salud. México, 1996.
21. Reglamento de la Ley General de Salud en Materia de Control Sanitario de Actividades, Establecimientos, Productos y Servicios. Título Tercero. Agua y hielo para uso y consumo humano y para refrigerar. Ley General de Salud. 12ª ed. Editorial Porrúa, S. A. México, 1985.
22. NORMA Oficial Mexicana NOM-004-CNA-1996 Requisitos para la protección de acuíferos durante el mantenimiento y rehabilitación de pozos de extracción de agua y para el cierre de pozos en general. Comisión Nacional del Agua. México, 1996.
23. Secretaría de Industria y Comercio, Dirección General de Estadística IX Censo general de población, resumen general. México, 1972.
24. Sistema FAOSTAT via internet.
25. Comisión Nacional del Agua. Gerencia de Aguas Subterráneas. México, 1997.
26. Comisión Nacional del Agua. Subdirección General Técnica, Gerencia de Aguas Superficiales e Ingeniería de Ríos. México, 1997.

27. CHARLEY, Helen. Tecnología de Alimentos. Procesos químicos y físicos en la preparación de alimentos. Editorial Limusa, Noriega Editores. México, 1997.
28. GOULD, Wilbur A. Food Quality Assurance. The AVI Publishing Company Inc. Westport Connecticut. U. S. A., 1997.
29. Ley General de Salud. Editorial Porrúa, S. A. 12ª ed. México, 1985.
30. III Seminario Internacional de Investigadores de Xochimilco. Marzo, 1998.
31. Comisión Nacional del Agua. Subdirección General Técnica. <http://www.cna.gob.mx/SGT/SGT.html>. Mayo, 1998.
32. FUSTE, Olga V. Cuidado y Manejo de los Alimentos en el Hogar. <http://coopext.cahe.wsu.edu/infopub/eb1785/eb1785.html> . Washington State University.
33. Ley General de Aguas Nacionales y su Reglamento. Comisión Nacional del Agua. México, 1997.
34. TROLLER, John A. Sanitation in Food Processing. Academic Press. N. Y., U. S. A., 1983.